

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**TESIS**

**INFLUENCIA EN LA DUREZA EN UNIONES SOLDADAS CON  
ELECTRODOS E7018 EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO  
A36 POR EL PROCESO SMAW  
(INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)**

**PRESENTADO POR:**

**Br. CASTILLO CENTENO, MASSIEL**

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

**ASESOR:**

**Mgt. HONORATO SANCHEZ QUISPE**

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

# INFORME DE ORIGINALIDAD

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

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: Influencia en la dureza en uniones soldadas con electrodos E7018 en la soldabilidad del Acero A36 por el proceso STAW (Investigación tecnológica) presentado por: Massiel Castillo Centeno con DNI Nro.: 72429156 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Metalúrgico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 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 8%.

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, 08 de febrero de 2024



Firma  
Post firma Honorato Sanchez Quispe

Nro. de DNI 23903892

ORCID del Asesor 0000-0002-4267-2336

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:325677738

NOMBRE DEL TRABAJO

**INFLUENCIA EN LA DUREZA EN UNIONES SOLDADAS CON ELECTRODOS E7018 EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO A36 P0**

AUTOR

**Castillo Centeno, Massie**

RECUENTO DE PALABRAS

**23078 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**131139 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**121 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.9MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 6, 2024 8:38 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 6, 2024 8:39 PM GMT-5**

● **8% de similitud general**

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% 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 10 palabras)

## **PRESENTACIÓN**

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores miembros del jurado.

En cumplimiento al reglamento académico para optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, pongo a vuestra disposición el plan de trabajo de tesis intitulada: “INFLUENCIA EN LA DUREZA EN UNIONES SOLDADAS CON ELECTRODOS E7018 EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO A36 POR EL PROCESO SMAW (PROYECTO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA)”.

El presente trabajo de investigación es de carácter descriptivo, en el cual se evaluó las durezas obtenidas en uniones soldadas con electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la soldabilidad del Acero ASTM A36.

Massiel Castillo Centeno

## **DEDICATORIA**

A Dios padre, por darme salud, fortaleza, tenacidad y amor incondicional el cual me permite seguir adelante por el camino que me he trazado.

A mis padres, William y Margarita por brindarme su amor y apoyo incondicional inculcándome valores a seguir.

A mis hermanos, Coco y Jessica por su comprensión, ayuda, compañía y apoyo en todos los días de mi vida. A toda mi familia por hacerme una mejor persona, por sus consejos y ánimos que me brindaron para lograr mis metas.

A mi compañero de vida, Char, quien es mi caballero y mi héroe que está siempre a mi lado.

Massiel Castillo Centeno

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por todo lo logrado, por la protección diaria y por permitirme alcanzar un objetivo muy importante para mi vida.

A la tricentenaria Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por ser mi casa de estudios superiores, por ende, mi alma mater.

A la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, en particular a la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

A todos los docentes, que han sido parte de mi formación universitaria.

Al Mgt. Honorato Sánchez Quispe, por ser mi asesor y por apoyarme en la elaboración y culminación de la tesis. De la misma forma, agradezco al Ing. Julio Farfán Yépez por permitirme el acceso al laboratorio de Metalurgia Física y compartirme su conocimiento; también agradezco al Ing. Juan Carlos Gómez Elorrieta por permitirme el acceso al taller de soldadura, al Ing. Rene Lupaca Quispe por colaborarme con el laboratorio de las Pruebas de Doble, al Ing. Alfredo Tomas Benito Aragón y al Ing. Leonardo Aviles Hinojosa por guiarme en conocimientos y enseñanzas en culminar este trabajo de investigación.

A mis amigos de CETEMIN por animarme a continuar con mis metas trazadas.

Por último, a la Compañía de Bomberos Miguel H. Milla – Cusco 39 y a la Compañía de Bomberos Benemérita y Centenaria Arequipa 19 por enseñarme que todo esfuerzo tiene recompensa y que la perseverancia es el camino del éxito.

Massiel Castillo Centeno

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación surge debido a la necesidad de comprender y optimizar el proceso de soldadura SMAW, considerando la importancia de la calidad de las uniones soldadas. Uno de los motivos que impulsa este trabajo de investigación fue la variabilidad de fabricantes de electrodos, los cuales pueden producir electrodos E7018 con composiciones químicas ligeramente distintas y con niveles de impurezas desconocidas. Estas variaciones pueden influir en la calidad de la soldadura y en particular en la dureza resultante de las uniones soldadas. Además, este trabajo de investigación establece obtener la dureza de uniones soldadas por diferentes marcas de electrodos E7018 efectuadas en el acero ASTM A36 aplicándose el proceso SMAW, con el fin de determinar la marca del electrodo E7018 con el que se obtenga uniones de buena ductilidad y que cumpla los criterios de aceptación que establece el código AWS D1.1/D1.1M -2020 para contemplar su respectiva aplicación en la industria metalmecánica y en estructuras metálicas de gran envergadura que requieran uniones soldadas de alta calidad. Las marcas de electrodos que se utilizaran en el presente trabajo son BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER. Además, se realizó pruebas de doblez guiado y ensayos de dureza en las tres zonas de estudio: Zona fundida, zona ZAC y metal base; seguidamente se hicieron cálculos del calor neto y cálculos del ancho de la zona ZAC en cada cupón de prueba soldado. La metodología que se empleó es de tipo experimental y de carácter descriptivo. Para ello, se toma las siguientes variables: Dureza de la unión soldada del acero ASTM A36, intensidad de corriente, velocidad de avance y longitud de arco.

**Palabras Clave:** Electrodo E7018, dureza, soldabilidad, proceso SMAW.

## ABSTRACT

The present research work arises due to the need to understand and optimize the SMAW welding process, considering the importance of the quality of the welded joints. One of the reasons driving this research work was the variability of electrode manufacturers, which can produce E7018 electrodes with slightly different chemical compositions and with unknown levels of impurities. These variations can influence the quality of the weld and in particular the resulting hardness of the welded joints. In addition, this research work establishes obtaining the hardness of joints welded by different brands of E7018 electrodes made in ASTM A36 steel by applying the SMAW process, in order to determine the brand of the E7018 electrode with which joints of good ductility and that meets the acceptance criteria established by the AWS D1.1/D1.1M -2020 code to contemplate its respective application in the metalworking industry and in large metal structures that require high quality welded joints. The brands of electrodes that will be used in this work are BÖHLER, SOLDEXA and TRUPER. In addition, guided bending tests and hardness tests were carried out in the three study areas: Molten zone, ZAC zone and base metal; Net heat calculations and HAZ zone width calculations were then made on each welded test coupon. The methodology used is experimental and descriptive in nature. To do this, the following variables are taken: Hardness of the welded joint of the ASTM A36 steel, current intensity, advance speed and arc length.

**Key Words:** E7018 electrode, hardness, weldability, SMAW process.

## ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>SIGLAS Y ABREVIATURAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Situación del Problema</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Formulación del Problema</b> .....	<b>1</b>
1.2.1. Problema General.....	1
1.2.2. Problemas Específicos .....	1
<b>1.3. Justificación</b> .....	<b>2</b>
1.3.1. Social.....	2
1.3.2. Tecnológica.....	2
1.3.3. Ambiental.....	2
1.3.4. Económico .....	2
1.3.5. Valor Teórico.....	3
<b>1.4. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
1.4.1. Objetivo General .....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Antecedentes de la Investigación</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Antecedente Internacional.....	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	4
<b>2.2. Bases Teóricas</b> .....	<b>5</b>
2.2.1. Introducción a la Unión por Soldadura .....	5
2.2.2. Clasificación de los Procesos de Soldeo .....	5
2.2.3. Soldadura por Arco Eléctrico.....	7
2.2.4. Árcos Eléctricos .....	7
2.2.5. Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido (SMAW) .....	8
2.2.6. Variables del Proceso.....	10
2.2.7. Tipos de Juntas.....	14
2.2.8. Posiciones de Soldadura.....	15
2.2.9. Descripción del Electrodo.....	16
2.2.10. Código de Soldadura Estructural AWS D1.1/D1.1M (2020).....	28
2.2.11. Metalurgia de la Soldadura .....	30
2.2.12. Soldabilidad .....	36
2.2.13. Soldabilidad de los Aceros al Carbono y de Baja Aleación.....	37
2.2.14. Transformaciones de Fase del Acero en la Soldadura .....	38
2.2.15. Solidificación de la Soldadura .....	41
2.2.16. Relación de Dureza y Cambios Microestructurales en la Unión Soldada.....	42
2.2.17. Ensayos Destructivos en Uniones Soldadas.....	43
<b>2.3. Hipótesis</b> .....	<b>44</b>
2.3.1. Hipótesis General.....	44

2.3.2. Hipótesis Específica.....	44
<b>2.4. Variables.....</b>	<b>44</b>
2.4.1. Variable dependiente.....	44
2.4.2. Variables independientes.....	44
2.4.3. Operacionalización de Variables e Indicadores.....	45
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>46</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1. Diseño de Investigación.....</b>	<b>46</b>
3.1.1 Análisis y Niveles de las Variables.....	46
3.1.2. Diseño Factorial 2 <sup>3</sup> .....	47
<b>3.2 Tipo, Nivel y Alcance de la Investigación.....</b>	<b>48</b>
3.2.1. Tipo de Investigación.....	48
3.2.2. Nivel de Investigación.....	48
3.2.3. Alcance de la investigación.....	48
<b>3.3. Diagrama de Flujo del Desarrollo Experimental.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4. Equipamiento e Instrumentación.....</b>	<b>50</b>
3.4.1. Máquina de Soldar.....	50
3.4.2. Durómetro Portátil.....	51
3.4.3. Equipo de Doble.....	51
3.4.5. Desbastador Metalográfico.....	52
3.4.6. Pulidor Metalográfico.....	52
3.4.7. Microscopio Óptico.....	52
3.4.8. Herramientas e Instrumentos.....	53
<b>3.5. Materiales para la Investigación.....</b>	<b>53</b>
3.5.1. Metal Base.....	53
3.5.2. Material de Aporte.....	55
<b>3.6. Población y muestra.....</b>	<b>56</b>
3.6.1. Población.....	56
3.6.2. Muestra.....	56
3.6.3. Técnicas y Procedimientos.....	56
3.6.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	56
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>58</b>
<b>PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1. Preparación de los Cupones de Prueba.....</b>	<b>58</b>
<b>4.2. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para los Cupones de Experimentación.....</b>	<b>59</b>
<b>4.3. Inspección Visual.....</b>	<b>61</b>
<b>4.4. Distribución de Probetas para Ensayos Destructivos.....</b>	<b>63</b>
<b>4.5. Ensayo de Doble.....</b>	<b>64</b>
<b>4.6. Ensayo de Dureza.....</b>	<b>66</b>
<b>4.7. Ensayo Metalográfico.....</b>	<b>67</b>
<b>4.8. Cálculos de Soldadura.....</b>	<b>70</b>
4.8.1. Velocidad de Avance.....	70
4.8.2. Cálculo del Aporte de Calor Neto.....	70
4.8.3. Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor (ZAC).....	74
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>78</b>
<b>RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>78</b>
<b>5.1. Inspección Visual.....</b>	<b>78</b>
<b>5.2. Ensayo de Doble.....</b>	<b>78</b>
<b>5.3. Ensayo de Dureza.....</b>	<b>81</b>
<b>5.4. Ensayo Metalográfico.....</b>	<b>86</b>

<b>5.5 Interpretación de resultados para el cálculo del ancho de la ZAC.....</b>	<b>92</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>98</b>
<b>LIBROS: .....</b>	<b>98</b>
<b>TESIS:.....</b>	<b>99</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Clasificación de unión de materiales.....	6
<b>Figura 2</b> El arco eléctrico.....	8
<b>Figura 3</b> Descripción del proceso SMAW.....	8
<b>Figura 4</b> Diagrama del circuito del proceso SMAW.....	9
<b>Figura 5</b> Diámetro del electrodo revestido.....	11
<b>Figura 6</b> Tipos de longitudes de arco.....	12
<b>Figura 7</b> Apariencia de cordones con diferentes parámetros de soldadura.....	13
<b>Figura 8</b> Tipos de Junta.....	14
<b>Figura 9</b> Posiciones de soldadura en chapas a tope.....	15
<b>Figura 10</b> Partes del electrodo revestido.....	16
<b>Figura 11</b> Clasificación de electrodos según AWS A5.1.....	24
<b>Figura 12</b> Probeta de doblado de cara y raíz.....	30
<b>Figura 13</b> Zona de fusión.....	32
<b>Figura 14</b> Zona afectada por el calor.....	33
<b>Figura 15</b> Temperatura máxima de la ZAC a una distancia Y.....	35
<b>Figura 16</b> Diagrama Hierro - Carbono.....	39
<b>Figura 17</b> Estructuras generadas durante el soldeo de un acero al carbono.....	41
<b>Figura 18</b> Ensayo de doblez.....	43
<b>Figura 19</b> Diagrama de flujo.....	49
<b>Figura 20</b> Platina de 3/8" de acero ASTM 36.....	54
<b>Figura 21</b> Dimensiones del cupón de prueba en vista de planta.....	58
<b>Figura 22</b> Procedimiento de soldadura para el electrodo E7018 de la marca TRUPER.....	59
<b>Figura 23</b> Procedimiento de soldadura para el electrodo E7018 de la marca SOLDEXA.....	60
<b>Figura 24</b> Procedimiento de soldadura para el electrodo E7018 de la marca BÖHLER.....	61
<b>Figura 25</b> Verificación del desalineamiento del cupón de prueba.....	62
<b>Figura 26</b> Inspección del refuerzo de soldadura.....	62
<b>Figura 27</b> Distribución de probetas para ensayos destructivos.....	63
<b>Figura 28</b> Trazado de probetas para ensayo de doblez.....	64
<b>Figura 29</b> Posicionamiento y ensayo de doblez.....	65
<b>Figura 30</b> Probetas dobladas de cara y raíz.....	65
<b>Figura 31</b> Preparación de probetas para ensayo de dureza.....	66
<b>Figura 32</b> Probetas para ensayo de dureza.....	66
<b>Figura 33</b> Probetas para ensayo metalográfico.....	67
<b>Figura 34</b> Lijado y pulido de muestras.....	68
<b>Figura 35</b> Preparación de la solución de ataque.....	68
<b>Figura 36</b> Ataque químico probetas.....	69
<b>Figura 37</b> Observación de muestras en el microscopio óptico.....	69
<b>Figura 38</b> Probeta doblada de cara con grietas superficiales y esquina.....	80
<b>Figura 39</b> Probeta doblada de cara con grietas superficiales.....	81
<b>Figura 40</b> Indentaciones realizadas en cada zona de estudio.....	81
<b>Figura 41</b> Gráfica comparativa de dureza Rockwell de muestras soldadas con electrodo TRUPER en diferentes zonas de estudio.....	83
<b>Figura 42</b> Gráfica comparativa de dureza Rockwell de muestras soldadas con electrodo SOLDEXA en diferentes zonas de estudio.....	84

<b>Figura 43</b> Gráfica comparativa de dureza Rockwell de muestras soldadas con electrodo BÖHLER en diferentes zonas de estudio.....	84
<b>Figura 44</b> Gráfica Comparativa de Dureza Rockwell de Muestras Soldadas en diferentes Zonas de Estudio.....	85
<b>Figura 45</b> Evaluación metalográfica para el metal base acero ASTM A36.....	87
<b>Figura 46</b> Gráfico comparativo de anchos de la zona afectada por el calor obtenidos por diferentes marcas de electrodo E7018 .....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Procesos de soldadura por arco .....	6
<b>Tabla 2</b> Tamaños y longitudes de los electrodos revestidos .....	17
<b>Tabla 3</b> Elementos del revestimiento .....	21
<b>Tabla 4</b> Especificaciones de materiales de aporte para el proceso SMAW .....	24
<b>Tabla 5</b> Designación de los dígitos de los electrodos .....	25
<b>Tabla 6</b> Posición de soldeo y tipo de corriente .....	25
<b>Tabla 7</b> Designación del último dígito de los electrodos .....	26
<b>Tabla 8</b> Características del electrodo E7018.....	27
<b>Tabla 9</b> Propiedades mecánicas del electrodo E7018 .....	27
<b>Tabla 10</b> Rendimiento térmico de los procesos de soldadura.....	35
<b>Tabla 11</b> Operacionalización de variables e indicadores .....	45
<b>Tabla 12</b> Variables independientes .....	46
<b>Tabla 13</b> Diseño factorial 3 factores y 2 niveles .....	47
<b>Tabla 14</b> Características técnicas de la máquina de soldar .....	50
<b>Tabla 15</b> Durómetro portátil .....	51
<b>Tabla 16</b> Características técnicas del ensayo de doblez.....	51
<b>Tabla 17</b> Características técnicas del desbastador metalográfico .....	52
<b>Tabla 18</b> Pulidor metalográfico.....	52
<b>Tabla 19</b> Características técnicas del microscopio óptico .....	53
<b>Tabla 20</b> Características técnicas de las herramientas e instrumentos.....	53
<b>Tabla 21</b> Composición química del acero ASTM A36.....	54
<b>Tabla 22</b> Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	55
<b>Tabla 23</b> Propiedades químicas de los electrodos E7018 de las marcas SOLDEXA, BÖHLER y TRUPER .....	55
<b>Tabla 24</b> Propiedades mecánicas de los electrodos E7018 de las marcas SOLDEXA, BÖHLER y TRUPER .....	56
<b>Tabla 25</b> Características de soldeo de los electrodos E7018 .....	56
<b>Tabla 26</b> Obtención de velocidades de avance en cada etapa de soldeo.....	70
<b>Tabla 27</b> Resultados de la inspección visual de los cupones de prueba .....	78
<b>Tabla 28</b> Resultados del ensayo de doblez guiado.....	79
<b>Tabla 29</b> Indentaciones realizadas en la muestra 01 soldada con el electrodo TRUPER.....	82
<b>Tabla 30</b> Indentaciones realizadas en la muestra 02 soldada con el electrodo TRUPER.....	82
<b>Tabla 31</b> Indentaciones realizadas en la muestra 03 soldada con el electrodo SOLDEXA....	82
<b>Tabla 32</b> Indentaciones realizadas en la muestra 04 soldada con el electrodo SOLDEXA....	82
<b>Tabla 33</b> Indentaciones realizadas en la muestra 05 soldada con el electrodo BÖHLER .....	82
<b>Tabla 34</b> Indentaciones realizadas en la muestra 06 soldada con el electrodo BÖHLER .....	83
<b>Tabla 35</b> Evaluación metalográfica para la muestra soldada con el electrodo E7018 TRUPER .....	87
<b>Tabla 36</b> Evaluación metalográfica para la muestra soldada con el electrodo E7018 SOLDEXA.....	88
<b>Tabla 37</b> Evaluación metalográfica para la muestra soldada con el electrodo E7018 BÖHLER.....	88
<b>Tabla 38</b> Resultados del cálculo del calor neto para el pase de relleno y acabado.....	92
<b>Tabla 39</b> Resultados del cálculo del ancho de la ZAC .....	93

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

- **A:** Ampere (Amperio)
- **AC:** Alternating Current (Corriente Alterna)
- **ASTM:** American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para la Prueba de Materiales)
- **AWS:** American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura)
- **CE:** Carbono Equivalente
- **CJP:** Complete Joint Penetration (Junta con Penetración Completa)
- **DC:** Direct Current (Corriente Directa)
- **H<sub>neto</sub>:** Aporte Térmico Neto (Heat Input)
- **HRC:** Hardness Rockwell C (Dureza Rockwell C)
- **MB:** Metal Base
- **mm/s:** milímetros por segundo
- **mm:** Milímetros
- **NDT:** Non Destructive Testing (Ensayo No Destructivo)
- **PJP:** Partial Joint Penetration (Junta con Penetración Parcial)
- **PQR:** Procedure Qualification Record (Registro de Calificación del Procedimiento)
- **SMAW:** Shielded Metal Arc Welding (Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido)
- **VT:** Visual Testing (Ensayo de Inspección Visual)
- **WPS:** Welding Procedure Specification (Especificación del Procedimiento de Soldadura)
- **ZAC:** Zona Afectada por el Calor
- **ZF:** Zona Fundida

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación está referido a la influencia en la dureza en uniones soldadas con electrodos E7018 en la soldabilidad del acero ASTM A36, por el proceso de soldadura SMAW para la unión de aceros al carbono y aceros de baja aleación, así como lo indica la especificación AWS A5.1 y la AWS A5.5, el cual se centra en las construcciones metálicas que apliquen el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido, también en calificación de procedimientos de soldadura, calificación de soldadores y todo tipo de unión que fuese soldada empleándose electrodos E7018, de esta manera el estudio parte de la medición de la dureza de las uniones soldadas las cuales resultan ser diferentes por cada marca de electrodo e influyen en la soldabilidad del acero ASTM A36.

En el mundo de la soldadura se define al electrodo revestido como una varilla metálica, esta varilla está recubierta de un revestimiento químico; existen una variedad de electrodos revestidos, con diferente composición química en su revestimiento, pero con un mismo código por cada marca. A partir de ese punto se evaluó al electrodo revestido E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER.

Las causas del presente trabajo de investigación parten de la obtención de diferentes durezas obtenidas por el uso de estas marcas reconocidas a nivel nacional, las cuales contribuyen a la comprensión de la influencia en la soldabilidad como también en las aplicaciones de la industria metalmecánica y estructuras metálicas de gran envergadura que requieran uniones soldadas con excelentes propiedades mecánicas.

El presente trabajo se divide en cinco capítulos: el primer capítulo trata del planteamiento y formulación del problema junto con la proposición de los objetivos de la investigación; en el segundo capítulo se describieron los antecedentes, bases teóricas y la hipótesis en conjunto con las variables; en el tercer capítulo se explicó la metodología de la investigación; en el cuarto capítulo se describió la parte experimental de la investigación; y por último en el quinto capítulo se analizó e interpretó los resultados de la investigación, para finalmente formular las conclusiones.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Situación del problema

El electrodo E7018, es usado muy ampliamente en las diferentes industrias, sobre todo en la unión de perfiles de aceros al carbono como el ASTM A36. Este electrodo se utiliza para soldar estructuras, tuberías y recipientes a presión en donde los requerimientos de impacto son altos y estén sometidos a bajas temperaturas de servicio.

En el campo de la soldadura estos electrodos presentan diferentes marcas, diferente procedencia, diferente composición y diferente calidad, por lo que al utilizarlos durante el soldeo producen diferentes variaciones de dureza en la union soldada. A lo largo del tiempo las empresas y talleres que han aplicado soldadura con este electrodo no han tenido en cuenta la variación de dureza producida por cada marca de electrodo, lo cual dichos depósitos de soldadura pueden traer como consecuencia diferentes propiedades mecánicas que con el paso del tiempo pueden alterar el desempeño de las piezas soldadas.

### 1.2. Formulación del problema

#### 1.2.1. Problema general

¿Cómo influirán los electrodos E7018 en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?

#### 1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cómo influirá la intensidad de corriente al soldar con electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?

- ✓ ¿Cómo influirá la velocidad de avance al soldar con electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?
- ✓ ¿Cómo influirá la longitud de arco al soldar con electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?

### **1.3. Justificación**

#### ***1.3.1. Social***

Con el presente trabajo se permitirá capacitar a todas aquellas personas que se dedican al campo de la soldadura, lo cual también permitirá ampliar el conocimiento teórico y práctico acerca de los electrodos E7018 ya que su aplicación requiere menor dominio a diferencia de otros procesos de soldadura.

#### ***1.3.2. Tecnológica***

Este trabajo conlleva una importante investigación tecnológica para la industria de: La construcción, maquinaria pesada y el sector metal-mecánico de la nación, como también se justifica para calificar procedimientos de soldadura y calificar soldadores que empleen los electrodos E7018 con el proceso SMAW.

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

Con el uso de los electrodos E7018 se generan menores residuos y menor emisión de humos metálicos que no originan contaminación relevante; sin embargo, el operario de soldadura deberá protegerse haciendo uso de los equipos de protección personal.

#### ***1.3.4. Económico***

Al obtener depósitos de soldadura dúctiles se estará prolongando la vida útil de las uniones soldadas lo cual se traduce en un ahorro económico.

### ***1.3.5. Valor teórico***

El valor teórico que merece este trabajo de investigación está en la contribución de las áreas de investigación relacionadas con las tecnologías de unión, materiales de aportación y calificación de procedimientos de soldadura.

## **1.4. OBJETIVOS**

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

Determinar la influencia de los electrodos E7018 en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.

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

- ✓ Determinar la influencia de la intensidad de corriente al soldar con electrodos E7018 de las marcas: BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.
- ✓ Determinar la influencia de la velocidad de avance al soldar con electrodos E7018 de las marcas: BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.
- ✓ Determinar la influencia de la longitud de arco al soldar con electrodos E7018 de las marcas: BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### ***2.1.1 Antecedente internacional***

En la tesis “*Caracterización Metalográfica de un Depósito de Soldadura, realizado con el proceso SMAW*”, del autor Y. Castellanos presentado en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Departamento de Soldadura, Santa Clara – Cuba, en el cual se realizó una caracterización metalográfica en la zona fundida y zona afectada por el calor, aplicando tres cordones depositados en una placa de acero de 5mm, empleándose el proceso de soldeo SMAW con electrodos E7018 de 3.2mm de diámetro, en ello se identificó las fases presentes y los cambios microestructurales. (Y. Castellanos, 2009)

##### ***2.1.2. Antecedentes nacionales***

Se encontraron los siguientes trabajos relacionados con el electrodo E7018 y el proceso SMAW:

En la tesis “*Ensayo Destructivo en Acero Estructural ASMT A36 para optimizar los parámetros del proceso de Soldadura SMAW*”, presentado por Ivan Chilcon en la Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería, Chiclayo – Perú, el cual se buscó estudiar propiedades mecánicas mediante ensayos destructivo de tracción al acero ASTM A36, realizando uniones soldadas en probetas con los electrodos E6011 y E7018. (I. Chilcon, 2017)

En la tesis “*Control de Calidad en el Proceso de Soldadura FCAW – SMAW*” en la Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería de Metalúrgica, Arequipa – Perú, de Franklin Campos, en el cual nos presenta un análisis de cómo se realiza el control de calidad mediante ensayos no destructivos. (Campos Torres, 2014)

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Introducción a la unión por soldadura

Hernández Riesco (2010) afirma que “El soldeo es el proceso de unión por el que se establece la continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material”.

Existe una diferencia clara entre los términos: soldeo y soldadura. El **soldeo** se refiere a toda la serie de acciones y procedimientos que nos conducen a conseguir uniones soldadas; en cambio cuando se habla de **soldadura** se refiere en sí a la unión soldada por acciones del soldeo.

De esta manera, el metal base será el material que va a ser sujeto a las operaciones de soldeo o corte, como por ejemplo los aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidable, etc.; y el metal de aportación o metal de aporte es el material que se añade en cualquier proceso de soldeo, por ejemplo: los electrodos revestidos, los alambres sólidos, alambres tubulares, varillas desnudas, entre otros.

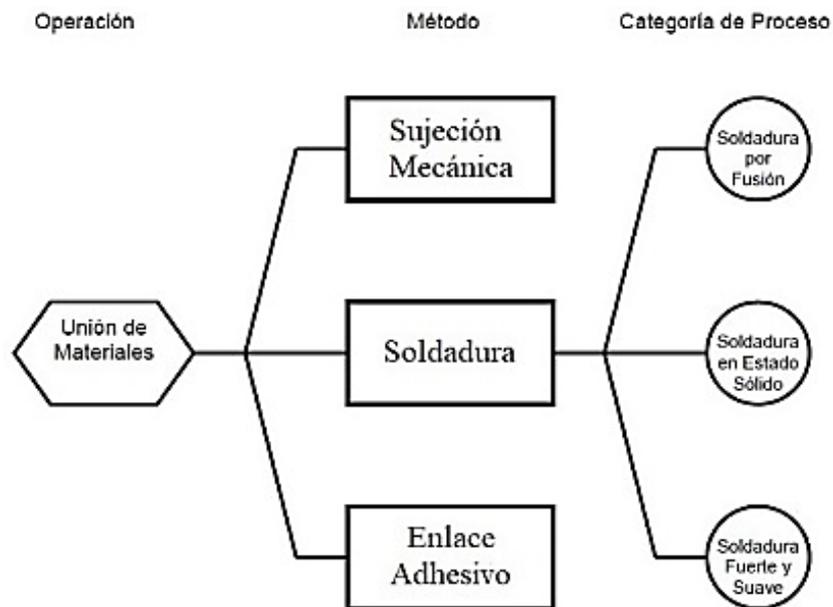
### 2.2.2. Clasificación de los procesos de soldeo

De acuerdo a la AWS A3.0 Norma de Términos y Definiciones de Soldadura (2020), “los diferentes métodos para la unión de materiales se pueden realizar por Sujeción Mecánica, Soldadura y por Enlace Adhesivo” (p.145), tal y de acuerdo a lo que se muestra en la figura 1. De este modo los procesos de soldadura, se van subdividiendo en procesos más concretos aplicando criterios que se mencionan a continuación:

- ✓ **El Tipo de Energía:** Puede ser eléctrica, mecánica o química.
- ✓ **La Fuente de Energía:** Puede ser por Arco, por Resistencia, por Radiación, por el contacto de una llama.
- ✓ La Presencia de Esfuerzo Mecánico: Si existe o no.
- ✓ **El Tipo de Protección:** Mediante Fundente, vacío, gas.

## Figura 1

### Clasificación de unión de materiales



Fuente: AWS A3.0 Normas de Términos y Definiciones de Soldadura (2020)

Aplicando estos criterios, se obtienen las clasificaciones de cada proceso de soldadura.

Como ejemplos se muestran en la siguiente tabla 1.

### Tabla 1

#### Procesos de soldadura por arco

Definiciones	
Designación	Proceso de Soldadura
FCAW	Soldadura por Arco con Alambre Tubular
GMAW	Soldadura por Arco Metálico con Protección Gaseosa
GTAW	Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno
PAW	Soldadura por Arco de Plasma
SAW	Soldadura por Arco Sumergido
SMAW	Soldadura por Arco con Electrodo Revestido

Fuente: AWS A3.0 Normas de Términos y Definiciones de Soldadura, Edición 2020.

### **2.2.3. Soldadura por Arco Eléctrico**

Según el Manual SOLDEXA (2018) “Es un proceso de soldadura donde la unión es producida por el calor generado por un arco eléctrico con o sin aplicación de presión y con o sin metal de aporte” (p.22).

En ese sentido la soldadura por arco eléctrico es un proceso de soldadura por fusión cuya unión metalúrgica de las piezas metálicas se produce a través del calor de un arco eléctrico, establecido entre un electrodo y una pieza a soldar.

Existen diferentes procesos de soldadura por arco eléctrico y entre los más importantes tenemos a:

- ✓ Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido (SMAW).
- ✓ Soldadura por Arco Metálico con Protección Gaseosa (GMAW).
- ✓ Soldadura por Arco de Tungsteno con Protección Gaseosa (GTAW).
- ✓ Soldadura por Arco con Núcleo de Fundente (FCAW).
- ✓ Soldadura por Arco Sumergido (SAW).

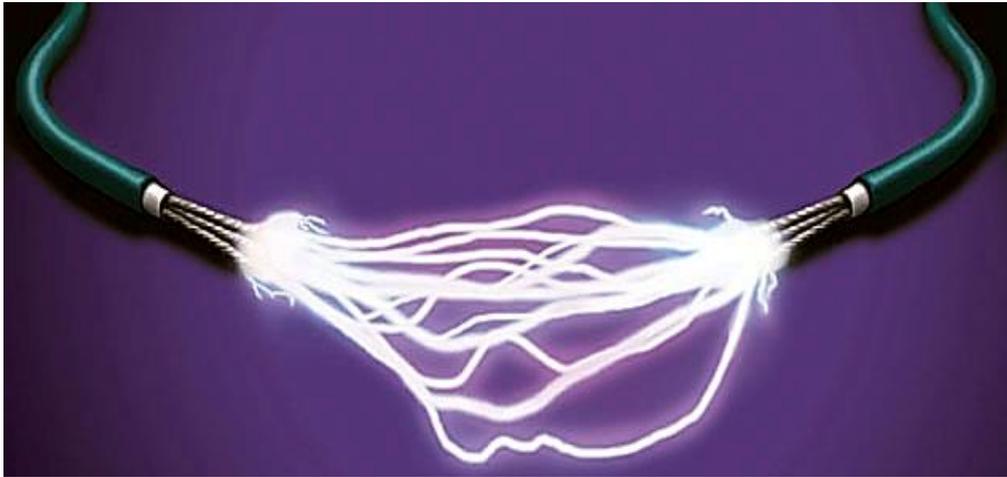
### **2.2.4. Arco eléctrico**

Hernández Riesco (2010) afirma que “el arco eléctrico es una descarga de corriente eléctrica que esta sostenida de una columna de plasma” (p.32). Los gases en condiciones normales son prácticamente aislantes, y para conseguir el arco es necesario que el gas se vuelva un conductor eléctrico. Por ende, el gas deberá pasar por un proceso de ionización el cual se consigue separando sus átomos en iones y electrones.

Como se muestra en la figura 2, para producirse el arco eléctrico se necesita dos conductores denominados Electrodo y un gas conductor denominado Plasma.

## Figura 2

*El arco eléctrico*



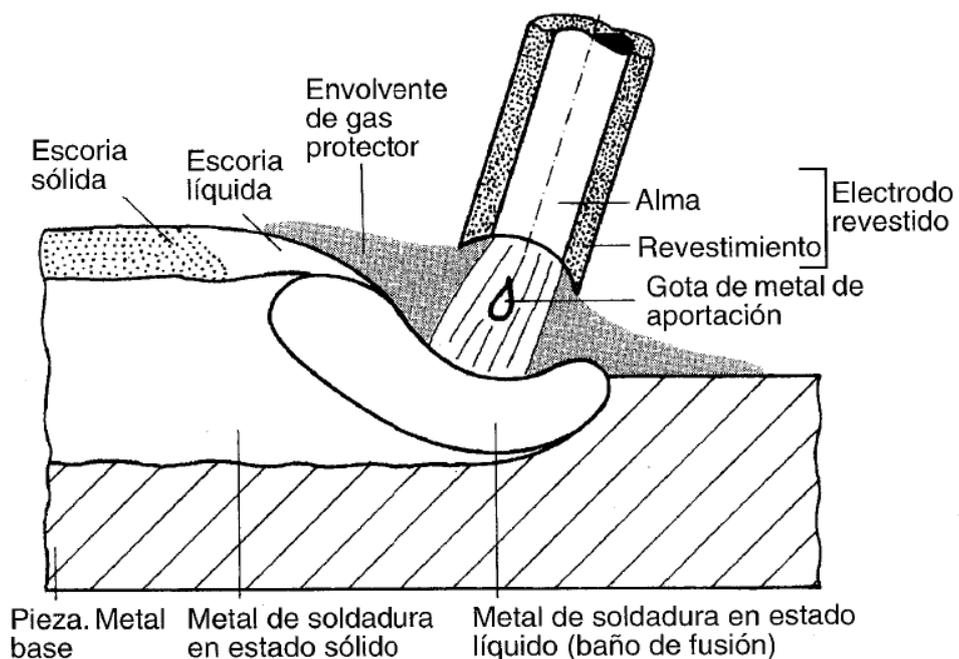
Fuente: <https://e-management.mx/website/wp-content/uploads/2014/10/A0CE0041740.jpg>

### 2.2.5. Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

Hernández Riesco (2010) afirma que “Es un proceso donde la fusión se produce gracias al calor generado de un arco eléctrico establecido entre un electrodo revestido y el metal base” (p.193), de acuerdo a lo afirmado se plasma la figura 3.

## Figura 3

*Descripción del proceso SMAW*



Fuente: Hernández, G. (2010) *Descripción del proceso SMAW*

Una característica durante el soldeo es la presencia de los gases de protección, el cual se produce cuando el recubrimiento del electrodo se calienta y este se descompone.

Este proceso de soldadura se realiza por intermedio de un circuito eléctrico. Este circuito consiste:

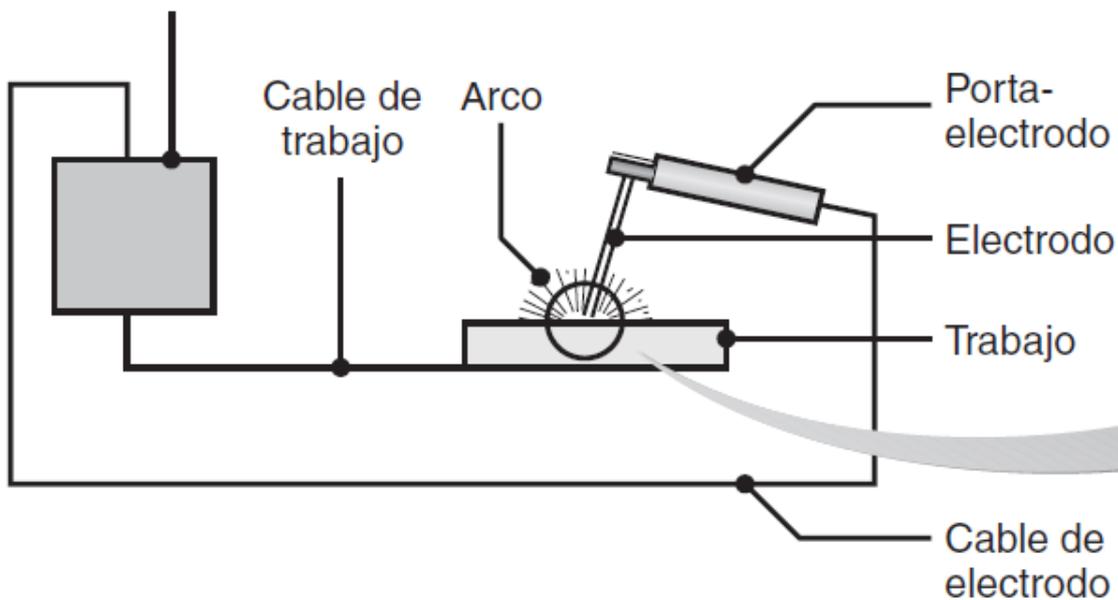
- ✓ Fuente de Corriente Alterna (AC) y Corriente Continua (DC) que suministran corriente eléctrica.
- ✓ Cables de soldadura.
- ✓ Portaelectrodo.
- ✓ Pinza de masa o tierra.
- ✓ Electrodo.
- ✓ Pieza de trabajo.

A partir de ello se puede expresar en la figura 4.

#### Figura 4

*Diagrama del circuito del proceso SMAW*

Máquina soldadora de CA o CD,  
fuente de potencia y controles



*Fuente: Hernández, G (2010) Diagrama del circuito del proceso SMAW*

El proceso SMAW es también llamado comúnmente con el nombre de Stick Welding y es uno de los procesos más utilizados en la carpintería metálica como también en las industria aeronáutica, estructural, minera y naval debido a que:

- ✓ Es el más económico porque, los equipos de soldadura y los electrodos son más baratos a diferencia de los otros procesos por arco eléctrico.
- ✓ Actualmente existe una gama de equipos portátiles de soldadura sumamente ligeros, lo cual favorece al proceso poder transportar el equipo de soldadura a cualquier lugar y también poder ingresar a lugares de difícil acceso.
- ✓ Se pueden soldar todo tipo de espesores.
- ✓ Es aplicable para todos los metales y aleaciones.

#### ***2.2.6. Variables del proceso***

Tomando interés a muchas de las variables de este proceso, las más importantes están comprendidas en: Diámetro del electrodo, corriente de soldadura, longitud de arco, velocidad de desplazamiento, posición de soldeo.

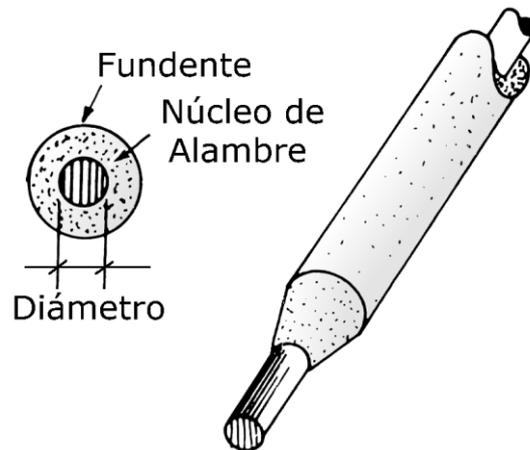
Estas variables influyen significativamente antes, durante y después de la operación de soldeo y se describen de la siguiente manera:

##### ***2.2.6.1. Diámetro del electrodo***

En la industria de la soldadura se fabrican y utilizan diferentes diámetros de electrodos. El diámetro del electrodo también se le conoce como alma metálica. El diámetro correcto es aquel que usando un amperaje y velocidad de desplazamiento moderados producen una soldadura de buena apariencia. El diámetro a usar depende del espesor del material, como también de la posición de soldeo y el tipo de junta. Tal y como se muestra en la figura 5.

## Figura 5

### *Diámetro del electrodo revestido*



*Fuente: Rodríguez, P. (2001) Diámetro del electrodo revestido*

### **2.2.6.2. Corriente de soldadura**

En el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido se usa corriente alterna (AC) como también corriente continua o directa (DC), usándose siempre el electrodo correcto de acuerdo a las condiciones de trabajo. La corriente que ofrece mejores características de operación y un arco más estable es la corriente continua.

El uso de un amperaje alto hará que el material base se sobrecaliente y sufra fatiga térmica, y el uso de un amperaje bajo hará dificultoso el encendido del arco como también producirá una costura de bajas condiciones mecánicas. Los electrodos de diámetro pequeño usan bajo amperaje y los electrodos de diámetro mayor usan altos amperajes.

### **2.2.6.3. Longitud de arco**

Como se menciona en la AWS A3.0 (2020) Arc Length “Es la separación que existe entre la punta del electrodo y la superficie adyacente del baño de fusión” (p.13). Durante la soldadura esta distancia de arco debe mantenerse constante desde el inicio hasta el final de la soldadura. En la práctica se utilizan tres tipos de longitudes de arco: Arco largo, arco normal y arco corto.

**Arco normal:** Es cuando  $B = D$ . Donde B es la distancia de arco y D es el diámetro del electrodo. Esta distancia de arco suele ser usada cuando el soldador tiene poca experiencia en el campo de la soldadura (Saavedra, 2014).

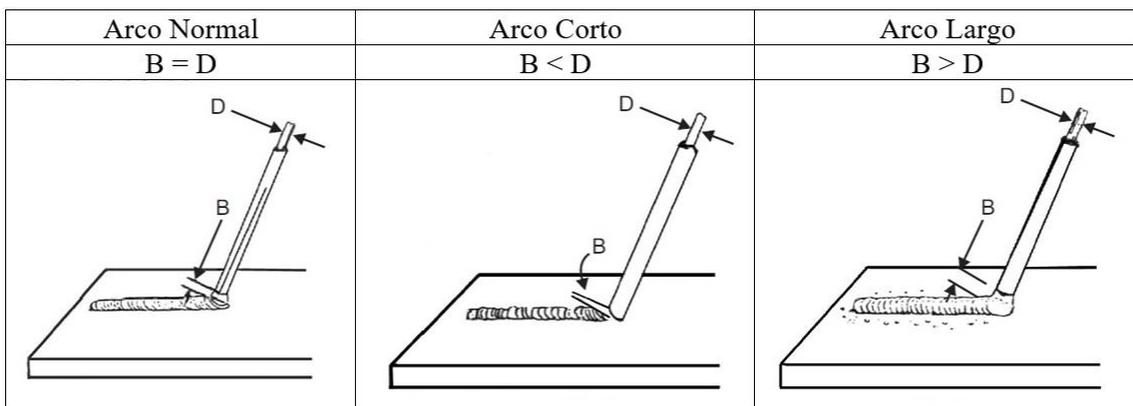
**Arco corto:** Es cuando  $B < D$ . Esta distancia de arco se usa para soldar con electrodos de bajo hidrogeno y es empleada por soldadores de más experiencia (Saavedra, 2014).

**Arco largo:** Es cuando  $B > D$ . El uso de esta distancia de arco no es recomendable para realizar cordones de soldadura, ya que se obtienen costuras con proyecciones y sus resultados son totalmente deficientes (Saavedra, 2014).

De acuerdo a ello se puede apreciar la figura 6.

**Figura 6**

*Tipos de longitudes de arco*



*Fuente: Saavedra, J. (2014) Tipos de longitudes de arco*

Además, si la distancia de arco es muy alta la punta del electrodo se fundirá produciéndose un cordón irregular con bastante presencia de salpicaduras.

#### **2.2.6.4. Velocidad de desplazamiento**

Es la rapidez en la que desplazamos el electrodo durante la fusión. Para obtener un cordón uniforme se debe usar una velocidad constante. Si la velocidad de desplazamiento es excesiva, la costura obtenida tendrá un aspecto delgado y muy débil, y si es muy lenta la costura obtenida tendrá un aspecto muy sobrecargado.

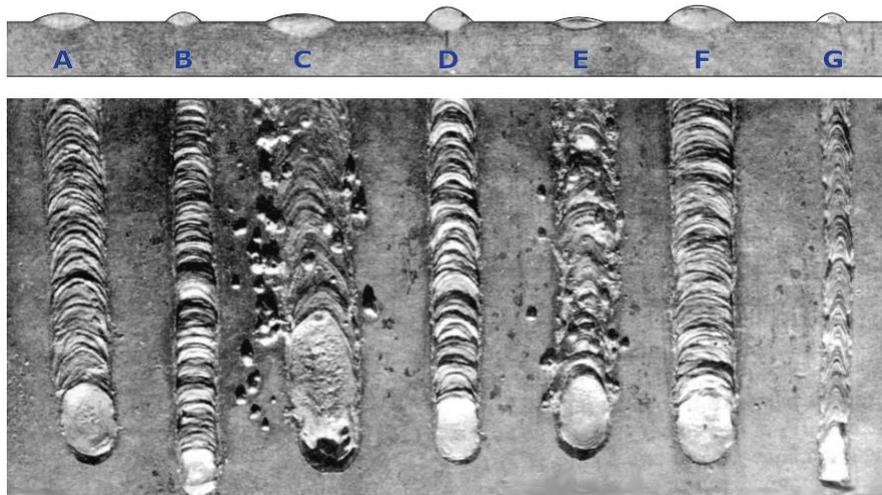
### 2.2.6.5. Posición de soldeo

La posición de soldeo está íntimamente relacionada con la corriente de soldadura. Para obtener buenas características de soldeo en las soldaduras de posición vertical y sobrecabeza se debe usar la corriente continua.

La experiencia de un soldador está definida desde que regula el amperaje, en como enciende el arco de soldadura, en como mantiene su distancia de arco, en como controla su velocidad de desplazamiento, en cómo se acomoda de acuerdo a la posición de soldeo y una vez culminada la soldadura se observa el resultado de su apariencia tal como se visualiza en la figura 7.

#### Figura 7

*Apariencia de cordones con diferentes parámetros de soldadura*



*Fuente: Rodríguez, P. (2001) Apariencia de cordones con diferentes parámetros de soldadura*

**Nota:** La figura representa diferentes cordones de soldadura utilizándose diferentes parámetros de soldeo:

- A. Soldadura con buen amperaje, buen voltaje y buena velocidad de desplazamiento.
- B. Soldadura con muy bajo amperaje.
- C. Soldadura con muy alto amperaje.
- D. Soldadura con muy bajo voltaje.

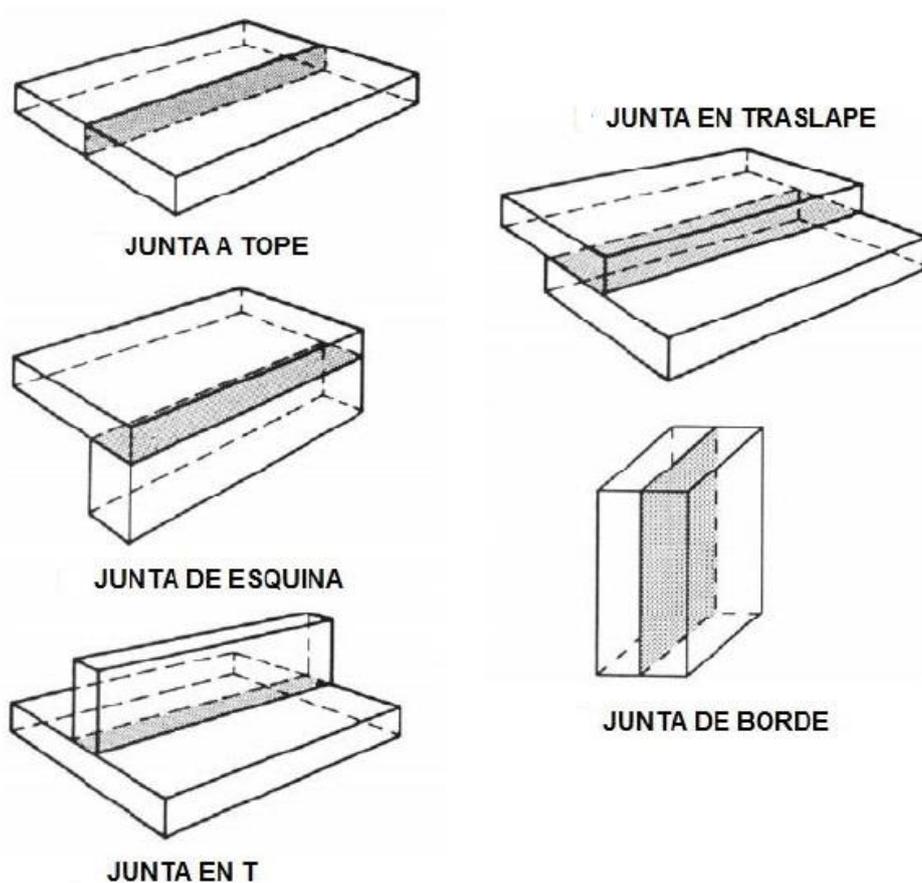
- E. Soldadura con muy alto voltaje.
- F. Soldadura con velocidad de desplazamiento muy lento.
- G. Soldadura con velocidad de desplazamiento muy rápido.

### 2.2.7. Tipos de juntas

Según la norma AWS A3.0 existen cinco juntas básicas usadas en la soldadura de metales, ello se puede visualizar en la figura 8.

**Figura 8**

*Tipos de Junta*



*Fuente: AWS A3.0 (2001) Tipos de junta*

MANUAL SOLDEXA (2018) afirma que “Una junta es la parte a rellenar del metal base, situada entre dos o más planchas, que tienen los bordes convenientemente preparados”.

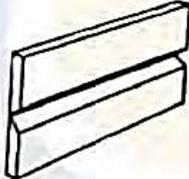
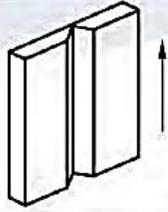
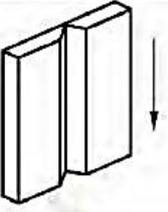
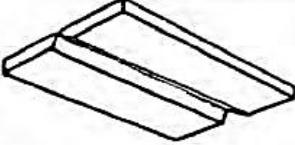
El fin de la junta ya preparada asegura la penetración completa de la soldadura y a la misma vez facilitar la operación de soldeo obteniéndose uniones de excelente calidad.

### 2.2.8. Posiciones de soldadura

Las posiciones de soldeo son básicamente las disposiciones en que se presenta las juntas y las piezas a soldar en el área de trabajo. Existe una gran variedad de tipos de juntas como también de posiciones de soldeo, así como se aprecia en la figura 9.

**Figura 9**

*Posiciones de soldadura en chapas a tope*

Soldaduras de chapas a tope			
Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0.		
PA	1G	Chapa horizontal. Soldadura plana.	
PC	2G	Chapa vertical Soldadura en cornisa	
PF	3G ascendente	Chapa vertical Soldadura vertical ascendente	
PG	3G descendente	Chapa vertical Soldadura vertical descendente	
PE	4G	Chapa horizontal Soldadura bajo techo	

*Fuente: CESOL (2014) Posiciones de soldadura en chapas a tope*

### 2.2.9. Descripción del electrodo

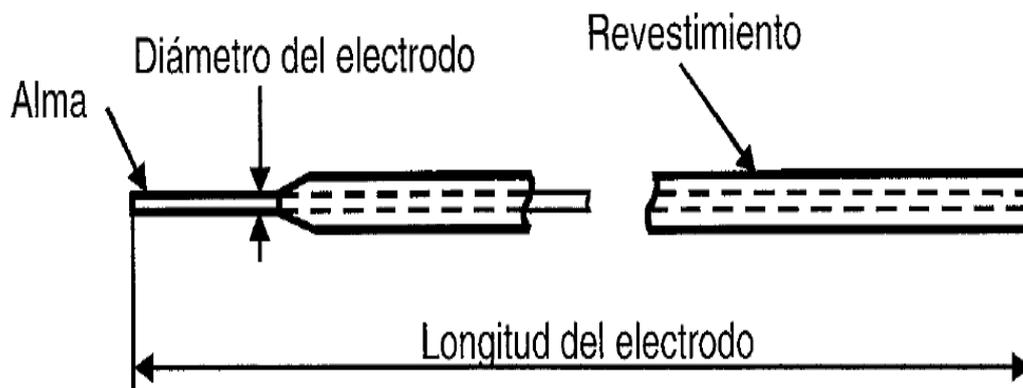
Es el que establece el arco y que al transferirse en forma de gotas forma el depósito de soldadura. Sus partes están comprendidas en: Núcleo metálico y revestimiento.

**Núcleo metálico o alma:** El núcleo metálico tiene una composición química definida para cada metal al que es destinado. Entre sus componentes están el Hierro, Carbono, Manganeso, entre otros, los cuales le proporcionan diferentes propiedades a la junta soldada.

**Revestimiento:** El revestimiento de los electrodos es un recubrimiento que envuelve el núcleo del electrodo y está formado por materias primas que tienen una composición química definida la cual es caracterizada en diferentes tipos de electrodos. De acuerdo a ello se puede apreciar sus partes en la figura 10.

**Figura 10**

*Partes del electrodo revestido*



*Fuente: Hernández, G. (2010) Partes del electrodo revestido*

Los electrodos revestidos tienen longitudes normalizadas en función al diámetro del electrodo. Por un extremo, el alma esta sin recubrimiento, esto con el fin de poder sujetarse a un portaelectrodo. Los diámetros de los electrodos también están normalizados.

Estos diámetros y longitudes se encuentran mencionados por la AWS A5.02 (2007) Especificación para tamaños estandarizados de metales de aporte, embalaje y atributos físicos.

Así como se muestra en la siguiente Tabla 2.

**Tabla 2***Tamaños y longitudes de los electrodos revestidos*

<b>Tamaños y Longitudes Estándar de Electrodo Revestidos</b>			
<b>Diámetro del Núcleo</b>		<b>Longitud Estándar <sup>a, b</sup></b>	
A5.1 (in)	A5.1M <sup>c</sup> (mm)	A5.1 (in)	A5.1M (mm)
1/16	1.6	9	230
5/64	2.0	9 o 12	230 o 300
3/32	-	12 o 14	-
-	2.5	-	300 o 350
1/8	3.2	14	350
5/32	4.0	14 o 18	350 o 450
3/16	-	14 o 18	-
-	5.0	-	350 o 450
7/32	-	14 o 18 o 28	-
-	6.0	-	350 o 450 o 700
1/4	-	18 – 28	-
5/16	8.0	18 – 28	450 o 700

*Nota:*

- ✓ *Las longitudes distintas a estas serán concertadas entre el cliente y el proveedor.*
- ✓ *En todos los casos, los electrodos de agarre final son estándar.*
- ✓ *El diámetro del núcleo no debe variar más de  $\pm 0,002$  pulg. [0,05 mm] del diámetro especificado, y la longitud no debe variar más de  $\pm 1/4$  en [10 mm] de lo especificado.*

*Fuente: AWS A5.1/A5.1M, (2012).***2.2.9.1. Funciones del revestimiento**

El electrodo revestido proporciona el metal depositado y la facultad de proteger dicho metal y el metal de soldadura. Esta capacidad parte de las funciones que son propias del revestimiento de los electrodos. De acuerdo al Manual ESAB (2007, p.10) las funciones del revestimiento son:

- ✓ Permitir el encendido del arco y mantener su estabilidad.
- ✓ Asegurar una buena transferencia del metal de aporte hacia el metal base.
- ✓ Proveer una atmosfera protectora que evitan el acceso de gases del aire.
- ✓ Aportar elementos que equilibran los proceso físico-químicos del arco.

- ✓ Aportar elementos de aleación que otorguen excelentes características metalúrgicas.
- ✓ Producir una capa de escoria que cubra al metal fundido, evitando su enfriamiento brusco.

Las funciones del revestimiento de acuerdo a su destreza se pueden dividir en tres:

- ✓ Función eléctrica.
- ✓ Función metalúrgica.
- ✓ Función mecánica.

#### ***2.2.9.1.1. Función eléctrica***

Una de las funciones eléctricas del revestimiento es que permite el uso de la corriente alterna ya que dicha corriente alterna cambia de polaridad 120 veces por segundo, creando inestabilidad durante el soldeo. De esta manera es que se añaden elementos al revestimiento que al quemarse mantienen intacto el arco eléctrico y a la vez producen gases que cubren el baño de fusión como agente protector.

Por otro lado, los elementos añadidos en el revestimiento también otorgan la facilidad a los electrodos de poder ser usados con ambos tipos de corriente (AC y DC). Por lo tanto, la composición del revestimiento determina la acción eléctrica, el tipo de corriente y la polaridad en corriente continua.

#### ***2.2.9.1.2. Función metalúrgica***

El revestimiento dispone de elementos que se disuelven en el metal fundido con el objeto de mejorar las características mecánicas del metal depositado, adicionalmente brinda las siguientes características:

**Protección gaseosa:** Existen componentes dentro del revestimiento que por encenderse el arco eléctrico forman una atmósfera gaseosa que protege el charco de soldadura de elementos del aire.

**Formación de escoria:** El papel metalúrgico de las escorias es absorber todas las impurezas que se forman durante el soldeo, estas se elevan a la superficie solidificándose; otra función es equilibrar la temperatura de enfriamiento mientras el cordón empieza a solidificarse.

**Aporte de elementos de aleación:** La finalidad de los elementos aleantes es otorgar propiedades y características al metal depositado, como también, compensar la pérdida de elementos que se evaporaron. En muchas ocasiones estos elementos de aleación optimizan el metal depositado otorgándole cualidades superiores a las del metal base.

### ***2.2.9.1.3. Función mecánica***

El revestimiento del electrodo influye en la facilidad de operación de la soldadura. Por medio de la composición del revestimiento es posible:

**Influir sobre la forma del depósito del electrodo:** Cuando se usan electrodos desnudos se forman depósitos de gran sobremonta, es por ello que el revestimiento reduce la altura de esta sobremonta e influye sobre las dimensiones del cordón.

**Influir sobre la penetración:** El revestimiento está íntimamente ligado en la formación del cráter de soldadura ya que tienen un recubrimiento que puede generar un flujo gaseoso tan intenso que llega a escarbar el metal base, es por ello que la punta del electrodo se ahueca; por lo tanto, por la alta concentración del flujo de gases que se dirigen al metal base se produce la gran penetración.

**Hacer posible la soldadura en toda posición:** Cada posición de soldadura está relacionado con un tipo de revestimiento, el cual provoca un modo de transferencia del metal fundido y así ser apto para una posición de soldadura.

## ***2.2.9.2. Clasificación de electrodos revestidos según el tipo de revestimiento***

### ***2.2.9.2.1. Composición química del revestimiento del electrodo***

El revestimiento del electrodo está constituido por diferentes elementos que proporcionan ciertos efectos que favorecen a la unión soldada.

Por la función que desempeñan dichos elementos, podemos clasificarlos en cuatro grupos:

**Elementos o materiales ionizantes:** Que facilitan el encendido, el mantenimiento del arco y permiten que éste arda establemente.

**Elementos generadores de gases protectores:** Que ardiendo producen una atmósfera de gases protectores del arco (principalmente de CO<sub>2</sub>).

**Elementos productores de escoria:** Que protegen al metal fundido del ingreso de gases del aire durante la solidificación, mediante una capa de escoria que también evita un enfriamiento no deseado.

**Elementos de aleación:** Que al mezclarse con el metal fundido forman componentes de aleación que actúan como desoxidantes y desnitruradores para mejorar la calidad de la soldadura.

También acrecienta y mejora las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, ductilidad, etc. Con la incorporación de estos elementos.

Siguiendo la información, estos elementos, se exponen en la tabla 3.

**Tabla 3***Elementos del revestimiento*

<b>Materias Primas</b>	<b>Función Principal</b>	<b>Función Secundaria</b>
<b>Minerales</b>		
	Agente oxidante	
Óxido de Hierro	Da características de acidez al revestimiento	Estabiliza el arco
Rutilo (TiO <sub>2</sub> )	Forma escoria – Estabiliza el arco	-
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	Forma escoria	-
<b>Fundentes</b>		
Fluorita	Fluidifica escoria – Da basicidad	-
Caolín	Forma escoria	Estabiliza el arco – Da resistencia al revestimiento
Talco	Forma escoria	-
Feldespato	Forma escoria	-
Amianto	Estabiliza arco – Forma escoria – Aglomera	-
Silicato de Potasio	Forma escoria – Aglomera	Estabiliza el arco
Calcita (CO <sub>3</sub> Ca)	Da protección gaseosa – Estabiliza el arco	Da basicidad a la escoria – Agente oxidante
Magnesita (CO <sub>3</sub> Mg)	Da protección gaseosa – Estabiliza el arco	Da basicidad a la escoria
Dolomita (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mg	Da protección gaseosa	Da basicidad a la escoria
<b>MATERIAS ORGÁNICAS</b>		
Celulosa	Da protección gaseosa	Reductor – Da resistencia al revestimiento
<b>Metales</b>		
Ferromanganeso	Repone Mn al baño de fusión	-
Polvo de Hierro	Aumenta el rendimiento	-
Ferroaleaciones y no ferrosos	Aportan elementos de aleación	-

*Fuente: MANUAL SOLDEXA, (2018).*

### **2.2.9.2.2. Clasificación de electrodos**

En función de la composición del revestimiento, los electrodos se clasifican en cuatro grupos: celulósicos, rutilicos, de hierro en polvo y básicos o de bajo hidrógeno.

**Electrodos celulósicos:** Son electrodos de penetración profunda. Saavedra (2014) afirma que “El revestimiento de estos electrodos son de naturaleza celulósica” (p.82).

Al momento de encender y al mantener el arco, la celulosa del revestimiento se descompone formando gran cantidad de gases, buscando una salida rápida por la punta del electrodo y produciendo un efecto de chorro.

La fuerza de los gases llega a excavar el material caliente, permitiendo que la mezcla fundida del metal base y del electrodo tenga una mayor profundidad, de esta manera es como se comprende la relación del efecto de la celulosa con la penetración profunda. Dentro del grupo de electrodos con revestimiento celulósico tenemos:

- ✓ AWS E6010
- ✓ AWS E6011
- ✓ AWS E7010-A1

**Electrodos rútilicos:** La base de su revestimiento es de Rutilo  $\text{TiO}_2$ . Saavedra (2014) afirma que “Los electrodos rútilicos tienen un encendido fácil y estabilidad del arco durante la soldadura” (p.79). La penetración obtenida con estos electrodos es mediana. Esta cualidad es importante cuando se sueldan perfiles de espesores delgados. Su escoria es liviana y de fácil desprendimiento.

Dentro del grupo de electrodos con revestimiento rútilico tenemos:

- ✓ AWS E6012
- ✓ AWS E6013

**Electrodos de hierro en polvo:** Saavedra (2014) afirma que “Su revestimiento posee una cantidad de hierro finamente pulverizado” (p.79). Con estos electrodos, un tercio de metal depositado proviene del revestimiento y dos tercios, del núcleo metálico.

Dentro del grupo de electrodos con revestimiento de hierro en polvo tenemos:

- ✓ AWS E7024
- ✓ AWS E6027

**Electrodos básicos o de bajo hidrógeno:** Son electrodos para realizar pases de relleno y acabado. Debido al agrietamiento por el Hidrógeno del aire o el Hidrógeno proveniente del revestimiento es que se fabrican electrodos con muy bajo contenido de Hidrógeno, los cuales confieren al metal depositado propiedades mecánicas superiores a las de los otros tipos de electrodos, utilizándose para la soldadura de aceros con un alto compromiso estructural.

Dentro del grupo de electrodos con revestimiento de bajo Hidrógeno tenemos:

- ✓ AWS E7016
- ✓ AWS E7018
- ✓ AWS E9016-B3
- ✓ AWS E8018-C3
- ✓ AWS E11018-G

### ***2.2.9.3. Clasificación de los electrodos revestidos según la Sociedad Americana de Soldadura (AWS)***

Por sus siglas en inglés, la American Welding Society o también conocida como Sociedad Americana de Soldadura es una asociación fundada en 1919, cuyo principal propósito es facilitar el desarrollo de todos los procesos de soldadura. Su importancia es tal, que sus certificaciones y códigos estructurales para la construcción e infraestructura de soldadura, sean reconocidos y utilizados en prácticamente todos los países, pues se ha comprobado que proveen de un balance entre eficiencia y calidad, un equilibrio que apoya el crecimiento de la infraestructura industrial, la seguridad y la calidad. Un enfoque de la AWS es certificar y formar profesionales de la Soldadura, como también especificar materiales y términos, dándonos los parámetros para contar con el mejor enfoque en aseguramiento de calidad y el mantenimiento de la productividad en la soldadura.

### 2.2.9.3.1. Especificaciones para materiales de aporte según la AWS

Los electrodos empleados en el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido, se utilizan las siguientes especificaciones AWS; estas se exponen enumeradamente en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Especificaciones de materiales de aporte para el proceso SMAW*

<b>Especificación AWS</b>	<b>Aplicación</b>
AWS A5.1	Para Electrodos de Acero al Carbono
AWS A5.3	Para Electrodos de Aluminio y sus Aleaciones
AWS A5.4	Para Electrodos de Acero Inoxidable (Cromo-Níquel)
AWS A5.5	Para Electrodos de Acero de Baja Aleación
AWS A5.6	Para Electrodos de Cobre y sus Aleaciones
AWS A5.11	Para Electrodos de Níquel y sus Aleaciones
AWS A5.13	Para Electrodos Sólidos para Revestimientos Superficiales
AWS A5.15	Para Electrodos de Hierro Colado
AWS A5.21	Para Electrodos Compuestos para Revestimientos Superficiales

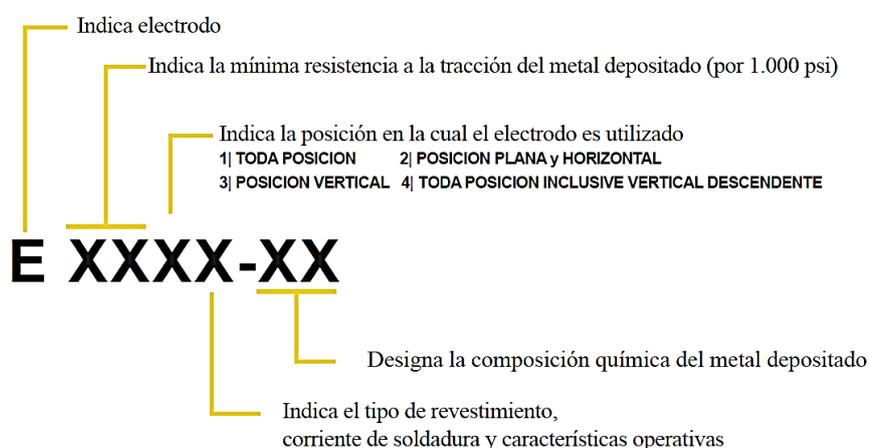
*Fuente: Curso Inspección de Soldadura AWS, 2007.*

### 2.2.9.3.2. Electrodos para aceros al carbono

La AWS tiene un sistema para clasificar e identificar los electrodos revestidos para acero al Carbono, aceros aleados, hierro fundido, entre otros; este sistema se presenta en la figura 11.

**Figura 11**

*Clasificación de electrodos según AWS A5.1*



*Nota: Manual ESAB, (2018).*

- a) La Letra “E” designa al Electrodo en sí, para un proceso de Soldadura.
- b) Los 02 primeros dígitos: Indican la resistencia mínima a la tracción, así como se muestra en la Tabla 5.
- c) El tercer dígito, en un numero de 4 dígitos, o 3 dígitos en un numero de 5 dígitos: Indica la posición de soldadura que puede usarse; plana, horizontal, vertical y sobrecabeza, así como se aprecia en la Tabla 6.
- d) El último dígito: Indica el tipo de corriente eléctrica y tipo de polaridad en la que mejor trabaja el electrodo, a su vez se identifica el tipo de revestimiento.
- e) *En el sufijo (Ejemplo EXXXX-A1) se indica el porcentaje aproximado de aleación en el depósito de soldadura y se muestran en la Tabla 7.*

**Tabla 5**

*Designación de los dígitos de los electrodos*

<b>Electrodo</b>	<b>Primeros Dígitos (2 o 3)</b>	<b>Resistencia a la Tracción</b>	<b>Unidades</b>
E	<b>60XX</b>	62 000	lbs/pulg <sup>2</sup> mínimo
E	<b>70XX</b>	72 000	lbs/pulg <sup>2</sup> mínimo
E	<b>110XX</b>	110 000	lbs/pulg <sup>2</sup> mínimo

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Tabla 6**

*Posición de soldeo y tipo de corriente*

<b>Clasificación AWS</b>	<b>Posición de Soldero según AWS</b>	<b>Corriente Eléctrica y Polaridad</b>	<b>Tipo de Revestimiento</b>
<b>E6010</b> <b>E6011</b>	F, H, V, OH	CC (+) CA o CC (+)	Alta Celulosa, Sodio Alta Celulosa, Potasio
<b>E6012</b> <b>E6013</b>	F, H, V, OH	CA, CC (-) CA, CC (+) o CC (-)	Alto Titanio, Sodio Alto Titanio, Potasio
<b>E7016</b> <b>E7018</b>	F, H, V, OH	CA o CC (+) CA o CC (+)	Bajo Hidrógeno, Potasio Bajo Hidrógeno, Potasio y Hierro en Polvo
<b>E7018M</b>	F, H, V, OH	CC (+)	Bajo Hidrógeno, Hierro en Polvo
<b>E7048</b>	F, H, V, OH V- Descendente	CA o CC (+)	Bajo Hidrógeno, Potasio, Hierro en Polvo

*Fuente: MANUAL SOLDEXA, 2018*

Nota: Las posiciones de soldeo según las especificaciones AWS, son:

- ✓ F: Plana
- ✓ H: Horizontal
- ✓ V: Vertical (Ascendente o Descendente)
- ✓ OH: Sobrecabeza

**Tabla 7**

*Designación del último dígito de los electrodos*

<b>Designación del Último par de Dígitos de la Especificación AWS A5.5</b>	
<b>Grupo Identificativo</b>	<b>Composición de la Aleación de Aporte</b>
A1	0.5% Molibdeno
B1	0.5% Cromo y 0.5% Molibdeno
B2	1.25% Cromo y 0.5% Molibdeno
B3	2.25% Cromo y 1% Molibdeno
B4	2% Cromo y 0.5% Molibdeno
B5	0.5% Cromo y 1% Molibdeno
C1	2.5% Níquel
C2	3.25% Níquel
C3	1% Níquel; 0.35% Molibdeno y 0.15% Cromo
D1	0.25-0.45% Molibdeno y 1.25-1.33% Manganeso
D2	0.25-0.45% Molibdeno y 1.65-2.00% Manganeso
G	≤0.5% Ni; ≤0.3% Cr; ≤0.2% Mo; ≤0.1% V; ≤1% Mn

*Fuente: Segovia (2012)*

#### **2.2.9.4. Almacenamiento, manejo y resecado de electrodos**

El revestimiento de los electrodos pueden llegar a ser frágiles del modo como se manipulen, si se emplean electrodos con el revestimiento agrietado o desprendido, la protección del baño de fusión no será perfecta.

Este tipo de electrodo absorbe y retiene la humedad con gran facilidad en su revestimiento, ósea son higroscópicos. Si se utilizan electrodos húmedos estos pueden producir poros a lo largo de la junta, además de grietas en frío. Si estos electrodos han permanecido expuestos a la humedad del ambiente durante algún tiempo, deben de ser resecados en una estufa.

### 2.2.9.5. Electrodo E7018

Los electrodos E7018, son electrodos cuyo revestimiento contiene bajo contenido de Hidrógeno y 30% de Hierro pulverizado. Estos electrodos sueldan con corriente alterna (AC) o corriente continua (CC) en polaridad invertida.

La clasificación dada por la AWS para los electrodos revestidos se aprecia en la parte A de la especificación AWS A5.1. Para el electrodo E7018, la especificación establece clasificarlo por el tipo de corriente de soldadura, el tipo de revestimiento y la posición de soldeo, así como se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Características del electrodo E7018*

<b>Electrodo Revestido E7018</b>	
Tipo de Revestimiento	Bajo Hidrógeno, Potasio, Hierro en Polvo.
Posición de Soldadura	Plana (F), Horizontal (H), Vertical (V), Sobrecabeza (OH).
Corriente de Soldadura	AC o DC-EP

*Fuente: AWS A5.1/A5.1M, 2012.*

Las propiedades mecánicas como elongación adicional, la resistencia a la tracción, absorción de humedad e Hidrogeno difusible para el electrodo E7018 se aprecian en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Propiedades mecánicas del electrodo E7018*

<b>Propiedad Mecánica</b>	<b>Valor</b>
Prueba de Tracción - Porcentaje de Elongación en longitud de 4 diámetros.	22%
Energía Absorbida (mínima) – Prueba de Impacto Charpy. Para 3 de 5 Probetas.	Promedio: 27J a -45°C Único Valor: 20J a -45°C
Límite de Contenido de Humedad (máximo) para electrodo.	Como recibido o condicionado: 0.3% Como expuesto: 0.4%
Contenido de Hidrógeno difusible para Soldadura (máximo).	8ml/100g de metal deposita

*Fuente: AWS A5.1/A5.1M, 2012.*

### **2.2.10. Código de soldadura estructural AWS D1.1/D1.1M (2020)**

Los proyectos de gran envergadura en los que se aplica soldadura, desde un oleoducto a la fabricación de sillas o bicicletas, poseen un denominador común, este es el código, norma o especificación que se debe cumplir para el cálculo, diseño, criterios de aceptación o rechazo de las uniones soldadas.

En el Perú se aplican códigos, normas y especificaciones emanados por organismos reconocidos en Estados Unidos para el uso en proyectos de fabricación o reparación que, al ser establecidos como criterios contractuales, se hacen obligatorios tanto para el fabricante como para el interventor.

La Sociedad Americana de Soldadura es una organización sin fines de lucro dedicada al avance de la ciencia, la tecnología y la aplicación de soldadura. Esta organización se ha preocupado por establecer normas y/o códigos específicos para soldadura, las mismas que han sido ampliamente aceptadas a nivel mundial. Los códigos de soldadura de la AWS más empleados son:

- ✓ AWS D1.1 Código de Soldadura Estructural - Acero
- ✓ AWS D1.2 Código de Soldadura Estructural - Aluminio
- ✓ AWS D1.3 Código de Soldadura Estructural - Láminas
- ✓ AWS D1.4 Código de Soldadura Estructural -Acero de Refuerzo
- ✓ AWS D1.5 Código de Soldadura de Puentes
- ✓ AWS D1.6 Código de Soldadura Estructural – Acero Inoxidable

El Código de Soldadura Estructural AWS D1.1/D1.1M (2020), es un estándar que establece requerimientos mínimos y aceptables para:

- ✓ El diseño.
- ✓ Calificación de procedimientos de soldadura y del personal soldador.
- ✓ Construcción.
- ✓ Inspección.
- ✓ Reparación y refuerzo de estructuras soldadas de aceros al Carbono y aceros de baja aleación.

Este código consta de once secciones, las cuales constituyen un conjunto de reglas para la regulación de las soldaduras en las construcciones de acero. Las secciones se muestran a continuación:

- ✓ Sección 1. Requisitos generales.
- ✓ Sección 2. Referencias normativas.
- ✓ Sección 3. Términos y definiciones.
- ✓ Sección 4. Diseño de conexiones soldadas.
- ✓ Sección 5. Precalificación de la WPS.
- ✓ Sección 6. Calificación.
- ✓ Sección 7. Fabricación.
- ✓ Sección 8. Inspección.
- ✓ Sección 9. Soldadura de pernos.
- ✓ Sección 10. Estructuras tubulares.
- ✓ Sección 11. Refuerzo y reparación de estructuras existentes.

#### ***2.2.10.1. Sección 6: Calificación***

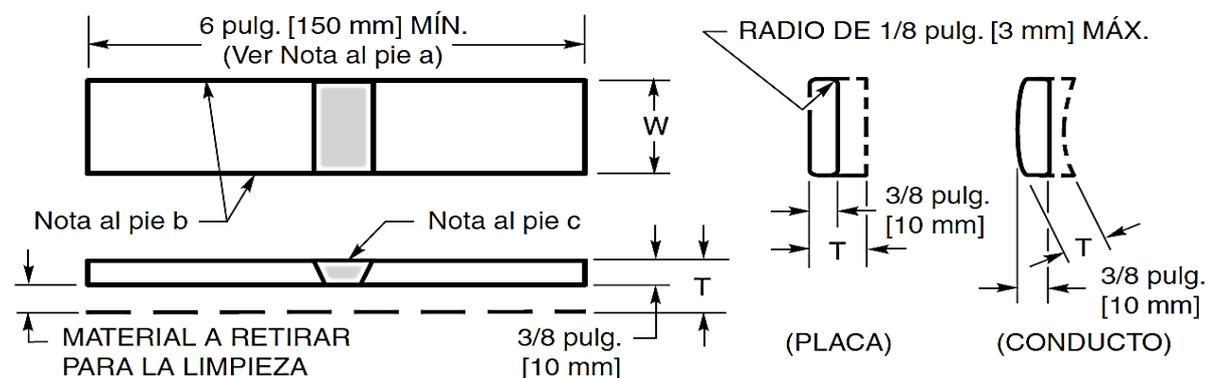
Dentro de los requisitos comunes para la Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) y la calificación de la habilidad del personal de soldadura, se encuentran, las posiciones de calificación de soldadura en ranura, los tipos de ensayos de calificación, requisitos de

aceptación para la inspección visual, preparación de probetas para ensayo de doblado y sus criterios para su aceptación.

En cuanto a los ensayos mecánicos, para el ensayo de doblado de cara y raíz, las probetas deben prepararse de acuerdo como se aprecia en la figura 6.8 del código, o como se aprecia en la siguiente figura 12.

### Figura 12

*Probeta de doblado de cara y raíz*



*Fuente: AWS D1.1/D1.1M, 2020.*

En cuanto a los criterios de aceptación para el ensayo de doblado, según como se menciona en el punto 6.10.3.3 del código.

### 2.2.11. Metalurgia de la soldadura

En la práctica de la soldadura, el material de aporte se consume lentamente a lo largo del metal base produciéndose importantes variaciones de temperaturas pico, y a la vez conduciendo a cambios microestructurales que afectan sus características. Chávez (2013) afirma que “la metalurgia de la soldadura concierne a los distintos cambios que ocurren en los metales cuando se unen por soldadura, especialmente aquellos cambios que afectan a las propiedades mecánicas” (p.12). Por lo tanto, es importante tener conocimiento acerca de los efectos producidos por el calor de la soldadura.

### **2.2.11.1. Zonas metalúrgicas de la soldadura**

Durante la soldadura, el calor aportado interactúa con el metal base y mientras el cordón depositado se va solidificando y enfriando se podrá identificar tres zonas metalúrgicas distintas, estas son:

- ✓ Zona de Fusión (ZF).
- ✓ Zona Afectada por el Calor (ZAC)
- ✓ Metal Base (MB)

#### **2.2.11.1.1 Zona de Fusión (ZF)**

Es la zona donde se produce la fusión y posterior solidificación del material de aporte con el metal base. Según Pérez y Pullas (2009) “en la zona de fusión se puede apreciar tres regiones”, como se aprecia en la figura 13.

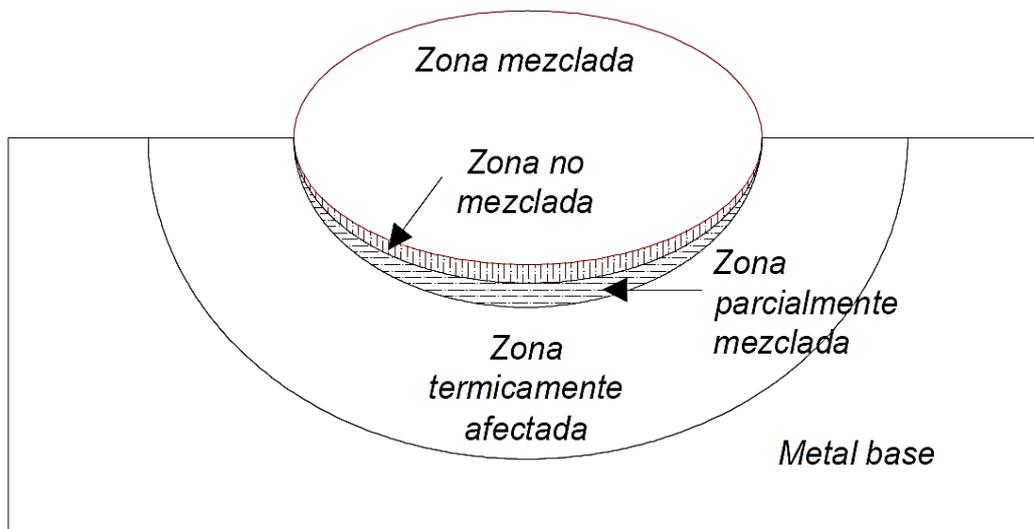
**Zona mezclada:** Es el producto de la mezcla del metal base con el metal de aporte, dicha zona engloba a todo el cordón de soldadura

**Zona no mezclada:** Es una zona muy estrecha que rodea a la zona mezclada. Esta consiste en una capa delgada adyacente a la línea de fusión que no se mezcla con el material de aporte, pero su composición es sustancialmente igual a la del material base.

**Zona parcialmente fundida:** Es una zona de transición entre la zona afectada por el calor y la zona de fusión.

### Figura 13

*Zona de fusión*



*Fuente: Pérez y Pullas (2009) Zona de fusión*

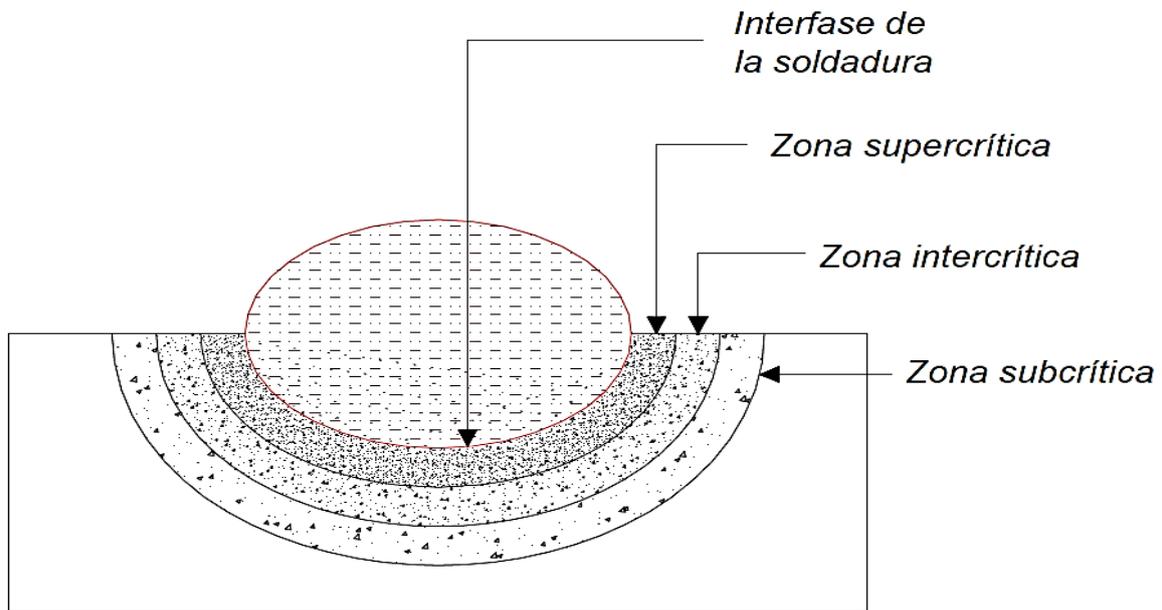
#### 2.2.11.1.2 Zona Afectada por el Calor (ZAC)

Es la región donde se experimenta temperaturas pico suficientemente altas para causar cambios microestructurales en el metal base debido a los ciclos de calentamiento y enfriamiento por el aporte térmico de la soldadura. Estos cambios microestructurales y cambios en sus propiedades mecánicas son propensos a desarrollar fisuración en frío o en caliente, por lo cual lleva a condiciones desfavorables. Es por ello que las propiedades mecánicas y metalúrgicas de la unión soldada están vinculadas con los parámetros de soldeo y los tratamientos térmicos aplicados en la soldadura. Por lo general, durante la práctica se requiere que la zona afectada por el calor sea estrecha.

Como se menciona en Pérez y Pullas (2009) “La zona ZAC puede ser dividido en tres zonas”, estas zonas son: Zona supercrítica, zona intercrítica y zona subcrítica y se pueden apreciar en la figura 14.

## Figura 14

*Zona afectada por el calor*



*Fuente: Pérez y Pullas (2009) Zona afectada por el calor*

### **2.2.11.1.3 Metal Base (MB)**

En esta región metálica, donde no ha ocurrido ningún cambio microestructural, pero por el aporte térmico de la soldadura puede producirse tensiones residuales, y a la vez contracciones en dirección longitudinal y transversal.

### **2.2.11.2. Ciclo térmico de la soldadura**

Desde un punto de vista metalúrgico, la cualidad física más importante en un proceso de soldeo por fusión es el comportamiento del metal base frente a los cambios térmicos, un ejemplo que podemos mencionar es el efecto del calor de la soldadura en el material base.

Los metales y aleaciones que son expuestos al calor, sufren cambios microestructurales durante su estado sólido, y estos a su vez provocan cambios en las propiedades mecánicas afectando el comportamiento mecánico de una estructura o una pieza mecánica.

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente el metal adyacente al cordón de soldadura esta generalmente expuesto a ciclos térmicos rápidos, esto es debido a diferentes

factores que influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura. Estos factores son los siguientes:

- a) Aporte de calor
- b) Temperatura inicial de la chapa
- c) Geometría de la soldadura
- d) Propiedades térmicas del material base
- e) Diámetro del electrodo

#### **2.2.11.2.1. Aporte de calor (Heat Input)**

Según Hernández (2010) “es el calor aportado para realizar la soldadura” (p.423), este aporte térmico depende de:

- ✓ La tensión e intensidad de soldeo
- ✓ La velocidad de soldeo
- ✓ La eficiencia térmica del proceso

Para los procesos de soldadura el Heat input se calcula con la siguiente fórmula:

$$H_{neto}(J/mm) = \frac{V \times A}{v} \times f = \frac{Tensión (V) \times Intensidad (A)}{Velocidad de Soldeo \left(\frac{mm}{seg}\right)} \times f \dots\dots\dots Ec.(1)$$

Donde:

**H<sub>neto</sub>** = Aporte de calor, en J/mm

**V** = Voltaje, en V

**A** = Amperaje

**v** = Velocidad de soldeo, en mm/s

**f** = Eficiencia térmica

Para el cálculo del aporte de calor se consideran los siguientes rendimientos de cada proceso como se ilustra en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Rendimiento térmico de los procesos de soldadura*

Proceso de Soldeo	Eficiencia (f)
SAW	0.9 – 1
FCAW	0.65 - 0.85
SMAW	0.7 – 0.8
GMAW	0.7 – 0.85
GTAW	0.2 – 0.5

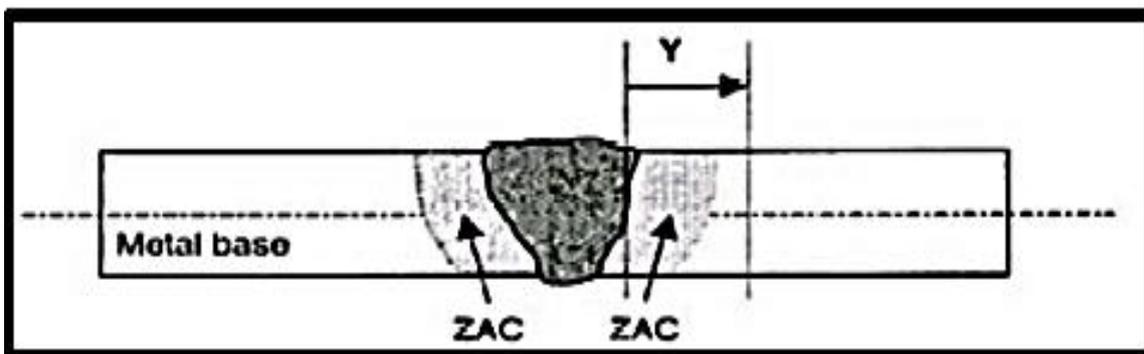
Fuente: Fosca, C (2004)

### 2.2.11.2.2. Ecuación de la temperatura máxima

Esta ecuación nos permite determinar la temperatura máxima en cada punto de la ZAC, como se observa en figura 15.

**Figura 15**

*Temperatura máxima de la ZAC a una distancia Y*



Fuente: [http://slideplayer.es/slide/851667\(s.f.\)](http://slideplayer.es/slide/851667(s.f.))

En dicho sentido la temperatura máxima en cualquier punto de la Zona Afectada por el Calor se determina mediante la ecuación 2.

$$\frac{1}{T_{max}-T_o} = \frac{4.13(\rho)(C)(Y)(t)}{H_{neto}} + \frac{1}{T_{fusión}-T_o} \dots\dots\dots Ec.(2)$$

Donde:

T<sub>max</sub> = Temperatura máxima (°C) a una distancia Y (mm) del extremo o contorno de metal fundido

T<sub>o</sub> = Temperatura inicial del material (°C)

T<sub>fusión</sub> = Temperatura de fusión (°C)

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

C = Calor específico del metal sólido (J/g. °C)

t = Espesor del material (mm)

H<sub>neto</sub> = Calor neto (J/mm)

Otra aplicación de la ecuación de la T<sub>máx.</sub> es la de la estimación del ancho de la ZAC, el cual se despeja la fórmula y aísla la variable Y, obteniéndose la ecuación del ancho de la ZAC (Y), como se visualiza en la ecuación 3.

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{T_{máx} - T_o} \right) - \left( \frac{1}{T_{fusión} - T_o} \right) \right] \times \left[ \frac{H_{neto}}{4.13 \times \rho \times C \times t} \right] \dots\dots\dots Ec.(3)$$

### **2.2.12. Soldabilidad**

La soldabilidad es una propiedad relacionada con la unión de metales, por ello, “la soldabilidad es la facilidad que presenta un metal para unirse por soldadura con otro de su misma naturaleza” (Rodriguez, 2010, pág. 46). La soldabilidad se puede evaluar desde una perspectiva constructiva, metalúrgica y operativa.

#### **2.2.12.1 Soldabilidad constructiva**

Se refiere a definir y estudiar el comportamiento de las uniones soldadas para evitar problemas provocados por la deformación y la tensión de la soldadura. De esta forma se consideran las condiciones que se deben cumplir para que la soldadura sea utilizada en la estructura dada.

#### **2.2.12.2 Soldabilidad metalúrgica**

Se refiere a los cambios microestructurales en la ZAC y a los cambios físicos y químicos en la unión soldada durante el proceso de soldadura. La soldabilidad metalúrgica determina qué

se puede soldar dos metales. Esta depende de la elección del material de aportación, fundente, temperatura de soldeo, tratamientos térmicos, que determinan en última instancia las características mecánicas y químicas de la unión (Rodríguez, 2010, pág. 46).

### **2.2.12.3. Soldabilidad operativa**

Está relacionada con la aleación del tipo de proceso de soldadura y los medios empleados para realizar la soldadura.

De igual modo, la soldabilidad está relacionada con el enlace de los átomos o moléculas que forman el material (Rodríguez, 2010. En el enlace metálico tiene elevada soldabilidad operativa.

En tal sentido, la soldabilidad operativa se refiere a la factibilidad de ejecutar el cordón y a la elección del proceso de soldadura.

### **2.2.13. Soldabilidad de los aceros al carbono**

El acero es básicamente una aleación de hierro, carbono y otros elementos. Siendo “el carbono uno de sus principales elementos químicos, que influye considerablemente sobre sus propiedades y características” (OERLIKON, 2001, Pág. 77). Los aceros obtienen sus propiedades específicamente de su contenido de carbono.

Según su porcentaje de carbono se clasifican en:

- ✓ Aceros de bajo carbono (0.05 – 0.30 %C)
- ✓ Aceros de mediano carbono (0.30 – 0.45 %C)
- ✓ Aceros de alto carbono (0.45 – 0.90 %C)
- ✓ Aceros de herramientas (0.90 – 1.50 %C)

Con relación a la composición química, el elemento más influyente es el carbono, la soldabilidad de un acero mejora mientras disminuye su CE. La influencia del carbono y de otros elementos se calcula a través del carbono equivalente (CE).

### 2.2.13.1. Carbono Equivalente

El carbono equivalente (CE) es el índice que relaciona la composición química del acero con su tendencia a obtener estructuras frágiles, siendo el carbono el elemento que más influye en la templabilidad. Por tanto, el CE es un método utilizado para analizar como los cambios afectan el comportamiento de material.

De acuerdo a la AWS D1.1(2015) el CE se calcula mediante la ecuación 4.

$$CE = C + \frac{Mn+Si}{6} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \dots\dots\dots Ec.(4)$$

El CE indica que cuanto más alto sea su valor, mayor será la dificultad para ser soldado. Por tanto, se puede clasificar genéricamente la soldabilidad de los aceros en función de su CE:

- ✓ Aceros con un CE <0.2 -0.3 % tienen buena soldabilidad.
- ✓ Aceros con un CE >0.4% tienen riesgo de fisuración en frío en la ZAC.

### 2.2.14. Transformaciones de Fase del Acero en la Soldadura

El hierro es el componente principal del acero, es un metal alotrópico, es decir, puede existir en más de una estructura cristalina dependiendo fundamentalmente de la temperatura (Avner, 1988). Existen tres clases de estructuras cristalinas: La cúbica centrada en el cuerpo (BCC), la cúbica centrada en la cara (FCC) y la hexagonal compacta (HC).

En ese sentido, las formas alotrópicas que presenta el hierro son:

- **Hierro  $\alpha$** : Aparece hasta los 768 °C. Su estructura cristalina es BCC.
- **Hierro  $\beta$** : Se encuentra entre 768 °C y 910 °C. Cristaliza en BCC.
- **Hierro  $\gamma$** : Se encuentra entre 910 °C y 1394 °C. Cristaliza en FCC.
- **Hierro  $\delta$** : Se cristaliza entre 1394 °C y 1538 °C en la estructura BCC



Por lo tanto, el hierro tiene mayor aplicación industrial cuando es aleado con el carbono y otros elementos. Es así que a partir del diagrama de la figura 16, según el porcentaje de carbono, se considera hierro puro con un contenido de carbono inferior al 0.03 %, acero cuando tiene un contenido de carbono por debajo del 2 % y superior al 0.03; y por último se llama fundición con un contenido superior de 2 % e inferior al 4 % (Apraiz, 1971).

Considerando que, la máxima proporción de carbono que se puede disolver el hierro es 6.67 % carburo de hierro, cementita (Avner, 1988).

Existen diferentes constituyentes en función de los componentes Fe - C y de la temperatura. Los más importantes son:

**Austenita:** Es una solución sólida de carbono en Fe $\gamma$ , puede contener de 0 a 2.11 % C, y es por lo tanto una constituyente de composición variable. Es poco magnética, blanda, muy dúctil y tenaz. Tiene una estructura FCC y comienza a formarse a 727 °C (Apraiz, 1971).

**Ferrita:** Es conocido como hierro alfa (Fe -  $\alpha$ ). Es dúctil, maleable, el más blando de todos los constituyentes del acero, es magnética. En la ferrita la disolución máxima es de 1.021 % de Carbono.

**Cementita:** Es carburo de Hierro (Fe<sub>3</sub>C) contiene 6.67 %C y el 93.33 % Fe. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros (Apraiz, 1971).

**Perlita:** Es el microconstituyente eutectoide formado por ferrita (88.7%) y Cementita (11.3%). El contenido en carbono de la aleación es de 0.77 % C (Apraiz, 1971).

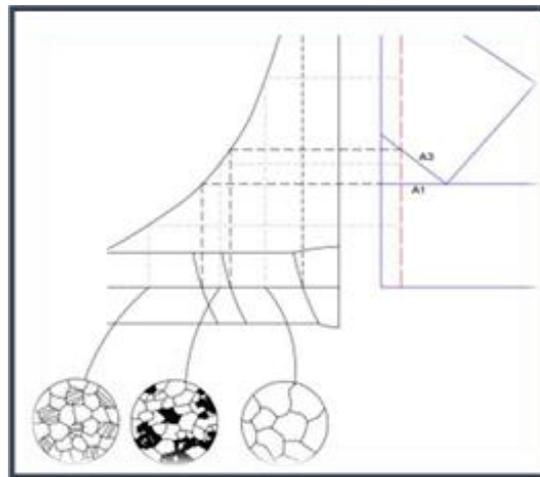
**Ledeburita:** Es una aleación eutéctica con un contenido de carbono de 4.3 % compuesta por austenita y cementita. Es propio de las fundiciones (Apraiz, 1971).

### 2.3.14.1. Transformaciones de fases en la fase sólida durante el calentamiento

La fase de calentamiento es de gran importancia como la de enfriamiento; ya que determina algunos parámetros: tales como: recristalización, crecimiento de grano y transformaciones alotrópicas ( $\alpha \rightarrow \gamma$ ) (Pérez y Pullas, 2009) ver figura 17.

#### Figura 17

*Estructuras generadas durante el soldeo de un acero al carbono*



Fuente: <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/270/3/15T00419.pdf> (s.f.)

### 2.2.15. Solidificación de la soldadura

El acero experimenta cambios cuando este se solidifica hasta alcanzar la temperatura ambiente. En consecuencia “la formación de los granos ocurre durante la solidificación inicial desde el estado líquido, pero esta estructura granular se recristaliza durante el cambio de fases de austenita a ferrita (Neely, 2000, pág. 245). Por tanto, al recalentar el metal a una temperatura más alta que la temperatura más crítica los granos se recristalizan de nuevo. Considerando a la zona de fusión como una micro fundición, se puede decir que los parámetros que controlan la solidificación de la soldadura son: la razón de crecimiento del grano, el gradiente de temperatura y la composición de la aleación.

### ***2.2.16. Relación de dureza y cambios microestructurales en la unión soldada***

La relación entre la dureza y los cambios microestructurales en uniones soldadas esta influenciada por varios factores que están presentes antes y después del soldeo. Estos factores pueden ser la composición química del metal base, el tipo de metal de aporte utilizado, los parámetros de soldeo, el tratamiento térmico posterior al soldeo, entre otros. Algunos aspectos clave de esta relación se analizan a continuación:

**Zona Afectada por el Calor:** Durante el proceso de soldadura, se crea una zona afecta por el calor (ZAC) alrededor de la soldadura debido al rápido calentamiento o enfriamiento. Los cambios bruscos de temperatura pueden provocar cambios microestructurales, como la formación de estructuras de grano fino o la presencia de fases no deseadas.

**Transformaciones de fase:** en algunos casos, la soldadura puede provocar un cambio de fase en el material base. Por ejemplo, en el acero, se formar una estructura similar a la martensita debido al rápido enfriamiento. La martensita es conocida por su alta dureza en comparación con otras fases, lo que puede afectar directamente a la dureza de las uniones soldadas.

**Refinamiento de grano:** Dependiendo de la velocidad de enfriamiento, la soldadura puede mejorar el tamaño de grano en la zona afectada por el calor. Los tamaños de grano más finos generalmente se asocian con una mayor dureza debido al mayor número de límites de grano que actúan como obstáculos para la deformación plástica.

**Material de aporte:** De acuerdo al revestimiento de cada tipo de material de aporte empleado algunos elementos aleantes pueden favorecer ciertas transformaciones de fase o modificaciones que impactan en la dureza de la unión soldada.

**Tratamientos térmicos posteriores:** Al aplicarse un tratamiento térmico post soldeo, para aliviar tensiones residuales, estos pueden tener un impacto significativo en la dureza final de la unión soldada.

### **2.217. Ensayos destructivos en uniones soldadas**

Los ensayos destructivos constituyen en la verificación de las propiedades mecánicas de las uniones soldadas, con el objetivo de asegurar la calidad del conjunto respecto a su diseño. Se tienen los siguientes tipos de ensayos destructivos: ensayo de doblado, ensayo de tracción, ensayo de impacto y ensayo de dureza.

#### **2.2.17.1. Ensayo de doblado**

Se encuentran tres tipos de doblez, dependiendo de su orientación de la soldadura respecto al doblado: doblez de cara; doblez de raíz y doblez lateral.

Donde se señala que el ensayo de doblez también es denominado ensayo plegado. En ese sentido, “las muestras de plegado de cara se deberán colocar con la cara de la soldadura hacia la abertura. Las muestras de plegado de raíz se deberán colocar de modo que la raíz de la soldadura se dirija hacia la abertura” (Jeffus, 2009, pág. 522).

El dispositivo de doblez guiado estándar es el más empleado en el ensayo de doblez, como se muestra en la figura 18.

#### **Figura 18**

*Ensayo de doblez*



*Fuente: <https://es.scribd.com/document/308674686/1-Estudio-de-La-Soldabilidad-de-Acero-Astm-a-36-Con-Acero-Vcl-Mediante-El-Proceso-Smaw-y-Pos> (s.f.)*

### **2.2.17.2. Ensayo de dureza**

La dureza es la habilidad que presentan los metales para resistir a ser penetrados. Además, en el ensayo de dureza se utiliza un tipo de indentador (penetrador) el cual es forzado a penetrar la superficie de la pieza a ensayar. Existen tres grupos básicos de ensayos de dureza: Dureza Brinell, Dureza Rockwell y Microdureza.

## **2.3. Hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis general**

- ✓ Los electrodos E7018 influyen en la dureza, soldabilidad y ancho de la zona ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.

### **2.3.2. Hipótesis Específica**

- ✓ La intensidad de corriente aplicado con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER influye en la dureza, soldabilidad y ancho de la ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.
- ✓ La velocidad de avance aplicado con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER influye en la dureza, soldabilidad y ancho de la ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.
- ✓ La longitud de arco aplicado con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER influye en la dureza, soldabilidad y ancho de la ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW.

## **2.4. Variables**

### **2.4.1. Variable dependiente**

- ✓ Dureza de la unión soldada del acero ASTM A36.

### **2.4.2. Variables independientes**

- ✓ Intensidad de Corriente.
- ✓ Velocidad de Avance.
- ✓ Longitud de Arco.

### 2.4.3. Operacionalización de Variables e Indicadores

**Tabla 11**

*Operacionalización de variables e indicadores*

Influencia en la Dureza en Uniones Soldadas con Electrodo E7018 en la Soldabilidad del Acero A36 por el proceso SMAW Investigación Tecnológica								
	VARIABLES	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Dimensiones	Rango	Unidad	Instrumentos y/o técnicas
Variable dependiente	Dureza de la unión soldada del acero ASTM A36	Es un factor que deduce el comportamiento de una unión soldada al ser sometido a cargas. (Movilia, 2010)	Medida de la resistencia que presenta la unión soldada en diversos puntos.	Valores de la dureza Rockwell en escala C en diversos puntos de la unión soldada.	Baja Media Alta	20 – 65	HRC	Durómetro portátil/ Indentación
	Intensidad de corriente	Es la cantidad de corriente eléctrica que circula por un circuito en una unidad de tiempo. (Rodríguez, 2010)	Regulación del amperaje en el panel de control de la máquina de soldar.	Facilidad de encendido del arco y formación del cordón sobre la probeta metálica.	Baja Media Alta	80 – 135	A	Amperímetro/ Soldeo con oscilación
Variable independiente	Velocidad de avance	Es la rapidez de avance en longitud por unidad de tiempo. (AWS A3.0, 2020)	Velocidad de desplazamiento del electrodo a lo largo de la junta soldada.	Longitud de unión soldada por unidad de tiempo.	Baja Alta	2 – 4	mm/s	Flexómetro – Cronómetro/ Medición de longitud soldada
	Longitud de arco	Separación entre la punta del electrodo y la superficie adyacente del baño de fusión (AWS A3.0, 2020)	Distancia entre la punta derretida del núcleo y la superficie del charco de soldadura.	Posicionamiento correcto del electrodo durante el soldeo.	Baja Alta	1 - 3	mm	Diámetro del electrodo/Pulso del operario soldador

*Fuente: Elaboración propia.*

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Diseño de investigación

En el presente trabajo de investigación tecnológica se adoptó el diseño factorial de experimentos, en el cual se eligió el diseño factorial de 3 factores y 2 niveles donde se determinó la significancia de las variables en estudio, tal como se muestra en la tabla 12.

##### 3.1.1 Análisis y niveles de las variables

##### 3.1.1.1. Variables independientes

Las variables independientes, así como sus unidades y niveles que se utilizaron en la investigación se encuentran explicadas en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Variables independientes*

Orden	Variable	Unidad	Símbolo	Niveles	
				Mínimo	Máximo
A	Intensidad de Corriente	Amperios	A	90	100
B	Velocidad de Avance	Milímetros x segundo	mm/s	1.30	2.30
C	Longitud de Arco	Milímetros	mm	0.5	3.0

*Fuente: Elaboración propia*

Las variables de la tabla 12 fueron consideradas como las más influyentes y determinantes por las siguientes razones:

- ✓ **Intensidad de corriente**, porque incide directamente en el aporte térmico de la soldadura.
- ✓ Se eligió **velocidad de avance** como variable debido a que influye en la altura del cordón de soldadura como también en el ancho de la ZAC.
- ✓ **Longitud de arco** porque la distancia, desde la punta del electrodo hacia el baño de fusión pueden provocar defectos de soldadura si esta supera las longitudes correctas.

### 3.1.1.2. Variable dependiente

La variable dependiente es la dureza de la unión soldada del acero ASTM A36.

Por ende, se usó un Durómetro Portátil en el cual nos permitió determinar la dureza en diferentes puntos de la ZAC.

### 3.1.2. Diseño Factorial $2^3$

Con el diseño de experimentos se estudió el efecto de la intensidad de corriente (A), velocidad de avance (B) y longitud de arco (C), sobre la dureza del cordón de soldadura que se expresa de manera cuantitativa.

Con ese fin se decidió realizar un experimento factorial  $2^3$ . Osea, se estudian tres factores en dos niveles cada uno, haciendo  $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$  tratamientos diferentes.

En ese sentido, el planteamiento del diseño factorial  $2^3$  es la que se muestra en la tabla 13.

**Tabla 13**

*Diseño factorial 3 factores y 2 niveles*

N° de Prueba	Intensidad de Corriente (A)	Velocidad de Avance (mm/s)	Longitud de Arco (mm)	Dureza (HRC) de la Unión Soldada
01	125	2.5	1.0	Y <sub>1</sub>
02	135	2.5	1.0	Y <sub>2</sub>
03	125	3.5	1.0	Y <sub>3</sub>
04	135	3.5	1.0	Y <sub>4</sub>
05	125	2.5	3.0	Y <sub>5</sub>
06	135	2.5	3.0	Y <sub>6</sub>
07	125	3.5	3.0	Y <sub>7</sub>
08	135	3.5	3.0	Y <sub>8</sub>

*Fuente: Elaboración Propia*

## **3.2 Tipo, Nivel y Alcance de la Investigación**

### ***3.2.1. Tipo de investigación***

El tipo de investigación fue Experimental, debido a que se controlan variables independientes y así aplicar los conocimientos teóricos y prácticos para poder determinar los electrodos E7018 que cumplan con la normativa correspondiente para la soldabilidad del acero ASTM A36 mediante la aplicación de la técnica de soldeo.

### ***3.2.2. Nivel de investigación***

El nivel de investigación fue del tipo explicativo. De tal manera que se busca determinar los efectos de la aplicación de cada electrodo E7018 y la influencia de la dureza en la soldabilidad del acero ASTM A36.

### ***3.2.3. Alcance de la investigación***

**Descriptivo:** Porque se describe la tecnología de los Electrodo de Bajo Hidrógeno por el proceso de Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido (SMAW) y según Espinoza Montes (2010) “la investigación descriptiva tiene como propósito describir los objetos tal están funcionando u ocurriendo” (p.74).

**Analítico:** Porque se realizó un diagnóstico en las probetas soldadas por el proceso de Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW) con electrodos de Bajo Hidrógeno de las marcas:

- ✓ AWS A5.1 E7018 - BÖHLER
- ✓ AWS A5.1 E7018 - SOLDEXA
- ✓ AWS A5.1 E7018 - TRUPER

**Explicativo:** Porque se buscó conocer las causas que afectan en la soldabilidad del acero ASTM A36 con electrodos que se usan a nivel nacional.

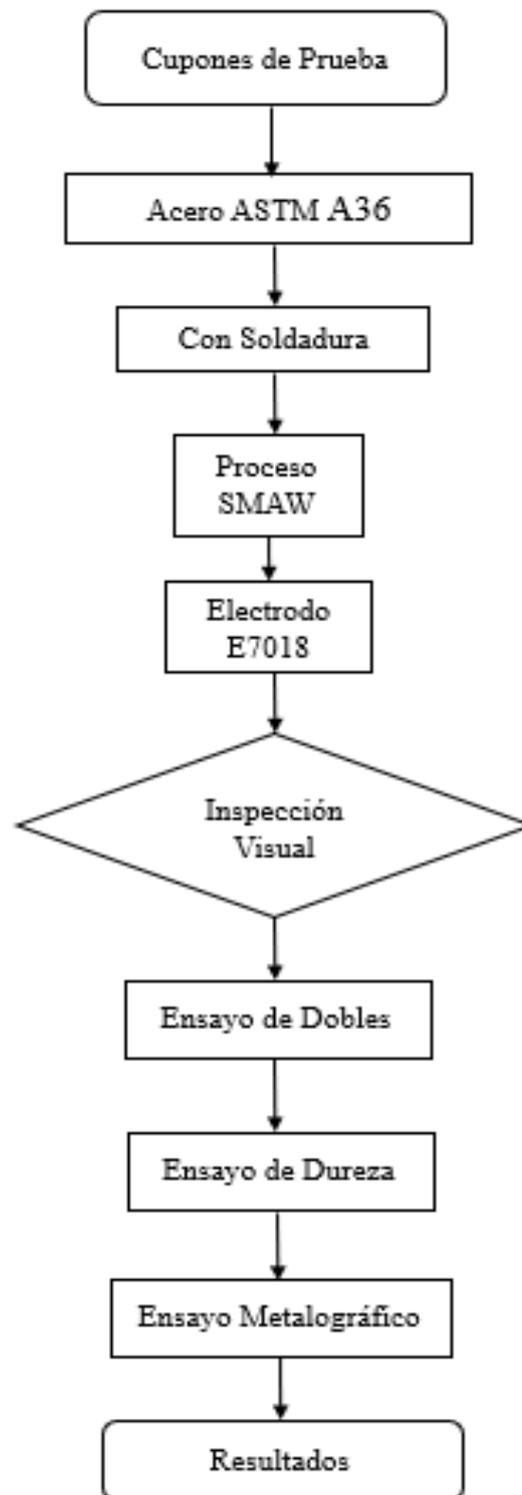
**Experimental:** Porque se realizaron pruebas en las probetas de acero ASTM A36.

### 3.3. Diagrama de flujo del desarrollo experimental

La figura 19 muestra el desarrollo que se siguió en la metodología experimental.

**Figura 19**

*Diagrama de flujo*



*Fuente: Elaboración Propia*

Nótese en la figura 19 que el metal base lo constituye el acero ASMT A36, a partir del cual se prepararon las probetas. Seguidamente, una vez soldadas, todas las probetas pasaron a ser evaluadas visualmente, luego una parte de las probetas fueron llevadas para el ensayo de dobléz, otras para el ensayo de dureza y otras para el ensayo metalográfico.

### 3.4. Equipamiento e instrumentación

Para el desarrollo de la parte experimental y para los ensayos mecánicos se emplearon los siguientes equipos: máquina de soldar, durómetro portátil, equipo de dobléz guiado, desbastador, pulidor y microscopio metalográfico. Además, se utilizaron instrumentos de medición antes, durante y después del proceso de soldadura, así como otras herramientas menores.

#### 3.4.1. Máquina de soldar

Se usó una máquina de soldar de la marca MILLER para todo el proceso de Soldadura de las probetas, en la tabla 14 se muestran sus características técnicas.

**Tabla 14**

*Características técnicas de la máquina de soldar*

Imagen	Características	Datos
	Modelo	Miller XMT 425 VS
	Tipo de Corriente	Corriente Continua (DC)
	Tensión de Red	208/460V/3Fs
	Rango de Voltaje (V)	10 – 38
	Rango de Corriente (A)	5 – 425
	Dimensiones (L x a x h)	610 x 318 x 432
	Peso (kg)	36.3
	Diámetro de electrodos utilizables (mm)	1.6 - 4

*Fuente: Elaboración propia.*

*Nota:* Las dimensiones son L de longitud, a de ancho, h de altura, y sus unidades están en milímetros.

### 3.4.2. Durómetro portátil

Se empleó un durómetro portátil de la marca INZISE el cual nos facilitó el instituto superior SENATI, en la tabla 15 se detallan sus características técnicas.

**Tabla 15**

*Durómetro portátil*

Imagen	Características	Valor
	Marca	INZISE
	Modelo	ISH – PHA
	Serie	SN
	Altura Máxima de la Prueba (mm)	100

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.4.3. Equipo de dobléz

Se empleó el equipo de dobléz de la empresa MECMET INGENIEROS E.I.R.L. En la tabla 16 se describe sus características.

**Tabla 16**

*Características técnicas del ensayo de dobléz*

Imagen	Características	Datos
	Modelo	Diseño propio
	Tipo	Guiado
	Potencia del motor (HP)	12.5
	Fases	Tres
	Presión (PSI)	250
	Norma	AWS D1.1
	Separación entre apoyos (mm)	78

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.5. Desbastador metalográfico

Se empleó un desbastador de plato para la preparación de probetas para el ensayo metalográfico el cual se realizó en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica en la UNSAAC, ver tabla 17.

**Tabla 17**

*Características técnicas del desbastador metalográfico*

Imagen	Características	Datos
	Especificación	Desbastadora de dos platos
	Diámetro de plato (mm)	240
	Velocidad (rpm)	450
	Motor	370W
	Conexión	220 V, CA, 50 Hz
	Dimensiones externas (mm)	700x630x320

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.6. Pulidor Metalográfico

Se empleó un pulidor de plato para el pulido de probetas de ensayo metalográfico. En la tabla 18 se aprecian sus principales características.

**Tabla 18**

*Pulidor metalográfico*

Imagen	Características	Datos
	Especificación	Pulidor Metalográfico
	Tipo	De plato
	Diámetro de plato (mm)	290
	Velocidad (rpm)	600
	Motor	400 W
	Conexión	200 V, C.A., 50 Hz
	Dimensiones externas (mm)	650x500x280

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.7. Microscopio óptico

Se empleó el microscopio óptico de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica, en la UNSAAC, en la tabla 19.

**Tabla 19***Características técnicas del microscopio óptico*

<b>Imagen</b>	<b>Características</b>	<b>Datos</b>
	Especificación	Microscopio PETIP
	Aumento	De 100X a 1000X
	Alimentación	220V, CA/50Hz
	Ajuste micrométrico y macrométrico	Mediante perillas
	Mesa	Fija
	Portaobjetos	Con sistema de enganche y presión

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.8. Herramientas e instrumentos

Se emplearon herramientas e instrumentos de medición que se utilizaron en la parte experimental, en la tabla 20 se enlistan y se detallan sus características.

**Tabla 20***Características técnicas de las herramientas e instrumentos*

<b>Herramienta o Instrumento</b>	<b>Tamaño o Capacidad</b>	<b>Marca</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Aplicación</b>
Amoladora	7 pulg	DEWALT	2000	Desbaste de bisel
Flexómetro	5 m	Stanley	-	Medición
BridgeCam	-	GALGAGE	-	Medición
Escuadra	12 pulg	Stanley	-	Trazar
Escobilla de acero	4C 16 hilos	Aceros Arequipa	-	Limpieza
Picaescoria	-	Weld 500	-	Limpieza de Escoria
Tornillo de banco	8 pulg	Stanley	-	Sujeción de probetas

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5. Materiales para la investigación

Se tuvo como materiales de investigación al metal base y al metal de aporte.

#### 3.5.1. Metal Base

El metal base lo constituye el **acero ASTM A36**.

Por ser un acero comercial, este se obtuvo a partir de platinas de 3/8 pulg. (9.525 mm) de espesor con 4 pulgadas de ancho, las cuales fueron preparadas y dimensionadas de acuerdo a lo que establece el modelo de probeta de calificación según el código AWS D1.1 (2020). Como se muestra en la figura 20.

**Figura 20**

*Platina de 3/8" de acero ASTM 36*



*Fuente: Elaboración propia*

**3.5.1.1. Análisis químico**

En la tabla 21 describe la composición química del acero ASTM A36.

**Tabla 21**

*Composición química del acero ASTM A36*

<b>Designación</b>	<b>C (%)</b>	<b>Mn (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>Si (%)</b>
	<b>Máx.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Máx.</b>
<b>ASTM A36</b>	0.26	0.80	0.04	0.05	0.30

*Fuente: [http://www.steelnumber.com/en/steelcomposition\\_eu.php](http://www.steelnumber.com/en/steelcomposition_eu.php) (s.f.)*

De la tabla 21 se observa que el porcentaje de los siguientes elementos: cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), ni cobre (Cu), son necesarios en la ecuación 4 por lo que reemplazan a cero (0) dichos porcentajes, por lo tanto la ecuación 4 se reduce a una nueva ecuación 5 para hallar el CE.

$$CE = C + \frac{Mn+Si}{6} \dots\dots\dots Ec.(5)$$

Determinación del carbono equivalente (CE) del acero ASTM A36 con los datos de la tabla 21.

$$CE = 0.26 + \frac{0.80 + 0.30}{6} = 0.26 + 0.18 = 0.44$$

### 3.5.1.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades de un acero están íntimamente ligadas a su composición química, estructura cristalina y microestructura. El ASTM A36 es un acero dulce, esto debido a su bajo contenido de carbono, lo cual hace que sea un material dúctil y tenaz. Sus propiedades se presentan la tabla 22.

**Tabla 22**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A36*

Designación	Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HB)
ASTM A36	250	400 - 550	20	120

Fuente: [http://www.steelnumber.com/en/steelcomposition\\_eu.php](http://www.steelnumber.com/en/steelcomposition_eu.php) (s.f.)

### 3.5.2. Material de aporte

El material de aporte que se utilizó para el pase de raíz, para el pase de relleno y pase de acabado el electrodo E7018. Cabe recalcar que se utilizaron los electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA Y TRUPER. En la tabla 23 y 24 las composiciones químicas y propiedades mecánicas de los electrodos E7018, ver Anexo E, F y G.

**Tabla 23**

*Propiedades químicas de los electrodos E7018 de las marcas SOLDEXA, BÖHLER y TRUPER*

Marca	Clasificación AWS A5.1	Análisis Químico (%)				
		C	Mn	Si	P	S
SOLDEXA	E 7018	0.05	1.12	0.31	Máx. 0.02	Máx. 0.02
BÖHLER	E 7018	0.15	1.6	0.75	Máx. 0.035	Máx. 0.035
TRUPER	E 7018	0.20	1.1	0.43	Máx. 0.04	Máx. 0.4

Fuente: OERLIKON, 2001: 160; Manual Voestalpine, 2018: 08.

**Tabla 24**

*Propiedades mecánicas de los electrodos E7018 de las marcas SOLDEXA, BÖHLER y TRUPER*

Marca	Clasificación AWS 5.1	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Elongación en 2" (%)
SOLDEXA	E 7018	520 - 580	Mín. 420	Mín. 25
BÖHLER	E 7018	520 - 610	Mín. 400	Mín. 23
TRUPER	E 7018	520 - 560	Mín. 380	Mín. 20

*Fuente:* OERLIKON, 2001: 160; Manual Voestalpine, 2018: 08.

Por otro lado, en la tabla 25 se detalla las características del metal de aporte.

**Tabla 25**

*Características de soldeo de los electrodos E7018*

Clasificación AWS 5.1	Almacenamiento en horno (°C)	Posición de soldadura	Amperaje recomendado
			Diámetro 1/8 pulg.
E 7018	125 - 150	Todas	90 - 140

*Fuente:* OERLIKON, 2001: 152 y 160.; Manual Voestalpine, 2018: 08.

### 3.6. Población y muestra

#### 3.6.1. Población

En la presente investigación se determinó como población a los electrodos revestidos de bajo hidrógeno que se utilizan en el proceso SMAW.

#### 3.6.2. Muestra

Electrodos E7018 de 1/8 de pulgada de diámetro de las marcas TRUPER, SOLDEXA Y BÖHLER.

#### 3.6.3. Técnicas y procedimientos

Se aplicó el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), para realizar la unión del metal base con material de aporte, según las especificaciones de la norma AWS D1.1 – 2020.

#### 3.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- ✓ **Inspección visual:** Se inspeccionó cada probeta soldada para rescatar las discontinuidades que presentaban.

- ✓ **Ensayo de doblez:** Se seleccionó y ensayó cada probeta soldada con una prueba de doblez, para comprobar su ductilidad.
- ✓ **Ensayo de dureza:** Se ensayaron 03 probetas por cada marca de electrodo; realizándose 03 indentaciones en el metal base, 03 indentaciones en la Zona Afectada por el Calor y 03 el cordón de soldadura en forma lineal y separada, obteniéndose un total de 09 indentaciones por cada probeta ensayada.
- ✓ **Análisis metalográfico:** Se efectuó pruebas metalográficas en muestras representativas de las probetas soldadas en el laboratorio de la escuela profesional de ingeniería metalúrgica para observar y diferenciar los granos del metal base con la zona ZAC y con la zona de Fusión.

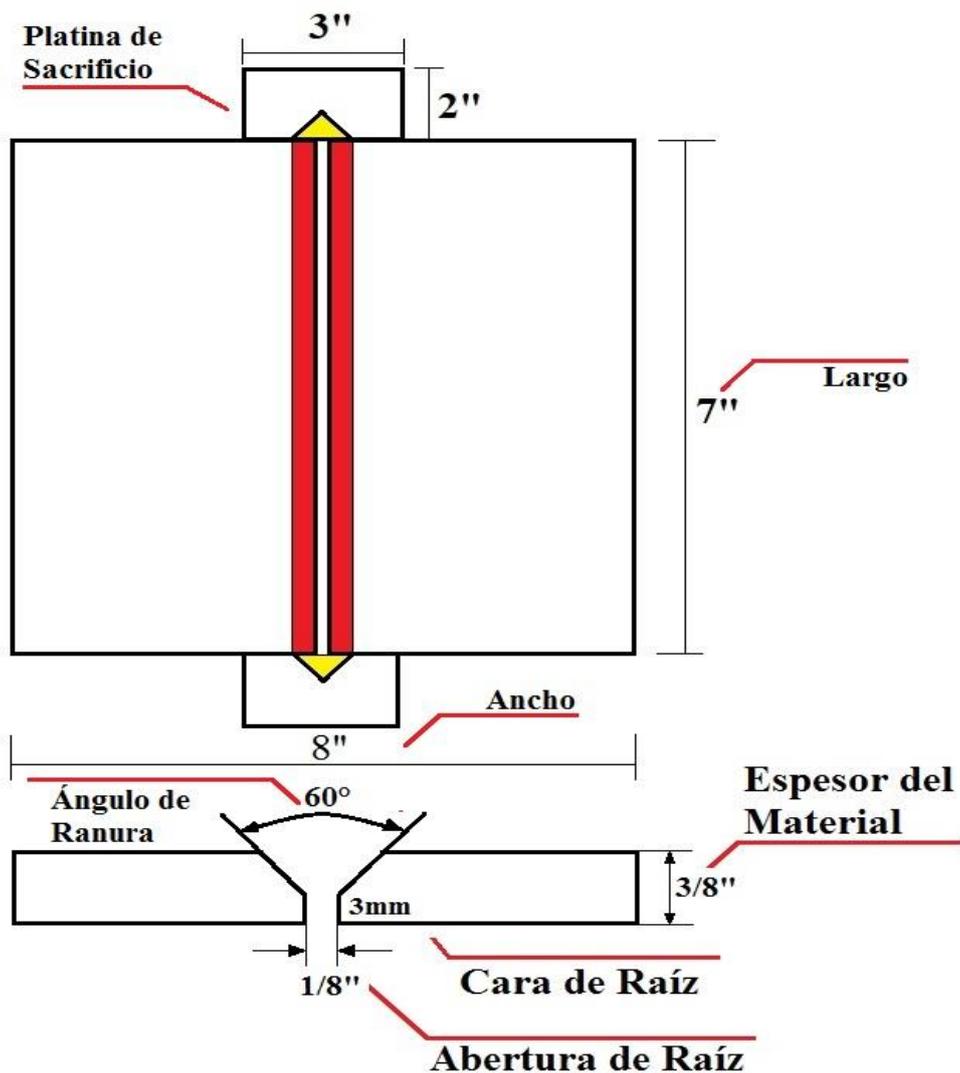
**CAPÍTULO IV**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

**4.1. Preparación de los cupones de prueba**

Las dimensiones de las probetas en pulgadas se muestran en la figura 21.

**Figura 21**

*Dimensiones del cupón de prueba en vista de planta*



*Fuente: Elaboración propia*

De la figura 21, la zona roja indica la cara del bisel de ambas platinas; y la zona amarilla indican ranuras inclinadas de cada apéndice en donde se inicia y termina el cordón de soldadura.

## 4.2. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para los Cupones de Experimentación

Las especificaciones del procedimiento de soldadura para cada marca de electrodo se muestran a continuación.

**Figura 22**

*Procedimiento de soldadura para el electrodo E7018 de la marca TRUPER*

WPS N° 001		ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA						Página 1 de 3		
Código de Soldadura empleado:		Código de Soldadura Estructural - Acero AWS D1.1: Edición 2020								
Nombre de la Empresa:		TESIS								
Nombre del Soldador:		Charles André Quispe Chino				DNI:		70573606		
Procesos de Soldadura:		SMAW		Tipo:		Manual <input checked="" type="checkbox"/>		Semiautomático <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>		
<b>METAL BASE</b>					<b>POSICIÓN</b>					
Especificación del Acero:		ASTM A36			Ranura:		3G		Filete:	-
Grupo:		GRUPO 01			Plancha:		<input checked="" type="checkbox"/>		Tubería: <input type="checkbox"/>	
Espesor de la probeta:		3/8 pulgada (9.525 mm)			Diámetro de la Tubería:		-			
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b>										
Tipo de Junta:		Junta a tope con Ranura en V con CJP								
Ángulo de Ranura:		60°								
Abertura de Raíz:		1/8 pulgada (3 mm)								
Cara de Raíz:		3 mm								
<b>METAL DE APORTE</b>					<b>PROTECCIÓN</b>					
Especificación AWS:		A5.1			Fundente:		Revestimiento			
Clasificación AWS:		E 7018 (Raíz)		E 7018		Gas:		-		
Diámetro:		1/8 pulgada		1/8 pulgada		Composición:		-		
Marca:		TRUPER		TRUPER		Flujo:		-		
<b>TÉCNICA</b>										
Aportación:		Recto <input type="checkbox"/>		Oscilación <input checked="" type="checkbox"/>						
Pase:		Simple <input type="checkbox"/>		Múltiple <input checked="" type="checkbox"/>						
Limpieza entre pases:		SI <input checked="" type="checkbox"/>		NO <input type="checkbox"/>		Método:		Esmerilado		
<b>PRECALENTAMIENTO</b>					<b>POSTCALENTAMIENTO</b>					
Temperatura de precalentamiento:		-			Temperatura de postcalentamiento:		-			
Temperatura de interpase:		-			Tiempo:		-			
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>										
Pase	Proceso	Progresión	Material de Aporte		Corriente			Velocidad de Alimentación de Alambre (inch/min)	Velocidad de avance (mm/s)	Detalles de la Unión y Secuencia de Soldadura
			Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	Voltaje (V)			
1	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35	
2	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35	
3	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35	
ELABORADO POR:					Massiel Castillo Centeno			FECHA:		10/08/2022
APROBADO POR:					Ing. Honorato Sánchez Quispe			COMPAÑÍA:		UNSAAC

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23**

*Procedimiento de soldadura para el electrodo E7018 de la marca SOLDEXA*

<b>WPS N° 002</b>		<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>					Página 2 de 3			
Código de Soldadura empleado:		Código de Soldadura Estructural - Acero AWS D1.1: Edición 2020								
Nombre de la Empresa:		TESIS								
Nombre del Soldador:		Charles André Quispe Chino			DNI:		70573606			
Procesos de Soldadura:		SMAW		Tipo:		Manual <input checked="" type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/>				
<b>METAL BASE</b>				<b>POSICIÓN</b>						
Especificación del Acero:		ASTM A36		Ranura:		3G Filete: -				
Grupo:		GRUPO 01		Plancha:		<input checked="" type="checkbox"/> Tubería: <input type="checkbox"/>				
Espesor de la probeta:		3/8 pulgada (9.525 mm)		Diámetro de la Tubería:		-				
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b>										
Tipo de Junta:		Junta a tope con Ranura en V con CJP								
Ángulo de Ranura:		60°								
Abertura de Raíz:		1/8 pulgada (3 mm)								
Cara de Raíz:		3 mm								
<b>METAL DE APORTE</b>				<b>PROTECCIÓN</b>						
Especificación AWS:		A5.1		Fundente:		Revestimiento				
Clasificación AWS:		E 7018 (Raíz) E 7018		Gas:		-				
Diámetro:		1/8 pulgada 1/8 pulgada		Composición:		-				
Marca:		SOLDEXA SOLDEXA		Flujo:		-				
<b>TÉCNICA</b>										
Aportación:		Recto <input type="checkbox"/>		Oscilación:		<input checked="" type="checkbox"/>				
Pase:		Simple <input type="checkbox"/>		Múltiple:		<input checked="" type="checkbox"/>				
Limpieza entre pases:		SI <input checked="" type="checkbox"/>		NO:		<input type="checkbox"/> Método: Esmerilado				
<b>PRECALENTAMIENTO</b>				<b>POSTCALENTAMIENTO</b>						
Temperatura de precalentamiento:		-		Temperatura de postcalentamiento:		-				
Temperatura de interpase:		-		Tiempo:		-				
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>										
Pase	Proceso	Progresión	Material de Aporte		Corriente			Velocidad de Alimentación de Alambre (inch/min)	Velocidad de avance (mm/s)	Detalles de la Unión y Secuencia de Soldadura
			Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	Voltaje (V)			
1	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35	
2	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35	
3	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35	
ELABORADO POR: Massiel Castillo Centeno								FECHA: 10/08/2022		
APROBADO POR: Ing. Honorato Sánchez Quispe								COMPAÑÍA: UNSAAC		

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura 24**

*Procedimiento de soldadura para el electrodo E7018 de la marca BÖHLER*

<b>WPS N° 003</b>		<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>					<b>Página 3 de 3</b>														
Código de Soldadura empleado:		Código de Soldadura Estructural - Acero AWS D1.1: Edición 2020																			
Nombre de la Empresa:		TESIS																			
Nombre del Soldador:		Charles André Quispe Chino			DNI:		70573606														
Procesos de Soldadura:		SMAW		Tipo:		Manual <input checked="" type="checkbox"/>		Semiautomático <input type="checkbox"/>		Automático <input type="checkbox"/>											
<b>METAL BASE</b>						<b>POSICIÓN</b>															
Especificación del Acero:						ASTM A36			Ranura:		3G			Filete:		-					
Grupo:						GRUPO 01															
Espesor de la probeta:						3/8 pulgada (9.525 mm)						Plancha:		<input checked="" type="checkbox"/>			Tubería:		<input type="checkbox"/>		
Diámetro de la Tubería:						-															
<b>DISEÑO DE LA JUNTA</b>																					
Tipo de Junta:												Junta a tope con Ranura en V con CJP									
Ángulo de Ranura:												60°									
Abertura de Raíz:												1/8 pulgada (3 mm)									
Cara de Raíz:												3 mm									
<b>METAL DE APORTE</b>						<b>PROTECCIÓN</b>															
Especificación AWS:						A5.1						Fundente:		Revestimiento							
Clasificación AWS:						E 7018 (Raíz)			E 7018			Gas:		-							
Diámetro:						1/8 pulgada			1/8 pulgada			Composición:		-							
Marca:						BÖHLER			BÖHLER			Flujo:		-							
<b>TÉCNICA</b>																					
Aportación:				Recto <input type="checkbox"/>		Oscilación <input checked="" type="checkbox"/>															
Pase:				Simple <input type="checkbox"/>		Múltiple <input checked="" type="checkbox"/>															
Limpieza entre pases:				SI <input checked="" type="checkbox"/>		NO <input type="checkbox"/>						Método:		Esmerilado							
<b>PRECALENTAMIENTO</b>						<b>POSTCALENTAMIENTO</b>															
Temperatura de precalentamiento:						-						Temperatura de postcalentamiento:		-							
Temperatura de interpase:						-						Tiempo:		-							
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>																					
Pase	Proceso	Progresión	Material de Aporte		Corriente			Velocidad de Alimentación de Alambre (inch/min)	Velocidad de avance (mm/s)	Detalles de la Unión y Secuencia de Soldadura											
			Clase	Diámetro	Tipo y Polaridad	Amperaje (A)	Voltaje (V)														
1	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35												
2	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35												
3	SMAW	Ascendente	E7018	1/8 pulg.	DCEP	110 - 140	20 - 23	-	1.5 - 2.35												
ELABORADO POR:						Massiel Castillo Centeno				FECHA:		10/08/2022									
APROBADO POR:						Ing. Honorato Sánchez Quispe				INSTITUCIÓN:		UNSAAC									

*Fuente: Elaboración propia*

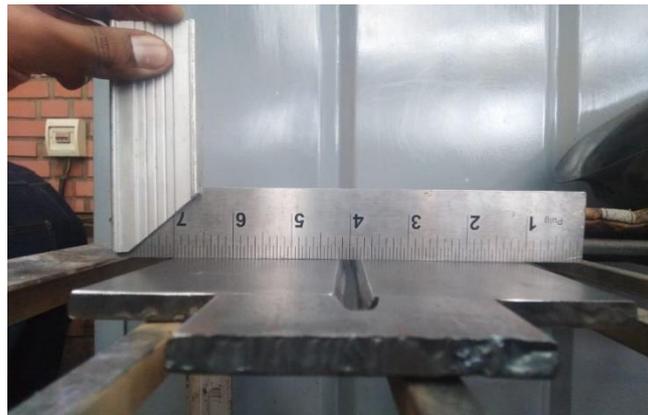
### 4.3. Inspección visual

La inspección visual se aplicó de acuerdo a los criterios de aceptación del código de soldadura estructural ANSI/AWS D1.1, clausula 6.10.1. La inspección visual se realizó de la siguiente manera:

Los cupones de prueba fueron ordenados de acuerdo al número de orden de soldeo para su respectiva inspección. Esta se realizó antes, durante y después del soldeo; sea en el pase de raíz, relleno y refuerzo; como también en los empalmes o reinicios de cordón y el desalineamiento del cupón de prueba tal como se visualiza en la figura 25.

### **Figura 25**

*Verificación del desalineamiento del cupón de prueba*

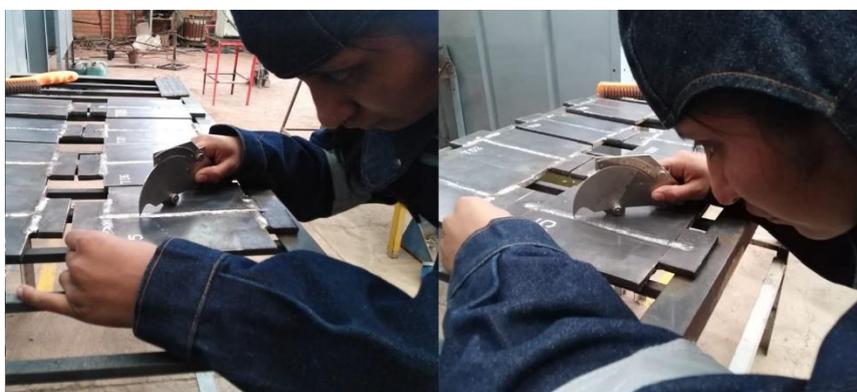


Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, durante la inspección visual se utilizó la galga de inspección de soldadura Bridge Cam, con el cual se pudo recoger información cualitativa y cuantitativa, obteniéndose así valores del refuerzo de soldadura del cordón de acabado y del cordón de raíz para compararlos con los criterios de aceptación del código de soldadura estructural AWS D1.1. La inspección de soldadura con este instrumento se puede visualizar en la figura 26.

### **Figura 26**

*Inspección del refuerzo de soldadura*



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Distribución de probetas para ensayos destructivos

La distribución de probetas para los ensayos destructivos se realizó de la siguiente manera:

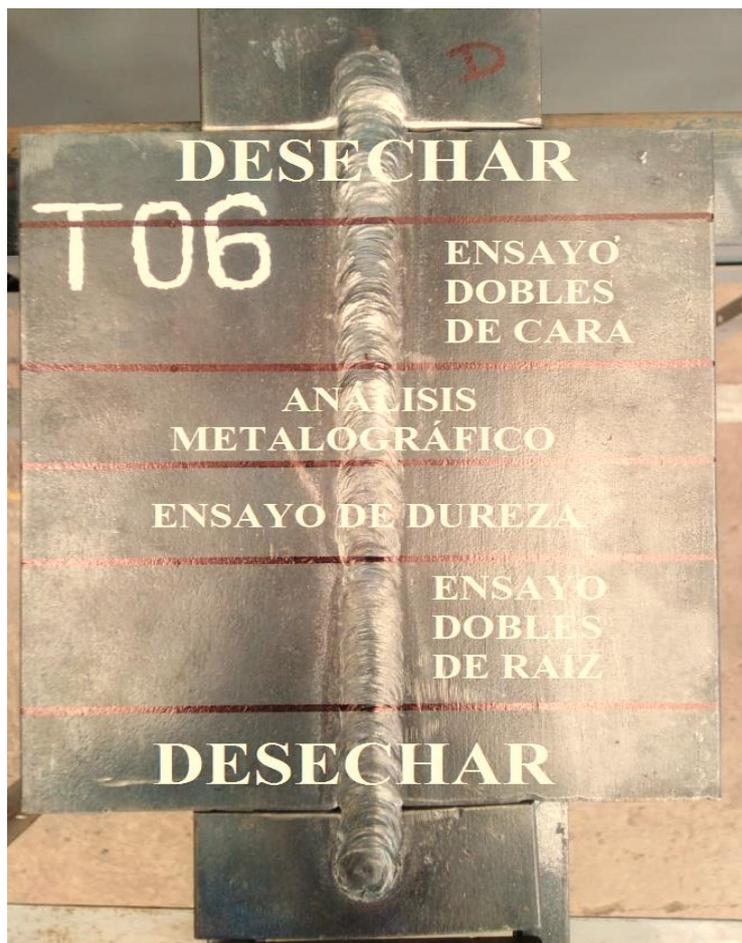
Por cada cupón de prueba seleccionado y soldado por una marca de electrodo respectivamente, se extraerán cuatro probetas de ensayo, estas son:

- ✓ Dos probetas para ensayo de doblez (raíz y cara)
- ✓ Una probeta para ensayo de dureza.
- ✓ Una probeta para análisis metalográfico.

De acuerdo a ello, la distribución de probetas se representa en la figura 27.

**Figura 27**

*Distribución de probetas para ensayos destructivos*



*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.5. Ensayo de doblez

Con el ensayo de doblez se dió a conocer la ductilidad de cada unión soldada. En un carácter cualitativo las probetas se doblan tomando una forma de U, y si estas cumplen los requisitos del código de soldadura, se les otorga el grado de conformidad y/o aceptación.

Así mismo, se inició la preparación de las probetas de la siguiente manera:

- ✓ De los ocho cupones soldados, se extrajeron 16 probetas con dimensiones de 38mm x 165mm x 9.525mm (ancho x longitud x espesor).
- ✓ Se trazaron las medidas en los ocho cupones soldados tal como se visualiza en la figura 28.
- ✓ Durante la preparación, haciendo uso de la amoladora con disco de desbaste se retiró el refuerzo de la soldadura, tanto en el cordón de raíz como en el cordón de acabado.

#### Figura 28

*Trazado de probetas para ensayo de doblez*

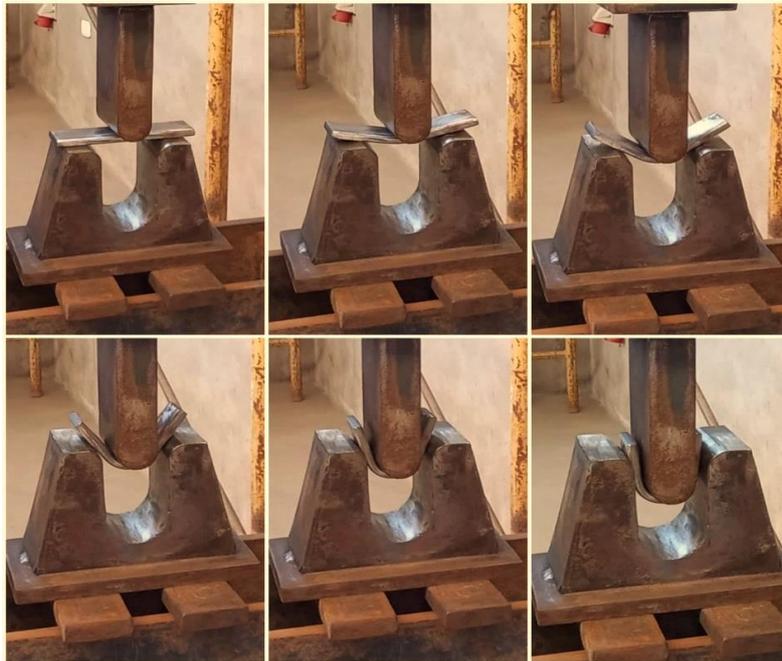


*Fuente: Elaboración propia.*

- ✓ Una vez preparado y operativo el equipo de doblez se procedió a realizar el ensayo. Se colocó cada probeta sobre la plantilla guía teniendo en cuenta el lado del que se va a doblar, sea cara o raíz, tal como se puede visualizar en la figura 29.

## Figura 29

*Posicionamiento y ensayo de doblado*



*Fuente: Elaboración propia.*

✓ Por último, cada probeta doblada rebeló ciertas características físicas que se analizaron con los criterios de aceptación del código de soldadura estructural AWS D1.1.

Las probetas dobladas se pueden visualizar en la figura 30.

## Figura 30

*Probetas dobladas de cara y raíz*



*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.6. Ensayo de dureza

En este ensayo se realizaron penetraciones con un durómetro portátil cuyo indentador es accionado por medio de un resorte. El proceso de preparación fue de la siguiente manera:

✓ Se seleccionó y extrajo muestras de cada cupón soldado por cada marca de electrodo empleado, haciendo uso de una amoladora con disco de corte. Cada muestra tuvo las siguientes dimensiones: 25mm x 65mm x 9.525mm (ancho x longitud x espesor). Conforme a ello se visualiza en la figura 31.

✓ Cada muestra extraída se preparó al igual que un proceso de análisis metalográfico retirando y removiendo el refuerzo de soldadura hasta obtener una superficie plana, conforme a ello se visualiza en la figura 32.

#### Figura 31

*Preparación de probetas para ensayo de dureza*



*Fuente: Elaboración propia.*

#### Figura 32

*Probetas para ensayo de dureza*



*Fuente: Elaboración propia.*

✓ Cada muestra fue colocada sobre una mesa de trabajo y se realizaron las indentaciones correspondientes.

✓ Se tomaron 03 indentaciones por cada zona, ya que con tres se puede obtener una tendencia, logrando así ensayar 02 probetas por cada marca de electrodo empleado durante el soldeo.

✓ Estas indentaciones fueron de la siguiente manera: Se hicieron 03 indentaciones en el metal base, 03 indentaciones en la zona afectada por el calor y 03 indentaciones en la zona de fusión.

✓ De este modo se obtuvo 09 indentaciones por cada probeta ensayada.

✓ Por último, se anotaron los datos obtenidos por cada probeta ensayada de cada marca de electrodo y estos se promediaron por cada zona de estudio (MB, ZAC, ZF).

#### **4.7. Ensayo metalográfico**

Este ensayo se realizó con el único fin de examinar los cambios microestructurales producidos por efecto del aporte de calor del proceso de soldadura.

La preparación de las probetas para el ensayo fue de la siguiente manera:

✓ Se seleccionó y extrajo muestras de cada cupón soldado por una marca de electrodo. Cada muestra tuvo las siguientes dimensiones 25mm x 65mm x 9.525mm (ancho x longitud x espesor) tal y conforme a lo que se visualiza en la figura 33.

#### **Figura 33**

*Probetas para ensayo metalográfico*



*Fuente: Elaboración propia.*

✓ Las muestras se cortaron y se lijaron con papeles abrasivos de numeración 200, 400 y 600 alternando su uso hasta obtener una superficie fina la cual favorezca durante la observación en el microscopio. El lijado de las muestras se puede visualizar en la figura 34.

### Figura 34

*Lijado y pulido de muestras*



*Fuente: Elaboración propia.*

✓ Seguidamente se preparó la solución de ataque, el cual consistió en el Nital al 5% en una luna de reloj de laboratorio, esta solución está constituida por 5ml de Ácido Nítrico y 95ml de Alcohol Etilíco.

✓ Además, se calentó agua a 60°C para el enjuague de las muestras en un vaso precipitado; y por último en otra luna de reloj se vertió una pequeña cantidad de alcohol y aparte unas minúsculas piezas de algodón, todo esto se puede visualizar en la figura 35.

### Figura 35

*Preparación de la solución de ataque*



*Fuente: Elaboración propia.*

✓ Acto seguido, cada muestra se sumergió sobre la solución de ataque por un periodo de 8 segundos, el cual es el tiempo adecuado para aceros al carbono.

✓ Pasado ese determinado tiempo se procedió a enjuagar cada muestra con agua a 60°C, luego se limpió cada una de ellas con un trozo de algodón mojado de alcohol etílico,

✓ y por último se secó con el flujo de aire caliente proveniente de una secadora.

Todo ello se visualiza en la figura 36.

### **Figura 36**

*Ataque químico probetas*



*Fuente: Elaboración propia.*

✓ A continuación, se procedió a observar minuciosamente cada una de las muestras en el microscopio óptico tal como se visualiza en la figura 37. Cada una de ellas rebeló ciertas características de su microestructura presente en cada zona de estudio. Estas características fueron anotadas y evaluadas.

### **Figura 37**

*Observación de muestras en el microscopio óptico*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.8. Cálculos de soldadura

Una vez realizados los ensayos se prosiguió a realizar los cálculos con los datos obtenidos durante el proceso de soldeo. Estos datos fueron útiles para obtener las velocidades de avance, aporte de calor neto y ancho de la ZAC.

##### 4.8.1. Velocidad de avance

Para obtener la velocidad de avance en cada etapa, se tuvo que controlar el tiempo de soldeo con un cronómetro, el cual comienza desde que se enciende el arco de soldadura hasta que este se apague. Cabe recalcar, que el tiempo medido en minutos fue convertido a segundos; además se usó un flexómetro para medir la longitud del cordón depositado en el cual se midió en milímetros. Todos estos datos se visualizan en la tabla 26.

**Tabla 26**

*Obtención de velocidades de avance en cada etapa de soldeo*

N° de Cupón de Prueba	Etapa de Soldero								
	Pase de Raíz			Pase de relleno			Pase de acabado		
	Long. (mm)	Tiempo (s)	Vel. de Avance (mm/s)	Long. (mm)	Tiempo (s)	Vel. de Avance (mm/s)	Long. (mm)	Tiempo (s)	Vel. de Avance (mm/s)
01				176	118	1.49	179	119	1.51
02				179	106	1.69	182	109	1.67
03				181	94	1.89	183	98	1.87
04	179	94	190	177	92	1.93	179	93	1.92
05				178	91	1.96	183	94	1.95
06				179	90	1.99	181	92	1.97
07				180	93	1.94	182	93	1.96
08				178	90	1.98	180	91	1.99

*Fuente: Elaboración propia.*

##### 4.8.2. Cálculo del aporte de calor neto

Para poder determinar el aporte de calor neto o energía generada durante el soldeo se usó la ecuación 1.

$$H_{neto} (J/mm) = \frac{V \times A}{v} \times f = \frac{Tensión (V) \times Intensidad (A)}{Velocidad de Soldero \left(\frac{mm}{seg}\right)} \times f \dots \dots \dots Ec.(1)$$

Donde:

$H_{neto}$  = Aporte de calor neto (J/mm)

V = Tensión de corriente (Voltios)

I = Intensidad de corriente (Amperios)

v = Velocidad de avance (mm/s)

f = Eficiencia térmica del proceso de soldadura. El proceso utilizado fue SMAW, por lo que se le considera una eficiencia del 75%.

Teniendo en cuenta las especificaciones del procedimiento de soldadura y la tabla 10 del rendimiento térmico de los procesos de soldadura se tienen los siguientes datos:

$$V = 20V$$

$$f = 0.75$$

De acuerdo a estos datos se realizaron los cálculos respectivos.

Cálculo del Calor Neto para el pase de Raíz:

$$H_{neto} = \frac{20 \times 80}{1.90} \times 0.75 = 631.58 \text{ J/mm}$$

Cálculo del Calor Neto para el pase de Relleno:

Probeta N°1

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.49} \times 0.75 = 1258.39 \text{ J/mm}$$

Probeta N°2

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.69} \times 0.75 = 1198.22 \text{ J/mm}$$

Probeta N°3

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.89} \times 0.75 = 992.06 \text{ J/mm}$$

Probeta N°4

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.93} \times 0.75 = 1049.22 \text{ J/mm}$$

Probeta N°5

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.96} \times 0.75 = 956.63 \text{ J/mm}$$

Probeta N°6

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.99} \times 0.75 = 1017.59 \text{ J/mm}$$

Probeta N°7

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.94} \times 0.75 = 966.49 \text{ J/mm}$$

Probeta N°8

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.98} \times 0.75 = 1022.73 \text{ J/mm}$$

Los valores obtenidos se resumen y analizan en el capítulo 5.

Cálculo del Calor Neto para el pase de Acabado:

Probeta N°1

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.51} \times 0.75 = 1241.72 \text{ J/mm}$$

Probeta N°2

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.67} \times 0.75 = 1212.57 \text{ J/mm}$$

Probeta N°3

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.87} \times 0.75 = 1002.67 \text{ J/mm}$$

Probeta N°4

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.92} \times 0.75 = 1054.69 \text{ J/mm}$$

Probeta N°5

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.95} \times 0.75 = 961.54 \text{ J/mm}$$

Probeta N°6

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.97} \times 0.75 = 1027.92 \text{ J/mm}$$

Probeta N°7

$$H_{neto} = \frac{20 \times 125}{1.96} \times 0.75 = 956.63 \text{ J/mm}$$

Probeta N°8

$$H_{neto} = \frac{20 \times 135}{1.99} \times 0.75 = 1017.59 \text{ J/mm}$$

Los valores obtenidos se resumen y analizan en el capítulo 5.

### 4.8.3. Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor (ZAC)

Para poder determinar el ancho de la zona afectada por el calor se usó la ecuación 3.

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{T_{\text{máx}} - T_o} \right) - \left( \frac{1}{T_{\text{fusión}} - T_o} \right) \right] \times \left[ \frac{H_{\text{neto}}}{4.13 \times \rho \times C \times t} \right] \dots\dots\dots \text{Ec.(3)}$$

Donde:

Y = Ancho de la ZAC (mm)

Tmax = Temperatura máxima en la zona adyacente a la ZAC (°C)

To = Temperatura inicial del material (°C)

Tfusión = Temperatura de fusión (°C)

ρ = Densidad del material base (g/mm<sup>3</sup>)

C = Calor específico del metal sólido (J/g.°C)

t = Espesor del material (mm)

Hneto = Calor Neto (J/mm)

Para el caso del acero se usaron los siguientes datos:

Temperatura de fusión: **Tfusión** = 1535 °C

Temperatura máxima: **Tmax** = 723 °C

Temperatura inicial: **To** = 20 °C

Densidad del acero: **ρ** = 7.85 g/cm<sup>3</sup> = 0.00785 g/mm<sup>3</sup>

Calor específico del acero: **C** = 0.134 ca/g.°C = 0.561 J/g.°C

Espesor del material: **t** = 9.525 mm

Asimismo, se calculó el calor específico volumétrico del acero:

$$\rho C = \rho \times C = 0.00785 \times 0.561 = \mathbf{0.0044 \text{ J/mm}^3 \cdot \text{°C}}$$

Cálculo del ancho de la ZAC del pase de raíz:

Hneto = 631.58 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{631.58}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 2.78 \text{ mm}$$

Cálculo del ancho de la ZAC del pase de relleno:

Probeta N° 1:

$$H_{\text{neto}} = 1258.39 \text{ J/mm}$$

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1258.39}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 5.54 \text{ mm}$$

Probeta N° 2:

$$H_{\text{neto}} = 1198.22 \text{ J/mm}$$

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1198.22}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 5.28 \text{ mm}$$

Probeta N° 3:

$$H_{\text{neto}} = 992.06 \text{ J/mm}$$

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{992.06}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.37 \text{ mm}$$

Probeta N° 4:

$$H_{\text{neto}} = 1049.22 \text{ J/mm}$$

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1049.22}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.62 \text{ mm}$$

Probeta N° 5:

$$H_{\text{neto}} = 956.63 \text{ J/mm}$$

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{956.63}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.21 \text{ mm}$$

Probeta N° 6:

$$H_{\text{neto}} = 1017.59 \text{ J/mm}$$

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1017.59}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.48 \text{ mm}$$

Probeta N° 7:

Hneto = 966.49 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{966.49}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.26 \text{ mm}$$

Probeta N° 8:

Hneto = 1022.73 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1022.73}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.50 \text{ mm}$$

Cálculo del ancho de la ZAC del pase de acabado:

Probeta N° 1:

Hneto = 1241.72 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1241.72}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 5.47 \text{ mm}$$

Probeta N° 2:

Hneto = 1212.57 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1212.57}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 5.34 \text{ mm}$$

Probeta N° 3:

Hneto = 1002.67 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1002.67}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.42 \text{ mm}$$

Probeta N° 4:

Hneto = 1054.69 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1054.69}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.65 \text{ mm}$$

Probeta N° 5:

Hneto = 961.54 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{961.54}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.24 \text{ mm}$$

Probeta N° 6:

Hneto = 1027.92 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1027.92}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.53 \text{ mm}$$

Probeta N° 7:

Hneto = 956.63 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{956.63}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.21 \text{ mm}$$

Probeta N° 8:

Hneto = 1017.59 J/mm

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 20} \right) - \left( \frac{1}{1535 - 20} \right) \right] \times \left[ \frac{1017.59}{4.13 \times 0.0044 \times 9.525} \right] = 4.48 \text{ mm}$$

Los valores obtenidos del ancho de la ZAC para el pase de relleno y acabado se resumen y analizan en el capítulo 5.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. Inspección visual

Los resultados de la inspección visual se visualizan en la tabla 27.

**Tabla 27**

*Resultados de la inspección visual de los cupones de prueba*

N° de Probeta	Refuerzo de la Soldadura (mm)		Socavaciones (mm)	Porosidades	Salpicaduras	Fusión Completa	Resultado
	Cara	Raíz					
	01	2					
02	2.2	2	No presenta	Si presenta	Si presenta	Conforme	Aceptado
03	1.9	2	No presenta	No presenta	No presenta	Conforme	Aceptado
04	2	1.2	No presenta	No presenta	No presenta	Conforme	Aceptado
05	2.1	2.5	No presenta	No presenta	No presenta	Conforme	Aceptado
06	1.8	2	No presenta	No presenta	No presenta	Conforme	Aceptado
07	2	2.2	No presenta	No presenta	No presenta	Conforme	Aceptado
08	2	2.5	No presenta	No presenta	No presenta	Conforme	Aceptado

*Fuente: Elaboración propia.*

De la tabla 27, podemos visualizar que todos los cupones de prueba pasaron la inspección visual. Esto quiere decir el refuerzo de la soldadura, socavaciones y otras discontinuidades no sobrepasaron sus dimensiones y que si cumplieron con los criterios de aceptación que indica la cláusula 6.10.1 del código de soldadura estructural AWS D1.1-2020.

#### 5.2. Ensayo de doblez

Los resultados que se obtuvieron en el ensayo de doblez guiado, tanto para cara y raíz se presentan en la tabla 28.

**Tabla 28***Resultados del ensayo de doblez guiado*

N° de Probeta	Marca de Electrodo E7018	Marca de Electrodo	Grietas en Superficie	Suma de Discontinuidades (mm)	Grieta Máxima de Esquina (mm)	Resultado
01	TRUPER	CARA	Si presenta	3.5	1.5	Aceptado
02		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
03		CARA	Si presenta	4.5	No tiene	Aceptado
04		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
05		CARA	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
06		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
07	SOLDEXA	CARA	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
08		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
09		CARA	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
10		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
11		CARA	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
12		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
13	BÖHLER	CARA	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
14		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
15		CARA	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado
16		RAIZ	No tiene	No tiene	No tiene	Aceptado

*Fuente: Elaboración propia.*

De la tabla 28 podemos observar que todos los cupones de prueba pasaron exitosamente el ensayo de doblez guiado. Por otro lado, hay que hacer mención acerca de los cupones de prueba N° 01 y N° 02, ya que estas presentaron discontinuidades, cuyas dimensiones no sobrepasaron los límites según los criterios de aceptación de la cláusula 6.10.3.3 del código de soldadura estructural AWS D1.1-2020. Por lo tanto, las probetas que no presentaron defectos no se vieron afectadas por el aporte térmico del proceso de soldadura y se considera que los parámetros de soldeo fueron los correctos.

Por otra parte, las otras probetas que presentaron discontinuidades dan a entender que fueron afectadas por el aporte de calor durante el soldeo como también en la calidad de la marca de electrodo utilizado. Las discontinuidades que presentan estas probetas se detallan de la siguiente manera:

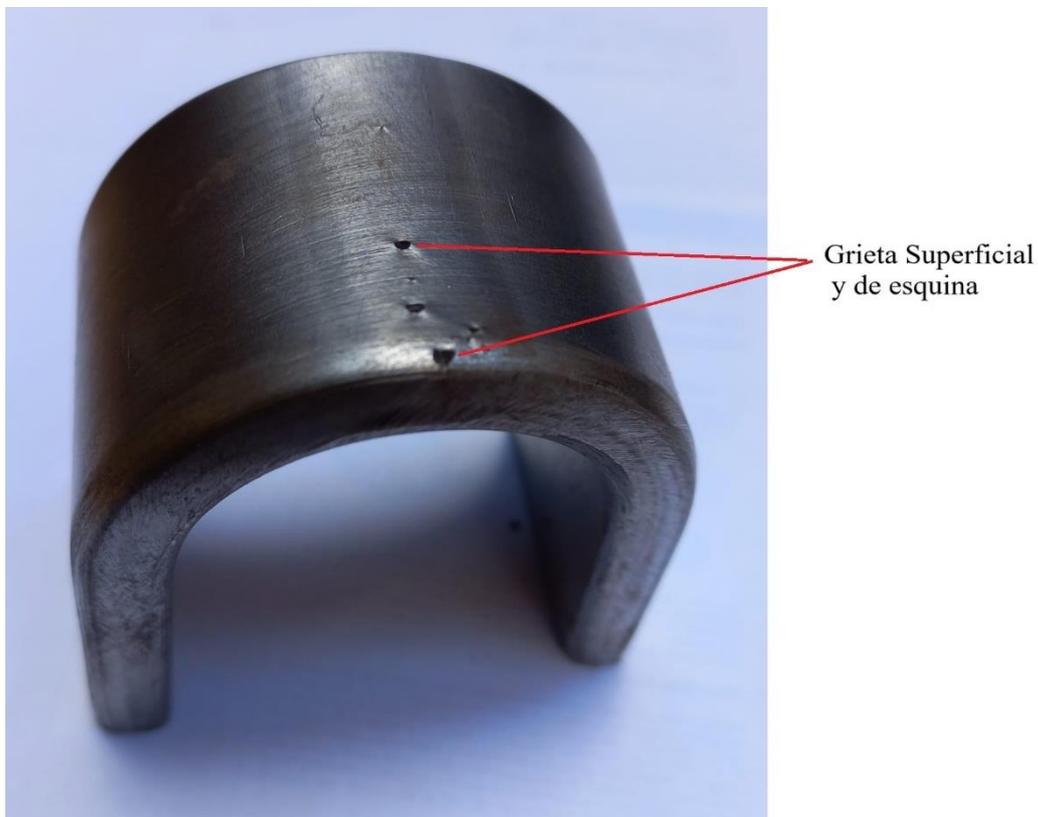
La probeta N° 1, cuyo ensayo de doblez se hizo de cara, presentó:

- ✓ Grietas circulares de 0.5 mm de profundidad y 1mm de diámetro.
- ✓ Grieta longitudinal de 2 mm en la zona de fusión.
- ✓ Grieta de esquina de 1.5 mm, sin presencia de inclusión de escoria.

Estas discontinuidades se pueden visualizar en la figura 38.

### **Figura 38**

*Probeta doblada de cara con grietas superficiales y esquina*



*Fuente: Elaboración propia.*

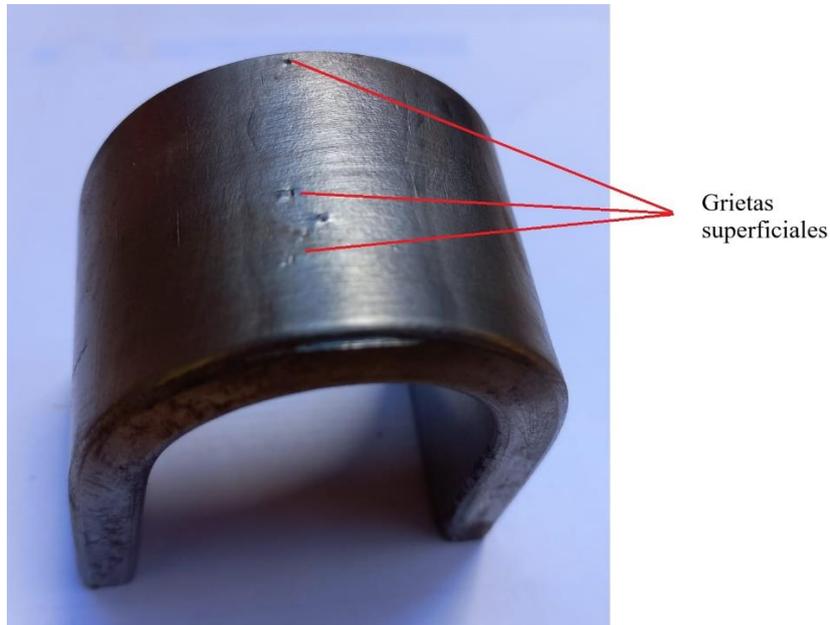
La probeta N° 2, cuyo ensayo de doblez se hizo de cara, el cual presentó:

- ✓ Grietas circulares de 0.5 mm de profundidad y 0.5 mm de diámetro.
- ✓ Grietas longitudinales de 1 mm en la zona de fusión.

Estas discontinuidades se pueden visualizar en la figura 39.

### Figura 39

*Probeta doblada de cara con grietas superficiales*



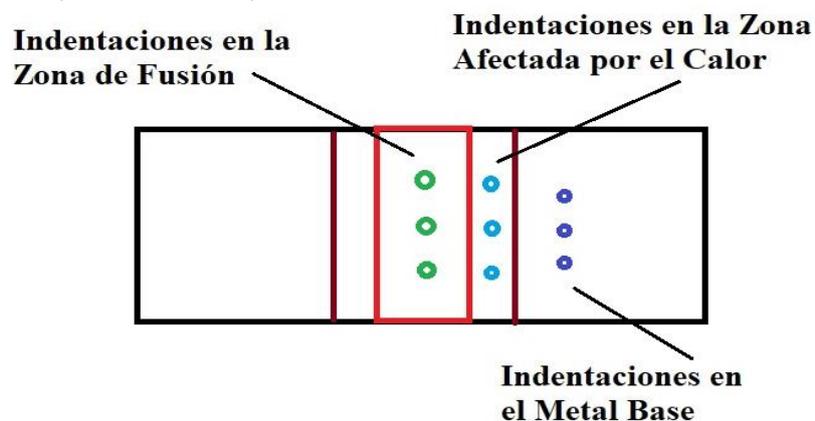
*Fuente: Elaboración propia.*

### 5.3. Ensayo de Dureza

Para el ensayo de dureza se consideró aplicar para cada probeta tres (03) indentaciones en cada zona de estudio tal como se muestra en la figura 40. La norma aplicada para este ensayo fue la ASTM E18-03.

### Figura 40

*Indentaciones realizadas en cada zona de estudio*



*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados de cada indentación fueron tabulados desde la tabla 29 hasta la tabla 34.

**Tabla 29***Indentaciones realizadas en la muestra 01 soldada con el electrodo TRUPER*

Marca de Electrodo	Muestra	Zona de Estudio	Dureza HRC			Promedio HRC
			Ind. 01	Ind. 02	Ind. 03	
TRUPER	01	Metal Base	33.1	32.7	33.2	<b>33.0</b>
		Zona ZAC	41.3	41.3	51.7	<b>44.8</b>
		Zona Fundida	57.8	63.1	53.4	<b>58.1</b>

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 30***Indentaciones realizadas en la muestra 02 soldada con el electrodo TRUPER*

Marca de Electrodo	Muestra	Zona de Estudio	Dureza HRC			Promedio HRC
			Ind. 01	Ind. 02	Ind. 03	
TRUPER	02	Metal Base	31.8	32.4	33.1	<b>32.4</b>
		Zona ZAC	48.7	43.7	49.6	<b>47.3</b>
		Zona Fundida	57.4	58.6	51.7	<b>55.9</b>

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 31***Indentaciones realizadas en la muestra 03 soldada con el electrodo SOLDEXA*

Marca de Electrodo	Muestra	Zona de Estudio	Dureza HRC			Promedio HRC
			Ind. 01	Ind. 02	Ind. 03	
SOLDEXA	03	Metal Base	32.6	31.9	31.7	<b>32.1</b>
		Zona ZAC	46.1	45.7	45.4	<b>45.7</b>
		Zona Fundida	46	46.9	51.7	<b>48.2</b>

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 32***Indentaciones realizadas en la muestra 04 soldada con el electrodo SOLDEXA*

Marca de Electrodo	Muestra	Zona de Estudio	Dureza HRC			Promedio HRC
			Ind. 01	Ind. 02	Ind. 03	
SOLDEXA	04	Metal Base	32.3	31.7	33.3	<b>32.4</b>
		Zona ZAC	41.8	46.4	40.3	<b>42.8</b>
		Zona Fundida	48.3	45.5	47.8	<b>47.2</b>

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 33***Indentaciones realizadas en la muestra 05 soldada con el electrodo BÖHLER*

Marca de Electrodo	Muestra	Zona de Estudio	Dureza HRC			Promedio HRC
			Ind. 01	Ind. 02	Ind. 03	
BÖHLER	05	Metal Base	32.4	31.8	32.9	<b>32.4</b>
		Zona ZAC	42.3	38.3	46	<b>42.2</b>
		Zona Fundida	41.8	42.3	46	<b>43.4</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 34**

Indentaciones realizadas en la muestra 06 soldada con el electrodo BÖHLER

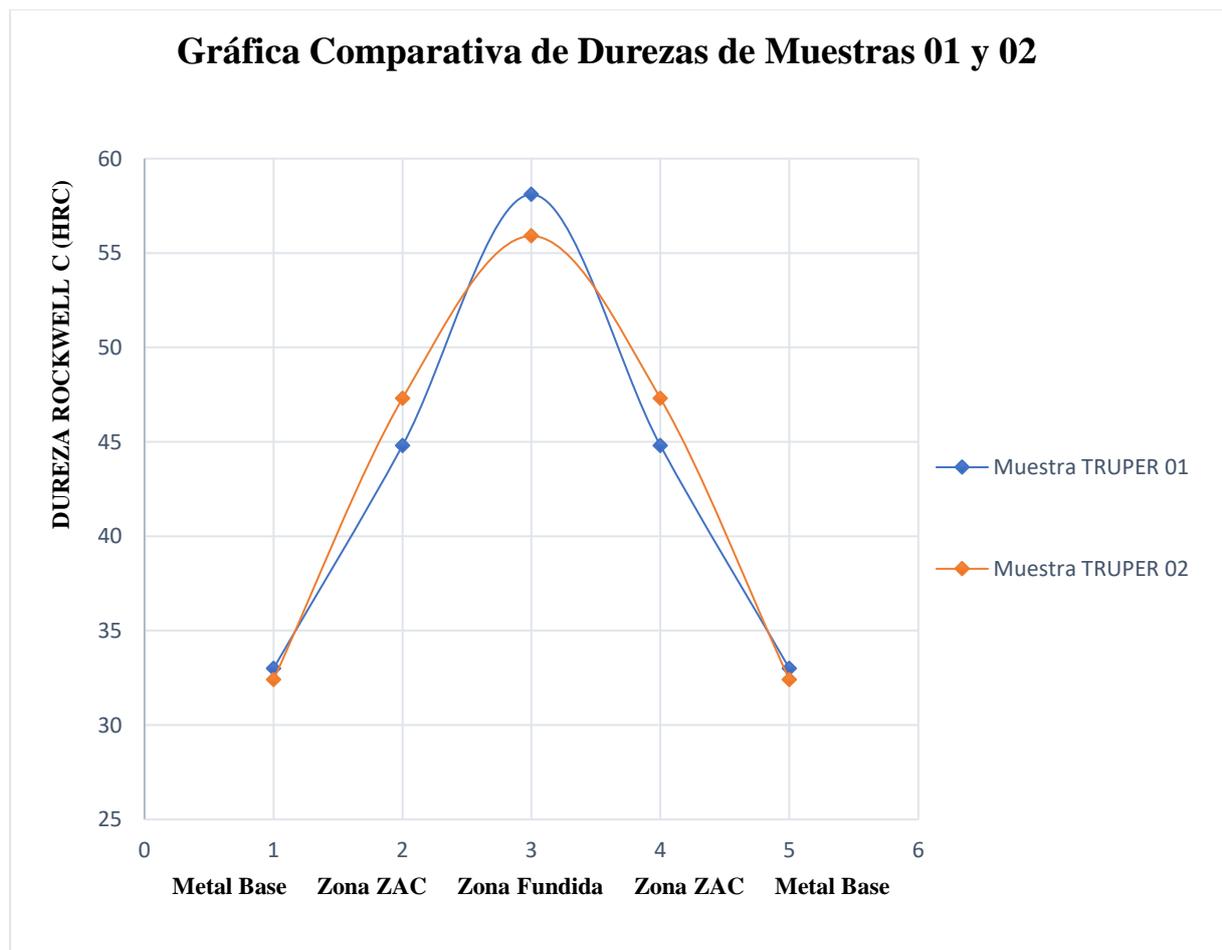
Marca de Electrodo	Muestra	Zona de Estudio	Dureza HRC			Promedio HRC
			Ind. 01	Ind. 02	Ind. 03	
BÖHLER	06	Metal Base	31.7	31.9	32.3	<b>31.9</b>
		Zona ZAC	39.8	38.9	41.3	<b>40</b>
		Zona Fundida	38.4	39.8	44.2	<b>40.8</b>

Fuente: Elaboración propia.

Una vez tabulados los resultados, se realizaron las gráficas comparativas por cada marca de electrodo y por cada zona de estudio, tal como se visualiza desde la figura 41 hasta la figura 44.

**Figura 41**

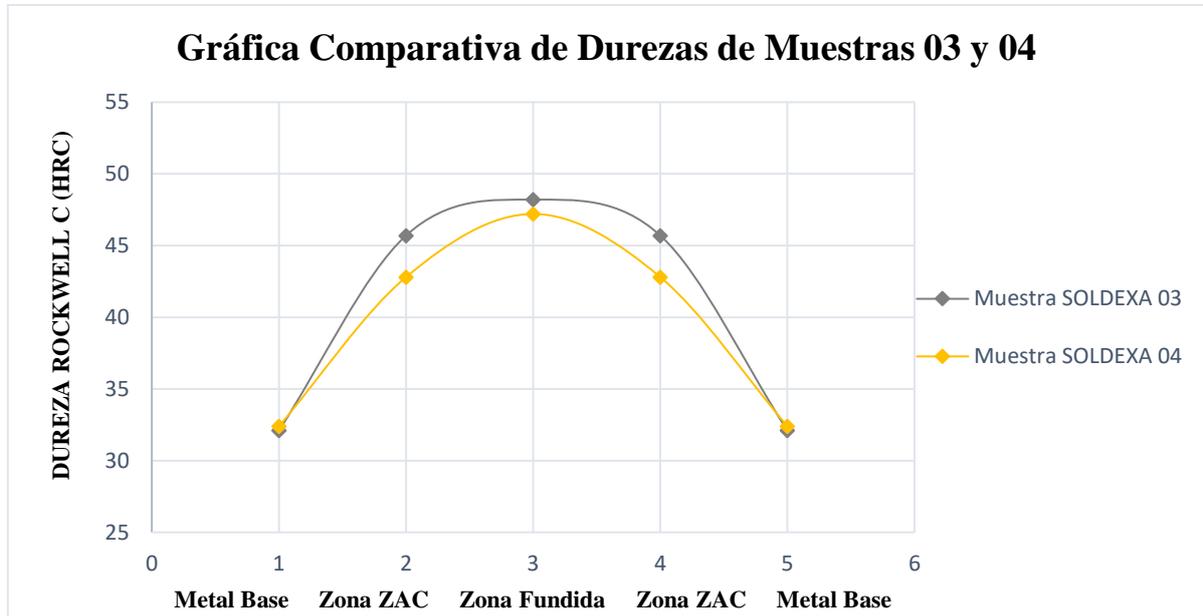
Gráfica comparativa de dureza Rockwell de muestras soldadas con electrodo TRUPER en diferentes zonas de estudio



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 42**

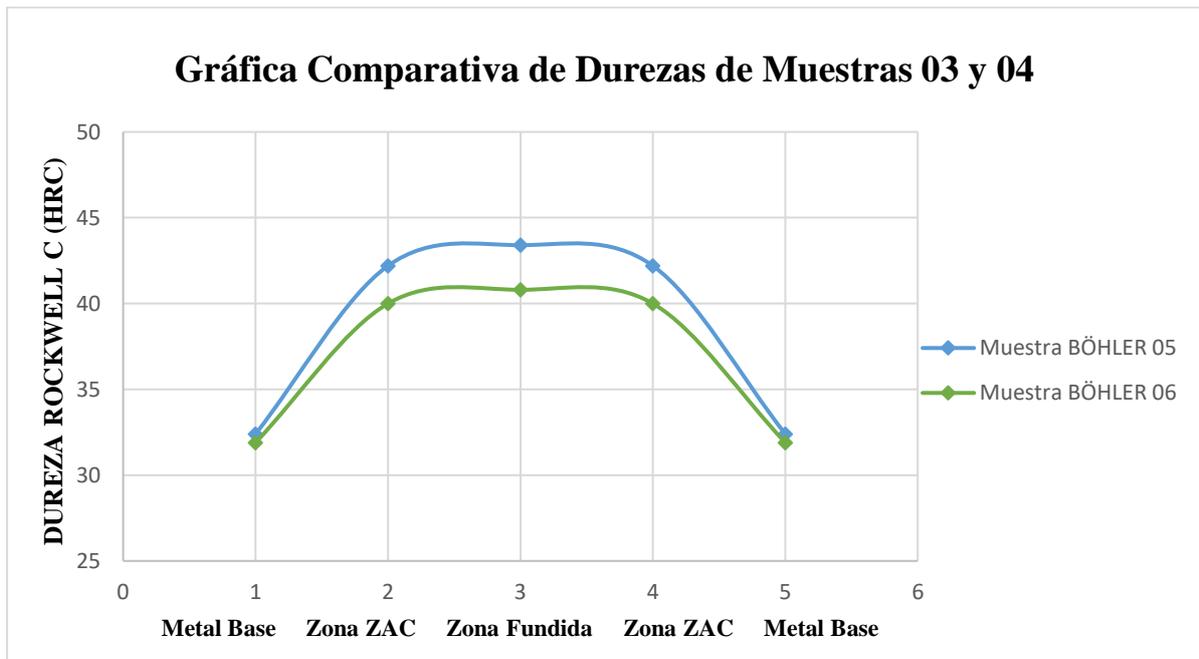
Gráfica comparativa de dureza Rockwell de muestras soldadas con electrodo SOLDEXA en diferentes zonas de estudio



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 43**

Gráfica comparativa de dureza Rockwell de muestras soldadas con electrodo BÖHLER en diferentes zonas de estudio

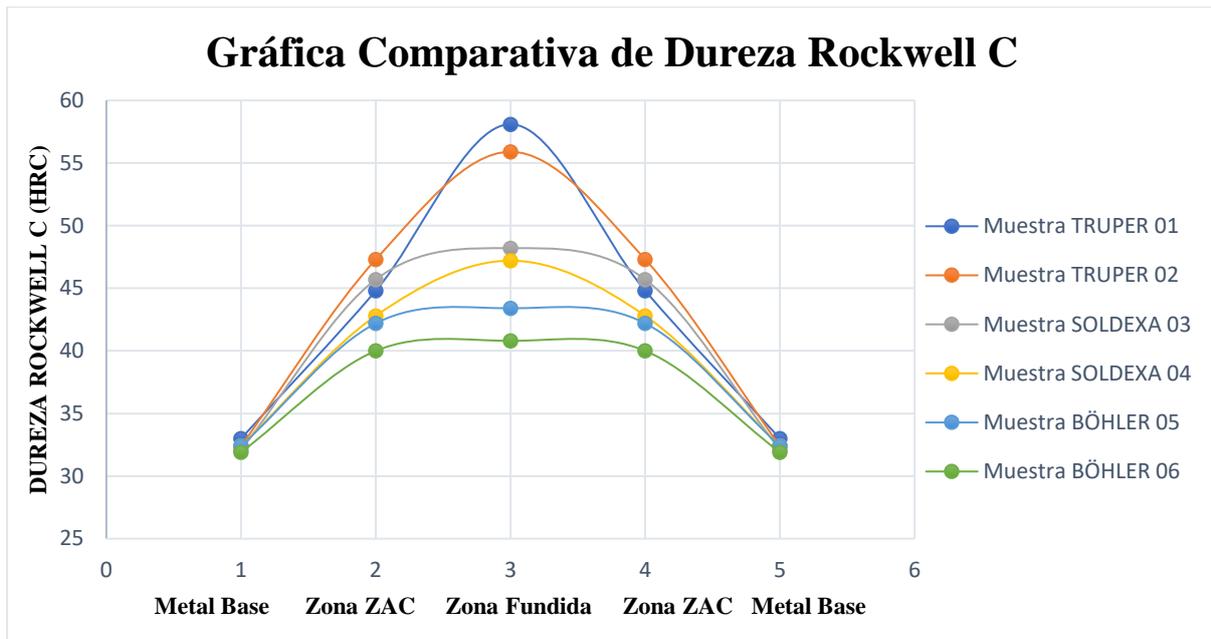


Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, los tres gráficos se resumieron en un solo gráfico para obtener una comparación global de las muestras, tal como se visualiza en la figura 44.

#### Figura 44

*Gráfica Comparativa de Dureza Rockwell de Muestras Soldadas en diferentes Zonas de Estudio.*



*Fuente: Elaboración propia.*

De la figura 44, el gráfico comparativo de durezas obtenidas de las muestras soldadas muestra las mediciones de dureza realizadas en diferentes zonas de estudio. En el eje horizontal se indican las diferentes zonas de estudio donde se realizaron las indentaciones, mientras que en el eje vertical se muestran las escalas de dureza.

Al analizar el gráfico se pueden observar curvas significativas que muestran diferentes niveles de dureza por cada muestra soldada de cada marca de electrodo. Algunas curvas muestran mayores valores de dureza, lo que indica una baja ductilidad en cada unión soldada. Por otro lado, las otras curvas muestran menores valores de dureza, lo cual refleja que las muestras han sido soldadas bajo parámetros correctos, y esto evidencia que cada unión soldada tenga caracteres dúctiles.

En ese sentido, se puede observar en cada curva o nivel de cada muestra que la dureza es mayor en la zona fundida, y va disminuyendo en la zona afectada por el calor hasta llegar al metal base, esto es producto de la velocidad de enfriamiento.

Estas variaciones de dureza pueden deberse a diversos factores como, por ejemplo, la intensidad de corriente empleada, la distancia de arco, velocidad de avance entre otros. Además, cabe mencionar que las condiciones del proceso de soldadura tienen gran influencia sobre la dureza final de la unión soldada, es decir, algunas de estas condiciones como la temperatura inicial del metal base, el ritmo de oscilación del electrodo, el tiempo de enfriamiento por cada cordón depositado, el tiempo de enfriamiento por cada pase, el aporte de calor producido por la limpieza de cada pase (esmerilado) e incluso la calidad desconocida del electrodo revestido de cada marca han afectado considerablemente en la dureza final de cada zona de estudio, sea en el metal base, zona afectada por el calor y en la zona fundida.

En resumen, el gráfico comparativo muestra las diferencias de los niveles de dureza de cada muestra soldada en las diferentes zonas de estudio.

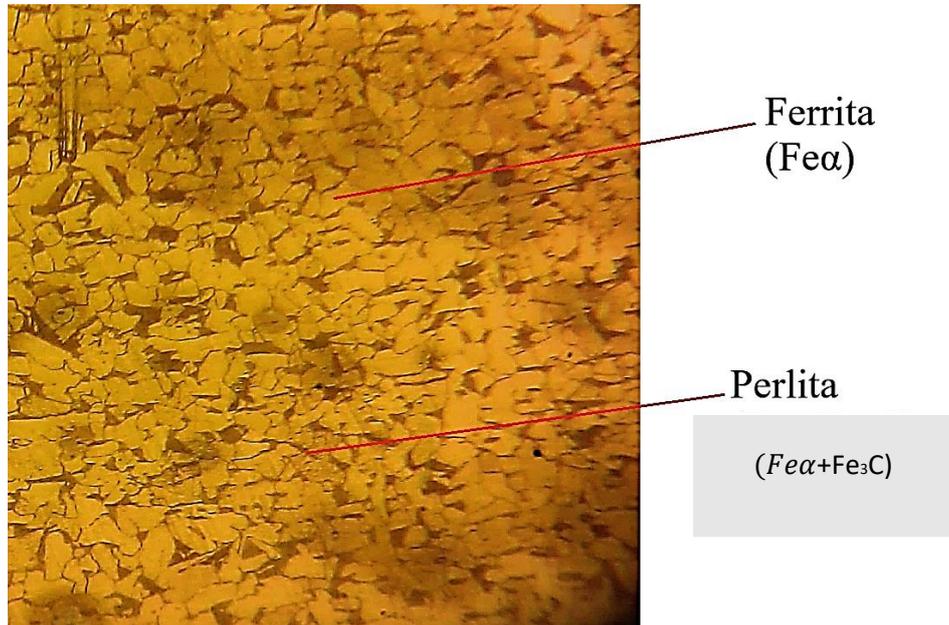
#### **5.4. Ensayo metalográfico**

En este punto, se realizó la evaluación metalográfica a cada probeta soldada por cada marca de electrodo E-7018. Se examinaron las secciones superficiales de cada muestra bajo un microscopio metalográfico. Primeramente, se visualizó las características de la zona del metal base los cuales tienen la misma cualidad en todas las muestras, esto se puede apreciar en la figura 43.

Conforme a la figura 45 el aumento que se empleó fue de 500X, con el cual se puede visualizar que la microestructura muestra granos de ferrita y granos de perlita, los cuales se encuentran distribuidos ordenados aleatoriamente y por lo tanto no demuestran cambios microestructurales por efectos del calor del soldeo.

### Figura 45

Evaluación metalográfica para el metal base acero ASTM A36

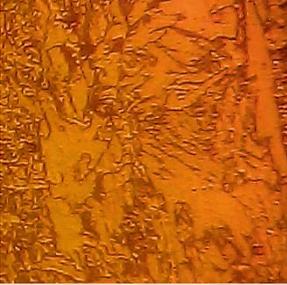


Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las zonas de estudio: Zona Afectada por el Calor y la Zona Fundida se visualizan desde la tabla 35 hasta la tabla 37.

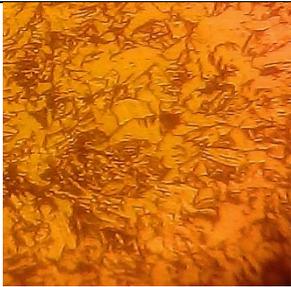
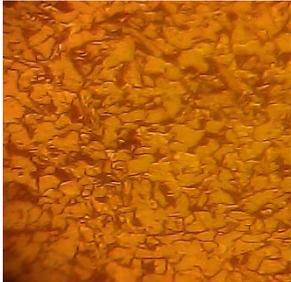
### Tabla 35

Evaluación metalográfica para la muestra soldada con el electrodo E7018 TRUPER

Muestra	Imagen	Descripción	Observación
01		Muestra de la zona afectada por el calor del acero ASTM A36 soldada con electrodo E7018 de la marca TRUPER, a 500X.	Se puede observar mayor presencia de granos de perlita que tienen forma de láminas de tamaño irregular.
		Muestra del cordón de soldadura del acero ASTM A36 soldada con electrodo E7018 de la marca TRUPER, a 500X.	En la zona fundida se observa la presencia de ferrita y granos de perlita de forma alargada.

Nota: La descripción de estas microfotografías fueron realizadas por el Mg. José Julio Farfán Yépez de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC.

**Tabla 36***Evaluación metalográfica para la muestra soldada con el electrodo E7018 SOLDEXA*

Muestra	Imagen	Descripción	Observación
02		Muestra de la zona afectada por el calor del acero ASTM A36 soldada con electrodo E7018 de la marca SOLDEXA, a 500X.	Como se visualiza en la figura la perlita se encuentra en los límites de grano. La forma que tienen es estirada.
		Muestra del cordón de soldadura del acero ASTM A36 soldada con electrodo E7018 de la marca SOLDEXA, a 500X.	Se puede observar la presencia de perlita en forma de glóbulos de forma irregular.

*Nota: La descripción de estas microfotografías fueron realizadas por el Mg. José Julio Farfán Yépez de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC.*

**Tabla 37***Evaluación metalográfica para la muestra soldada con el electrodo E7018 BÖHLER*

Muestra	Imagen	Descripción	Observación
03		Muestra de la zona afectada por el calor del acero ASTM A36 soldada con electrodo E7018 de la marca BÖHLER, a 500X.	En la figura se puede visualizar la limitación entre la zona del cordón de soldadura (granos alargados) y la zona afectada por el calor.
		Muestra del cordón de soldadura del acero ASTM A36 soldada con electrodo E7018 de la marca BÖHLER, a 500X.	Se puede observar cúmulos de ferrita y algunos glóbulos con forma irregular de perlita.

*Nota: La descripción de estas microfotografías fueron realizadas por el Mg. José Julio*

*Farfán Yépez de la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC.*

A continuación se detalla la muestra 01 en la figura 46 y 47.

**Figura 46**

*Muestra 01 en la zona afectada por el calor*



Perlita en forma de láminas de tamaño irregular

Fuente: Elaboración propia

**Figura 47**

*Muestra 01 en la zona del cordón de soldadura*



Granos de ferrita y perlita de forma alargada

Fuente: Elaboración propia

A continuación se detalla la muestra 02 en la figura 48 y 49.

**Figura 48**

*Muestra 02 en la zona afectada por el calor*



Perlita en los límites de grano de forma estirada

Fuente: Elaboración propia

**Figura 49**

*Muestra 02 en la zona del cordón de soldadura*



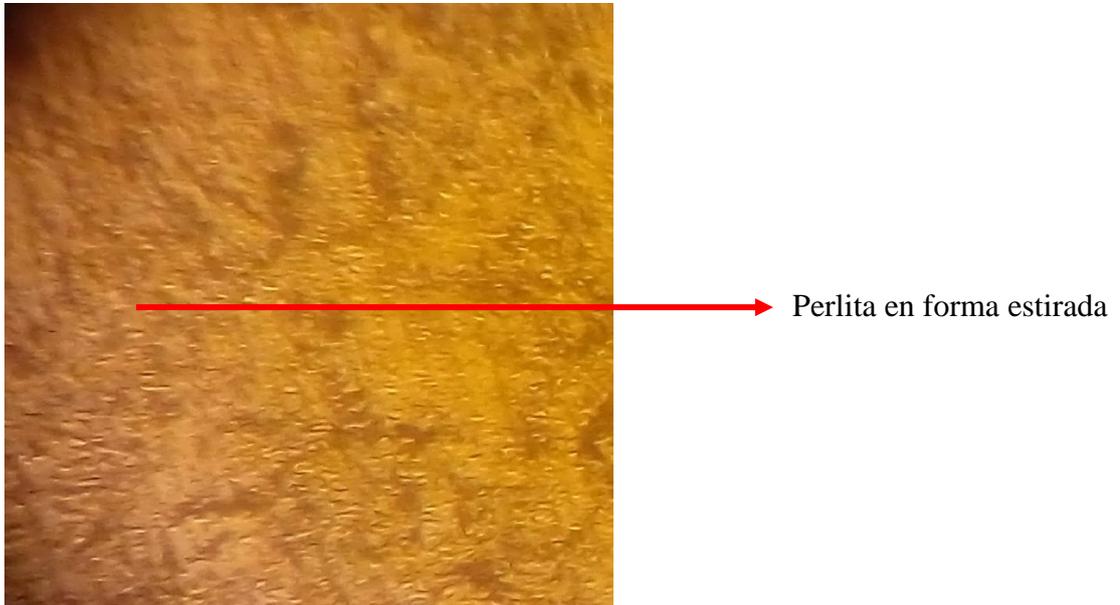
Perlita en forma de glóbulos de forma irregular

Fuente: Elaboración propia

A continuación se detalla la muestra 03 en la figura 50 y 51.

### Figura 50

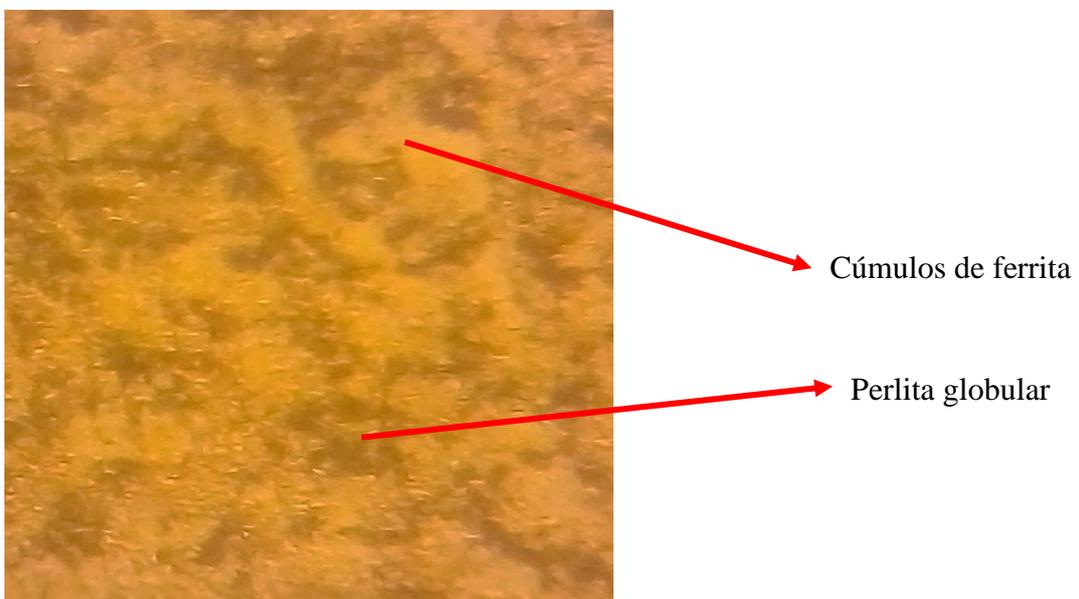
*Muestra 03 en la zona afectada por el calor*



Fuente: Elaboración propia

### Figura 51

*Muestra 03 en la zona del cordón de soldadura*



Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas graficadas podemos resumir que la muestra 01 soldada con el electrodo E7018 de la marca TRUPER presentó una matriz perlítica laminar a diferencia de las otras muestras, así mismo, la zona afectada por el calor muestra una estructura recristalizada lo que cual se plantea que la unión soldada no tenga una excelente ductilidad como a la vez resistencia mecánica.

En segunda instancia podemos afirmar que la muestra 02 soldada con el electrodo E7018 de la marca SOLDEXA presenta una microestructura aceptable, una clara y visible área de ferrita con muy poca presencia de perlita tanto en la zona afectada por el calor, como en la zona fundida. Y finalmente la microestructura presente en la muestra 03 soldada con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER manifiesta una clara y visible matriz ferrítica – perlítica, lo cual conlleva a plantear que ambas muestras poseen excelentes propiedades mecánicas como la ductilidad y tenacidad.

### 5.5 Interpretación de resultados para el cálculo del ancho de la ZAC

Los resultados del calor neto del pase de relleno y pase de acabado de todas las muestras soldadas se visualizan en la tabla 38.

**Tabla 38**

*Resultados del cálculo del calor neto para el pase de relleno y acabado*

N° de Probeta	Pase de Relleno			Pase de Acabado		
	Intensidad de Corriente (A)	Velocidad de Avance (mm/s)	Calor Neto (J/mm)	Intensidad de Corriente (A)	Velocidad de Avance (mm/s)	Calor Neto (J/mm)
01	125	1.49	1258.39	125	1.51	1241.72
02	135	1.69	1198.22	135	1.67	1212.57
03	125	1.89	992.06	125	1.87	1002.67
04	135	1.93	1049.22	135	1.92	1054.69
05	125	1.96	956.63	125	1.95	961.54
06	135	1.99	1017.59	135	1.97	1027.92
07	125	1.94	966.49	125	1.96	956.63
08	135	1.98	1022.73	135	1.99	1017.59

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 39***Resultados del cálculo del ancho de la ZAC*

N° de Probeta	Pase de Relleno		Pase de Acabado	
	Calor Neto (J/mm)	Ancho de ZAC (mm)	Calor Neto (J/mm)	Ancho de ZAC (mm)
01	1258.39	5.54	1241.72	5.47
02	1198.22	5.28	1212.57	5.34
03	992.06	4.37	1002.67	4.42
04	1049.22	4.62	1054.69	4.65
05	956.63	4.21	961.54	4.24
06	1017.59	4.48	1027.92	4.53
07	966.49	4.26	956.63	4.21
08	1022.73	4.50	1017.59	4.48

*Fuente: Elaboración propia.*

El cálculo del calor neto proporcionó una medida cuantitativa, el cual, fue importante compararlo con los parámetros de soldeo para que de esta forma nos muestre una idea de la influencia que guarda sobre una unión soldada. Como se puede visualizar en la tabla 38 los valores del calor neto obtenido de cada pase y probeta respectivamente se ven ligados a los parámetros de soldeo de intensidad de corriente y de la velocidad de avance.

Así mismo, al evaluar los valores obtenidos del ancho la zona afectada por el calor en relación con el calor neto de la tabla 39, se consiguió comprender:

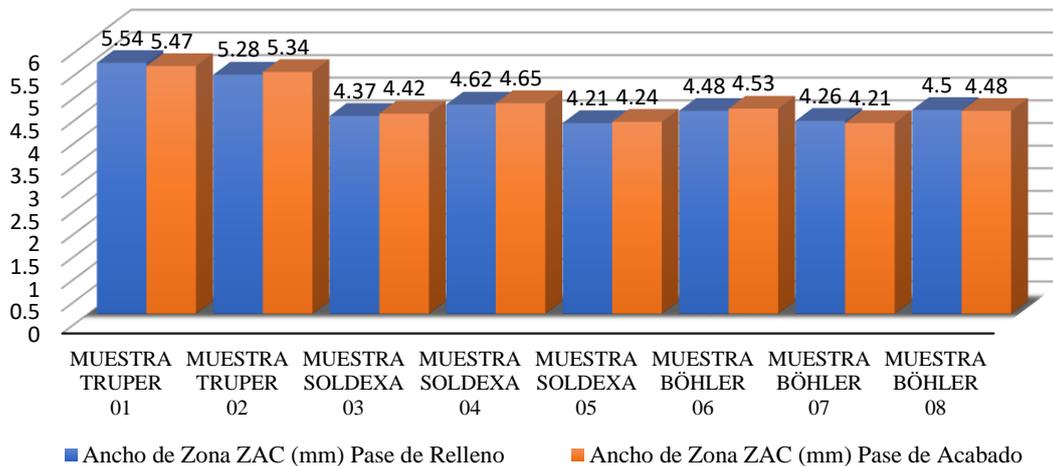
- ✓ La influencia de estos valores frente a los resultados de la inspección visual del ensayo de doblez, y de esta manera se responde la clara presencia de discontinuidades presentes en cada probeta doblada como se visualiza en la tabla 28 y figuras 46 y 47.
- ✓ Su influencia en los resultados del ensayo de dureza en cada zona de estudio.
- ✓ Como se muestra en las tablas 35, 36 y 37; existe un vínculo metalúrgico con los resultados del ensayo metalográfico, ya que cada zona de estudio rebela una microestructura diferente ante a los valores obtenidos del calor neto y ancho de la zona ZAC.

Y, por último, estos valores se resumieron en un gráfico de barras, tal como se visualiza en la figura 46.

**Figura 52**

*Gráfico comparativo de anchos de la zona afectada por el calor obtenidos por diferentes marcas de electrodo E7018*

### **Gráfico Comparativo de Anchos de la ZAC vs Marca de Electrodo**



*Fuente: Elaboración propia.*

Del gráfico de barras comparativo se representaron los anchos de la zona afectada por el calor en diferentes zonas de estudio obtenidos de diferentes marcas de electrodos. Se observa claramente que algunas marcas mostraron medidas altas, mientras que otras mostraron medidas bajas, como también podemos resaltar que una marca destacó una baja medida del ancho significativamente frente a las otras marcas. De acuerdo a ello, los datos obtenidos resaltan también la importancia de seleccionar cuidadosamente electrodos de buena calidad, ya que la elección correcta influirá considerablemente en la calidad y resistencia de las uniones soldadas.

## CONCLUSIONES

- A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de dureza, se determinó que se obtiene una dureza de 40 y 40.8 HRC con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER la cual es menor frente a las durezas 58.1 a 55.9 HRC obtenidas con otra línea de electrodos E7018 ; los parámetros empleados fueron: intensidad de corriente: 125A, velocidad de desplazamiento: 1.94 mm/s y longitud de arco de 2 mm.
- Aunque el valor de dureza obtenido haya sido mínimo frente a los otros valores, se determinó también que se obtiene un mínimo ancho de la zona afectada por el calor de 4.21 y 4.24 mm con el electrodo E7018 de la marca SOLDEXA frente a otra línea de electrodo E7018; empleándose parámetros de: intensidad de corriente: 125A, velocidad de desplazamiento: 1.96 mm/s y longitud de arco de 2 mm.
- Realizando una comparación entre los resultados del ensayo de doblez con los resultados del ensayo de dureza, podemos deducir que las probetas soldadas con el electrodo E7018 de la marca TRUPER presentaron fisuras en la zona fundida debido a la alta dureza presente en esta zona; a la vez se puede decir que la calidad de este material de aporte endureció ciertas zonas de la probeta durante su soldeo lo cual ocasionó un aumento en su dureza, pero a costa de una disminución de su ductilidad.
- El análisis metalográfico de cada muestra analizada permitió identificar dos tipos de microestructuras presentes en las zonas de estudio, en los cuales se identificó zonas con mayor presencia de ferrita en el material base, otras con proporción de perlita distribuida en los límites de grano y otras con perlita en forma acicular; comparando estos datos con los parámetros de soldeo y con los resultados del ensayo de dureza podemos decir que existe una influencia negativa de la intensidad de corriente y velocidad de desplazamiento en la microestructura final y en la dureza de la unión soldada del acero ASTM A36 soldado con el proceso SMAW.

- Por otro lado, al relacionar los resultados del ensayo de dureza frente a cada marca de electrodo E7018 se encontraron diferencias significativas; con algunas marcas se obtuvieron durezas altas y con otras bajas, esto puede atribuirse a variaciones en la composición química del revestimiento del electrodo de bajo hidrógeno y otros factores relacionados con la fabricación de los electrodos revestidos, esto atribuye decir que la elección de un electrodo revestido de excelente calidad tiene un impacto significativo en la dureza final de las uniones soldadas.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Verificar las condiciones del material de aporte antes de usarse, ya que debido a un mal transporte los electrodos puedan presentar deterioro en su superficie como también puedan absorber humedad.
- ✓ Se recomienda mantener una temperatura adecuada para los electrodos revestidos antes de su uso como también se requiere el uso de un horno para estos, con el fin de garantizar un buen desempeño de los electrodos y evitar discontinuidades como la aparición de poros y fisuras.
- ✓ Se recomienda preparar una cantidad de muestras mayor a ocho que contribuya a establecer una tendencia elevada en los resultados del ensayo de dureza.
- ✓ Se recomienda emplear los mismos experimentos a partir de diferentes espesores de placa, tal que se pueda analizar y cuantificar con mayor profundidad la influencia de la dureza en la estructura metalográfica de cada zona de estudio en forma transversal.

## REFERENCIAS

### LIBROS:

- ✓ AWS (2007) Curo de Inspección de Soldadura
- ✓ AWS A3.0 (2020) Normas de Términos y Definiciones de Soldadura
- ✓ AWS A5.02 (2007) Especificación para Tamaños Estandarizados de Metales de Aporte, Embalaje y Atributos Físicas
- ✓ AWS A5.1/5.1M (2012) Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding
- ✓ AWS D1.1/D1.1M (2020) Código de Soldadura Estructural
- ✓ Caso, L. (2018) El Proceso de Investigación Científica en Ingeniería, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna – Perú
- ✓ CESOL (2014) Tema 1.1- IWE- Módulo1
- ✓ Hernández, G. (2010) Manual del Soldador, 6ta Edición. España
- ✓ Hernández Sampieri, R. (2014) Metodología de la Investigación, 6ta Edición. México.
- ✓ Manual ESAB (2018)
- ✓ Manual Soldexa (2018)
- ✓ Miranda y Medina, L (1998) *Investigando en Ingeniería*, Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa – Perú.
- ✓ Mobilia, M. (2010) Tecnología de Inspección de Soldadura, 1ra Edición.
- ✓ O'brien, Annette (2015) Welding Handbook Ninth Edition Volume 2 WELDING PROCESSES PART 1. EEUU.
- ✓ O'brien, Annette (2015) Welding Handbook Ninth Edition Volume 3 WELDING PROCESSES PART 2. EEUU.
- ✓ O'brien, Annette (2015) Welding Handbook Ninth Edition Volume 5 MATERIALS AND APPLICATIONS PART 2. EEUU.

- ✓ Oerlikon (2008) Manual de soldadura y catálogos de materiales de aporte
- ✓ Pérez y Pullas (2009) Introducción de Soldadura
- ✓ Reyes, G (2011) Tecnologías del Corte y de la Soldadura de Metales, 1era Edición. Perú
- ✓ Rivas Tovar, L. (2017) *Elaboración de Tesis: Estructura y Metodología*, 1era Edición. México.
- ✓ Rodríguez, D. (2010). Soldadura; tecnología y técnica de los procesos de soldadura (2a ed.). Madrid: Bellisco
- ✓ Rodríguez, P. (2001) Introducción a la Metalurgia de la Soldadura
- ✓ Saavedra, J. (2014) *Módulo de Soldadura al Arco Eléctrico*, SENATI. Lima – Perú.
- ✓ Soldexa (2018) Manual Soldexa
- ✓ Segovia (2012) Metalurgia de la Soldadura

#### **TESIS:**

- ✓ Blanco, O. (2015) Efecto de la Variación de Temperatura entre Pases en el Acero al Carbono ASTM A106 Grado B, Universidad Libre. Bogotá – Colombia
- ✓ Campos, F. (2014) Control de Calidad en los Procesos de Soldadura FCAW – SMAW, Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa – Perú.
- ✓ Castellanos Sandoval, Y. (2009) Caracterización Metalográfica de un Depósito de Soldadura, realizado con el proceso SMAW, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Departamento de Soldadura, Santa Clara – Cuba.
- ✓ Chilcon, I. (2017) Ensayo Destructivo en Acero Estructural ASTM A36 para Optimizar los Parámetros del Proceso de Soldadura SMAW, Universidad Cesar Vallejo. Chiclayo – Perú.
- ✓ Portillo, E. (2018) Influencia de la Humedad del Aire en los Electrodo de Soldadura SMAW y su incidencia en la Calidad de los Productos Soldados. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.

# **ANEXOS**

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**TÍTULO DE LA INVESTIGACION CIENTÍFICA:**

**“INFLUENCIA EN LA DUREZA EN UNIONES SOLDADAS CON ELECTRODOS E7018 EN LA SOLDABILIDAD DEL ACERO A36 POR EL PROCESO SMAW”**

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	HIPOTESIS			
			VARIABLES DE LA HIPÓTESIS		INDICADORES E INDICES	
			IDENTIFICACIÓN	RECOLECCIÓN	INDICADORES	INDICES
¿Cómo influirán los electrodos E7018 en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?	Determinar la influencia de los electrodos E7018 en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 efectuado con el proceso SMAW	Los electrodos E7018 elevan o disminuyen la dureza, soldabilidad y en el ancho de la zona ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> -Dureza de la unión soldada del acero ASTM A36 <b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b> -Intensidad de Corriente -Velocidad de Avance -Longitud de Arco	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS:</b> Datos de resultados experimentales en el laboratorio de Metalografía y taller de soldadura de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC	<b>CUANTITATIVOS</b> -Medir la dureza de cada unión soldada efectuada por cada marca de electrodo E7018 (HRC) -Intensidad de Corriente utilizado (A) -Velocidad de Avance medido (mm/s) -Longitud de Arco utilizado (mm)	Diseño Experimental Factorial 2 <sup>3</sup> Software: Statgraphics
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
Problema Específico N° 1	Objetivo Específico N° 1	Hipótesis Específica N°1	IDENTIFICACIÓN	RECOLECCIÓN	INDICADORES	INDICES
¿Cómo influirá la intensidad de corriente al soldar con electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?	Determinar la influencia de la intensidad de corriente al soldar con electrodos E7018 de las marcas: BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW	La intensidad de corriente aplicado con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER influye en la dureza, soldabilidad y ancho de la ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> -Dureza de la unión soldada del acero ASTM A36 <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> -Intensidad de Corriente	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS:</b> Datos de resultados experimentales en el laboratorio de Metalografía y taller de soldadura de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC	<b>CUANTITATIVOS</b> -Medir la dureza de cada unión soldada efectuada por cada marca de electrodo E7018 (HRC) -Intensidad de Corriente utilizado (A)	-Diseño Experimental Factorial 2 <sup>3</sup> -Software: Statgraphics
Problema Específico N° 2	Objetivo Específico N° 2	Hipótesis Específica N°2	IDENTIFICACIÓN	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN	INDICADORES	INDICES
¿Cómo influirá la velocidad de avance al soldar con electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?	Determinar la influencia de la velocidad de avance al soldar con electrodos E7018 de las marcas: BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW	La velocidad de avance aplicado con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER influye en la dureza, soldabilidad y ancho de la ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> -Dureza de la unión soldada del acero ASTM A36 <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> -Velocidad de Avance	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS:</b> Datos de resultados experimentales en el laboratorio de Metalografía y taller de soldadura de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC	<b>CUANTITATIVOS</b> -Medir la dureza de cada unión soldada efectuada por cada marca de electrodo E7018 (HRC) -Velocidad de Avance medido (mm/s)	-Diseño Experimental Factorial 2 <sup>3</sup> -Software: Statgraphics
Problema Específico N° 3	Objetivo Específico N° 3	Hipótesis Específica N°3	IDENTIFICACIÓN	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN	INDICADORES	INDICES
¿Cómo influirá la longitud de arco al soldar con electrodos E7018 de las marcas BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW?	Determinar la influencia de la longitud de arco al soldar con electrodos E7018 de las marcas: BÖHLER, SOLDEXA y TRUPER en la dureza y soldabilidad del acero ASTM A36 con el proceso SMAW	La longitud de arco aplicado con el electrodo E7018 de la marca BÖHLER influye en la dureza, soldabilidad y ancho de la ZAC del acero ASTM A36 con el proceso SMAW	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b> -Dureza de la unión soldada del acero ASTM A36 <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b> -Longitud de Arco.	<b>RECOLECCIÓN DE DATOS:</b> Datos de resultados experimentales en el laboratorio de Metalografía y taller de soldadura de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC	<b>CUANTITATIVOS</b> -Medir la dureza de cada unión soldada efectuada por cada marca de electrodo E7018 (HRC) -Longitud de Arco utilizado (mm)	-Diseño Experimental Factorial 2 <sup>3</sup> -Software: Statgraphics

*Fuente: Elaboración propia*

## ANEXO A: FICHA TÉCNICA DEL ELECTRODO E7018 DE MARCA TRUPER



### Electrodos para estructuras pesadas

- Revestimientos bajo hidrógeno para estructuras pesadas
- Aceros suaves que facilitan la fundición
- Inicio de arco rápido con buena estabilidad
- Generan mínimos chisporroteos y pocas escorias
- Tipo de corriente CA / CD
- No genera porosidad
- Para industria, secciones gruesas y pesadas, estructuras sometidas a esfuerzos mecánicos severos (edificios y puentes) y construcción de recipientes sometidos a presión

### Certificaciones y garantías

- Cumple con CE (Certificado no disponible)

### Especificaciones

#### Individuales

Código	Clave	Amperes requeridos	Diámetro
14363	E7018-4	110 - 165 A	1/8"
14364	E7018-5	150 - 220 A	5/32"

#### Generales

Tipo de corriente	CA / CD
Largo	35 cm
Peso por caja	5 kg
Empaque individual	Caja

## ANEXO B: FICHA TÉCNICA DEL ELECTRODO E7018 DE MARCA SOLDEXA



### NAZCA PRO 7018



Electrodo básico de bajo hidrógeno con excelentes características de soldabilidad, fiable para aplicaciones generales y exigentes para aceros estructurales o aceros de bajo carbono. NAZCA PRO 7018 es un electrodo para cualquier posición que ofrece un arco estable y suave con propiedades mecánicas fiables y homogéneas. Ideal para todas las soldaduras que tenga que realizar, desde el primer pase, en juntas con pase de respaldo, al relleno independientemente del grosor o las condiciones de soldadura del trabajo. Posee baja absorción de humedad.

<b>Clasificaciones:</b>	ASME-SFA 5.1 / AWS A5.1: E7018
<b>Aprobaciones:</b>	ABS : 3Y ; LR: 3Y

Las aprobaciones se basan en la ubicación de la fábrica. Contacte con ESAB para obtener más información.

<b>Tipo de Corriente:</b>	CCEP
<b>Aplicaciones:</b>	Construcción Civil, Energía, Aplicaciones industriales y Fabricación General, Metalmecánica pesada y Liviana, Astilleros y Offshore

#### Propiedades Mecánicas Típicas

Condición	Límite de Fluencia	Resistencia a la tracción	Elongación
Como soldado	420 MPa (min)	520 - 580 MPa	25% (min)

#### Resultado Charpy

Condición	Temperatura	Impacto
Como soldado	-30 °C	88 J

#### Composición Química (%)

C	Mn	Si	P	S
0.05	1.12	0.31	0.020	0.020

#### Información Técnica Adicional

Diámetro	Intensidad de Corriente
2.50 mm (3/32")	65 - 105 A
3.25 mm (1/8")	90 - 150 A
4.00 mm (5/32")	120 - 195 A
5.00 mm (3/16")	185 - 270 A
6.30 mm (1/4")	210 - 280 A

#### Información para pedidos

NAZCA PRO 7018 2.50mm 5.00x25.00kg CJ	0505464
NAZCA PRO 7018 3.25mm 5.00x25.00kg CJ	0505465
NAZCA PRO 7018 4.00mm 5.00x25.00kg CJ	0505466
NAZCA PRO 7018 5.00mm 5.00x25.00kg CJ	0505501
NAZCA PRO 7018 6.30mm 25.00kg LT	0505503

# ANEXO C: FICHA TÉCNICA DEL ELECTRODO E7018 DE MARCA BÖHLER



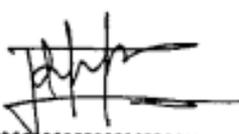
## BÖHLER 7018 - H4R

Electrodo de acero al carbono de bajo contenido de hidrógeno (<H4), resistente a la humedad, para soldar uniones estructurales y de alta resistencia mecánica.

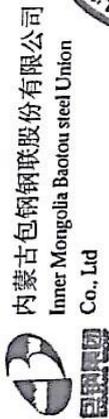
Especificación						
AWS A5.1			AWS A5.1M			
E7018 - H4R			E4918 - H4R			
Campo de aplicación						
BÖHLER 7018 - H4R se recomienda para trabajos de soldadura en aceros estructurales, de construcción, para recipientes a presión, calderas, tuberías, puentes, centrales eléctricas sobre todo para la industria costa afuera ( <i>offshore</i> ), naval y donde se requiera un control de hidrogeno difusible en el metal depositado < 4.0 ml/100grs.						
<b>BÖHLER 7018 - H4R se utiliza para soldar entre otros, los siguientes materiales:</b>						
S235J2G3 - S355J2G3, S235JR-E295, C22, P235T1-P355T1, P235T2 P355T2, L210 - L360NB, L290MB - L360MB, P235G1TH, P255G1TH, P235GH, P265GH, S255N, P296GH, S235JRS1 - S235J3S, S355G1S - S355G3S, S255N - S355N, P255NH-P355NH, GE200-GE260 ASTM A27 a. A36 Gr. all; A214; A242 Gr. 1-5; A266 Gr. 1, 2, 4; A283 Gr. A, B, C, D; A285 Gr. A, B, C; A299 Gr. A, B; A328; A366; A515 Gr. 60, 65, 70; A516 Gr. 55; A570 Gr. 30, 33, 36, 40, 45; A 572 Gr. 42, 50; A606 Gr. all; A607 Gr. 45; A656 Gr. 50, 60; A668 Gr. A, B; A907 Gr. 30, 33, 36, 40; A841; A851 Gr. 1, 2; A935 Gr. 45; A936 Gr. 50; API 5 L Gr. B, X42 - X56.						
Características						
BÖHLER 7018 - H4R se aplica en todas posiciones y tiene un arco estable. El depósito muestra una gran resistencia a la fragilización por hidrógeno. Se puede utilizar con corriente alterna, siempre y cuando la tensión en vacío de la fuente de poder sea lo suficientemente alta (70V en vacío).						
Análisis estándar del depósito (% en peso)						
C	Mn	Si	P	S		
< 0.15	< 1.6	< 0.75	< 0.035	< 0.035		
Propiedades mecánicas del depósito						
Resistencia a la Tracción	Límite de Cedencia, Rp 0.2%		Alargamiento (l = 4d)	Valores de Impacto Charpy V-Notch (-30°C)		
MPa	MPa		%	Joules		
> 490	> 400		> 22	> 27		
Instrucciones para soldar						
Mantener arco corto. Utilice sólo electrodos secos. Electrodos que han estado expuestos al ambiente durante varias horas, se deben secar a una temperatura entre 250 a 300°C de 2 a 3 h.						
Posiciones de soldadura			Tipos de corriente			
			Corriente Directa / Electrodo Positivo (DC/EP) (= +)			
			Corriente Alterna (-)			
Parámetros recomendados						
Electrodo	Ø x L (mm)	2.4 x 350	3.2 x 350	4.0 x 450	5.0 x 450	6.0 x 450
Amperaje	(A)	70 - 110	105 - 155	130 - 200	200 - 275	260 - 340
Empaque						
VacPac (caja de 20 kilos con 4 cajas al alto vacío)						
Caja de 20 kg						
Los datos e información contenidos en esta ficha técnica son exclusivamente para dar orientación acerca de la aplicación de ciertos productos. El usuario es totalmente responsable de la debida utilización de dichos productos para dar cumplimiento con los estándares, especificaciones, procedimientos de mantenimiento y códigos de construcción, fabricación, montaje o reparación aplicables.						

## ANEXO D: REGISTRO DE DUREZAS

REGISTRO DE DUREZA				
EQUIPO	INSIZE ISH PHA	DURÓMETRO PORTATIL		
PROBETA	2.2	UNIDAD DE MEDIDAD HRC		
METAL BASE		33.1	32.7	33.2
ZONA ZAC		41.3	41.3	51.7
ZONA DE FUSIÓN		57.8	63.1	53.4
PROBETA	2.3	UNIDAD DE MEDIDAD HRC		
METAL BASE		31.8	32.4	33.1
ZONA ZAC		48.7	43.7	49.6
ZONA DE FUSIÓN		57.4	58.6	51.7
PROBETA	5.2	UNIDAD DE MEDIDAD HRC		
METAL BASE		32.6	31.9	31.7
ZONA ZAC		46.1	45.7	45.4
ZONA DE FUSIÓN		46	46.9	51.7
PROBETA	5.3	UNIDAD DE MEDIDAD HRC		
METAL BASE		32.3	31.7	33.3
ZONA ZAC		41.8	46.4	40.3
ZONA DE FUSIÓN		48.3	45.5	47.8
PROBETA	7.2	UNIDAD DE MEDIDAD HRC		
METAL BASE		32.4	31.8	32.9
ZONA ZAC		42.3	38.4	46
ZONA DE FUSIÓN		41.8	42.3	46
PROBETA	7.3	UNIDAD DE MEDIDAD HRC		
METAL BASE		31.7	31.9	32.3
ZONA ZAC		39.8	38.9	41.3
ZONA DE FUSIÓN		38.4	39.8	44.2

  
 .....  
**Luis Alberto Hualpa Chauca**  
**MT - PT - VT - Nivel II**  
**ASNT - SNT - TC - 1A**

ANEXO E: CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ACERO ASTM A36



内蒙古包钢钢铁股份有限公司  
Inner Mongolia Baotou steel Union  
Co., Ltd

产品质量证明书  
CERTIFICATE OF INSPECTION

地址: 中国, 内蒙古, 包头, 昆区, 河西工业区  
ADDRESS: HEXI INDUSTRIAL AREA, KUN DISTRICT,  
BAOTOU CITY, INNER MONGOLIA, CHINA  
邮编: 014010  
TEL: 0472-2189165 0472-2189166 0472-2189163



客户名称 CUSTOMER	包钢集团国际经济贸易有限公司	产品名称 PRODUCT	热轧钢卷	订单编号 ORDER No.	OWA21040101			
收货单位 PURCHASER	天津物资招商有限公司	证明书编号 CERTIFICATE No.	210510H0125	客户采购单号 CUSTOMER No.	00000511			
产品标准和牌号 SPEC AND GRADE	ASTM A36/A36M-2004	签发日期 ISSUE DATE	20210510	客户编号 CUSTOMER No.	1799618			
生产许可证 PERMISSION No.		发货日期 DATE OF DELIVERY	20210510	车号 CART/RAIN No.	新港			
		T/C	0/0	装车作业单号 DELIVERY No.	LR21051882			
项次 ITEM NO.	产品序号 LABEL No.	炉号 HEAT No.	钢卷编号 COIL No.	规格 DIMENSION	重量 WEIGHT	化学成分 CHEMICAL ANALYSIS %	拉伸试验 G.L.=50 *A01 *A02 *A03 屈服抗拉延伸率 ReH Rm A2 N/mm <sup>2</sup> %	备注 REMARKS
007	2151020830	21302797	2151020830	厚度 THICKNESS mm 9.525	26.500	C Si Mn P S Cr X10 <sup>-2</sup> X10 <sup>-2</sup> X10 <sup>-2</sup> X10 <sup>-2</sup> X10 <sup>-2</sup> X10 <sup>-2</sup>	380 305 33.0 OK	
				宽度 WIDTH mm 1.500				
合计 (TOTAL)		重量 (NET WEIGHT): 26.500 吨 (Tons)		数量 (QUANTITY): 1 件 (Pcs)		N.A. CERTIFICADO DE CALIDAD		
注释 NOTES	*A01=屈服强度 Yield Strength *A02=抗拉强度 Tensile strength *A03=伸长率 Elongation A2= A50mm *B01=弯曲试验 Bend Test 弯心直径= 3a 光整: 0-否 是否切边: N-否 注: 产品牌号以质保书为准							
备注 REMARKS	兹证明本产品均按照材料标准协议制造及试验, 如有异议请在自发货之日起6个月内提供质量证明书编号、订单号、坯号、异议内 容等信息。质量投诉电话: 0472-2669169、0472-2669078。 This is to certify that all the product is produced and test according material standard or protocol. If you have any objection, please supply quality certificate code, order number, slab number, objection content and any other information since the date of shipment within 6 months. Quality Complaints Telephone Number: 0472-2669169, 0472-2669078. 制表人: 杨旭宏							

ENTREGADO  
07 FEB 2022