

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



**TESIS**

---

**INFLUENCIA DE LA SOLDADURA MULTIPASADAS EN LA DUREZA DEL ACERO  
ASTM 128 POR EL PROCESO SMAW (INVESTIGACION TECNOLOGICA)**

---

**PRESENTADO POR:**

Br. Karl Anthony Cornejo Cutimbo.

Para optar al título profesional de Ingeniero  
Metalúrgico.

**ASESOR:**

Ing. Víctor Melecio Dueñas Aquise.

**CUSCO – PERÚ**

2023

## **PRESENTACIÓN**

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

Señores Docentes Miembros del Jurado:

Cumpliendo con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos vigente de la Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica y con el objeto de optar al Título Profesional de Ingeniero Metalúrgico, pongo a vuestra disposición la tesis intitulada: “INFLUENCIA DE LA SOLDADURA MULTIPASADAS EN LA DUREZA DEL ACERO ASTM 128 POR EL PROCESO SMAW (INVESTIGACION TECNOLOGICA)”.

El presente trabajo de investigación es un instrumento de orientación para las personas que se dedican a la soldadura de mantenimiento al realizar cordones múltiples y el efecto que produce el calor sobre las propiedades mecánicas, especialmente sobre la dureza del depósito y la zona afectada por el calor.

Karl Anthony Cornejo Cutimbo.

## DEDICATORIA

A Dios, que ha sido mi guía y mi fortaleza,  
que ha estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres, Antonio y Rita, quienes con su amor,  
paciencia y esfuerzo me permitieron realizar hoy otro  
sueño, gracias por inculcarme el ejemplo de esfuerzo  
y valentía, que no tengo miedo a las adversidades  
porque Dios siempre está conmigo.

A mi hermana Karen por su amor y apoyo  
incondicional durante todo este proceso, por  
estar siempre ahí para mí. A toda mi familia  
por hacerme una mejor persona con sus  
oraciones, consejos y ánimos y seguirme de  
una forma u otra en todos mis sueños y  
metas.

Finalmente, quisiera dedicar esta tesis a mis abuelos,  
Olger, Reyna y Samuel, que en paz descansen, y a  
todos mis amigos por estar ahí cuando más los  
necesité, por su ayuda y amor en los momentos más  
difíciles. Y por el amor brindado día a día. De verdad  
mil gracias a todos, siempre los llevaré en mi corazón.

Karl Anthony Cornejo Cutimbo.

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a Dios, que con sus bendiciones siempre colma mi vida, y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi más profundo agradecimiento a todas las autoridades y al personal que hacen que siga adelante la escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica por abrirme las puertas y permitirme completar mi proceso investigativo dentro del establecimiento de la universidad.

De igual manera mi agradecimiento a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a toda la facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, a todos mis docentes quienes durante todo mi periodo universitario me hicieron crecer día a día, como profesional, a mi asesor de tesis el Ing. Víctor Melecio Dueñas Aquise, gracias a cada uno de mis docentes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y su amistad.

Finalmente quiero expresar mi agradecimiento al Ing. Leonardo Avilés Hinojosa, quien, a través de su guía, conocimiento y enseñanza, se culminó este trabajo de investigación.

Karl Anthony Cornejo Cutimbo.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación establece un estudio de la influencia del calor neto en las soldaduras multipasadas del acero ASTM A128 aplicados por el proceso SMAW. Para dicho trabajo, se han SELECCIONADO cuatro probetas los cuales se soldaron con diferentes variables y parámetros e identificaron su incidencia en la microestructura del acero ASTM 128, se hicieron los cálculos del calor neto aportado en cada uno de la probeta y mediante exámenes de inspección visual se determinaron su influencia en la calidad de la soldadura. Seguidamente se realizó en examen de dureza en los tres depósitos realizados en cada probeta, calculándose la variación de las durezas en función del calor aportado en cada pasada. Determinándose que la soldadura multipasadas genera una variación de dureza en la zona afectada por el calor. También se evaluó la incidencia que tienen las variables sobre la calidad del depósito de soldadura mediante las pruebas de dureza y ensayo de doblez.

**Palabras Clave:** SMAW, calor de aporte, ZAC, acero Hadfield 128, dureza.

## ABSTRACT

This research work establishes a study of the influence of net heat on multi-pass welds of ASTM A128 steel applied by the SMAW process. For this work, four test tubes have been SELECTED, which were welded with different variables and parameters and identified their incidence in the microstructure of the ASTM 128 steel, the calculations of the net heat contributed in each one of the test tube were made and through visual inspection tests. Their influence on the quality of the weld were determined. Next, a hardness examination was carried out in the three deposits made in each test tube, calculating the variation of the hardness as a function of the heat applied in each pass. It was determined that multi-pass welding generates a variation of hardness in the zone affected by heat. The incidence of the variables on the quality of the weld deposit was also evaluated through hardness tests and bending tests.

**Keywords:** SMAW, input heat, ZAC, Hadfield 128 steel, hardness.

## INDICE

PRESENTACIÓN.....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE .....	vii
INDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
SIMBOLOGIA.....	xv
CAPITULO I .....	1
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación de Problema.....	1
1.2.1. Problema General.....	1
1.2.2. Problemas Específicos .....	1
1.3. Justificación.....	2
1.3.1. Tecnológica.....	2
1.3.2. Económica .....	2
1.3.3. Social .....	2
1.3.4. Ambiental.....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. General.....	3
1.4.2. Específicos.....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. General.....	3
1.5.2. Específicas .....	3
1.6. Variables.....	4
1.6.1. Dependiente .....	4
1.6.2. Independientes .....	4
1.6.3. Operativas .....	4
1.7. Nivel o Tipo de Investigación .....	4
1.8. Población y Muestra .....	5
1.8.1. Población.....	5
1.8.2. Muestra .....	5
1.9. Técnicas e Instrumentos de Toma de Datos.....	6
1.9.1. Técnica.....	6
1.9.2. Instrumentos.....	6
1.10. Viabilidad .....	6
CAPITULO II.....	7
MARCO TEORICO.....	7
2.1. Antecedentes del Trabajo de Investigación.....	7

2.2.	Aceros Auteníticos Al Manganeso (Aceros Hadfield).....	9
2.2.1.	Composición y Microestructuras .....	10
2.2.2.	Propiedades Mecánicas del Acero Hadfield.....	13
2.2.2.1.	Resistencia al desgaste.....	13
2.2.2.2.	Resistencia a la corrosión del acero Hadfield. ....	13
2.2.3.	Efecto de Elementos Aleantes Sobre las Propiedades Mecánicas .....	14
2.2.4.	Aplicaciones del Acero Astm A128.....	22
2.3.	Soldadura.....	22
2.3.1.	Clasificación de los Procesos de Soldadura .....	23
2.4.	Soldadura Por Arco con Electrodo Revestido (Smaw) .....	25
2.4.1.	Definición y Antecedentes .....	25
2.4.2.	Usos y Ventajas del Soldeo por Arco con Electrodo Revestidos .....	26
2.4.3.	Principios del Proceso .....	27
2.4.4.	Transferencia Metálica.....	30
2.4.5.	Fuentes de Poder .....	30
2.4.6.	Variables del Proceso .....	31
2.4.6.1.	Efecto de las variables en el proceso SMAW .....	33
2.5.	Electrodos Revestidos .....	38
2.5.1.	Características de los Electrodo .....	39
2.5.2.	Interpretación de las Normas para Electrodo.....	41
2.5.3.	Tipo de Corriente y Revestimiento Según Norma .....	42
2.6.	Posiciones de Soldeo en las Juntas Soldadas.....	43
2.7.	Tipos de Juntas .....	46
2.8.	Zonas Metalúrgicas de la Soldadura.....	46
2.8.1.	Zona Afectada por el Calor (ZAC) .....	48
2.8.2.	El Metal Base .....	49
2.9.	Ciclo Térmico de la Soldadura .....	49
2.9.1.	Factores que influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura por arco. 52	
2.9.2.	Ecuación De La Temperatura Máxima En Cada Punto De La ZAC.....	55
2.9.3.	Zona Afectada Por El Calor (ZAC).....	56
2.9.4.	Cálculo del Ancho de la ZAC .....	56
2.10.	Ensayos no Destructivos y Destructivos.....	57
2.10.1.	Ensayo no Destructivo .....	57
2.11.	Las Discontinuidades en Soldadura.....	65
2.11.1.	Discontinuidades Superficiales .....	65
2.11.2.	Discontinuidades Internas .....	69
2.11.3.	Discontinuidades Como Inclusiones.....	72
2.12.	Calificación del Procedimiento.....	76
2.12.1.	Especificación del Procedimiento de Soldadura o WPS (Welding Procedure Specification).....	76
2.12.2.	Registro de la Calificación del Procedimiento o PQR (Procedure Qualification Record) 76	



2.12.3. El registro de la Calificación de la Habilidad del Soldador o WPQR (Welder Performance Qualification Record) .....	76
CAPITULO III.....	78
METODO EXPERIMENTAL.....	78
3.1. Maquinaria, equipos, herramientas.....	78
3.2. Material de Ensayo y de Aporte .....	81
3.2.1. Material de Ensayo.....	81
3.2.2. Material de Aporte .....	82
3.3. Soldabilidad de los Cupones .....	83
3.3.1. Características de los Cupones.....	83
3.3.2. Preparación de los Cupones .....	84
3.3.3. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para los Cupones de Experimentación.....	86
3.4. Cálculo del Calor Neto Aportado .....	96
3.5. Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor.....	98
3.6. Control de Calidad de los Cupones .....	101
3.7. Ensayo de Doblado Guiado de Cara y Raíz.....	105
3.8. Ensayo de Dureza.....	108
3.9. Resultados .....	110
3.10. Análisis de los Resultados .....	119
CONCLUSIONES .....	122
RECOMENDACIONES.....	123
BIBLIOGRAFÍA .....	124
ANEXOS .....	127

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Tipos de aceros Hadfield y su composición química.</i> .....	10
<b>Tabla 2</b> <i>Comparación entre corriente continua y corriente alterna.</i> .....	36
<b>Tabla 3</b> <i>Valor de la constante k</i> .....	38
<b>Tabla 4</b> <i>Función del revestimiento.</i> .....	40
<b>Tabla 5</b> <i>Tipo de corriente y revestimiento según norma AWS.</i> .....	42
<b>Tabla 6</b> <i>Eficiencia térmica de los procesos de arco.</i> .....	53
<b>Tabla 7</b> <i>Características de este instrumento.</i> .....	81
<b>Tabla 8</b> <i>La composición química del acero ASTM 128.</i> .....	81
<b>Tabla 9</b> <i>Las propiedades mecánicas del acero ASTM 128</i> .....	82
<b>Tabla 10</b> <i>Propiedades mecánicas.</i> .....	82
<b>Tabla 11</b> <i>Análisis químico del metal depositado (valores típicos) (%)</i> .....	83
<b>Tabla 12</b> <i>Detalle de la junta a tope en V.</i> .....	85
<b>Tabla 13</b> <i>Cupón X-1.</i> .....	86
<b>Tabla 14</b> <i>Cupón X-2</i> .....	88
<b>Tabla 15</b> <i>Cupón X-3</i> .....	90
<b>Tabla 16</b> <i>Cupón X-4.</i> .....	92
<b>Tabla 17</b> <i>Cupón X-5</i> .....	94
<b>Tabla 18</b> <i>Resultados del examen visual</i> .....	102
<b>Tabla 19</b> <i>Medición de refuerzo de soldadura.</i> .....	103
<b>Tabla 20</b> <i>Visualización del examen por tintes penetrantes</i> .....	105
<b>Tabla 21</b> <i>PQR X-3.</i> .....	107
<b>Tabla 22</b> <i>PQR X-4.</i> .....	107
<b>Tabla 23</b> <i>Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-2.</i> .....	108
<b>Tabla 24</b> <i>Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-3.</i> .....	109
<b>Tabla 25</b> <i>Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-4.</i> .....	109
<b>Tabla 26</b> <i>Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-5.</i> .....	110
<b>Tabla 27</b> <i>Pase de raíz (X)</i> .....	110
<b>Tabla 28</b> <i>Pase de relleno(X)</i> .....	111
<b>Tabla 29</b> <i>Pase de acabado (Z)</i> .....	111

<b>Tabla 30</b> Resultados del cálculo del ancho de la ZAC .....	111
<b>Tabla 31</b> Inspección visual de los cupones .....	112
<b>Tabla 32</b> Medición de refuerzo de soldadura (corona de soldadura) y socavaduras.....	112
<b>Tabla 33</b> Resultado de dureza Brinell del cupón X-2. ....	114
<b>Tabla 34</b> Resultado de la dureza Brinell del cupón X-3. ....	114
<b>Tabla 35</b> Resultado de dureza Brinell del cupón X-4. ....	115
<b>Tabla 36</b> Resultado de la dureza Brinell del cupón X-5. ....	116
<b>Tabla 37</b> Valores del perfil de durezas.....	117
<b>Tabla 38</b> Resultados de la inspección visual por tintes penetrantes (fluorescentes).....	118
<b>Tabla 39</b> Resultados del ensayo de dobléz.....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Microestructura del acero Hadfield grado A. 100X</i> .....	11
<b>Figura 2</b> <i>Microestructura acero Hadfield grado A, 200X</i> .....	12
<b>Figura 3</b> <i>Microestructura acero Hadfield grado A tratada térmicamente.</i> .....	12
<b>Figura 4</b> <i>Solubilidad del carbono en un acero Hadfield.</i> .....	14
<b>Figura 5</b> <i>Variación de la temperatura con el contenido de carbono y manganeso</i> .....	15
<b>Figura 6</b> <i>Influencia del carbono sobre las propiedades mecánicas de un acero Hadfield.</i> .....	16
<b>Figura 7</b> <i>Influencia del manganeso sobre el acero austenítico al manganeso.</i> .....	17
<b>Figura 8</b> <i>Influencia del cromo sobre las propiedades mecánicas.</i> .....	18
<b>Figura 9</b> <i>Influencia del molibdeno sobre las propiedades mecánicas</i> .....	19
<b>Figura 10</b> <i>Influencia del níquel sobre las propiedades mecánicas.</i> .....	20
<b>Figura 11</b> <i>Esquema principal de procesos de soldadura.</i> .....	24
<b>Figura 12</b> <i>Soldadura por arco con electrodo revestido.</i> .....	25
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama del proceso SMAW.</i> .....	29
<b>Figura 14</b> <i>Gas ionizado como conductor de corriente.</i> .....	30
<b>Figura 15</b> <i>Características del acero y de la soldadura bajo diferentes condiciones</i> .....	32
<b>Figura 16</b> <i>Designación del electrodo – Según AWS.</i> .....	41
<b>Figura 17</b> <i>Posiciones de soldadura en chapas a tope.</i> .....	43
<b>Figura 18</b> <i>Posiciones de soldadura en chapas en ángulo.</i> .....	44
<b>Figura 19</b> <i>Posiciones de soldadura en tubos a tope</i> .....	45
<b>Figura 20</b> <i>Tipos de junta</i> .....	46
<b>Figura 21</b> <i>Principales zonas de la soldadura</i> .....	47
<b>Figura 22</b> <i>Regiones de la zona de fusión</i> .....	47
<b>Figura 23</b> <i>Regiones de la zona afectada por el calor</i> .....	48
<b>Figura 24</b> <i>Ciclo térmico de la soldadura.</i> .....	49
<b>Figura 25</b> <i>Distribución de temperatura del ciclo térmico.</i> .....	51
<b>Figura 26</b> <i>Curvas isométricas de una plancha sometida a soldadura a tope.</i> .....	52
<b>Figura 27</b> <i>Zonas dentro de la ZAC.</i> .....	56
<b>Figura 28</b> <i>Símbolos que describen la dureza Brinell.</i> .....	63
<b>Figura 29</b> <i>Deposito de soldadura en cara y raíz.</i> .....	64

<b>Figura 30</b> <i>Exceso de penetración</i> .....	65
<b>Figura 31</b> <i>Falta de penetración</i> .....	66
<b>Figura 32</b> <i>Concavidad externa</i> .....	66
<b>Figura 33</b> <i>Concavidad interna</i> .....	67
<b>Figura 34</b> <i>Socavaduras o mordeduras de borde</i> .....	67
<b>Figura 35</b> <i>Quemado</i> .....	68
<b>Figura 36</b> <i>Salpicaduras de metal</i> .....	68
<b>Figura 37</b> <i>Falta de continuidad del cordón</i> .....	69
<b>Figura 38</b> <i>Fisuras longitudinales</i> .....	69
<b>Figura 39</b> <i>Fisuras transversales</i> .....	70
<b>Figura 40</b> <i>Fisura de interrupción</i> .....	70
<b>Figura 41</b> <i>Fisuras en la zona afectada por el calor</i> .....	71
<b>Figura 42</b> <i>Falta de penetración</i> .....	71
<b>Figura 43</b> <i>Falta de fusión</i> .....	71
<b>Figura 44</b> <i>Falta de fusión</i> .....	72
<b>Figura 45</b> <i>Inclusiones gaseosas</i> .....	72
<b>Figura 46</b> <i>Porosidad agrupada</i> .....	73
<b>Figura 47</b> <i>Porosidad alineada</i> .....	73
<b>Figura 48</b> <i>Inclusiones no metálicas</i> .....	74
<b>Figura 49</b> <i>Inclusión de escoria aisladas</i> .....	74
<b>Figura 50</b> <i>Escorias alineadas</i> .....	75
<b>Figura 51</b> <i>Desalineado</i> .....	75
<b>Figura 52</b> <i>Fuente de poder</i> .....	78
<b>Figura 53</b> <i>Durómetro</i> .....	79
<b>Figura 54</b> <i>Equipo de dobléz</i> .....	80
<b>Figura 55</b> <i>Calibrador de soldadura</i> .....	80
<b>Figura 56</b> <i>Cupones de prueba</i> .....	84
<b>Figura 57</b> <i>Junta a tope en “V”</i> .....	85
<b>Figura 58</b> <i>En la figura 58, se observa la preparación de los cupones</i> .....	85
<b>Figura 59</b> <i>Soldadura de los cupones</i> .....	96
<b>Figura 60</b> <i>Medida de corona</i> .....	102

<b>Figura 61</b> <i>Medida de socavadura.</i> .....	103
<b>Figura 62</b> <i>Kit de tintes penetrantes</i> .....	103
<b>Figura 63</b> <i>Selección de la probeta para la prueba de dobléz</i> .....	106
<b>Figura 64</b> <i>Aplicación de carga en la parte central de la probeta.</i> .....	106
<b>Figura 65</b> <i>Ubicación de los puntos donde se tomaron la dureza.</i> .....	108
<b>Figura 66</b> Puntos (denotados con X, Y y Z), donde se ensayaron la dureza en el primer depósito. .....	113
<b>Figura 67</b> Puntos (denotados con X, Y y Z), donde se ensayaron la dureza en el segundo depósito .....	113
<b>Figura 68</b> Puntos (denotados con X, Y y Z), donde se ensayaron la dureza en el tercer depósito. .....	113
<b>Figura 69</b> Variación de la dureza del cupón X-2. ....	114
<b>Figura 70</b> Variación de la dureza del cupón X-3 .....	115
<b>Figura 71</b> Variación de la dureza del cupón X-4. ....	116
<b>Figura 72</b> Variación de la dureza del cupón X-5. ....	117
<b>Figura 73</b> Perfil de dureza de los cupones .....	118

## SIMBOLOGIA

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

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

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

AWS= Sociedad americana de soldadura (American Welding Society)

mm = Milímetro.

MIG = Soldadura gas inerte.(Metal inert gas)

MAG = Soldadura gas active

TIG = Tungsteng inerte gas

CC = Corriente continua.

CA= Corriente alterna.

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

ZF = Zona de fusión.

ZAC = Zona afectada por el calor.

MB = Metal base.

H= Energía de soldeo, en J/mm

V = voltio

A = Amperio

v = velocidad de soldeo.

Tmax = Temperatura máxima

To = Temperatura inicial de la chapa.

Tm = Temperatura de fusión o temperatura del liquidus del metal a soldar.

C =Calor especifico del metal sólido.

$H_{net}$  = energía neta aportada.

$t$  = Espesor de la chapa a soldar.

$\rho$  = Densidad del material

$\rho C$  = Calor específico volumétrico.

$Y$  = Ancho de la zona afectada térmicamente.

$R$  = Velocidad de enfriamiento en un punto sobre el eje central de la soldadura

$k$  = Conductividad térmica del metal

$r$  = Espesor relativo de la chapa.

$St$  = Tiempo de solidificación.

$L$  = Calor de fusión

$C$ : carbono equivalente.

$e$ : espesor de la pieza.

$T_p$  = Temperatura de precalentamiento.

$CE$  = Carbono equivalente.

$\%$  = Porcentaje.

$CDEN$  = Corriente directa electrodo al polo negativo.

$CDEP$  = Corriente directa electrodo al polo positivo.

$HB$  = Dureza Brinell

$h$  = Altura.

$A_{cm}$  = Límite de solubilidad de carbono en austenita para aceros hipoeutectoides

$M_s$  = Inicio de la temperatura de transformación de la martensita



## CAPITULO I

### METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del Problema

El acero ASTM 128, es usado muy ampliamente en las diferentes industrias, sobre todo en la minería, tales como en trituradoras de rocas, molinos, dientes de pala, bombas para manejar pulpas; también en perforación de pozos, industria ferroviaria, industria siderúrgica, y otros. Este acero se utiliza donde se requiere propiedades de resistencia al desgaste y abrasión, resistencia al desgaste metal – metal, etc.

En las diferentes industrias, estos aceros se presentan en diferentes espesores, por lo que es necesario soldarlos con una o varias pasadas (multipasadas). A través del tiempo las factorías que se dedican a la soldadura de este tipo de acero, nunca han tenido en cuenta la variación de dureza que se produce en cada depósito como consecuencia de los calentamientos y enfriamientos. Esta variación de dureza en el depósito producen zonas con diferentes propiedades mecánicas los cuales alteran el trabajo o funcionamiento de las piezas soldadas.

#### 1.2. Formulación de Problema

##### 1.2.1. *Problema General*

¿La soldadura multipadas aplicada por el proceso SMAW influye en la dureza del acero ASTM128?

##### 1.2.2. *Problemas Específicos*

- a) ¿Cómo influye la intensidad de corriente eléctrica en el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC) en la soldabilidad del acero ASTM 128 por el proceso SMAW?

- b) ¿Cómo influye la velocidad de enfriamiento en la soldabilidad del acero ASTM 128 por el proceso SMAW?
- c) ¿Cómo influye la soldadura multipasadas en la dureza de la ZAC en la soldadura multipasadas del acero ASTM 128 por el proceso SMAW?

### **1.3. Justificación**

Se consideran las siguientes justificaciones:

#### ***1.3.1. Tecnológica***

Se contribuye en el desarrollo de un nuevo conocimiento y tecnología en la soldabilidad del acero ASTM 128, lo que permitirá obtener uniones con mejor comportamiento en servicio.

#### ***1.3.2. Económica***

Al lograr depósitos con una sola dureza se estará prolongando la vida útil en servicio lo que se traduce en un ahorro económico.

#### ***1.3.3. Social***

El conocimiento y desarrollo de nuevos procedimientos y métodos de soldabilidad del acero ASTM 128, permitirá conocer el efecto de la soldabilidad de cordones multipasadas en la variación de la dureza del depósito del cordón de soldadura. Esto permitirá la creación de recursos humanos con mejor calificación y viabilizando la oferta de profesionales y técnicos en el mercado laboral.

#### ***1.3.4. Ambiental***

El presente estudio contribuye a preservar el medio ambiente disminuyendo los residuos de acero ASTM 128.

## **1.4. Objetivos**

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

Determinar la influencia de los cordones multipasadas en la dureza del acero ASTM 128 soldado por el proceso SMAW.

### ***1.4.2. Específicos***

- a) Determinar la influencia de la intensidad de corriente en el ancho de la ZAC en la soldabilidad del acero ASTM A128 por el proceso SMAW.
- b) Determinar la velocidad de enfriamiento de los cordones multipasadas en la soldadura del acero ASTM 128 por el proceso SMAW
- c) Determinar la dureza en la ZAC por efecto de la soldadura multipasadas en la soldadura del acero ASTM 128 por el proceso SMAW

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. General***

La soldadura multipasadas influye en la dureza del cordón depositado, en la soldadura del acero ASTM 128 por el proceso SMAW

### ***1.5.2. Específicas***

- a) La soldadura multipasadas influye en el ancho de la ZAC.
- b) La intensidad de corriente aplicado en los cordones multipasadas influye en la dureza del cordón depositado en la soldadura del acero ASTM 128 por el proceso SMAW.
- c) La velocidad de enfriamiento producido en los cordones multipasadas influye en la dureza del cordón depositado en la soldadura del acero ASTM 128 por el proceso SMAW.

- d) La composición química de los cordones multipasadas tiene incidencia sobre la dureza en la soldabilidad del acero ASTM 128.

## **1.6. Variables**

### ***1.6.1. Dependiente***

- Dureza del cordón.

### ***1.6.2. Independientes***

- Composición química
- Velocidad de enfriamiento
- Intensidad de corriente
- Temperatura máxima

### ***1.6.3. Operativas***

- Humedad ambiental
- Temperatura ambiental.

## **1.7. Nivel o Tipo de Investigación**

### **a) Exploratorio.**

Se investigará todo y cada uno de los detalles del trabajo, para esto se indagará en cada uno de los parámetros de análisis generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

**b) Descriptivo.**

Esta investigación se la realiza describiendo el problema en una circunstancia espacial determinada, además esta investigación será la más adecuada para la problemática de la investigación, por su origen y su desarrollo.

**c) Correlacional.**

En este tipo de investigación va a tener como finalidad determinar el grado de relación o sociedad no causal, existente entre dos o más variables evaluando la hipótesis, sujeta a comprobación.

**d) Explicativa.**

La investigación intenta informar de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia encargada de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

**1.8. Población y Muestra****1.8.1. Población**

Aceros austeníticos al manganeso (Aceros Hadfield)

**1.8.2. Muestra**

Cupones de acero ASTM A128- D

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

### ***1.9.1. Técnica***

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se recurrirá a la técnica de la “Observación directa”.

### ***1.9.2. Instrumentos***

Durante el desarrollo del trabajo se usarán los siguientes instrumentos: máquina de soldar por arco eléctrico, durómetro, kit de líquidos penetrantes.

## **1.10. Viabilidad**

Es factible la realización del presente trabajo de investigación. Se dispone de los materiales necesarios como los instrumentos.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Antecedentes del Trabajo de Investigación

- a) El artículo científico “Estudio tribológico de aceros austeníticos tipo Hadfield: Influencia del manganeso en su respuesta frente al desgaste”, de los autores A. García, Á. Varela, J.L. Mier, C. Camba y F. Barbadillo, publicado en la revista de metalurgia de la Escuela Politécnica Superior, Universidad de la Coruña, resumen que en dicho estudio se analiza la respuesta frente al desgaste de aceros austeníticos tipo Hadfield, en función del contenido de manganeso, partiendo de aceros con proporciones dentro del intervalo del 4 al 6 % de manganeso. El análisis tribológico se ha realizado mediante ensayos pin on disk, según norma ASTM G99-05, y los resultados obtenidos se han relacionado con la dureza y con la microestructura de cada muestra determinándose que, para este tipo de aceros, la resistencia al desgaste no sólo depende de la dureza del material, sino que se ve muy influida por el tipo y distribución de precipitados existentes. (A.Garcia, 2010)
- b) En la tesis “Influencia de la microestructura en el comportamiento a desgaste abrasivo evaluado bajo norma ASTM G 65 de depósitos de soldadura antidesgaste aplicados sobre sustratos de acero de baja aleación y bajo carbono” presentado por Jaime Andrés Pérez Cepeda, en la Universidad Nacional de Colombia, en el resumen indica que, en la reconstrucción de piezas de maquinarias es importante determinar la mejor opción en cuanto se refiere al material de aporte depositado por soldadura para recuperación de de piezas. El presente trabajo de investigación se desarrolló para mejorar la aplicación de materiales de relleno en recubrimientos duros en la recuperación de “sprockets”. Para la realización del trabajo de investigación se tomaron en cuenta: el material depositado, la temperatura de precalentamiento

y número de pasadas. La pérdida de peso nos dio un indicativo del desgaste que se produjo en cada probeta. A la probeta seleccionada se le caracterizó microestructuralmente, tomando mediciones de microdureza, se determinó su composición química en la capa desgastada, el porcentaje de poros en el último depósito, la rugosidad superficial en la zona de desgaste y la estructura por rayos X. Concluyéndose que los recubrimientos realizados con altos contenidos de cromo se llegaron a obtener las mejores propiedades antidesgaste seguidos de los recubrimientos aplicados con electrodos con contenidos de manganeso del 15%, mientras que los recubrimientos realizados con electrodos con contenidos menores a 15% de cromo y con contenidos con bajo carbono mostraron recubrimientos bajos. (Pérez Cepeda, 2011)

- c) Abril Delgado, Luis Christian, en su tesis intitolado: “Caracterización microestructural y de propiedades mecánicas de un acero antidesgaste usado como revestimiento en un molino en la unidad minera Orcopampa”, realiza un análisis metalográfico y de propiedades mecánicas a muestras de acero resistentes al desgaste obtenidas de los revestimientos de un molino de bolas, a fin de identificar los mecanismos que brindan la alta resistencia al desgaste que presentan estos aceros. (Delgado, 2018)
- d) En la tesis “Análisis de la recuperación del pestillo de compuerta de cucharón de pala mecánica 3800-4100 por proceso de soldadura SMAW” de Chambi Paucar, Helber Giovanni, describe, que el mecanismo de descarga del cucharón de la pala mecánica 3800-4100 es controlado por el pestillo de compuerta la cual al estar expuesta a diferentes mecanismos de falla ocasionando paradas de emergencia, provocando paradas de producción, lo que se traduce en pérdidas económicas. El objetivo del trabajo de tesis es la recuperación del pestillo de compuerta por el proceso de soldadura SMAW. Teniendo como conclusiones finales que, a) La falla del acero del pestillo de compuerta de cucharón de pala mecánica se inicia por las huellas profundas del



maquinado y se ven apresuradas por las microfisuras producto del proceso de soldadura, b) las durezas obtenidas en el cordón de soldadura fueron inferiores en el metal base, debido al tratamiento térmico que se dio en el soldeo. La dureza en la ZAC es ligeramente superior a la ZF y mayor en 5 puntos a la del MB, endureciéndose esta zona lo que da origen a las microfisuras. c) los resultados del análisis microscópico indican la formación de carburos en la ZF por enfriamiento lento, lo que explica el aumento de dureza con respecto al MB y d) la prolongación de la vida útil del pestillo de compuerta de cucharón de pala mecánica será mayor si se realiza un estudio de soldabilidad y no tan solo usando el mejor electrodo existente en el mercado. (Chambi Paucar, 2014)

## **2.2. Aceros Austeníticos al Manganeso (Aceros Hadfield)**

El acero austenítico al manganeso fue desarrollado por Sir Robert Hadfield en 1882, por lo que fue denominado acero Hadfield. Son aleaciones no magnéticas extremadamente tenaces en las cuales la transformación martensítica de endurecimiento ha sido suprimida por una combinación de alto contenido de manganeso y carbono, y la precipitación de carburos por alta velocidad de enfriamiento desde temperaturas de austenización.

Estos aceros están caracterizados por sus propiedades mecánicas como son: alta resistencia a la tracción y a la compresión, alta ductilidad y excelente resistencia al desgaste. El acero Hadfield es el único que combina alta resistencia y ductilidad con gran capacidad de endurecimiento por deformación y, usualmente, buena resistencia al desgaste. Los aceros austeníticos al manganeso presentan ciertas propiedades que tienden a restringir su uso, por ejemplo, son difíciles de maquinar y usualmente tienen esfuerzos de fluencia de 345 a 415 MPa (50 a 60 Ksi). Consecuentemente no son aptos para partes que requieren alta precisión durante el maquinado o que deben resistir deformación plástica cuando son sometidos a altos esfuerzos durante el servicio.

Los aceros Hadfield tienen una composición nominal de 1.2%C y 12 a 13%Mn como elementos esenciales. Las aleaciones comerciales usualmente varían en el rango de 1 a 1.4%C y 10 a 14%Mn como lo establece la norma ASTM A128. (Higuera, Tristancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 231).

### 2.2.1. Composición y Microestructuras

Muchas variaciones de los aceros al manganeso originales han sido propuestas, pero solo unas pocas han sido adoptadas como mejoras significativas. Estas usualmente incluyen variaciones en el contenido de carbono y manganeso, con o sin elementos aleantes adicionales tales como cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio y bismuto. Las composiciones más comunes establecidas por la norma ASTM A128 son resumidas en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Tipos de aceros Hadfield y su composición química.*

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

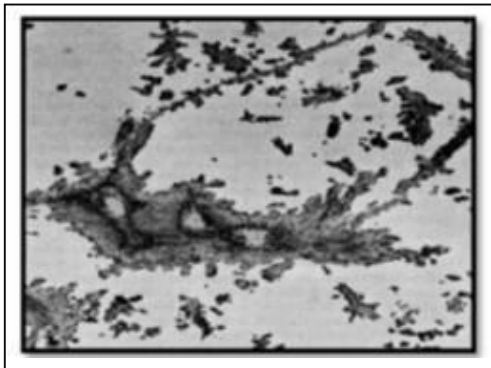
Fuente: (ASM Handbook, 1990)

Los aceros austeníticos al manganeso tienen microestructuras que son extremadamente sensibles al tamaño de la sección. Estos aceros son metaestables con

solución sólida de carbono, manganeso y silicio en hierro gamma ( $\gamma$ ). Por lo tanto, el desarrollo de una microestructura simple de austenita depende de la rapidez y efectividad del temple en agua durante el tratamiento térmico. La microestructura es caracterizada por una matriz austenítica con carburos precipitados y pequeñas colonias de perlita resultado del rechazo del carbono por parte de la austenita durante el enfriamiento, En la figura 1, se observan granos de austenita (claro) con carburos precipitados (oscuro) atacada con picral al 4%. (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007)

### Figura 1

*Microestructura del acero Hadfield grado A. 100X.*

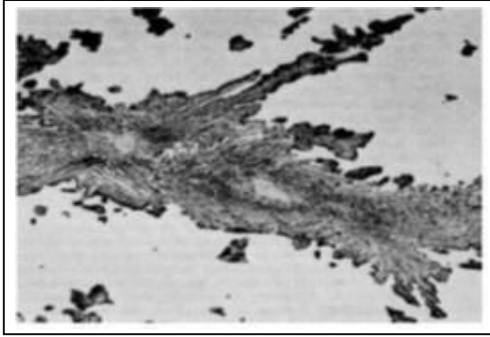


Fuente: Higuera, Trisancho & Florez (2007), pag. 232

Estos carburos nuclean en los límites de grano y en áreas interdendríticas dentro de los granos de austenita. Los carburos interdendríticos pueden ser masivos, especialmente en los puntos triples, y algunas veces son rodeados por zonas de carburos laminares en la que se observan carburos precipitados rodeados de carburos laminares. Ver figura 2, microestructura atacada con picral 4%.

**Figura 2**

*Microestructura de un acero Hadfield grado A, 200X.*

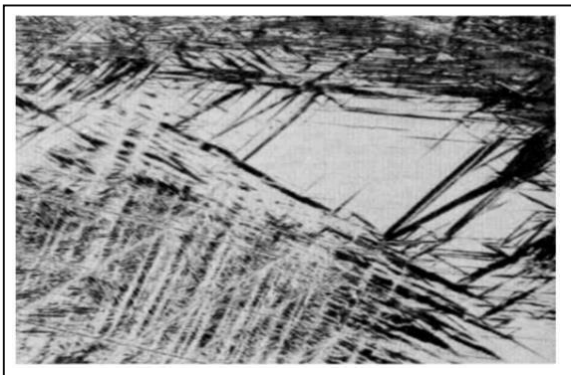


Fuente: Higuera, Trisancho & Florez (2007), pag. 232.

Los aceros Hadfield son sometidos a tratamientos térmicos de endurecimiento, los cuales consisten en calentar a una temperatura lo suficientemente alta para disolver los carburos, seguido de un enfriamiento rápido en agua agitada a temperatura ambiente para retener una mayor cantidad de carbono en la solución sólida metaestable. Estas aleaciones son no magnéticas, sin embargo, debido a la pérdida de carbono y algo de manganeso desde la superficie durante la solidificación dentro del molde y durante el tratamiento térmico, algunas veces existe una capa magnética (martensita) sobre la superficie del metal, se observa en la figura 3 una capa de martensita formada durante la deformación como resultado de la descarburación de la austenita. (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007)

**Figura 3**

*Microestructura acero Hadfield grado A tratada térmicamente.*



Fuente (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auteníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 232).

## **2.2.2. *Propiedades Mecánicas del Acero Hadfield***

### **2.2.2.1. *Resistencia al desgaste.***

Higuera, Tristancho, & Florez (2007) mencionan que la principal propiedad mecánica de los aceros Hadfield es su gran resistencia al desgaste, que fue atribuido a un rápido endurecimiento por deformación, para lo cual se han propuesto varios mecanismos:

- Transformaciones que inducen tensiones.
- Pares mecánicos.
- Interacción de dislocaciones con átomos de carbono en solución sólida, etc.

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

### **2.2.2.2. *Resistencia a la corrosión del acero Hadfield.***

Una de las deficiencias de los aceros Hadfield es su rápida oxidación. Estos aceros se deterioran o se oxidan a una velocidad menor que un acero al carbono. Si la dureza o naturaleza no magnética de los aceros al manganeso es esencial para una aplicación marina, se debe proteger el metal con un galvanizado. (Higuera, Tristancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auténicos al manganeso (aceros hadfield), 2007)

La resistencia a la corrosión de los aceros hadfield se ha intentado mejorar con la adición de otros elementos, pero no se obtuvieron los resultados favorables debido a la formación y precipitación de carburos de cromo que conllevó a un deterioro en la resistencia al desgaste. La sustitución de carbono por nitrógeno provee una buena combinación de resistencia a esfuerzos y a la corrosión, sin embargo, se necesitaría una alta presión de

nitrógeno gaseoso para alcanzar un contenido equivalente al del carbono en los aceros Hadfield. (Fabián, Trisancho, & Florez, 2007)

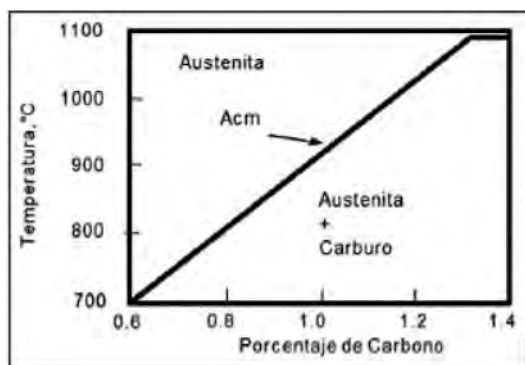
### 2.2.3. Efecto de Elementos Aleantes sobre las Propiedades Mecánicas

#### a) Carbono y Manganeso.

Las composiciones de la norma ASTM A128 no permite ninguna transformación austenítica cuando las aleaciones son templadas en agua desde temperaturas superiores a la línea  $A_{cm}$ . Sin embargo, esto no restringe obtener menores valores de ductilidad en secciones gruesas debido a menores velocidades de temple. Esta pérdida de ductilidad de la aleación se debe a la formación de carburos a lo largo de los límites de grano y de otras áreas interdendríticas. Este fenómeno ocurre en casi todas las aleaciones comerciales excepto en las piezas muy pequeñas en la cuales las velocidades de enfriamiento son altas. La figura 4, muestra la temperatura  $A_{cm}$  para un acero Hadfield con 13% de Mn con un contenido de carbono entre 0.6 y 1.4% C. (Fabián, Trisancho, & Florez, 2007)

**Figura 4**

*Solubilidad del carbono en un acero Hadfield.*

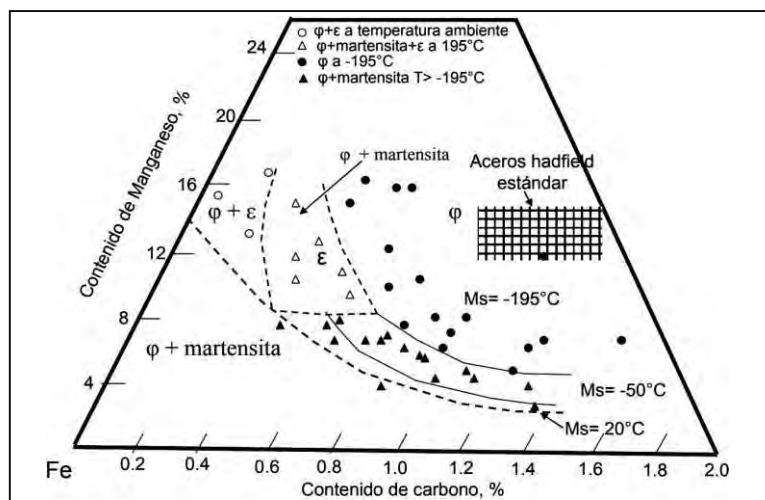


Fuente: (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 233).

En la figura 5, se muestra el efecto del carbono y manganeso sobre la temperatura  $M_s$  temperatura en la cual comienza la transformación martensítica desde la fase austenítica con todo el carbono y el manganeso en solución sólida.

**Figura 5**

*Variación de la temperatura con el contenido de carbono y manganeso*



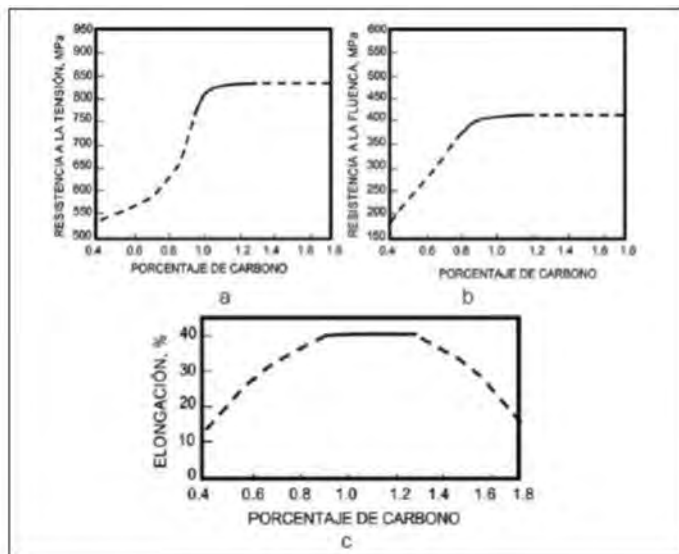
Fuente: (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auténicos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 234).

El contenido de carbono incrementa la resistencia de los aceros austeníticos al manganeso por encima del rango del acero grado A de la norma ASTM A 128, hasta 1.05%C. En el rango entre 1.05 y 1.35%C se estabiliza la resistencia en 827 MPa (120Ksi), con un contenido de manganeso diferente, como se observa en la figura 6. Cualquier valor por fuera de este dato se atribuye al efecto del tamaño de grano en la fase austenítica.

El aumento en el porcentaje de carbono dificulta cada vez más la obtención de austenita saturada en carbono, por tanto, se van a presentar carburos en los límites de grano lo cual producirá reducción en la resistencia a la tensión y disminución en la ductilidad del material. Sin embargo, con el incremento en el porcentaje de carbono se aumenta la resistencia al desgaste del acero austenítico al manganeso. Si se disminuye simultáneamente el porcentaje de carbono y el de manganeso a rangos entre 0.53%C y 8.3% Mn o 0.62%C y 8%Mn el acero se endurece debido a la formación de martensita  $\alpha$ . Sin embargo, esta transformación no produce un aumento significativo en la resistencia al desgaste del material. (Fabián, Trisancho, & Florez, 2007)

## Figura 6

*Influencia del carbono sobre las propiedades mecánicas de un acero Hadfield.*



Fuente: (Higuera, Tristancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auténticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 234).

El manganeso estabiliza la austenita retardando la transformación martensítica (pero no eliminándola).

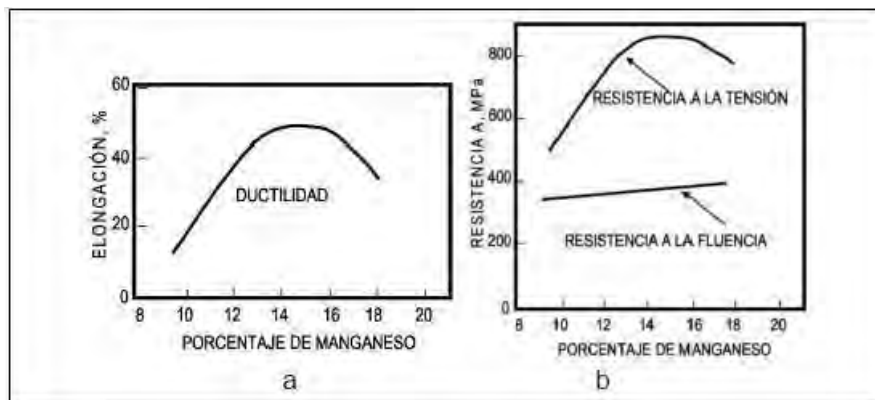
La figura 7 muestra la influencia del manganeso sobre la resistencia y ductilidad de un acero austenítico con un contenido de carbono de 1.15% C. El manganeso afecta en baja proporción la resistencia a la fluencia de los aceros austeníticos al manganeso. En pruebas de tensión, la resistencia última y la ductilidad se incrementa rápidamente con el aumento en el contenido de manganeso hasta un 14%, por encima de este valor muestra un leve decrecimiento. (Fabián, Tristancho, & Florez, 2007)

Está presente en todos los aceros comerciales, ensancha la región  $\phi$ , por lo que los aceros con más de un 12% Mn son austeníticos; disminuye la temperatura de formación de la perlita y también su contenido de carbono; incrementa la solubilidad del carbono en la austenita; favorece la formación de carburos y endurece la ferrita reduciendo un poco su plasticidad; su solubilidad en la austenita es ilimitada y en la ferrita se disuelve hasta un 17%. (Fabián, Tristancho, & Florez, 2007, pág. 235)



**Figura 7**

*Influencia del manganeso sobre el acero austenítico al manganeso.*



Fuente: (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auteníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 234).

Además, incrementa la resistencia a la tracción, el límite elástico, la resistencia a la fatiga y a la fluencia lenta, la forjabilidad, la resistencia al desgaste, la resistencia al revenido, la fragilidad del revenido, la tendencia al embastecimiento de grano, la formación de carburos y la dilatación térmica. En cambio, disminuye la maquinabilidad, la embutibilidad, las conductividades térmica y eléctrica y la sensibilidad a la fractura frágil. (Fabián, Trisancho, & Florez, 2007)

El manganeso disminuye las velocidades críticas de enfriamiento durante el temple; con más de un 3%Mn, el enfriamiento al aire produce estructuras bainíticas y, si el contenido es mayor estructuras martensíticas; de ahí que su efecto sobre la templabilidad sea mayor que el de otros aleantes comunes.

## **b) Silicio y fósforo**

Un contenido de silicio de 1 a 2% puede ser usado para incrementar moderadamente el esfuerzo de fluencia, pero desde el punto de vista operativo se prefieren otros elementos para este propósito. Cuando se adicionan porcentajes por encima de 2.2 % Si se presenta una perdida abrupta

en el límite de fluencia de los aceros austeníticos al manganeso, pero si los niveles de silicio son inferiores al 0.1% Si producen un decrecimiento en la fluidez durante la colada.

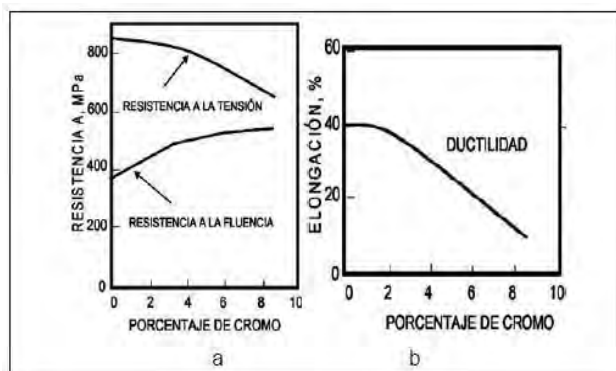
En cuanto al fósforo se considera una impureza excepto en los aceros en los que es deseable su efecto sobre la maquinabilidad y la resistencia a la corrosión; en estos casos, el contenido de fósforo puede ser hasta de 0.12%. En general el contenido de fósforo se debe mantener inferior al 0.035%, aunque las últimas investigaciones han demostrado que, en muchas aplicaciones, porcentajes de hasta 0.08% no son dañinos. Sin embargo, los porcentajes mayores producen fragilidad en frío, dada su tendencia a originar estructuras groseras y segregadas. El fósforo aumenta la dureza pero disminuye la ductilidad y la tenacidad.

### c) Cromo

Adicionando a aceros con un contenido de carbono de 1.15%C, tanto el cromo como el molibdeno incrementan el esfuerzo de fluencia del material (ver figura 8). Aumentos muy significativos de cromo por encima del 2% reducen la ductilidad debido al incremento en la fracción en volumen de los carburos en la microestructura. El cromo provee resistencia a la corrosión atmosférica y al desgaste, sin embargo, el efecto no siempre es consistente y depende de aplicaciones individuales.

### Figura 8

*Influencia del cromo sobre las propiedades mecánicas.*



Fuente: (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auteníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 235).

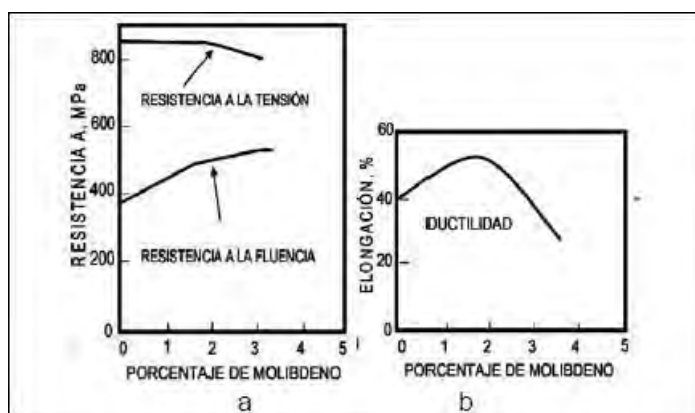
Debido al efecto estabilizante del cromo sobre los carburos de hierro, se deben utilizar temperaturas más altas durante los tratamientos térmicos con el fin de disolver los carburos previamente formados antes del temple en agua, en la figura 2.58 se observa la influencia del cromo sobre las propiedades mecánicas de un acero austenítico al manganeso con un contenido de carbono de 1.15%C.

#### d) Molibdeno.

Adiciones, usualmente de 0.5 a 2%Mo, son hechas para mejorar la dureza y resistencia al agrietamiento de aleaciones en condición de colada, además, sirve para aumentar el esfuerzo de fluencia (y posiblemente la dureza) de secciones sometidas a tratamientos térmicos. El molibdeno en solución efectivamente suprime la formación de carburos fragilizantes y de la perlita, aun cuando la austenita está expuesta a temperaturas por encima de 275°C durante la soldadura en servicio. El molibdeno en carburos primarios tiende a cambiar la morfología (ver figura 9), desde las dendritas de austenita a una forma nodular menos perjudicial, especialmente cuando el molibdeno excede el 1.5%Mo. (Fabián, Tristancho, & Florez, 2007)

### Figura 9

*Influencia del molibdeno sobre las propiedades mecánicas.*



Fuente: (Higuera, Tristancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 235).

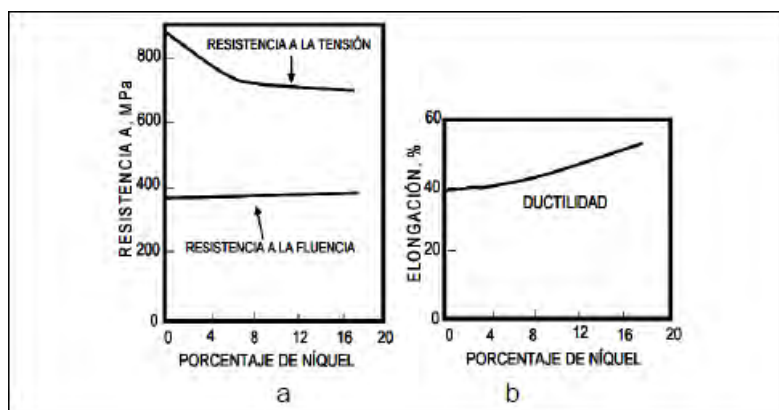
La adición de molibdeno en cantidades mayores al 1% puede incrementar la susceptibilidad de los aceros al manganeso a la fusión incipiente durante el tratamiento térmico. La fusión incipiente se refiere al fenómeno de licuefacción que ocurre debido a la presencia de constituyentes con bajo punto de fusión en áreas interdendríticas, esto puede ocurrir tanto dentro de los granos como a lo largo de los límites de grano. Esta tendencia es agravada por mayores niveles de fósforo ( $\%P > 0.05\%$ ), altas temperaturas (la cual promueve la segregación en la fundición) y altos niveles de carbono ( $\%C > 1.3\%$ ) en el acero. En la figura 2.59, se observa la influencia molibdeno sobre las propiedades mecánicas de un acero austenítico al manganeso con un contenido de carbono de 1.15% C. (Fabián, Trisancho, & Florez, 2007)

### e) Níquel

En cantidades superiores al 4%, el níquel estabiliza la austenita debido a que es retenida en solución sólida. El níquel es particularmente efectivo para suprimir la precipitación de carburos laminares, los cuales se pueden formar entre 300 y 550°C. Por lo tanto, la presencia de níquel ayuda a retener las cualidades magnéticas en el acero, especialmente en las capas superficiales carburadas. Adiciones de níquel incrementan la ductilidad, disminuyen ligeramente el esfuerzo de fluencia y disminuye la resistencia a la abrasión de los aceros al manganeso. En la figura 10, se observa la influencia del níquel sobre las propiedades mecánicas de un acero austenítico al manganeso con un contenido de carbono de 1.15% C.

### Figura 10

*Influencia del níquel sobre las propiedades mecánicas.*



Fuente: (Higuera, Trisancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auteníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007, pág. 235).

**f) Vanadio**

Es un fuerte formador de carburos y su adición a los aceros al manganeso incrementa sustancialmente el esfuerzo de fluencia, pero con su correspondiente decrecimiento de la ductilidad. El vanadio es usado en aceros al manganeso endurecibles por precipitación en cantidades de 0.5 a 2%. Debido a la estabilidad de los carbonitruros de vanadio, se recomienda utilizar temperaturas de austenización mayores 1120°C a 1175°C antes del envejecimiento (usualmente entre 500°C a 650°C).

**g) Cobre**

Como el níquel, el cobre en cantidades de 1 a 5% ha sido usado en aceros austeníticos al manganeso para estabilizar la austenita. El efecto del cobre sobre las propiedades mecánicas no ha sido claramente establecido. Algunos reportes indican que puede tener efectos fragilizantes el cual puede ser debido a la limitada solubilidad del cobre en la austenita.

**h) Bismuto**

Mejora la maquinabilidad de los aceros austeníticos al manganeso especialmente cuando el acero presenta niveles de manganeso superiores al 13%.

**i) Titanio**

Puede reducir el contenido de carbono en la austenita por la formación de carburos muy estables. El titanio puede también neutralizar un poco el efecto del fósforo. Altos niveles de este elemento pueden resultar en severas pérdidas de ductilidad.

**j) Azufre**

El contenido de azufre en los aceros al manganeso raramente influye en sus propiedades mecánicas debido a que el manganeso elimina el azufre en forma de inclusiones. Sin embargo,

se recomienda mantener el azufre lo más bajo posible para minimizar el número de inclusiones en la microestructura que serán sitios potenciales para la nucleación de grietas por fatiga en servicio. (Higuera, Tristancho, & Florez, Fundamentos teóricos de los aceros auteníticos al manganeso (aceros hadfield), 2007)

#### **2.2.4. Aplicaciones del Acero ASTM A128**

El acero Hadfield se utiliza en la maquinaria de movimiento de tierra, minería, perforación de pozos, siderurgia, trituradoras de roca, molinos, dientes de pala y bombas para manejar grava. También tiene usos militares en vehículos blindados, en piñones, engranajes, ruedas, cintas transportadoras, placas de desgaste y zapatas.

En la fabricación de piezas, repuestos, y recubrimiento de equipos, tales como: conos y mantos de chancadoras, recubrimientos de equipos pesados, tolvas, canales de transportación, martillos y platos de trituradoras, placas y guías de desgastes, vías de ferrocarril, carros mineros, revestimientos de molinos de alto impacto, cargadores frontales, retroexcavadoras.

Sin embargo, la fabricación de mantos de chancadora cónica (Bowl – Mantle) han adquirido vital importancia, por su uso en la conminución de minerales; ya que las exigencias son mayores y las condiciones de chancado cada día son más extremas, necesitando que se manufacturen piezas de fundición de acero al manganeso de la más alta calidad, para un eficiente desempeño.

### **2.3. Soldadura**

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) define la soldadura como: “una coalescencia localizada de metales o no metales producida mediante el calentamiento de los materiales a las temperaturas de soldadura requeridas. Con o sin la aplicación de presión, o mediante la aplicación de presión sola y con o sin el uso de metal de aportación”. En lenguaje menos técnico, una soldadura se produce cuando las piezas separadas de material que se van a unir se combinan y

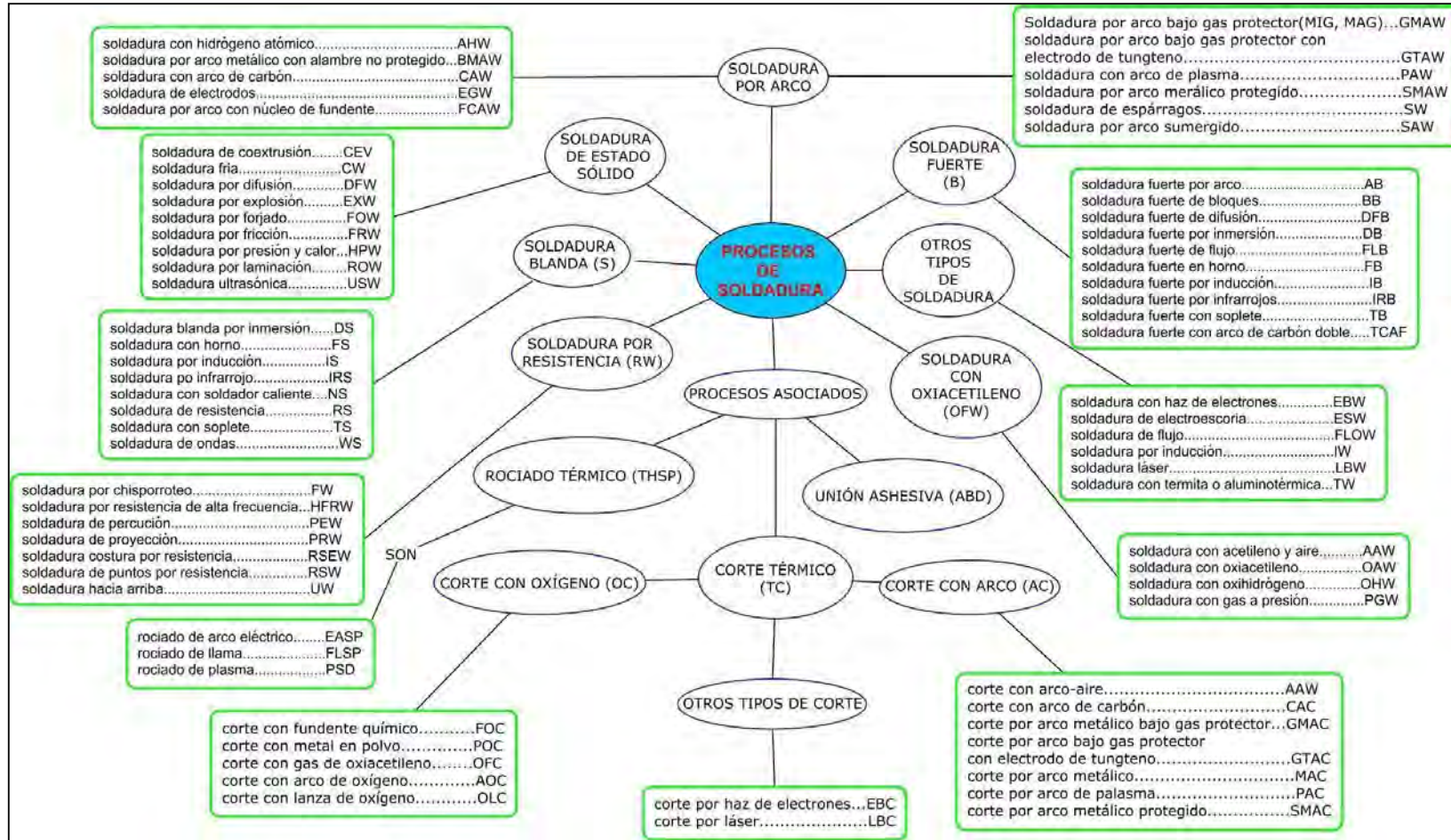
forman una pieza al ser calentadas a una temperatura lo suficientemente alta como para causar ablandamiento o fusión y fluyen juntas (Jeffus, 2009, pág. 5). La soldadura no es sólo un proceso de unión, sino también, es un proceso de mantenimiento, reparación y corte de piezas, (Rodríguez Pérez, 2013, pág.15). El material de aportación y/o los electrodos raramente tienen la misma o parecida composición química que el material base.

### ***2.3.1. Clasificación de los Procesos de Soldadura***

El número de procesos de soldadura ha crecido en los últimos años. Estos procesos se diferencian principalmente en el modo en que se aplican el calor, la presión o ambas cosas y en el tipo de equipo utilizado. En la figura 11 se muestra una clasificación general de los procesos de soldadura. (American welding society, 2008).

Figura 11

Esquema principal de procesos de soldadura.



Fuente: (Jeffus, 2009 , pág. 9)



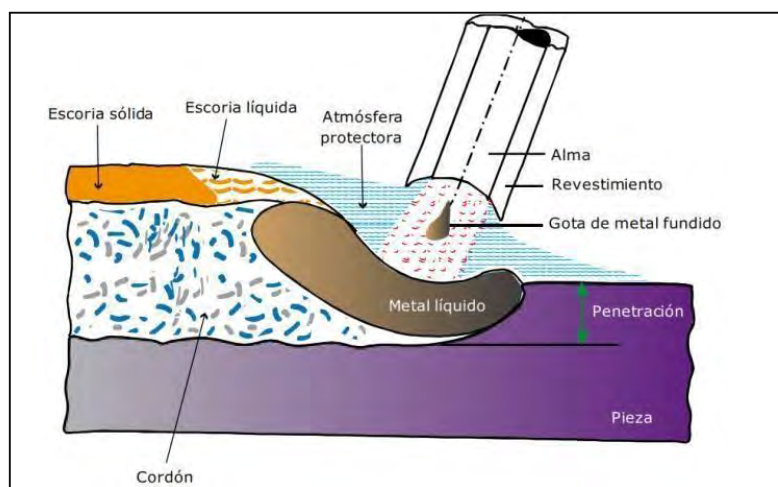
## 2.4. Soldadura Por Arco con Electrodo Revestido (Smaw)

### 2.4.1. Definición y Antecedentes

Según la AWS este proceso es denominado como SMAW, La soldadura manual es el más extendido entre todos los procedimientos de soldadura. La soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido o simplemente “soldadura eléctrica”, como la conocemos en nuestro medio, es un proceso de unión por fusión de piezas metálicas. Mediante el establecimiento de un circuito eléctrico cerrado al poner en contacto la pinza porta electrodos, conectada a un generador de corriente con el metal base. En la figura 12 se observa la soldadura por arco con electrodo revestido y el resto de sus componentes. (Rodriguez Pérez, 2013, pág. 37).

### Figura 12

*Soldadura por arco con electrodo revestido.*



Fuente: (Alonso, 2012, pág. 39)

Los primeros electrodos revestidos fueron fabricados en 1912, unos años antes ya se soldaba con electrodos desnudos que no tenían ningún revestimiento, producían soldaduras de baja calidad y no se utilizaban mucho. En esas fechas tenía mejores prestaciones la soldadura oxiacetilénica que todavía hoy se utiliza, pero en pocos años los electrodos revestidos se fabricaron en serie bajando su precio.

Actualmente no son muy distintos de aquellos: los fabricantes han mejorado mucho la composición del alma y revestimiento, pero básicamente es un objeto heredado del siglo pasado y las técnicas de utilización son semejantes. (society, 2012)

#### **2.4.2. Usos y Ventajas del Soldeo por Arco con Electrodo Revestidos**

En el soldeo manual por arco con electrodos revestidos se pueden soldar no solo acero al carbono sino también, aceros aleados, aceros inoxidable, fundiciones de hierro y algunos metales más como aluminio, cobre, níquel.

- **Ventajas:**

- ✓ Sirven tanto para soldadura en espacios abiertos (siempre que no llueva o haga viento fuerte) como para naves cerradas o talleres.
- ✓ Los equipos necesarios no son tan caros y se fabrican tan pequeños que son muy cómodos de utilizar, comparados con los otros procesos manuales.
- ✓ Con la protección del revestimiento se puede prescindir de gases y otros sistemas auxiliares. El avance en las prestaciones del electrodo permite que se utilice en soldaduras de más alto nivel como el de recipiente y tuberías de alta presión.
- ✓ Se puede utilizar con espesores desde 1,5–2mm y es productivo hasta algo más de 30mm.
- ✓ Proceso versátil debido a la disponibilidad y variedad de electrodos.
- ✓ Se puede emplear en cualquier posición, en locales abiertos y en locales cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía. (society, 2012)

- **Limitaciones:**

- ✓ No es posible soldar metales de alta sensibilidad al oxígeno ya que los gases que desprende el revestimiento son insuficientes para su protección. Algunos de ellos titanio, circonio, tántalo, etc.
- ✓ No es posible soldar metales de bajo punto de fusión (con electrodo) como: plomo, estaño, zinc, etc.
- ✓ Es un proceso lento, por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones ha sido desplazado por otros procesos.
- ✓ Requiere gran habilidad por parte del soldador.
- ✓ No es aplicable a espesores inferiores a 1.5 mm
- ✓ La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como el soldeo con alambre tubular o soldeo MIG / MAG. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 50 mm), cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumida e insertar un nuevo electrodo.
- ✓ Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5 mm en el proceso (society, 2012)

### **2.4.3. Principios del Proceso**

Para lograr la unión, se concentra el calor de un arco eléctrico establecido entre los bordes de las piezas a soldar y una varilla metálica, llamada electrodo, produciéndose una zona de fusión que, al solidificarse, forma la unión permanente.

El circuito se cierra momentáneamente, tocando con la punta del electrodo a la pieza de trabajo, y retirándola inmediatamente a una altura preestablecida, 1,5 – 3mm formándose de esta

manera un arco. El calor funde un área restringida del material base y la punta del electrodo, formando pequeños glóbulos metálicos, cubiertos de escoria líquida, los cuales son transferidos al metal base por fuerzas electromagnéticas, con el resultado de la fusión de dos metales y su solidificación a medida que el arco avanza, (Soldexa, 2011, pág. 22), según puede verse en la figura 13. Al establecerse el arco rascando el electrodo (como una cerilla) sobre el metal salta la chispa. La temperatura que se genera ronda los  $5000^{\circ}\text{C}$ , tanto el extremo del electrodo como la zona afectada de la pieza se funde. A medida que el electrodo se va consumiendo el soldador hace avanzar el baño de fusión a lo largo de la unión a soldar.

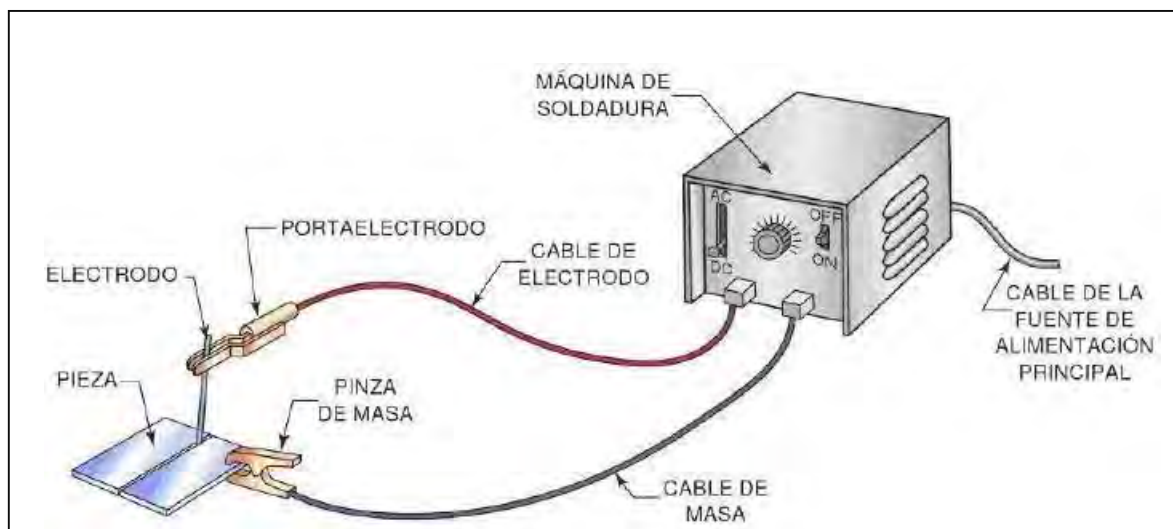
Mientras tanto el calor se va repartiendo por el metal base, bajando la temperatura por debajo del punto de fusión, por lo que la parte del baño que deja de estar bajo el arco se va solidificando, formando lo que llamamos cordón de soldadura.

Durante el tiempo de soldeo el electrodo se va fundiendo en forma de pequeñas gotas que se van aportando al baño de fusión consumido éste hasta que no queda de él.

Cuando por un material conductor pasa una corriente eléctrica, se produce en él un calentamiento. Los gases que se desprenden del revestimiento protegen el baño de fusión del contacto con el oxígeno y el nitrógeno del aire. En el interior del revestimiento está el alma o núcleo, una varilla que siempre ha de ser de la misma composición que el metal base y puede variar en longitud y diámetro. (society, 2012)

### Figura 13

Diagrama del proceso SMAW.

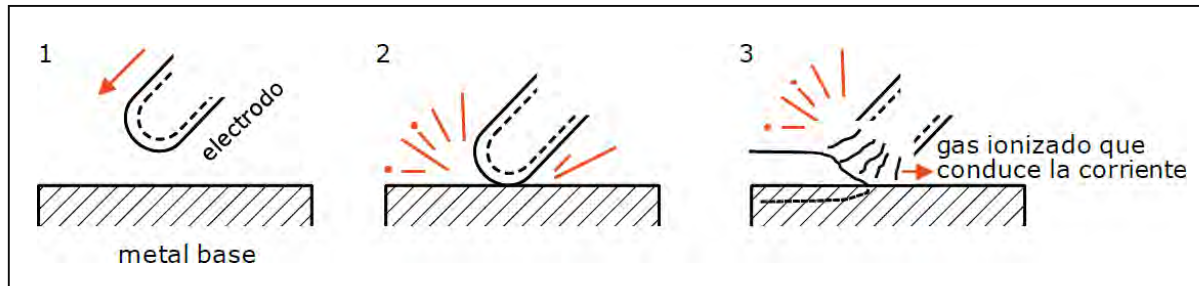


Fuente: (Jeffus, 2009 , pág. 10)

El arco es la fuente de calor que utilizan muchos de los procesos de soldeo ya que proporciona altas concentraciones de calor y radiación. Podemos decir que es una descarga de corriente normalmente alta que se transmite desde el electrodo a la pieza a través de los gases que produce el revestimiento del electrodo. Esto se logra al raspar el electrodo sobre la pieza, el calentamiento que se produce ioniza el gas, se hace buen conductor. Al separar el electrodo, el gas ionizado permite el paso de la corriente estableciendo el arco. La presencia de materiales fácilmente ionizables como sodio y potasio en el revestimiento facilita esta reacción. El gas ionizado y conductor recibe el nombre de columna de plasma y la corriente la forman electrones constituyendo un flujo que sale del polo negativo del grupo de soldadura (cátodo) hacia el polo positivo del mismo (ánodo). Tal como se observa en la figura 14. (society, 2012)

## Figura 14

*Gas ionizado como conductor de corriente.*



Fuente: (Marcos, 2015, pág. 2).

### 2.4.4. Transferencia Metálica

Al fundirse el electrodo se forman una serie de gotas de metal fundido junto con el revestimiento de tamaño variable, en función del tipo de electrodo y del tipo de corriente. El tamaño de las gotas es fundamental para definir la calidad de soldadura del electrodo. Las gotas finas producen cordones de soldadura más lisos, cuanto más finas son, más estable es el arco. Esto es especialmente importante para soldadura con corriente alterna. Los electrodos que arden en forma de gotas finas funden más rápidamente, con lo que mejoran los tiempos de soldeo. Por otro lado, las gotas gruesas permanecen colgadas de la punta del electrodo más tiempo, con lo que se retarda su fusión. Esta característica hace aconsejable el uso de este tipo de electrodos para poder soldar aberturas anchas o soldar en posición vertical y en sentido descendente.

### 2.4.5. Fuentes de Poder

Son máquinas eléctricas, de las cuales se exige además de la suficiente potencia, las características favorables y necesarias para el fácil encendido y mantenimiento del arco eléctrico, características que son indispensables para una buena soldadura.

*Estas características son:*

- Asegurar una alimentación constante de corriente, que permita mantener el arco estable.
- Transformar el voltaje de la red eléctrica a un voltaje en vacío, que permita iniciar el arco (voltaje en vacío es el que suministra la maquina antes de iniciar el arco: varía de 30 a 90 *voltios*).
- Una vez iniciado el arco, debe permitir una conversión automática e instantánea del voltaje en vacío a un voltaje de trabajo, que permita mantener el arco (voltaje de trabajo es el que proporciona la maquina cuando el arco esta encendido; varia de 17 a 45 *voltios*).
- Permitir la regulación de la intensidad de corriente o amperaje necesario para soldar; ese amperaje varía según diámetro, espesor de la pieza, posición del trabajo, diámetro del electrodo, etc.

Además de las características señaladas, una fuente de poder o máquina de soldar debe reunir las condiciones de resistencia y solidez, que le permita trabajar aun estando sometida a las más duras exigencias y según las condiciones en que se desenvuelve la labor del soldador. (Soldexa, 2011, pág. 24).

#### **2.4.6. Variables del Proceso**

Las Variables de soldadura son los factores que pueden ser ajustados para controlar una soldadura. Para obtener los mejores resultados en el proceso, es necesario conocer el efecto de cada variable sobre las diversas características o propiedades del proceso de soldadura, tal como se observa en la figura 15.

**Figura 15**

*Características del acero y de la soldadura bajo diferentes condiciones.*

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
Amperaje	Normal	BAJO	ALTO	Normal	Normal	Normal	Normal
Voltaje	Normal	Normal	Normal	BAJO	ALTO	Normal	Normal
Velocidad	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	BAJA	ALTA
Fusión del electrodo	Buena	Buena	Profunda	Pobre	Se funde poco metal base	Normal	Normal

Fuente: (Oerlikon, 2008, pág. 71).

(Caraballo, 2014, pág. 2). Indica que ciertas variables pueden ser continuamente reguladas o fácilmente medidas constituyen controles mejores que aquéllas que no pueden ser medidas o sólo pueden ser modificadas indirectamente, para iniciar el proceso de soldadura, es necesario definir previamente algunas de estas variables, a las que denominaremos:

- **Variables Preseleccionadas:** Entre ellas se encuentran el diámetro del alambre-electrodo, composición química del mismo. Los criterios que permiten una adecuada selección de estas variables son: tipo de material a ser soldado, su espesor, posición de soldadura, régimen de transferencia metálica deseada y propiedades mecánicas necesarias.



- **Variables Primarias:** Son las que controlan el proceso después que las Variables Preseleccionadas, controlan la forma del cordón, la estabilidad del arco, el régimen de soldadura (velocidad de aporte y cantidad de metal adicionado) y la calidad de soldadura. Estas variables son: tensión de arco, corriente de soldadura y la velocidad de avance. (Caraballo, 2014, pág. 2).

#### ***2.4.6.1. Efecto de las variables en el proceso SMAW.***

Para poder realizar correctamente una soldadura hay que considerar varias variables que se deben ajustar antes de su realización.

##### **a) Diámetro del electrodo**

En general, se tenderá a seleccionar el mayor diámetro posible en función del espesor del material a soldar, la posición y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo. Se consigue así un mayor aporte de material.

El aporte térmico depende, directamente de la intensidad, tensión del arco y velocidad de desplazamiento, parámetros dependientes del diámetro del electrodo; siendo mayor cuanto mayor es el diámetro del mismo, en las aplicaciones o materiales donde se requiera que el aporte térmico sea bajo se deberán utilizar electrodos de pequeño diámetro. En general, se deberán emplear:

- Electrodos de poco diámetro (2,2.5,3.25,4 mm) en: punteado, uniones de piezas de poco espesor, primeras pasadas, soldaduras en posición cornisa, vertical y bajo techo y cuando se requiera que el aporte térmico sea bajo.
- Electrodos de mayores diámetros para: uniones de piezas de espesores medios y gruesos, soldaduras en posición plana y recargues.

- La utilización de grandes diámetros puede dar lugar a un cordón de soldadura excesivo, innecesario y costoso económicamente, pudiendo también actuar como concentrador de tensiones debido a un perfil inadecuado. (Lincoln Electric, 2013, pág. 15).

### **b) Intensidad de soldeo**

Esta variable es fundamental ya que condiciona el aporte térmico. Por ejemplo, en diámetros pequeños se necesitan intensidades menores y por lo tanto un menor aporte térmico. La intensidad es una variable que depende del tipo de junta y de la posición de soldeo. Una vez iniciado el arco, podemos ajustar la intensidad en función del tipo de baño que se obtenga:

- Si es grande quiere decir que hay un exceso de intensidad. Se deberá reducir.
- Si el baño es pequeño falta intensidad, que deberá aumentarse. (Alonso, 2012, pág. 70)

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se deben utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirían mordeduras, proyecciones, intensificación de los efectos del soplo magnético e incluso grietas. (Lincoln Electric, 2013, pág. 15).

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

La longitud del arco es la distancia entre la punta del electrodo y el metal que se va a soldar. La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro.

Es conveniente mantener siempre la misma longitud del arco, con objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual. Un arco demasiado corto puede ser errático y producir cortocircuitos durante la transferencia de metal, un arco demasiado largo perderá direccionalidad e intensidad, además el gas y el fundente generados

por el revestimiento no son tan eficaces para la protección del arco y del metal de soldadura, por lo que se puede producir porosidad y contaminación del metal de soldadura con oxígeno e hidrógeno.

#### **d) Velocidad de soldeo**

No existe una regla matemática para regular la velocidad de desplazamiento ya que depende de la habilidad del soldador que debe equilibrar su velocidad de soldadura con el resto de los parámetros. No obstante:

- Cuanto mayor es la velocidad, menor es la anchura del cordón y menor su penetración, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura, afectando su estructura metalúrgica final y como consecuencia directa a sus propiedades mecánicas finales (carga, rotura, impacto y durezas). (Alonso, 2012, pág. 70).
- Si la velocidad es excesiva se producen mordeduras, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros). (Lincoln Electric, 2013, pág. 18)
- Con una baja velocidad el cordón será ancho y convexo y poca penetración, debido a que el arco reside demasiado tiempo sobre el metal depositado, (efecto “colchón”), en vez de concentrarse sobre el metal base.

“En la práctica, hay que intentar que el arco vaya ligeramente adelantado al baño, pero depende de la posición de soldadura”. (Alonso, 2012, pág. 70).

### e) Corriente de soldadura

Cuando se tiene que realizar la selección del tipo de corriente necesaria, el tipo de electrodos que se va a utilizar es el factor fundamental a la hora de seleccionar tanto el tipo de corriente como el equipo. El primer determinante que hay que tener en cuenta es la disponibilidad de corriente en el lugar donde se van realizar las tareas de soldadura, todavía la corriente continua (CC6). es el tipo de corriente más utilizada para la soldadura, no obstante, cada vez hay un mayor número de electrodos que utilizan la corriente alterna (CA7). como tipo de corriente de alimentación. En la tabla 2, se da la comparación entre la corriente continúa y corriente alterna. (Alonso, 2012, pág. 70)

“Desde el punto de vista de los costes de soldadura, la CA es más barata, pero como este factor tiene cada vez menos importancia en el coste total, no tiene relevancia a la hora de seleccionar el tipo de corriente”. (Alonso, 2012, pág. 70)

**Tabla 2**

*Comparación entre corriente continua y corriente alterna.*

Parámetro	Corriente Alterna	Corriente Continua
Cebado de arco	No es fácil especialmente en diámetros pequeños, se debe añadir sustancias para facilitar el cebado.	Fácil
Mantenimiento del arco	Debido al cambio de polaridad, es más difícil de mantener estable el arco.	Fácil de mantener el arco.
Tipo de electrodo	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco.	Válida para todo tipo de electrodos.
Caída de tensión en los cables	La caída de tensión es pequeña por lo que es especialmente adecuada para el punto de soldadura esté alejado de la fuente de alimentación.	Los cables han de ser tan cortos como sea posible por la gran caída de tensión.
Posiciones de soldeo	Especialmente adecuada para todas las posiciones con el electrodo adecuado.	Es de fácil uso en posición para secciones gruesas.
Salpicaduras	Es más abundante.	Escasas
Soplo magnético	Prácticamente inexistente.	El efecto es muy acusado, especialmente cerca de los bordes o de más. Aumenta con la intensidad.

Fuente: Alonso, C. (2012). Manual de Soldadura por Arco Eléctrico con electrodo recubierto. Cano Pina Ceysa (pág. 56) .

De una forma más genérica, las principales ventajas e inconvenientes de cada tipo de corriente son:

- Todos los tipos de electrodos pueden usarse con CC, no así los de CA.
- La soldadura de chapa fina es más difícil con CA.
- El transformador es menos caro que el correspondiente rectificador. Tiene una mayor eficiencia que el convertidor o rectificador y sus pérdidas en circuito abierto son muy pequeñas.
- En C.A. prácticamente es inexistente el efecto del soplo magnético.

“Actualmente existen electrodos en los que, salvo para altas intensidades, este efecto es relativamente pequeño”. (Soldexa, 2011, pág. 23)

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el equipo tiene que ser capaz de suministrar corriente suficiente para el diámetro adecuado del electrodo. Hay que tener en cuenta, como regla práctica, que la intensidad requerida se calcula aplicando la ecuación 2.1:

$$I = k \times (d - 1) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

*I*: Intensidad de corriente (Amp)

*d*: Diámetro de electrodo (mm)

*k*: Contante que depende del tipo de electrodo

En la tabla 3, se muestra el valor de la constante *k* en función al tipo de electrodo.

**Tabla 3***Valor de la constante k.*

Valor de K	Tipo de electrodo
55	Oxidante, básico, rutilo delgado
60	Ácido y rutilo medio
70	Gran rendimiento

*Fuente: (Alonso, 2012, pág. 56).*

En cuanto a la polaridad con corriente continua depende del material a soldar y del electrodo empleado, sin embargo, se recuerda que se obtienen mayor penetración con polaridad inversa.

## 2.5. Electrodo Revestidos

Los electrodos constan de dos fases fundamentales. Por una parte, está la varilla que constituye el alma del electrodo y por otra, el revestimiento.

El revestimiento es una pasta que se aplica en estado húmedo. Su proceso empieza con la recepción de las materias primas que se muelen, se criban, y se almacenan. Tiene una gran importancia ya que interviene, fundamentalmente, en el proceso de soldadura desde distintos aspectos: (Alonso, 2012, pág. 39).

### a) Físicos:

- Preserva el metal fundido de la contaminación de los componentes del aire (oxígeno y nitrógeno, fundamentalmente), ya sea por formación de gases protectores, o por formación de escoria que cubre las gotas y el baño.
  - Permite la formación de escoria que, por diferencia de densidades, flota sobre el metal fundido y se solidifica rápidamente formando una “costra” que protege el baño y que, por ser mala conductora térmica, limita el enfriamiento solidificándose por encima del cordón.
- (Alonso, 2012, pág. 39).

Una soldadura irregular puede producir inclusiones de escoria dentro del cordón dando lugar a defectos de soldadura. Es fundamental, por lo tanto, que el soldador observe la evolución de la escoria para evitar posibles defectos.

**b) Metalúrgicos:**

- Afina el grano del metal fundido de la unión modificando sustancialmente el comportamiento mecánico de la unión.
- Controla la velocidad de enfriamiento del cordón evitando que sea muy rápido.

**c) Eléctricos**

- Facilita el cebado del arco, ya que favorece el proceso ionizando el aire entre el electrodo y las piezas, mejorando así su conductividad.
- Facilita estabilidad al arco, que depende principalmente del estado de ionización de los gases comprendidos entre el electrodo y la pieza.

En este procedimiento, el soldador sostiene en su mano una pinza que porta el electrodo. Lo sitúa a la distancia adecuada de la pieza para que salte el arco y se deposite la cantidad correcta del material de aporte, a la vez que va desplazando el electrodo a la velocidad adecuada para conseguir una soldadura homogénea. (Alonso, 2012, pág. 39).

**2.5.1. Características de los Electrodo**

El revestimiento está compuesto por varios productos orgánicos, metalúrgicos y minerales, tales como ferroaleaciones (manganeso, silicio, titanio), óxidos de manganeso, de titanio, etc. Como aglutinante se suelen emplear silicatos alcalinos solubles. Cada una de las sustancias que se incluyen en el revestimiento tiene una función como se indica en la tabla 4. En función del tipo de los contenidos del revestimiento, los electrodos se clasifican como:

- Ácidos: sus componentes principales son el feldespato, óxido de manganeso y, sobre todo, óxido de hierro.
- Rutilos: prácticamente el componente principal es el óxido de titanio (rutilo), junto con feldespato que se utiliza como formador de escoria y estabilizador del arco.

**Tabla 4***Función del revestimiento.*

Sustancia	Función
Celulosa	Gas protector
Carbonato cálcico	Gas protector
Espato flúor	Formador de escoria
Dolomita	Gas protector
Rutilo TiO <sub>2</sub>	Formador de escoria y estabilizador del arco
Titanio Potásico	Estabilizador del arco y formador de escoria
Feldespato	Formador de escoria y estabilizador
Mica	Facilita la extrusión y estabilizador
Arcilla	Facilita la extrusión y formador de escoria
Silice	Formador de escoria
Óxido de manganeso	Formador de escoria y aleante
Óxido de hierro	Formador de escoria y aleante
Polvo de hierro	Mejora la velocidad de deposición
Ferrosilicio	Desoxidante
Ferromanganeso	Aleante desoxidante
Silicato sódico	Aglomerante
Silicato potásico	Estabilizador de arco aglomerante

Fuente: (Alonso, 2012, pág. 40).

- Básicos: los componentes principales, prácticamente a partes iguales, son el carbonato cálcico (como formador de gas protector), espato de flúor (como formador de escoria) y óxido de titanio (como formador de escoria y estabilizador del arco).
- Celulósico: en este caso, el revestimiento está compuesto, básicamente, de celulosa (como formador de gas protector) y rutilo.



La calidad de la soldadura depende, en gran medida, de los electrodos y éstos dependen de su revestimiento. En algunos tipos de electrodos, más que en otros, el revestimiento es muy sensible a la humedad, que puede provocar poros en la soldadura. Hay que proteger los electrodos de la humedad, especialmente los de tipo básico, almacenándolos en ambiente seco y preservándolos de la lluvia en los trabajos que se ejecutan a la intemperie. (Alonso, 2012, pág. 62).

### 2.5.2. Interpretación de las Normas para Electrodos

Cada uno de estos electrodos lleva un código impreso en el revestimiento. En la figura 16, se observa la designación según la norma norteamericana AWS.

**Figura 16**

*Designación del electrodo – Según AWS.*



Fuente: (Soldexa, 2011, pág. 44).

- a) La letra *E* designa el producto: Electrodo para soldadura eléctrica manual.
- b) Los primeros 2 dígitos en un número de 4 dígitos o 3 dígitos en un número de 5 dígitos señalan la resistencia mínima a la tracción, sin tratamiento térmico post soldadura:
  - *E 60XX* = 60 000 *lbs/pulg* mínimo
  - *E 70XX* = 70 000 *lbs/pulg*
  - *E 110XX* = 110 000 *lbs/pulg*
- c) El último dígito, íntimamente relacionado con el penúltimo, es indicativo del tipo de corriente eléctrica y polaridad en la que mejor trabaja el electrodo e identifica a su vez el tipo de

revestimiento, el que es calificado según el mayor porcentaje de materia prima contenida en el revestimiento; por ejemplo, el electrodo E-6010 tiene un alto contenido de celulosa en el revestimiento aproximadamente un 30% o más; por ello es que a este electrodo se le clasifica como un electrodo de tipo celulósico. Similar clasificación se da en los otros electrodos.

- d) El tercer dígito indica la posición en la que se puede soldar satisfactoriamente con un electrodo.  
(Soldexa, 2011, pág. 45)

### 2.5.3. Tipo de Corriente y Revestimiento Según Norma

En la tabla 5. Se observa el tipo de corriente y revestimiento según norma AWS.

**Tabla 5**

*Tipo de corriente y revestimiento según norma AWS.*

Clasificación AWS	Tipo de recubrimiento	Posición de soldeo según AWS	Corriente eléctrica
E 6010	Alta celulosa, sodio	F, V, OH, H	CC (+)
E 6011	Alta celulosa, potasio		CA o CC(+)
E 6012	Alto titanio, sodio	F, V, OH, H	CA, CC (-)
E 6013	Alto titanio, potasio		CA, CC (+) o CC(-)
E 6020	Alto óxido de hierro	H-Fillete	CA, CC (-)
		F	CA, CC (+) o CC(-)
E 7014	Hierro en polvo, titanio	F, V, OH, H	CA, CC (+) o CC (-)
E 7015	Bajo hidrogeno, sodio		CC(+)
E 7016	Bajo hidrogeno, potasio	F, V, OH, H	CA, CC (+)
E 7018	Bajo hidrogeno, potasio, hierro en polvo		CA, CC (+)
E 7018M	Bajo hidrógeno, hierro en polvo	F, V, OH, H	CC (+)
E 7024	Hierro en polvo, titanio	H-Fillete, F	CA, CC (+) o CC(-)
E 7027	Alto óxido de hierro, hierro en polvo	H-Fillete	CA, CC (-)
		F	CA, CC (+) o CC(-)
E 7028	Bajo hidrogeno, potasio, hierro en polvo	H-Fillete, F	CA, CC (+)
E 7048	Bajo hidrógeno, potasio, hierro en polvo	F, V, OH, H F, V, OH, HV- Descend.	CA, CC (+)

Fuente: Soldexa. (2011). Manual de Soldadura (7° ed.) (pág. 44). Oerlikon

Donde:

F = plana

H = horizontal

H- filete = filete horizontal

V-Descend. (V-down) = vertical descendente

V= vertical



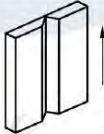
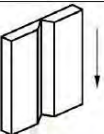
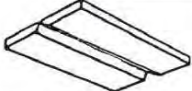
OH= sobre cabeza

## 2.6. Posiciones de Soldeo en las Juntas Soldadas

En las figuras 17,18 y 19, se muestra las diferentes posiciones de soldadura según las normas las normas EN ISO 4063 y AWS A3.0.

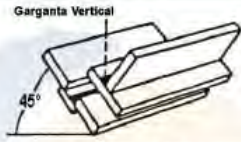
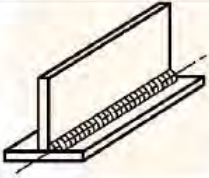
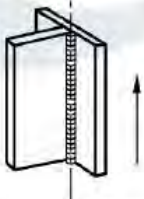
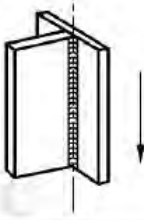
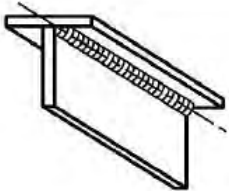
**Figura 17**

*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	

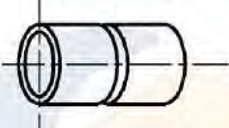
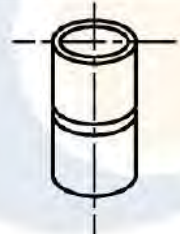
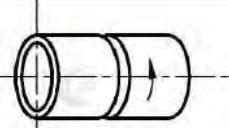
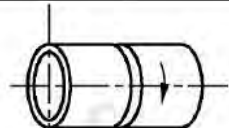
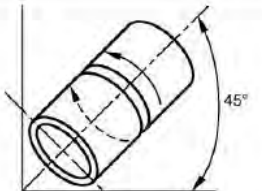
Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

**Figura 18***Posiciones de soldadura en chapas en ángulo.*

Soldaduras de chapas en ángulo			
Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0.		
PA	1F	Chapa inclinada 45°. Soldadura plana acunada.	
PB	2F	Chapa horizontal Soldadura en rincón	
PF	3F ascendente	Chapa vertical Soldadura vertical ascendente	
PG	3F descendente	Chapa vertical Soldadura vertical descendente	
PD	4F	Chapa horizontal Soldadura bajo techo	

Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

**Figura 19***Posiciones de soldadura en tubos a tope.*

Soldaduras de tubos a tope			
Norma		Descripción	Croquis
EN ISO 4063	AWS A3.0.		
PA	1G	Tubería horizontal rotando Soldadura plana	
PC	2G	Tubería vertical fija Soldadura en cornisa	
PH	5G ascendente	Tubería horizontal fija Soldadura plana, en vertical y bajo techo	
PJ	5G descendente	Tubería horizontal fija Soldadura plana, en vertical y bajo techo	
H-L045	6G ascendente	Tubería fija a 45° con la horizontal	

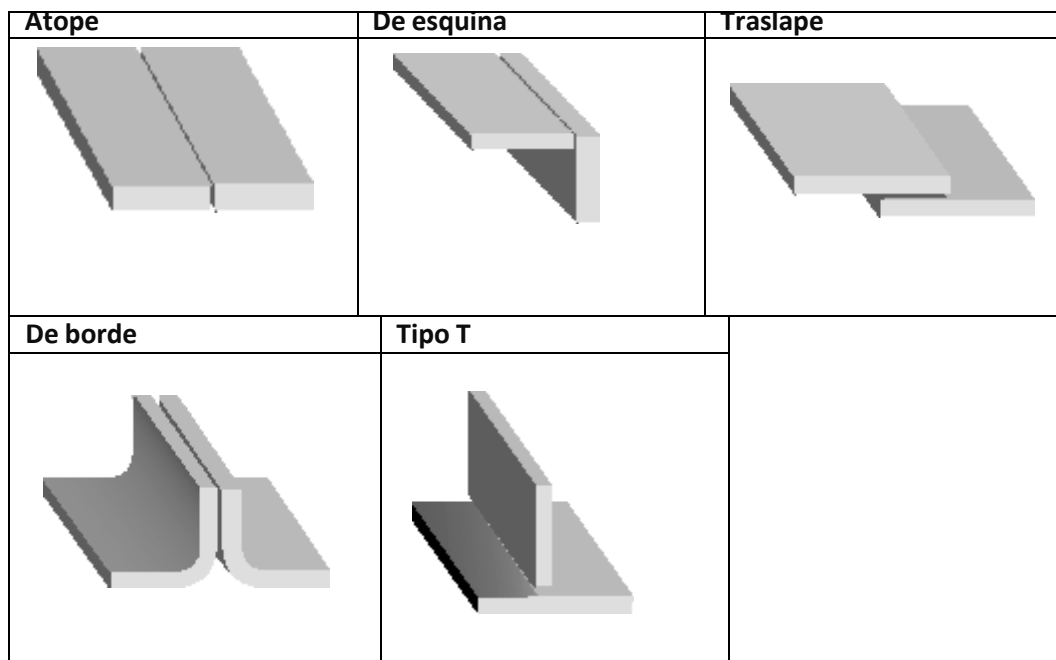
Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

## 2.7. Tipos de Juntas

Cuando las piezas de acero son llevadas a la forma de junta, ellas pueden asumir una de las cinco configuraciones presentadas en la Figura 20. Los tipos de juntas son las descripciones de posiciones relativas de los materiales que van a ser unidos y no implica un tipo específico de soldadura. (Masabanda, 2009)

**Figura 20**

Tipos de junta.



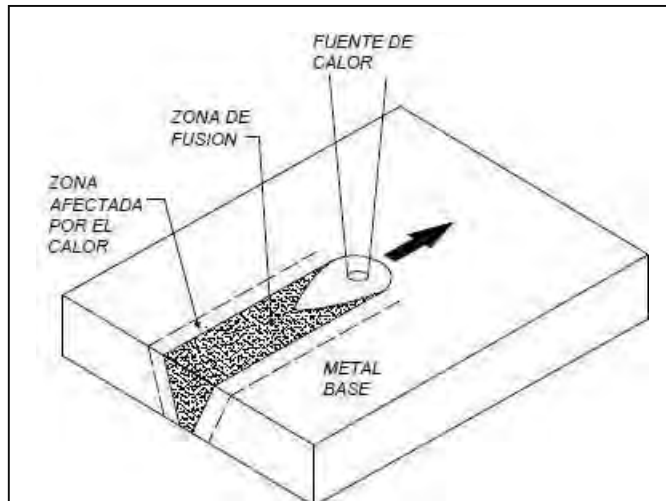
Fuente: ANSI/AWS D1.1. (2000)

## 2.8. Zonas Metalúrgicas de la Soldadura

“En soldadura se puede identificar tres principales zonas, estas son: Zona de Fusión (ZF), también conocida como metal de aporte; Zona afectada por el Calor (ZAC); y Metal Base (MB)”, estas zonas se observan en la figura 21 (Fosca, 2007)

### Figura 21

Principales zonas de la soldadura.



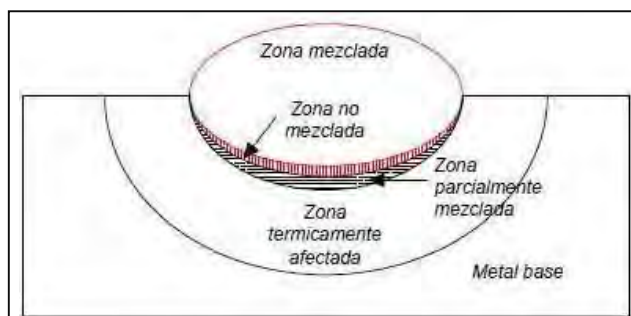
Fuente: (Pérez Cargua & Pullas Rea, 2009).

#### a) Zona de fusión

“Es la zona formada solamente por el metal que se solidifica desde el estado líquido. Durante la fusión se producen transformaciones químicas, físicas y estructurales. Se diferencian tres regiones en la zona de fusión”, ver la figura N° 22. (Fosca, 2007).

### Figura 22

Regiones de la zona de fusión.



Fuente: (Pérez Cargua & Pullas Rea, 2009).

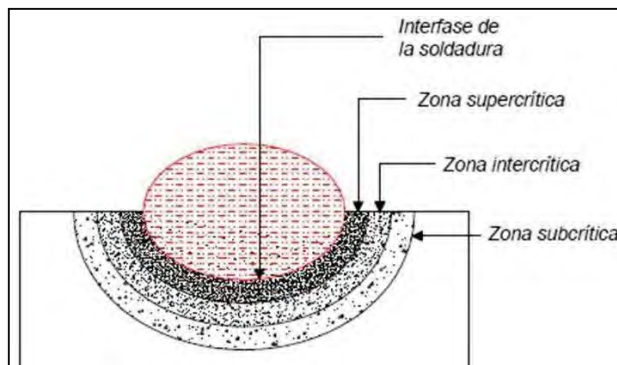
- Zona mezclada: Abarca la mayor parte del cordón de soldadura y es el resultado de la combinación completa del metal base con el metal de aporte en el poso de soldadura.
- Zona no mezclada: Es una capa adyacente a la línea de fusión .(Pérez & Pullas, 2009, pág. 57).
- Zona parcialmente fundida: Se encuentra en el metal base. Esta región corresponde a la transición entre la ZAC y la ZF. (Fosca, 2007) .

### 2.8.1. Zona Afectada por el Calor (ZAC)

En esta zona se producen cambios microestructurales en estado sólido debido a que experimenta temperaturas suficientemente altas. Estos cambios microestructurales afectan las propiedades mecánicas y metalúrgicas de la soldadura. La ZAC de la soldadura en un acero se divide en tres regiones: supercrítica, intercrítica y subcrítica, estas zonas se observan en la figura N° 23.

#### Figura 23

*Regiones de la zona afectada por el calor.*



Fuente: (Pérez Cargua & Pullas Rea, 2009)



“En ese sentido, el tamaño de la ZAC es una indicación de la magnitud de cambios estructurales. Para predecir las propiedades de esta zona, debe conocerse la cantidad, magnitud y crecimiento del grano y el ciclo térmico de la soldadura” (Fosca, 2007).

Además, la región supercrítica se divide en dos regiones: el de crecimiento de grano y el de refinamiento de grano.

### 2.8.2. El Metal Base

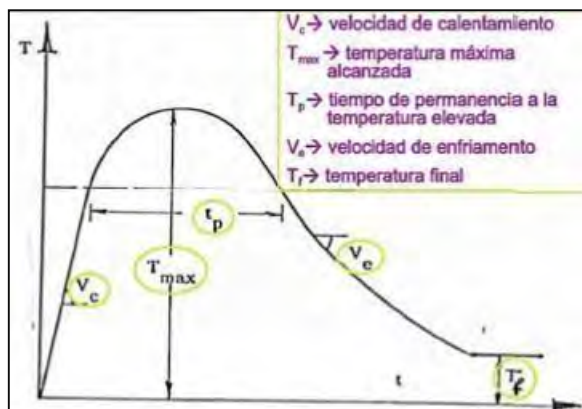
Es la región donde no ocurre cambio micro estructural, aunque el ciclo térmico impuesto por la soldadura puede producir tensiones residuales de contracción longitudinal y transversal.

## 2.9. Ciclo Térmico de la Soldadura

El ciclo térmico representa la variación de la temperatura en función del tiempo para un punto del metal base próxima a la soldadura, como se puede apreciar en la Figura N° 24.

### Figura 24

*Ciclo térmico de la soldadura.*



Fuente: (SlidePlayer, 2014)

Los principales parámetros que describen son:

- **Temperatura inicial ( $T_0$ ).** Es la temperatura de partida.
- **Velocidad de calentamiento.** Es la pendiente de la curva en la subida desde  $T_0$ . Suele ser muy elevada de  $300^\circ\text{C}$  por segundo.
- **Temperatura máxima o temperatura pico ( $T_{\text{max}}$ ).** Es la temperatura máxima alcanzada en un punto del metal base.

La temperatura de pico indica la posibilidad de ocurrencia de transformaciones microestructurales en ese punto. Depende de las condiciones de soldadura, de la geometría y propiedades térmicas de la pieza, su temperatura inicial y la distancia del punto considerado a la fuente de calor.

- **Velocidad de enfriamiento.** La velocidad de enfriamiento está dada por la inclinación de la curva del ciclo térmico desde una determinada temperatura. Este parámetro es importante en la determinación de microestructuras en materiales como los aceros estructurales comunes, que pueden sufrir transformaciones de fase durante el enfriamiento (Fosca, 2007).

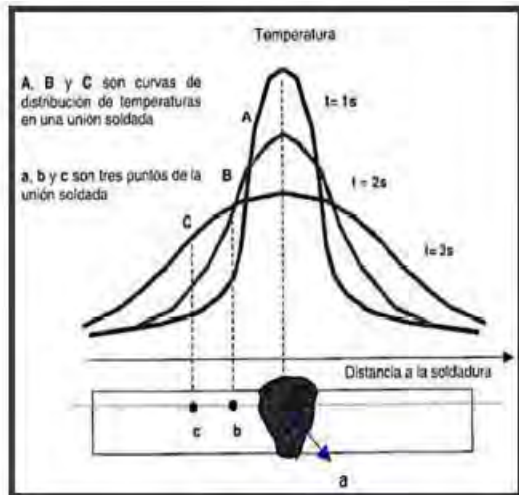
Es preciso señalar que el ciclo térmico es único para cada punto, dada la heterogeneidad térmica existente en el soldeo, que se deriva de la aplicación de una fuente (A.García, 2010, pág. 78). Por tanto, cada punto de la pieza es sometido a un ciclo térmico particular que depende, entre otros factores, de la localización de este punto en relación a la soldadura.

Por otro lado, es posible representar la curva temperatura distancia, a partir de las curvas del ciclo térmico de varios puntos del metal base, como se observa en la Figura N° 25.

“Estas curvas representan la repartición térmica en un instante de tiempo determinado”. (García, 2010).

**Figura 25**

*Distribución de temperatura del ciclo térmico.*



Fuente: (Fosca, 2007).

Por tanto, estas curvas reales de distribución de temperaturas son muy importantes pues permiten conocer en un momento determinado cual es la temperatura en diferentes puntos de la pieza que está siendo soldada. Si se conoce la temperatura en cada punto es posible predecir qué zonas del metal se verán afectadas micro estructuralmente e incluso estimar el grado de distorsión a la que estaría sometida la unión como consecuencia del calor de soldadura.

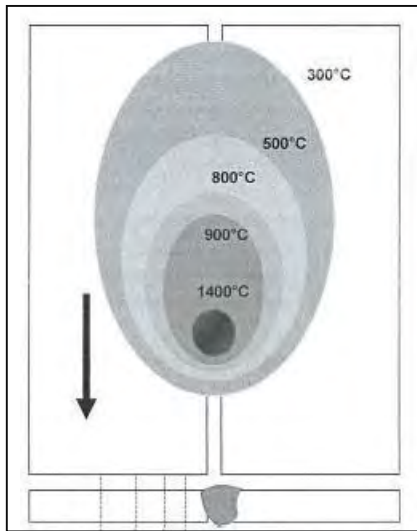
En la Figura N° 26 se observa las curvas isométricas de la soldadura a tope. La curva de distribución de temperatura como las curvas isométricas depende de los siguientes factores:

El baño fundido, que actúa como foco de calor más permanente. Aquí los parámetros a tomar en cuenta son la intensidad de la corriente, el voltaje y la velocidad de avance.

“La masa de metal base, que absorbe el calor. Aquí el factor determinante es el espesor de la pieza a soldar y la configuración del tipo de junta (a tope, en filete, etc.)” (Fosca, 2007)

## Figura 26

*Curvas isométricas de una plancha sometida a soldadura a tope.*



Fuente: (Fosca, 2007).

### 2.9.1. Factores que influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura por arco.

Los factores que influyen son:

#### a) Aporte de calor (heat input).

“El input térmico es la energía aportada por un proceso de soldadura cuando se realiza un cordón por unidad de longitud, es expresado en Joules por milímetro (J/mm). Para procesos de soldadura por arco eléctrico, el input térmico es estimado por la ecuación 2.1.” (Fosca, 2007)

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

Donde:

$H_{net}$  = Calor suministrado (j/mm)

$I$  = Intensidad de corriente (A)

V = Tensión eléctrica (V)

v = Velocidad de soldeo (mm/seg)

La ecuación 1 permite conocer la energía bruta aportada por la máquina (H). Sin embargo, parte de ésta se pierde antes de llegar a la soldadura, debido a procesos de radiación, convección y conducción en el arco y en la pieza (A.Garcia, 2010). En ese sentido, es de interés el cálculo de la energía neta aportada (Hnet), que es el producto del input térmico bruto por el rendimiento del proceso de soldadura, como se muestra en la ecuación 2 (Fosca, 2007) .

$$Hnet = \frac{V \times I}{v} \times f \quad Ec. 2.$$

Donde:

f: Eficiencia térmica

La eficiencia térmica de los diferentes procesos se detalla en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Eficiencia térmica de los procesos de arco.*

Proceso	Eficiencia
GTAW	20 – 50 %
GMAW	70 – 85 %
SMAW	70-80 %
SAW	90 – 99 %

Fuente: García, 2010:84

### **b) Temperatura inicial de la chapa (o temperatura de precalentamiento)**

Es la temperatura a la cual el metal ha de ser precalentado antes de soldar.

**c) Geometría de la soldadura.**

La geometría de la soldadura se refiere al espesor de la pieza, la forma y dimensión del depósito de soldadura y el ángulo entre las piezas a unir.

**d) Características térmicas del material.**

Está relacionado con la conductividad térmica del material.

- Cuanto más baja sea la conductividad térmica, más pronunciada será la distribución de temperaturas máximas. En otras palabras, la zona afectada térmicamente será menor.
- Cuanta más alta sea la conductividad térmica del metal, más rápido se enfriará después de la soldadura.
- Cuanta más alta sea la conductividad térmica, más corto será el tiempo de exposición a elevada temperatura

**e) Diámetro del electrodo.**

Para un diámetro mayor de electrodo se requerirá, mayor aporte de calor para fundirlo.

Este factor es de poca importancia, pero influye en el tamaño de la fuente de calor.

Finalmente, se debe tener en cuenta que determinados rangos de temperatura provocan en el metal transformaciones microestructurales que afectan las propiedades mecánicas de la unión soldada. Generalmente, para el caso de los aceros, los cambios metalúrgicos se producen tras la exposición a temperaturas entre la crítica inferior ( $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y la temperatura de fusión ( $1480\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Cuando se realiza una soldadura, las regiones de la pieza que alcancen valores entre los límites arriba indicados, experimentarán cambios significativos en su microestructura y por lo tanto en las propiedades mecánicas (Fosca, 2007).

### 2.9.2. Ecuación De La Temperatura Máxima En Cada Punto De La ZAC.

La predicción, o interpretación, de las transformaciones metalúrgicas en un punto del metal sólido próximo a una soldadura, requiere algunos conocimientos acerca de cómo se alcanza el valor de temperatura máximo en un determinado lugar. Por ejemplo, en el soldeo a tope con penetración completa y de una sola pasada realizada en chapa, la distribución de las temperaturas máximas, en el metal base adyacente a la soldadura, viene dada por la ecuación 2.6. (Fosca, 2009).

$$T_{max} = \frac{4.13 \cdot \rho \cdot C \cdot t \cdot Y}{H_{neto} + T_{fusion} - T_o} + T_o \quad Ec. 3$$

Donde:

$T_{max}$  = Temperatura máxima (°C) a una distancia Y (mm) del extremo o contorno del metal fundido.

$T_o$  = Temperatura inicial de la chapa. (°C)

$T_{fusion}$  = Temperatura de fusión (°C) (Temperatura del líquido del metal a soldar)

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

$H_{net}$  = energía aportada neta (J/mm)

t = Espesor de la chapa a soldar (mm)

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

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

La ecuación del máximo de temperatura se puede utilizar con diferentes propósitos entre los que se encuentran:

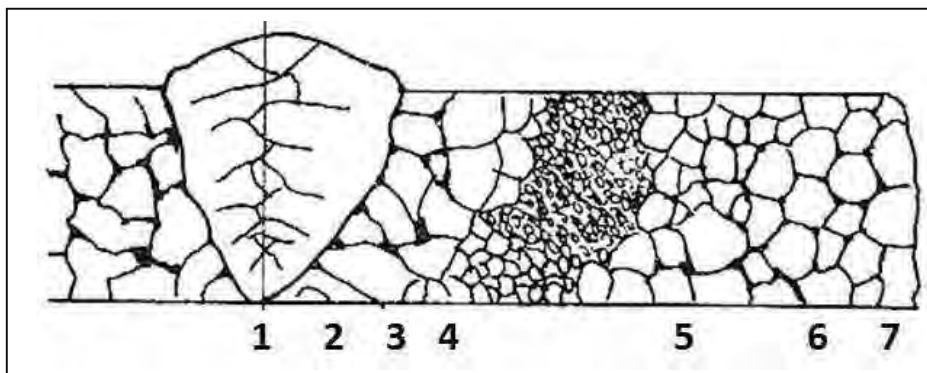
- Determinación de la temperatura máxima en puntos determinados de la ZAC.
- -Estimación del ancho de la ZAC
- Demostrar el efecto causado por el precalentamiento sobre el ancho de la ZAC

### 2.9.3. Zona Afectada Por El Calor (ZAC)

La zona afectada por el calor es una formación que se da por procesos de soldadura de metales en donde las temperaturas pico son demasiado bajas para fundir el material, pero también lo suficientemente altas para producir cambios significativos en la microestructura y por lo tanto en las propiedades del material. En la figura 27, se observa las zonas dentro de la ZAC.

#### Figura 27

*Zonas dentro de la ZAC.*



*Nota:* En la figura se observa: 1) Metal depositado; 2) Fusión Incompleta; 3) Campo de sobrecalentamiento; 4) Campo de Normalizado; 5) Recristalización incompleta; 6) Zona de Recristalización 7) Zona de fragilidad azul. 22

### 2.9.4. Cálculo del Ancho de la ZAC

Uno de los empleos más interesantes de la ecuación que nos da la temperatura máxima en un punto, es el cálculo de la anchura de la ZAC por la soldadura. Sin embargo, para calcular la anchura con exactitud debe identificarse, el extremo de la ZAC más alejado de la soldadura mediante un valor máximo de la temperatura en dicho extremo, este valor de la temperatura tiene,



a su vez, que corresponder con algún cambio estructural o de las propiedades del material que se suelda.

A pesar de que la ecuación del máximo de temperatura es de gran utilidad, es importante no olvidar las limitaciones existentes sobre su aplicación. La ecuación se aplica en procesos de pasadas únicas de penetración completa, soldeo o corte térmico, con independencia del espesor de la chapa. De hecho, también se aplica a cualquier soldadura por arco de penetración completa con menos de 4 pasadas. La ecuación 3 puede aplicarse sobre la base de una por pasada, sin embargo, la temperatura entre pasadas, aquella a la cual la zona de soldadura se enfría entre una y otra pasada, puede considerarse como un valor de  $T_0$  en la ecuación del máximo de temperatura. (Fosca, 2009).

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{T_{max} - T_0} \right) - \left( \frac{1}{T_{fusion} - T_0} \right) \right] \quad Ec. 4$$

## 2.10. Ensayos no Destructivos y Destructivos

### 2.10.1. Ensayo no Destructivo

Radeva (2014), denomina ensayo no destructivo (END), también llamado en inglés non destructive testing (NDT), a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere sus propiedades físicas, mecánicas, químicas o dimensionales.

Los ensayos no destructivos se clasifican en:

- Inspección visual (VT)
- Líquidos Penetrantes (PT)
- Partículas Magnéticas (MT)
- Radiografía (RT)
- Ultrasonido (UT)
- Inspección visual (VT)

Para el presente trabajo solo se tomará en cuenta los ensayos siguientes: Inspección visual y líquidos penetrantes.

**a) Inspección Visual.**

La inspección visual (ANSI/AWS, 2000) es un método no destructivo de valioso control del proceso mediante el cual una soldadura desde su fase de preparación hasta su puesta en servicio pueden evaluarse de acuerdo con unos requerimientos aplicables con miras de asegurar la calidad de la soldadura, esta evaluación puede ser llevada a cabo por: en primera instancia por soldadores, supervisores de soldadura, inspectores de soldadura por parte de los contratistas, inspectores de soldadura por parte de los propietarios, o inspectores reguladores. La inspección visual es desarrollada antes, durante y después de la soldadura y tiene en cuenta aspectos como: (Radeva, 2014).

- i. Conformidad con el procedimiento de soldadura especificado para la unión soldada,
- ii. Control en la preparación de la junta a soldar,
- iii. Verificación de condiciones operativas de: equipos de soldadura (calibrados y en buen estado), materiales de aporte y consumibles, gases, materiales base,
- iv. Calidad del cordón de soldadura de raíz,
- v. Preparación de la raíz de la junta antes de soldar por el otro lado,
- vi. Temperatura de precalentamiento y entre pasadas,
- vii. Secuencia de pases de soldadura,
- viii. Calidad de los cordones de relleno y presentación de la soldadura,
- ix. Limpieza entre pasadas,
- x. Apariencia, dimensionamiento final de la soldadura,
- xi. Distorsión y deformación generada en la soldadura,
- xii. Tratamiento post soldadura, xiii) otros detalles.

## b) Líquidos Penetrantes.

Este ensayo se utiliza para detectar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales inspeccionados. Es uno de los END más ampliamente utilizados para la detección de discontinuidades superficiales en materiales sólidos no porosos. Es, casi seguro, el método de END más comúnmente utilizado en la actualidad, porque se puede aplicar a cualquier material magnético o no magnético. Los líquidos penetrantes proporcionan a la industria una amplia gama de sensibilidades y técnicas que lo hacen adaptable a una gama de tamaños y formas. Es extremadamente útil para exámenes que se realizan en lugares remotos por su versatilidad. También es apropiado en entornos de producción de piezas pequeñas en período de tiempo relativamente corto (Destructivos, 2009)

La característica distintiva principal entre los dos tipos es:

- Los líquidos penetrantes fluorescentes contienen un colorante que fluoresce bajo la luz negra o ultravioleta.
- Los líquidos penetrantes no fluorescentes contienen un colorante de alto contraste bajo luz blanca.

Ambos líquidos se aplican igual y constan de las siguientes fases:

- ✓ Limpieza inicial de la pieza.
- ✓ Aplicación del líquido penetrante.
- ✓ Medida del tiempo de penetración.
- ✓ Eliminación del líquido sobrante.
- ✓ Aplicación del líquido revelador.
- ✓ Examen de la pieza.
- ✓ Limpieza final de la pieza.

- **Limpieza inicial de la pieza**

- ✓ Las piezas a examinar han de estar limpias de sustancias extrañas como grasas, óxidos, aceites, escorias, pinturas, etc., para dicha limpieza se utilizan diferentes detergentes, disolventes, decapantes, etc. Una vez terminado el proceso de limpieza hay que dejar la pieza a examinar totalmente seca.

- **Aplicación del líquido penetrante**

- ✓ El líquido penetrante se puede aplicar de tres maneras distintas, como pueden ser por inmersión en un baño, pulverizando el líquido sobre la pieza (spray) y extendiéndolo sobre la pieza con una brocha, usándose normalmente un pigmento rojo. El penetrante ideal para fines de inspección deberá reunir las siguientes características:

- Resistencia a la evaporación.
- De fácil aplicación en la superficie.
- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas.
- Habilidad para permanecer en aberturas amplias.
- Habilidad de mantener color o la fluorescencia.
- De difícil eliminación una vez dentro de la discontinuidad.
- Habilidad de extenderse en capas muy finas.
- De fácil absorción de la discontinuidad.
- Atóxico, incoloro, no corrosivo, anti-inflamable, estable bajo condiciones de almacenamiento y de costo razonable.

- **Medida del tiempo de penetración**

Hay que dejar el tiempo suficiente para que el líquido penetrante y se introduzca en las imperfecciones de la pieza a analizar, por lo que será muy importante controlar el tiempo, que viene especificado en los botes del producto.

- **Eliminación del líquido sobrante**

La limpieza de la pieza para eliminar el líquido sobrante se puede realizar de varias formas; por inmersión, por pulverización o por rociado de la pieza en un baño de líquido limpiador.

- **Aplicación del líquido revelador**

El líquido revelador que es normalmente blanco, es aplicado por inmersión, rociado o pulverizado, con mucho cuidado ya que son líquido muy volátiles. Una vez aplicado las zonas de la pieza que contengan restos de líquido penetrante, resaltarán a simple vista, siendo muy fácil su observación.

- **Examen de la pieza**

Las imperfecciones aparecen marcadas de forma clara y exacta a lo largo de la pieza a examinar, la observación se hará para los líquidos fluorescentes bajo lámparas de mercurio o tubos de luz violeta y para los líquidos normales se hará bajo la luz natural apareciendo puntos rojos en las zonas con imperfecciones.

- **Limpieza final de la pieza**

“Hay que eliminar todo tipo de resto de líquidos, ya sean penetrantes o reveladores, limpiándolos con disolventes, detergentes, etc.” (Radeva, 2014).

Radeva, (2014) define como aquellos ensayos que se realizan a un material mediante el uso de herramientas o máquinas las cuales producen una alteración irreversible de su composición química, mecánica o de su geometría dimensional.

Para el presente trabajo de investigación solo se tomará en cuenta el ensayo de dureza.

#### **a) Dureza.**

Radeva, (2014), define la dureza como “la resistencia que opone un material a ser penetrado por un cuerpo más duro, y esta micropenetración se realiza mediante una punta”.

Los ensayos de dureza más utilizados son:

- Ensayo Martens.
- Ensayo Shore.
- Ensayo Mohs.
- Ensayo Brinell.
- Ensayo Vickers.
- Ensayo Rockwell.
- Ensayo Poldi.
- Ensayo Knoop. (Radeva, 2014).

Para el presente trabajo solo se tomará en cuenta el ensayo Rockwell C.

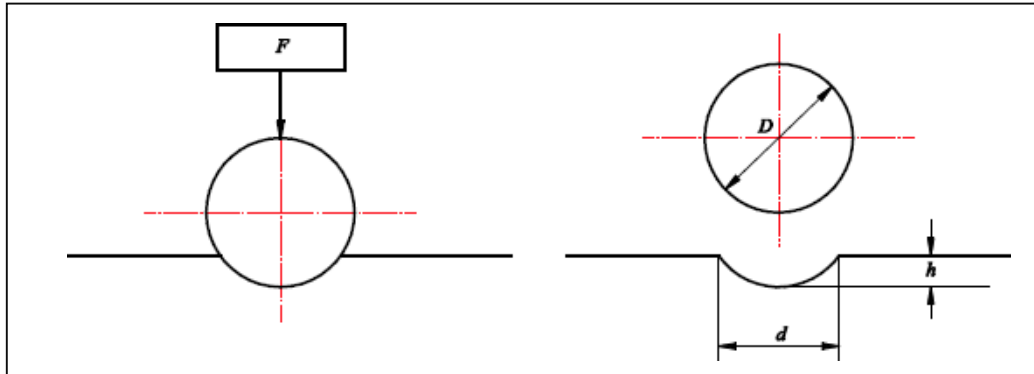
#### **b) Dureza Brinell**

(El estándar ASTM E18-03), define como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza una bola endurecida, bajo condiciones

específicas, contra la superficie del material a ensayar y se mide el diámetro de la impresión resultante luego de remover la carga, tal como se observa en la figura N° 28.

### Figura 28

*Símbolos que describen la dureza Brinell.*



Fuente: (Ingemecánica, 2022)

La dureza brinell se calcula con la ecuación siguiente:

$$HB = \frac{2F}{\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{Ec. 11}$$

$$f = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

F= Valor numérico de la fuerza (N)

D = Diámetro de la bola (mm)

F = Carga (Kg-f)

d = Diámetro de la huella (mm)

### c) Ensayo de doblado

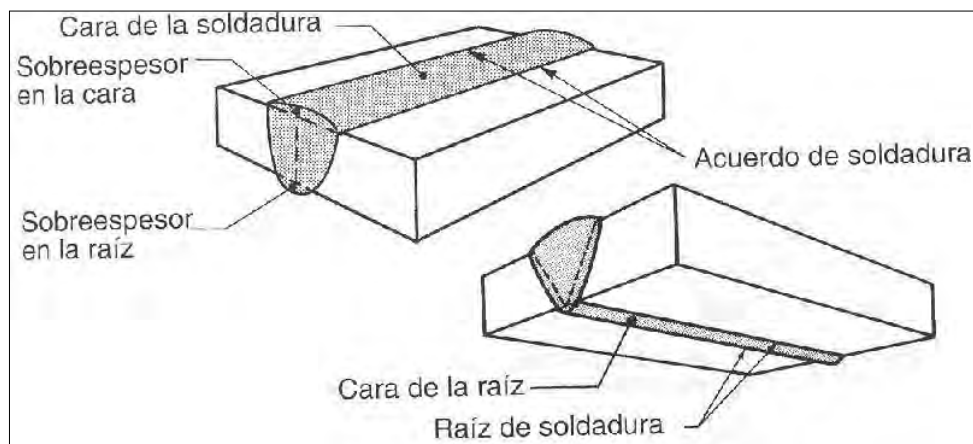
La finalidad de este ensayo es determinar la ductilidad y la calidad del material de la soldadura, se realiza mediante el doblado de la probeta en forma de u, para luego examinar la zona doblada, se utiliza este ensayo para calificar procedimiento, habilidad de soldadores y operadores de máquinas de soldar: Los ensayos de doblado pueden ser: Doble transversal de lado

- Doble transversal de raíz
- Doble transversal de cara
- Doble longitudinal de cara
- Doble longitudinal de raíz (CESOL 2013).

En la figura 29, se puede observar la matriz de ensayo de doblado y el doblado de cara y raíz.

#### Figura 29

*Depósito de soldadura en cara y raíz.*



Fuente: (Walteros Larrotta, 2010)

Esta prueba de ensayo es cualitativa; se busca que las probetas de experimentación no presenten fisuras.



Para la aceptación es necesario que se cumplan los siguientes requisitos:

- Las discontinuidades medidas en cualquier dirección en la superficie no deben tener más de 3 mm.
- La suma de todas las discontinuidades presentes de entre 1 mm y 3 mm no deben sobrepasar los 10 mm en total.

## 2.11. Las Discontinuidades en Soldadura

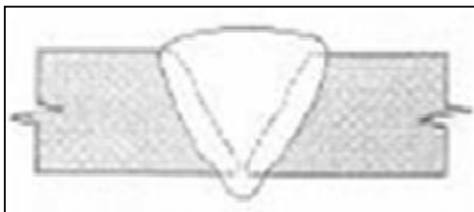
En soldadura, las discontinuidades se clasifican en: superficiales e internas

### 2.11.1. Discontinuidades Superficiales

- a) **Exceso de penetración:** Se produce por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas. Causa que el material chorree al interior y puede retener escoria o no en su interior. Este defecto puede producir en soldadura de gaseoductos, desgaste por erosión. La imagen radiográfica da una densidad más clara en el centro del ancho de la imagen, ya sea extendida a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas, pudiendo presentar en su interior una mancha deforme negra figura 30. (Echevarria, 2002)

### Figura 30

*Exceso de penetración.*

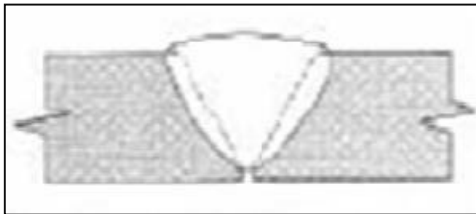


- b) **Falta de penetración:** Como en las uniones en U o en V son visibles por la cara posterior, esta imperfección puede considerarse superficial. A menudo la raíz de la soldadura no quedará

adecuadamente rellena con metal dejando un vacío que aparecerá en la radiografía como una línea negra oscura firmemente marcada, gruesa y negra, continua o intermitente reemplazando el cordón de la primera pasada. Puede ser debida a una separación excesivamente pequeña de la raíz, a un electrodo demasiado grueso, a una corriente de soldadura insuficiente, a una velocidad excesiva de pasada, penetración incorrecta en la ranura. Este defecto por lo general no es aceptable y requiere la eliminación del cordón de soldadura anterior y repetición del proceso figura 31. (Echevarria, 2002)

### Figura 31

*Falta de penetración.*

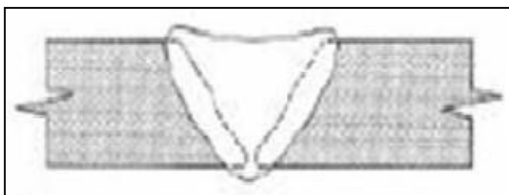


c) **Concavidades.** Estas discontinuidades se presentan de dos tipos:

*Concavidad externa o falta de relleno:* presenta una disminución de refuerzo externo, por poco depósito de material de aporte en el relleno del cordón. La imagen radiográfica muestra una densidad de la soldadura más oscura que la densidad de las piezas a soldarse, la cual se extiende a través del ancho completo de la imagen figura 32. (Echevarria, 2002)

### Figura 32

*Concavidad externa.*



**Concavidad interna:** Insuficiente refuerzo interno de la soldadura en su cordón de primera pasada el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base. figura 33.

### Figura 33

*Concavidad interna.*



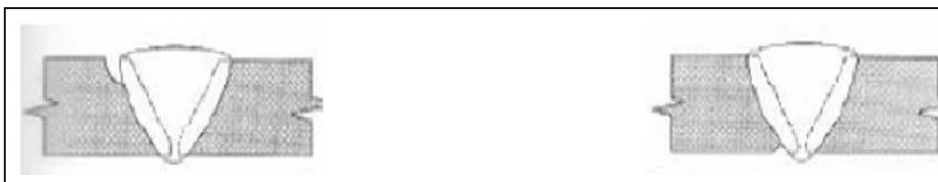
**d) Socavaduras o mordeduras de borde:** La socavadura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la sobre monta, que no ha sido llenada por el metal de soldadura figura 34. (Echevarria, 2002)

Causas y corrección

1. Exceso de calor - Corrija el amperaje de su maquina
2. Electrodo inadecuado - Cambie el electrodo
3. Manipulación incorrecta - Mejore el movimiento manual
4. Arco muy intenso - Corrija el arco
5. Velocidad inadecuada - Mejore la velocidad y corrija el movimiento del electrodo (Echevarria, 2002)

### Figura 34

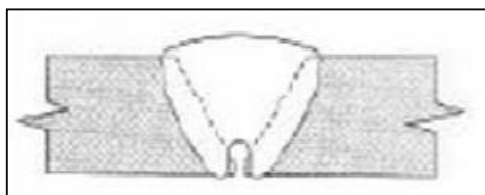
*Socavaduras o mordeduras de borde.*



- e) **Quemado:** Es una zona de la pasada de raíz donde la penetración excesiva ha causado que el aporte de la soldadura penetre dentro de la misma soplándose. Resulta de factores que producen excesivo calor en un área determinada, tales como: excesiva corriente, velocidad lenta del electrodo, manejo incorrecto del electrodo. Hay destrucción completa de los biseles. Esta discontinuidad se observa en la figura 35. (Echevarria, 2002)

**Figura 35**

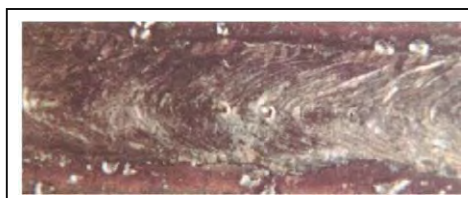
*Quemado.*



- f) **Salpicaduras:** Son imperfecciones consistentes en esférulas de metal fundido depositadas aleatoriamente sobre el cordón y su vecindad. Pueden ser provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo. En la figura 36 se observa esta discontinuidad. (Echevarria, 2002)

**Figura 36**

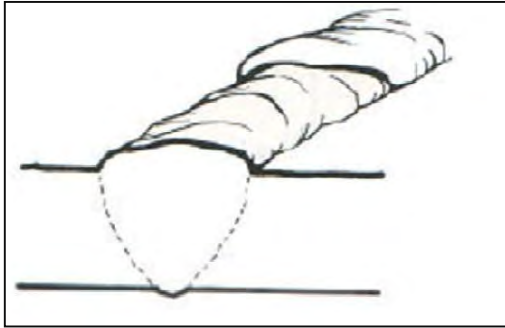
*Salpicaduras de metal.*



- g) **Falta de continuidad del cordón:** Se origina al interrumpir el soldador el cordón y no empalmar bien la reanudación del trabajo. Su severidad es muy variable ya que, en los casos más severos, pueden considerarse auténticas faltas de fusión transversales, en tanto que, en otras ocasiones, son simples surcos normales al eje del cordón. Su aspecto radiográfico es el de una línea oscura u oblicua, relativamente nítida figura 37. (Echevarria, 2002)

**Figura 37**

*Falta de continuidad del cordón.*

**2.11.2. Discontinuidades Internas**

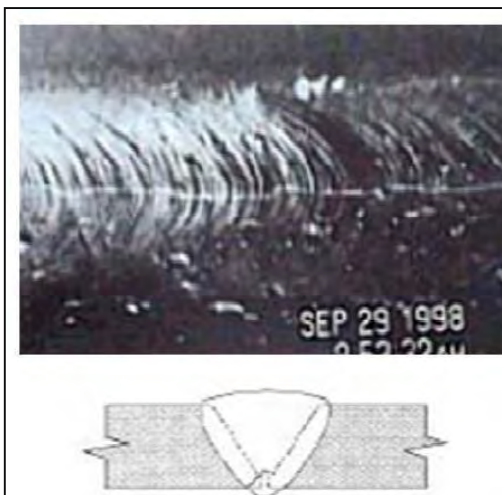
Pueden clasificarse en:

**a) Fisuras longitudinales**

Pueden producirse en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posteriores a la soldadura) o en la interfase del material base con el de aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de un correcto precalentamiento en grandes espesores). Esta discontinuidad se observa en la figura 38. (Echevarria, 2002)

**Figura 38**

*Fisuras longitudinales.*

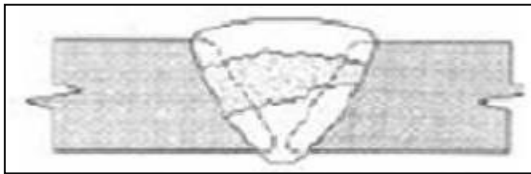


### b) Fisuras transversales

“Producidas generalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura normal producen la fisura que puede o no prolongarse al metal base” figura N° 39. (Echevarria, 2002).

#### Figura 39

*Fisuras transversales.*



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

“En el arranque de la soldadura por cambio de electrodo pueden producirse fisuras en forma de estrella por efecto del brusco enfriamiento y recalentamiento del material (son fisuras en caliente)”, figura 40. (Echevarria, 2002).

#### Figura 40

*Fisura de interrupción.*



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

Fisuras en frío: “Se produce por la falta de precalentamiento (crítica para ciertos tipos de aceros), en aceros duros (estructura martensítica en ZAC como resultado del ciclo térmico de soldadura) o de mucho espesor”, figura 41. (Echevarria, 2002).

**Figura 41**

*Fisuras en la zona afectada por el calor.*

**e) Falta de penetración**

Se da en la zona de raíz cuando no ha penetrado el metal fundido. “Si la unión es en X o en K, la raíz queda en corazón mismo del cordón, siendo la falta del metal de aporte en dicha zona rigurosamente interna”, figura 42. (Echevarria, 2002).

**Figura 42**

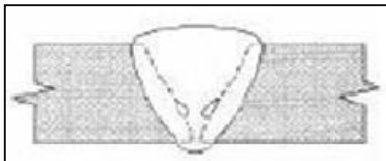
*Falta de penetración.*

**f) Falta de fusión**

Generalmente ocasionada por falta de temperatura suficiente para fundir el metal base o el cordón anterior ya sólido, figura 43.

**Figura 43**

*Falta de fusión.*

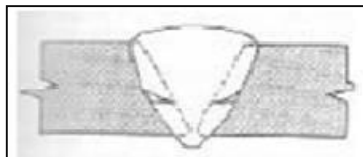
**g) Falta de fusión entre pasadas.**

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

“También puede deberse a la falta de corriente suficiente o la mala ubicación del arco eléctrico dentro de los biseles, el cual, al producirse más sobre uno, deja al otro sin fundir”, figura 44. (Echevarria, 2002).

#### **Figura 44**

*Falta de fusión.*



#### **2.11.3. Discontinuidades Como Inclusiones**

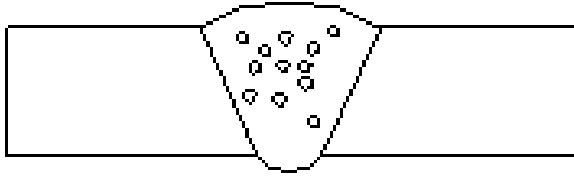
##### **a) Inclusiones gaseosas.**

Por diversas razones, en el metal de soldadura fundido se forman gases que pueden quedar atrapados si no hay tiempo suficiente para que escapen antes de la solidificación de la soldadura. El gas así atrapado, por lo general tiene la forma de agujeros redondos denominados porosidades esféricas, o de forma alargada llamados porosidad tubular o vermicular, figura 45. (Echevarria, 2002).

#### **Figura 45**

*Inclusiones gaseosas.*





**b) Porosidad agrupada (nido de poros).**

“Producida generalmente por un agente oxidante o excesiva humedad del revestimiento. Pueden también encontrarse capas de óxido sobre los biseles, las que al fundirse desprenden gas. El tamaño de estos poros es igual en toda la zona”, (Echevarria, 2002), figura 46.

**Figura 46**

*Porosidad agrupada.*



**c) Porosidad alineada.**

“Generalmente surge en la pasada de base del cordón soldado, por efecto de la dificultad de penetrar con el electrodo, por mala regulación eléctrica en correspondencia con el fundente utilizado por máquinas automáticas y por acumulación de algunos de los elementos del mismo” figura 47 (Echevarria, 2002)

**Figura 47**

*Porosidad alineada.*

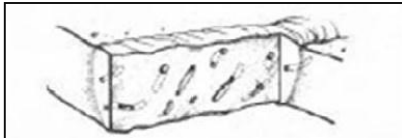


**d) Inclusiones no metálicas.**

Proviene de agentes extraños como pueden ser del material de aporte. Esta discontinuidad se observa en la figura 48. (Echevarria, 2002).

**Figura 48**

*Inclusiones no metálicas.*

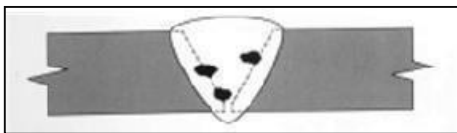


**e) Inclusiones de escoria aisladas.**

“La mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Son depósitos de carbón, óxidos metálicos y silicatos principalmente”, figura 49. (Echevarria, 2002).

**Figura 49**

*Inclusión de escoria aisladas.*



“Las escorias pueden provenir del revestimiento del electrodo o del fundente empleado. Las inclusiones de escoria se asocian frecuentemente a la falta de penetración, fusión deficiente, talón de raíz suficientemente grande, soldadura en V muy estrecha y deficiente habilidad del soldador”. (Echevarria, 2002).

**f) Escorias alineadas.**

Se producen por movimientos inadecuados del electrodo por parte del soldador. Quedan alineadas sobre el costado del cordón soldado. En el caso de la soldadura automática,

el fundente suele quedar atrapado por una mala regulación de la máquina o por falta de limpieza, pero en este caso estará en el centro del cordón. Este tipo de defecto es muy agresivo, figura 50. (Echevarria, 2002).

### Figura 50

*Escorias alineadas.*

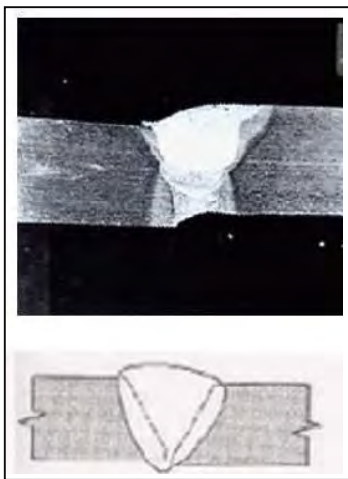


### g) Desalineado (high low).

Desalineamiento de las partes a ser soldadas, figura 51. (Echevarria, 2002)

### Figura 51

*Desalineado.*



## **2.12. Calificación del Procedimiento**

Antes de realizar una soldadura de será establecido y calificado un documento detallado del procedimiento para garantizar que la soldadura presente adecuadas propiedades. La calidad de la soldadura debe ser probada por ensayos destructivos y no destructivos.

### ***2.12.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura o WPS (Welding Procedure Specification)***

Documento preparado por el departamento técnico o de ingeniería de la empresa, en el cual se proyectan los valores numéricos de las variables para realizar una soldadura. Brinda información relevante para orientar al soldador u operador de soldadura y, para asegurar el cumplimiento de los requerimientos del código. Describe las variables esenciales, las no esenciales, y cuando se requiera las variables suplementarias esenciales de cada procedimiento de soldadura. Debe ser desarrollado en un formato en donde se diligencien todos los campos, y con la firma de validación por el responsable de soldadura.

### ***2.12.2. Registro de la Calificación del Procedimiento o PQR (Procedure Qualification Record)***

Documento que valida y califica un WPS; en él se registran los valores reales medidos de las variables del procedimiento de soldadura, mediante la ejecución de una soldadura de calificación en un cupón de prueba estandarizado; el PQR es el documento donde se registra los resultados a soldar y ensayar las probetas o cupones.

### ***2.12.3. El registro de la Calificación de la Habilidad del Soldador o WPQR (Welder Performance Qualification Record)***

Es un documento que registra los ensayos de calificación de desempeño requeridos por el código, para determinar la habilidad de los soldadores, para producir soldaduras sanas.

## CAPITULO III

### METODO EXPERIMENTAL

#### 3.1. Maquinaria, equipos, herramientas.

##### a) Fuente de poder

Para la soldabilidad de las probetas, se hizo uso de la fuente de poder del taller de soldadura de la Carrera Profesional de Ingeniería Metalúrgica.

Características:

- Marca: MILLER
- Modelo: XMT 304 CC.
- Salida nominal de corriente: 300 Amperios
- Gama de Voltaje: 10 – 35 Voltios.
- Gama de Amperaje: 5 - 400
- Máx Voltaje de circuito abierto CD: 90 V.
- KVA: 12.4
- KW: 11.5

En la figura 52, se puede observar la fuente de poder usada .

**Figura 52**  
*Fuente de poder.*



## b) Durómetro

El durómetro utilizado, es un equipo diseñado para cuando se desea un durómetro simple pero completo y para piezas relativamente pequeñas. Métodos de dureza que mide son: Rockwell, Brinell y Vickers

En la figura 53 se observa el equipo. Para el cálculo de la dureza se utilizó la escala Brinell.

### Figura 53

*Durómetro.*



Las características de este equipo son:

- **Posee cargas de ensayo para:**
  - ✓ Dureza Rockwell HR: 10, 60, 100 y 150 kg.
  - ✓ Dureza Brinell HB: 31, 25, 62, 5, 125 y 187.5 kg.
  - ✓ Dureza Vickers HV: 20, 60 y 100 kg.
- La selección de las cargas de ensayo se puede realizar por pesas apilables, marcadas con su carga.
- La aplicación de cargas de ensayo se realiza mediante manivela con accionamiento manual.
- Para la regulación de velocidad de carga dispone de un amortiguador hidráulico regulable.

- Su sistema de medida es analógico en reloj comparador.

**c) Equipo de ensayo de doblado guiado en U.**

Este equipo se encuentra en el taller de soldadura de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica. En la figura 54 se puede observar el equipo de ensayo de doblado, cuya presión de trabajo es de 10 toneladas.

**Figura 54**

*Equipo de doblado.*



**d) Calibrador de Soldadura Única V-WAC**

Es una herramienta que sirve para medir: la profundidad de socavación, altura de la corona, comparación de porosidad y verifica la cantidad de porosidad por pulgada lineal. En la figura 55, se muestra esta herramienta.

**Figura 55**

*Calibrador de soldadura.*





Las características de este instrumento son:

**Tabla 7**

*Características de este instrumento.*

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

### 3.2. Material de Ensayo y de Aporte

#### 3.2.1. Material de Ensayo

- Acero ASTM A128 Grado C

Su composición química y propiedades mecánicas se detallan en las tablas 7 y 8.

**Tabla 8**

*La composición química del acero ASTM 128.*

Grado	C	Mn	Cr	Si (max.)	P (Max.)
C	1.3	13.0	2.00	1.0	0.07

**Tabla 9**

*Las propiedades mecánicas del acero ASTM 128.*

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

### 3.2.2. *Material de Aporte*

El consumible utilizado para soldadura de unión de acero al manganeso mas acero al manganeso es:

- **E307-16**

- ✓ Características:

Es un electrodo austenítico de tipo 18/8 con 4% Mn. El contenido de Mn le confiere la capacidad de autoendurecerse en trabajo hasta 50 HRc. Este consumible tiene excelentes propiedades mecánicas (alta tenacidad) y alta resistencia al fisuramiento. Así mismo, posee alta resistencia a los desgastes combinados de impacto, fricción metal - metal, abrasión, corrosión y altas temperaturas. El depósito es libre de fisuras y poros, y presenta muy buen acabado, sin chisporroteo y con pocas pérdidas por salpicaduras. En las tablas 9 y 10 se indican las propiedades mecánicas y el análisis químico del metal depositado.

**Tabla 10**

*Propiedades mecánicas.*

Tratamiento termico	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Elongacion en 2" (%)	Energia absorbida ISO-V(-20°C)
Sin tratamiento	>590	350	>30	>80

Fuente: (Soldexa, 2021).

**Tabla 11**

*Análisis químico del metal depositado (valores típicos) (%).*

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr
0.08	4.00	0.40	Max. 0.025	Max. 0.020	0.5 1.50	9.50	19.70

Fuente: (Soldexa, 2011).

En el anexo 1, se muestra la ficha técnica.

### **Aplicaciones:**

- Diseñado para unir y recargar piezas de acero al carbono, aceros de baja aleación y aceros al manganeso.
- Usado para unir aceros al manganeso con aceros aleados o aceros al carbono.
- Para recuperar piezas que han sufrido desgaste por fricción metal - metal como: vías férreas, ranas, cambios y cruces de rieles.
- Para relleno de cadenas, catalinas (sprockets), tambores, coronas dentadas, etc.
- Para bordes de cucharas de draga, dientes de excavadoras, partes de molinos y pulverizadores.
- Muy usado en la industria papelera como base para los sinfines y transportadores de bagazo.
- Para la recuperación de dientes de engranaje (como recubrimiento final), reparación de válvulas,

### **3.3. Soldabilidad de los Cupones**

#### **3.3.1. Características de los Cupones**

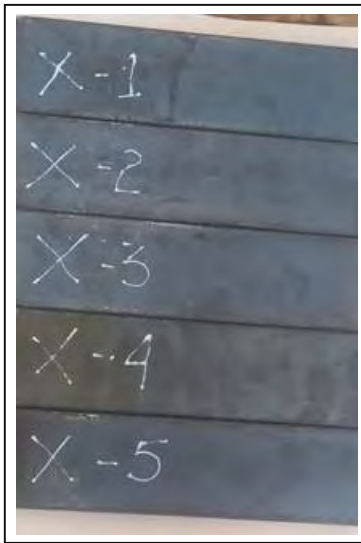
Los cupones tienen las siguientes medidas:

- Ancho: 150 mm
- Longitud: 200 mm
- Espesor: 12.7 mm

En la figura 56, se observa los cupones utilizados.

### **Figura 56**

*Cupones de prueba.*



Fuente: Propia

### **3.3.2. Preparación de los Cupones**

#### **a) Limpieza de los cupones.**

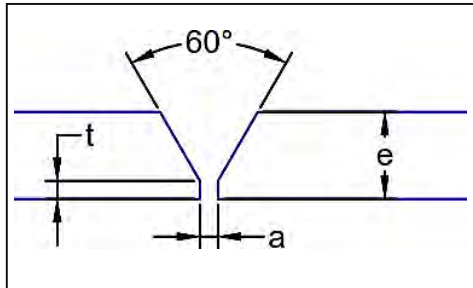
Previo a la soldadura los cupones deben estar excentos de grasa, aceites, pintura, etc, con la finalidad de que los depósitos no sean contaminados y puedan producir discontinuidades.

#### **b) Tipo de junta.**

Los cupones tienen una junta a tope en “V” (figura 57), las características de la junta se detallan en la tabla 10

**Figura 57**

*Junta a tope en "V".*

**Tabla 12**

*Detalle de la junta a tope en V.*

Símbolo	Descripción	Probeta de experimentación
a	Abertura o luz de la raíz	3 mm
e	Espesor nominal del material base o de la probeta.	1/2 pulg. (12.7 mm)
t	Altura de raíz o talón	3 mm
	Angulo de la ranura	60°

**Figura 58**

*En la figura 58, se observa la preparación de los cupones.*



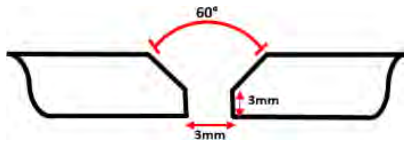
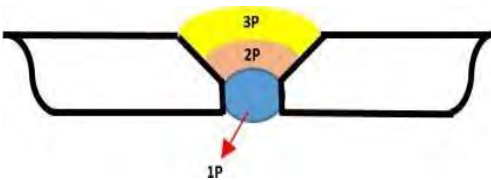
### 3.3.3. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) para los Cupones de Experimentación

#### a) Cupón X-1

**Tabla 13**

*Cupón X-1.*

Facultad de Ingeniería Geológica, minas y metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								Wps	
Insti tución:	Particular				Identificación N°:	Cupón N° x-1			
Proceso soldadura:	de	Smaw			Soporte N°:	pqr	Pqr – 01		
Tipo :	Manu al:	X	Automáti co:		Semiautomáti co:		Maquina:	Miller- xmt 304 cc	
Revis ión:	00	Fecha:	12 /08/2022			Revisado por:	Karl a. Cornejo cutimbo		
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:		A tope			Ranura:		Filete:		
Tipo de soldadura:		Ranura en “v”			Plancha :	1g	Tubería:		
Abertura de raíz:		2 mm			Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:		3 mm							
Angulo de ranura:		60°							
Soporte:		No			Corriente: proceso smaw				
Material de aporte:		E 307-16			Dc:		Dcep	X	
Limpieza de la raíz:					Pulso:		Dcen		
Metal base				Técnica					
Datos	M.b.1	M.b.2		Aportación	Oscilació n		Recta	X	
Grupo:	1			Pase:	Múltiple		Simple		
Especificación	Astm 128			Limpieza en pases	Disco abrasivo.				
Grado:					Precalentamiento				
Espesor:		12.7 mm			Temperatura de precalentamiento:			-	
Diámetro :					Temperatura interpase:			----	
				Postcalentamiento					

				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----
Metal de aporte				Protección			
Especificación:	A5.5	Fundente:	--	Gas:	---		
Calificación aws:	A5.5	Composición:	--	Composición:	---		
Marca:	0erlikon			Vel. Flujo:			
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	70	24	2.6
2	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	75	24	2.8
3	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	75	24	3.0
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo	Fecha:	12/08/2022				
Revisado por:	Ing. Víctor M. Dueñas Aquise	Institución:	Unsaac				

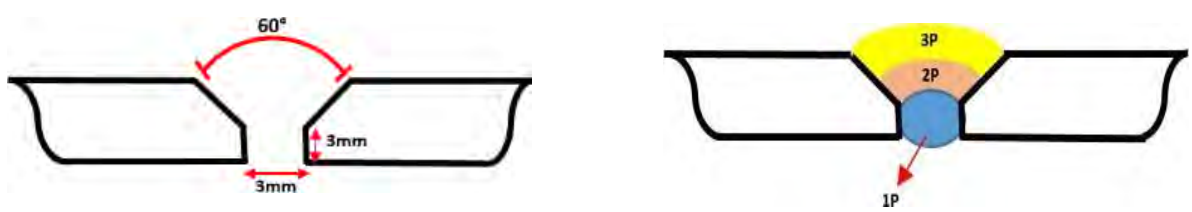
## b) Cupón X-2

Tabla 14

Cupón X-2

Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								Wps	
Insti ción:	Particular				Identificación n°:	Cupon n° x-2			
Proceso soldadura:	de	Smaw			Soporte n°:	pqr	Pqr – 02		
Tipo :	Manu al:	X	Automáti co:		Semiautomáti co:		Maquina:	Miller- xmt 304 cc	
Revis ión:	00	Fecha:	12 /08/2022		Revisado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo			
Diseño de la junta.				Posición					
Tipo de junta:		A tope		Ranura:		Filete:			
Tipo de soldadura:		Ranura en “v”		Plancha :	1g	Tubería:			
Abertura de raíz:		2 mm		Características eléctricas					
Talón altura de raíz o talón:		3 mm							
Angulo de ranura:		60°							
Soporte:		No		Corriente: proceso smaw					
Material de aporte:		E 307-16		Dc:		Dcep	X		
Limpieza de la raíz:				Pulso:		Dcen			
Metal base				Técnica					
Datos	M.b.1	M.b.2		Aportación	Oscilació n		Recta	X	
Grupo:	1			Pase:	Múltiple		Simple		
Especific ación	Astm 128			Limpieza pases en	Disco abrasivo.				
Grado:				Pre calentamiento					
Espesor:	12.7 mm			Temperatura de pre calentamiento:			- ---		
Diámetro :				Temperatura inter pase:			----		
				Post calentamiento					
				Temperat ura:	-----	Tiempo:	-----		
Metal de aporte				Protección					
Especificación:		A5.5		Fundente :	--	Gas:	---		




Calificación aws:	A5.5	Composición	--	Composición	---		
Marca:	0erlikon			Vel. Flujo			
Tamaño de alambre:	-----						
Procedimiento de soldadura							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	80	24	2.6
2	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	85	24	2.8
3	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	85	24	3.0
Detalles de la junta soldada							
							
Elaborado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo	Fecha.	12/08/2022				
Revisado por:	Ing. Victor M. Dueñas Aquise	Institución:	Unsaac				

## c) Cupón X-3

Tabla 15

Cupón X-3

Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								Wps	
Insti- tución :	Particular				Identificación n°:	Cupon n° x-3			
Proceso de soldadura:		Smaw			Soporte n°:	Pqr – 03			
Tip o:	Manu- al:	X	Automáti- co:		Semiautomáti- co:	Maquina:		Miller- xmt 304 cc	
Revisi- ón:	00	Fecha:	12 /08/2022		Revisado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo			
Diseño de la junta.					Posición				
Tipo de junta:		A tope			Ranura:			Filete:	
Tipo de soldadura:		Ranura en “v”			Plancha :	1g		Tubería:	
Abertura de raíz:		2 mm			Características eléctricas				
Talón altura de raíz o talón:		3 mm							
Angulo de ranura:		60°							
Soporte:		No			Corriente: proceso smaw				
Material de aporte:		E 307-16			Dc:			Dcep	X
Limpieza de la raíz:					Pulso:			Dcen	
Metal base					Técnica				
Datos	M.b.1	M.b.2		Aportación	Oscilació- n			Recta	X
Grupo:	1			Pase:	Múltiple			Simple	
Especifi- cación	Astm 128			Limpieza en pases	Disco abrasivo.				
Grado:			Precaentamiento						
Espesor:	12.7 mm			Temperatura de precalentamiento:				-	--
Diámetr- o:			Temperatura interfase:				-	----	
					Postcalentamiento				
				Tempera- tura:	-----	Tiempo:		-----	
Metal de aporte					Protección				

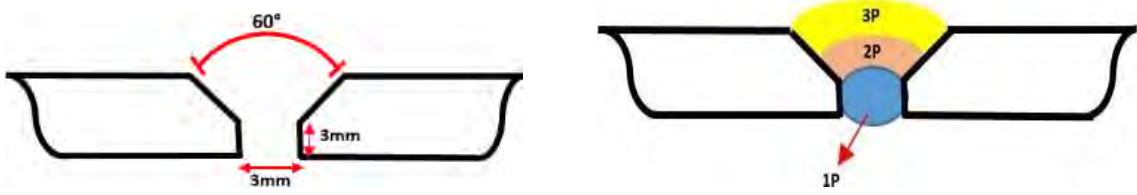
Especificación:	A5.5	Fundente :	--	Gas:	---		
Calificación aws:	A5.5	Composición	--	Composición	---		
Marca:	0erlikon			Vel. Flujo			
Tamaño de alambre:	-----						
<b>Procedimiento de soldadura</b>							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	90	24	2.6
2	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	85	24	2.8
3	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	80	24	3.0
<b>Detalles de la junta soldada</b>							
							
Elaborado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo	Fecha:	12/08/2022				
Revisado por:	Ing. Victor M. Dueñas Aquise	Institución:	Unsaac				

## d) Cupón X-4

Tabla 16

Cupón X-4.

Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia. Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								Wps	
Insti tución:	Particular				Identificación n°:	Cupon n° x-4			
Proceso soldadura:	de	Smaw			Soporte n°:	pqr	Pqr – 04		
Tipo :	Manu al:	X	Automáti co:		Semiautomáti co:		Maquina:	Miller- xmt 304 cc	
Revis ión:	00	Fecha:	12 /08/2022			Revisado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo		
Diseño de la junta.				Posición					
Tipo de junta:		A tope		Ranura:		Filete:			
Tipo de soldadura:		Ranura en “v”		Plancha :	1g	Tubería:			
Abertura de raíz:		2 mm		Características eléctricas					
Talón altura de raíz o talón:		3 mm							
Angulo de ranura:		60°							
Soporte:		No		Corriente: proceso smaw					
Material de aporte:		E 307-16		Dc:		Dcep	X		
Limpieza de la raíz:				Pulso:		Dcen			
Metal base				Técnica					
Datos	M.b.1	M.b.2		Aportación	Oscilació n		Recta	X	
Grupo:	1			Pase:	Múltiple		Simple		
Especific ación	Astm 128			Limpieza en pases	Disco abrasivo.				
Grado:				Precalentamiento					
Espesor:	12.7 mm			Temperatura de precalentamiento:			- ---		
Diámetro :				Temperatura interpase:			----		
				Postcalentamiento					
				Temperat ura:	-----	Tiempo:	-----		
Metal de aporte				Protección					
Especificación:	A5.5			Fundente :	--	Gas:	---		

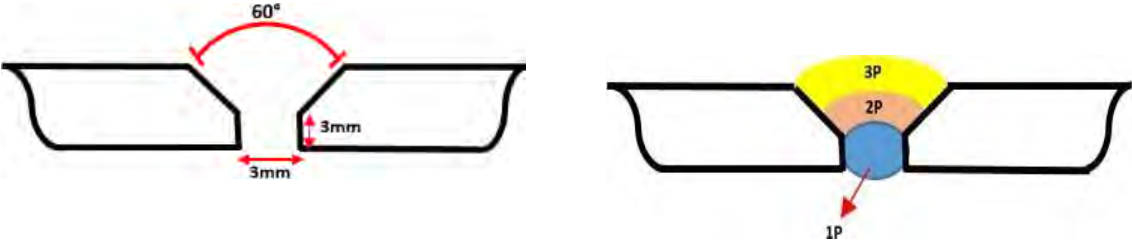
Calificación aws:	A5.5	Composición	--	Composición	---		
Marca:	0erlikon			Vel. Flujo			
Tamaño de alambre:	-----						
<b>Procedimiento de soldadura</b>							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	110	24	2.6
2	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	110	24	2.8
3	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	95	24	3.0
<b>Detalles de la junta soldada</b>							
							
Elaborado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo	Fecha.	12/08/2022				
Revisado por:	Ing. Victor M. Dueñas Aquise	Institución:	Unsaac				

## e) Cupón X-5

Tabla 17

Cupón X-5

Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia. Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica									
Especificación del procedimiento de soldadura								Wps	
Institución:	Particular				Identificación n°:	Cupon n° x-5			
Proceso soldadura:	de	Smaw			Soporte n°:	pqr	Pqr – 05		
Tipo :	Manu al:	X	Automático:		Semiautomático:		Maquina:	Miller-xmt 304 cc	
Revisión:	00	Fecha:	12 /08/2022		Revisado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo			
Diseño de la junta.				Posición					
Tipo de junta:		A tope		Ranura:		Filete:			
Tipo de soldadura:		Ranura en “v”		Plancha :	1g	Tubería:			
Abertura de raíz:		2 mm		Características eléctricas					
Talón altura de raíz o talón:		3 mm							
Angulo de ranura:		60°							
Soporte:		No		Corriente: proceso smaw					
Material de aporte:		E 307-16		Dc:		Dcep	X		
Limpieza de la raíz:				Pulso:		Dcen			
Metal base				Técnica					
Datos	M.b.1	M.b.2		Aportación	Oscilación		Recta	X	
Grupo:	1			Pase:	Múltiple		Simple		
Especificación	Astm 128			Limpieza en pases	Disco abrasivo.				
Grado:				Precalentamiento					
Espesor:		12.7 mm		Temperatura de precalentamiento:				- ---	
Diámetro :				Temperatura interpase:				----	
				Postcalentamiento					
				Temperatura:	-----	Tiempo:	-----		
Metal de aporte				Protección					

Especificación:	A5.5	Fundente :	--	Gas:	---		
Calificación aws:	A5.5	Composición	--	Composición	---		
Marca:	Oerlikon			Vel. Flujo			
Tamaño de alambre:	-----						
<b>Procedimiento de soldadura</b>							
N.- de pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (v)	Vel. De desplazamiento. (mm/seg)
		Clase	Diámetro	Tipo de Polaridad	Amperaje (a)		
1	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	110	24	2.6
2	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	110	24	2.8
3	Smaw	E 307-16	1/8"	Dc+	110	24	3.0
<b>Detalles de la junta soldada</b>							
							
Elaborado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo	Fecha.	12/08/2022				
Revisado por:	Ing. Víctor M. Dueñas Aquise	Institución:	Unsaac				

Con los datos mencionados en el WPS, se llegaron a soldar, tal como se observa en la figura 59

**Figura 59**

*Soldadura de los cupones.*



### 3.4. Cálculo del Calor Neto Aportado

#### a) Primer pase o pase de raíz (X).

Para el cálculo del aporte de calor, se calculó haciendo uso de la ecuación 3 y reemplazando en ella los valores de la tabla 8. Se tomó el valor de 85% de eficiencia para el proceso de soldadura utilizado.

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

- Cupón X-1:

$$H_{net} = \frac{24 \times 70}{2.6} \times 0.75 = 484.6 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-2:

$$H_{net} = \frac{24 \times 75}{2,6} \times 0.75 = 519.2 \frac{J}{mm}$$

- Cupón X-3:



$$H_{net} = \frac{24 \times 90}{2,6} \times 0.75 = 623.0 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-4:

$$H_{net} = \frac{24 \times 110}{2.6} \times 0.75 = 761.5 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-5:

$$H_{net} = \frac{24 \times 110}{2.6} \times 0.75 = 761.5 \text{ J/mm}$$

#### **b) Segundo pase o pase de relleno (Y)**

- Cupón X-1:

$$H_{net} = \frac{24 \times 75}{2.8} \times 0.75 = 482.1 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-2:

$$H_{net} = \frac{24 \times 85}{2.8} \times 0.75 = 546.4 \frac{\text{J}}{\text{mm}}$$

- Cupón X-3:

$$H_{net} = \frac{24 \times 85}{2.8} \times 0.75 = 546.4 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-4:

$$H_{net} = \frac{24 \times 110}{2.8} \times 0.75 = 707.1 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-5:

$$H_{net} = \frac{24 \times 110}{2.8} \times 0.75 = 707.1 \text{ J/mm}$$

**c) Tercer pase o depósito de acabado (Z):**

- Cupón X-1:

$$H_{net} = \frac{24 \times 75}{3.0} \times 0.75 = 450.0 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-2:

$$H_{net} = \frac{24 \times 85}{3.0} \times 0.75 = 510.0 \frac{\text{J}}{\text{mm}}$$

- Cupón X-3:

$$H_{net} = \frac{24 \times 85}{3.0} \times 0.75 = 621.2 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-4:

$$H_{net} = \frac{24 \times 110}{3.0} \times 0.75 = 660 \text{ J/mm}$$

- Cupón X-5:

$$H_{net} = \frac{24 \times 110}{3.0} \times 0.75 = 660 \text{ J/mm}$$

### 3.5. Cálculo del Ancho de la Zona Afectada por el Calor

Para saber la influencia del calor aportado en la microestructura del metal base, se calcula el ancho de la zona afectada por medio de la ecuación 3, para las condiciones del trabajo experimental se tomaron los siguientes valores:

- $T_0 = 15^\circ\text{C}$
- $T_{\text{fusión}} = 1400^\circ\text{C}$
- $\rho = 0.0785 \text{ gr/mm}^3$
- $C = 0.023 \text{ J/gr-}^\circ\text{C}$
- $\rho \cdot C = 0.001747 \text{ j/mm}^3\text{-}^\circ\text{C}$ . (Fosca. C. 2007)
- $t$  (espesor) = 12.75 mm
- $T_{\text{max}} = 723^\circ\text{C}$ .
- $K = \text{Conductividad térmica del acero } (0.052 \text{ J/mm-seg-}^\circ\text{C})$

**a) Primer pase o pase de raíz (X)**

- Cupón X-1:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{484.6}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 3.63 \text{ mm}$$

- Cupón X-2:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{519.2}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 3.89 \text{ mm}$$

- Cupón X-3:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{623.0}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 4.67 \text{ mm}$$

- Cupón X-4:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{761.5}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 5.71 \text{ mm}$$

- Cupón X-5:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{761.5}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 5.71 \text{ mm}$$

**b) Segundo pase o deposito de relleno (Y):**

- Cupón X-1:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{482.1}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 3.30 \text{ mm}$$

- Cupón X-2:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{546.4}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 4.1 \text{ mm}$$

- Cupón X-3:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{546.4}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 4.1 \text{ mm}$$

- Cupón X-4:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{701.1}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 5.26 \text{ mm}$$

- Cupón X-5:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{701.1}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 5.26 \text{ mm}$$

$$723 - 15 \quad 1400 - 15 \quad 4,13 \times 0.001747 \times 12.75$$

**c) Tercer pase o depósito de acabado (Z):**

- Cupón X-1:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{450}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 3.4 \text{ mm}$$

- Cupón X-2:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{510}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 3.8 \text{ mm}$$

- Cupón X-3:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{621.2}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 4.6 \text{ mm}$$

- Cupón X-4:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{660}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 4.95 \text{ mm}$$

- Cupón X-5:

$$Y = \left[ \left( \frac{1}{723 - 15} \right) - \left( \frac{1}{1400 - 15} \right) \right] \times \left[ \frac{660}{4,13 \times 0.001747 \times 12.75} \right] = 4.95 \text{ mm}$$

**3.6. Control de Calidad de los Cupones**

**a) Inspección visual de los cupones**

El ensayo de inspección visual es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades que afectan a la superficie visualmente accesible de los objetos.

La inspección visual es el método no destructivo por excelencia, siendo su alcance de aplicación extremadamente extenso.

En la tabla 18 se detallan los resultados del examen visual.

**Tabla 18**

*Resultados del examen visual.*

Nº de Cupón	Defecto	Causa
X-1	Falta de penetración	Intensidad de corriente baja.
X-2	Penetración incompleta	Intensidad de corriente baja, alta velocidad de soldeo
X-3	Deposito aceptable	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.
X-4	Deposito Correcto	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.
X-5	Socavaduras	Intensidad de corriente muy alta

**b) Medición de refuerzo de soldadura (corona de soldadura) y socavaduras.**

En las figuras 60 y 61 se muestra las formas en se realizó la medida del refuerzo y socavadura.

**Figura 60**

*Medida de corona.*





**Figura 61***Medida de socavadura.*

Los resultados se detallan en la tabla 19

**Tabla 19***Medición de refuerzo de soldadura.*

N° de Cupón	Altura de corona (mm)
X-1	1.0
X-2	1.5
X-3	2.0
X-4	3.00
X-5	3.00

Fuente:

### c) Inspección con tintes penetrantes (fluorescentes)

En la figura 62, se observa el kit de tintes penetrantes, utilizado en la prueba.

**Figura 62***Kit de tintes penetrantes.*

Para la realización de esta prueba se siguió el siguiente procedimiento:

*1. Limpieza de la superficie.*

Generalmente la zona de la soldadura está contaminada por impurezas, tales como grasa, polvo, escoria.

Se realizó la limpieza de forma mecánica y química de la superficie o el área a inspeccionar. La limpieza mecánica se realizó con una escobilla de acero inoxidable y la limpieza química con un paño humedecido con un disolvente (thinner). El área a inspeccionar debe mantenerse seco.

*2. Aplicación del tinte penetrante.*

Una vez verificado que el cordón de soldadura este limpio, se procede a la aplicación del tinte penetrante. Para tal efecto se mantuvo una distancia de 30 cm entre la superficie y la boquilla del envase del penetrante. El rociado del tinte se realizó en forma paralela y uniforme a lo largo de la zona a inspeccionar.

*3. Remoción del exceso de tinte penetrante.*

Se dejó actuar al líquido penetrante durante 10 minutos, posterior a este lapso de tiempo, se retira con un paño limpio y humedecido con alcohol el exceso del líquido penetrante que no ha penetrado en las discontinuidades.

*4. Aplicación del tinte revelador.*

Se aplicó uniformemente una capa fina sobre el área a inspeccionar; manteniendo una distancia aproximada entre unos 20 cm a 30 cm, entre el envase del revelador y el cordón de

soldadura a prueba. Se deja actuar durante 15 minutos para que se revelen las discontinuidades en el área inspeccionada.

#### 5. *Visualización del tinte revelador.*

El tinte revelador debe permanecer sobre la superficie de la muestra durante 15 minutos para permitir la extracción del penetrante hacia fuera de cualquier tipo de falla superficial.

#### 6. *Limpieza del cupón.*

La operación final de este proceso es una limpieza general del cupón.

#### 7. *Inspección e interpretación.*

Una vez realizados los pasos anteriores se realizó las interpretaciones las que se muestran en la tabla 20.

**Tabla 20**

*Visualización del examen por tintes penetrantes.*

Cupón	Observaciones	Defectos
X-1	Presenta discontinuidad.	Falta de fusión
X-2	Presenta discontinuidad.	Mordedura
X-3	No presenta discontinuidad	Ninguna
X-4	No presenta discontinuidad.	Ninguna
X-5	Presenta discontinuidad	Socavadura

### **3.7. Ensayo de Doblado Guiado de Cara y Raíz**

Previo a la prueba de doblado, se prepara la probeta para la prueba. En la figura 63, se muestra como se extrae una probeta para la prueba de doblado.

**Figura 63**

*Selección de la probeta para la prueba de dobléz.*



En la prueba de doblado, la probeta se apoya sobre dos puntos normalmente ubicados en sus extremos, mientras que un tercer apoyo (llamado punzón) ejerce la fuerza para provocar el doblado en la parte central de la probeta hasta doblar un ángulo de  $180^\circ$ . Esta acción se observa en la figura 64

**Figura 64**



*Aplicación de carga en la parte central de la probeta.*





Fuente: Elaboración propia.

En el Registro de calificación del procedimiento (PQR), se detallan los resultados de la prueba de dobléz.

**Tabla 21***PQR X-3.*

	Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia Escuela profesional de Ingeniería Metalúrgica.						
Ensayo de doblado guiado.							PQR
Datos informativos del espécimen a ensayar							
Proceso de soldado	Smaw	Amperaje	Variado	Voltaje		vel. de soldeo	Variado
Tipo de estudio:	De laboratorio			Nº de probeta:	X-3		
Norma aplicable:	Astm e190-14			Fecha de elaboración:	14/08/2022		
Realizado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo			asesor:	Ing. Víctor Dueñas Aquisé		
Centro de estudio y análisis:	Taller de soldadura. Escuela prof. De ing. Metalúrgica. Unsaac						
Espesor de la probeta:	12.75 mm	Longitud de la probeta:			200 mm		
Resultados.							
CUPON	Lado dela prueba			Observaciones			
X-3	Cara			No presenta discontinuidad			
	Raiz			No presenta discontinuidad			
Aprobación:	Aprueba						

**Tabla 22***PQR X-4.*

	Facultad de ingeniería geologica, minas y metalurgia Escuela profesional de ingeniería metalúrgica.						
Ensayo de doblado guiado.							PQR
Datos informativos del espécimen a ensayar							
Proceso de soldado	Smaw	Amperaje	Variado	Voltaje		Vel. De soldeo	Variado
Tipo de estudio:	De laboratorio			Nº de probeta:	X-4		
Norma aplicable:	Astm e190-14			Fecha de elaboración:	14/08/2022		
Realizado por:	Karl A. Cornejo Cutimbo			asesor:	Ing. Mg. Victor Dueñas Aquisé		

Centro de estudio y análisis:	Taller de soldadura. Escuela prof. De ing. Metalurgica. Unsaac		
Espesor de la probeta:	12.75mm	Longitud de la probeta:	200 mm
<b>Resultados.</b>			
Cupón	Lado dela prueba		Observaciones
X-4	Cara		No presenta discontinuidad
	Raíz		No presenta discontinuidad
Aprobación:			Aprueba

### 3.8. Ensayo de Dureza

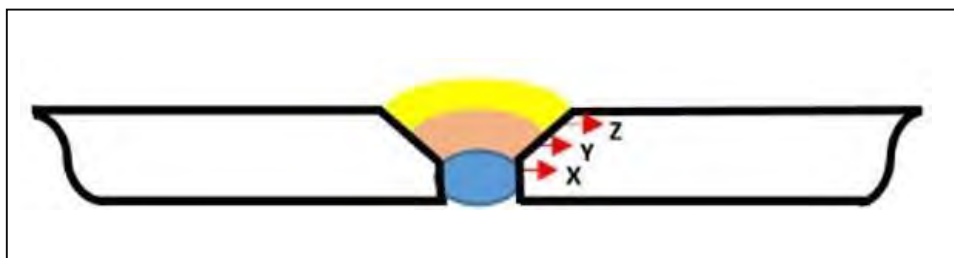
Las condiciones tomadas para la realización de la prueba de dureza fueron:

- Diámetro de la bola (D): 10 mm
- Carga (F): 3000 kg-f

Los puntos donde se tomaron los ensayos de dureza están denominados con X (pase de raíz), Y (pase de relleno) y Z (pase de acabado), estos se indican en la figura 65.

#### Figura 65

*Ubicación de los puntos donde se tomaron la dureza.*



Los datos numéricos para el cálculo de la dureza se detallan en la tabla 22.

#### Tabla 23

*Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-2.*

Probeta	Grado de carga (kg-f)	Diámetro de bola (mm)	Numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)
---------	-----------------------	-----------------------	--------------------	---------------	-------------------------

X-2	3000	10	Primer deposito (pase de raíz)	X	3.5
				Y	3.6
				Z	3.7
			Segundo deposito (Relleno)	X	3.6
				Y	3.7
				Z	3.8
			Tercer deposito (relleno)	X	3.6
				Y	3.6
				Z	3.6

X = Pase de raíz, Y = Pase de relleno y Z = Pase de acabado

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 24**

*Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-3.*

Probeta	Grado de carga (kg-f)	Diámetro de bola (mm)	Numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)
X-3	3000	10	Primer deposito (pase de raíz)	X	3.6
				Y	3.4
				Z	3.5
			Segundo deposito (Relleno)	X	3.6
				Y	3.5
				Z	3.5
			Tercer deposito (relleno)	X	3.6
				Y	3.6
				Z	3.7

**Tabla 25**

*Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-4.*

Probeta	Grado de carga (kg-f)	Diámetro de bola (mm)	numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)
X-4	3000	10	primer deposito (pase de raíz)	x	3.6
				Y	3.7
				Z	3.8
			segundo deposito (relleno)	X	3.6
				Y	3.7
				Z	3.8
			Tercer deposito (relleno)	X	3.9
				Y	4.0
				Z	4.0

**Tabla 26**

*Valores numéricos para cálculo de dureza del cupón X-5.*

Probeta	Grado de carga (kg-f)	Diámetro de bola (mm)	numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)
X-5	3000	10	primer deposito (pase de raíz)	x	3.7
				Y	3.6
				Z	3.5
			segundo deposito (relleno)	X	3.7
				Y	3.8
				Z	3.8
			Tercer deposito (relleno)	X	3.9
				Y	4.0
				Z	4.0

### 3.9. Resultados

#### a) Cálculo del calor neto

- Pase de raíz (X) (ver tabla 27):

**Tabla 27**

*Pase de raíz (X).*

Cupón	Calor neto (J/mm)
X-1	484.6
X-2	519.2
X-3	623.0
X-4	761.5
X-5	761.5

- Pase de relleno(X)(ver tabla 28):



**Tabla 28***Pase de relleno(X).*

Cupón	Calor neto (J/mm)
X-1	482.1
X-2	546.4
X-3	546.4
X-4	546.4
X-5	701.1

- Pase de acabado (Z) (ver tabla 29):

**Tabla 29***Pase de acabado (Z).*

Cupón	Calor neto J/mm
X-1	450.0
X-2	510.0
X-3	621.2
X-4	660.0
X-5	660.0

**b) Ancho de la zona afectada**

En la tabla 30 se resume los resultados del cálculo del ancho de la zona afectada por el calor:

**Tabla 30***Resultados del cálculo del ancho de la ZAC.*

Cupón	Primer pase	Segundo pase	Tercer pase
X-1	3.63	3.30	3.4
X-2	3.89	4.1	3.8
X-3	4.67	4.1	4.6
X-4	5.71	5.26	4.9
X-5	5.71	5.26	4.9

Fuente: Elaboración propia.

Aquí también podemos indicar, que cuanto más alto sea el aporte de calor, más ancho será el ancho de la zona afectada por el calor.

**c) Inspección visual de los cupones (ver tabla 31)**

**Tabla 31**

*Inspección visual de los cupones.*

N° de Cupón	Defecto	Causa	Criterio de calificación
X-1	Falta de penetración	Intensidad de corriente baja.	No aceptable
X-2	Penetración incompleta	Intensidad de corriente baja, alta velocidad de soldeo	No aceptable
X-3	Deposito aceptable	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.	Aceptable
X-4	Deposito Correcto	Intensidad de corriente aceptable, velocidad de soldeo y ángulo de soldeo ideales.	Aceptable
X-5	Socavaduras	Intensidad de corriente muy alta	No aceptable

**d) Medición de refuerzo de soldadura (corona de soldadura) y socavaduras (ver tabla 32)**

**Tabla 32**

*Medición de refuerzo de soldadura (corona de soldadura) y socavaduras.*

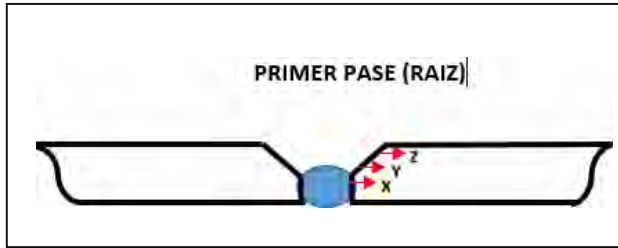
N° de Cupón	Altura de corona (mm)	Profundidad de socavadura (mm)
X-1	1.0	No presenta socavadura
X-2	1.5	No presenta socavadura
X-3	2.0	No presenta socavadura
X-4	3.00	No Presenta socavadura
X-5	3.00	Presenta socavadura

**e) Ensayo de dureza**

En la figura 66, se muestra los puntos donde se realizaron la toma de dureza en el primer pase (pase de raíz)-

**Figura 66**

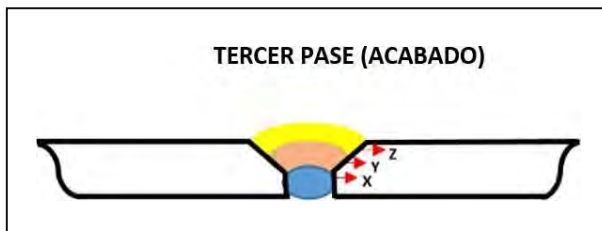
*Puntos (denotados con X, Y y Z), donde se ensayaron la dureza en el primer depósito.*

**Figura 67**

*Puntos (denotados con X, Y y Z), donde se ensayaron la dureza en el segundo depósito.*

**Figura 68**

*Puntos (denotados con X, Y y Z), donde se ensayaron la dureza en el tercer depósito.*



En las tablas siguientes, se detallan los resultados de la variación de la dureza en los cupones.

**Tabla 33**

Resultado de dureza Brinell del cupón X-2.

Probeta	numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)	Dureza hb
X-2	primer deposito (pase de raíz)	x	3.5	302
		Y	3.6	285
		Z	3.7	269
	segundo deposito (relleno)	X	3.6	285
		Y	3.7	269
		Z	3.8	255
	Tercer deposito (relleno)	X	3.8	255
		Y	3.9	241
		Z	3.9	241

**Figura 69**

Variación de la dureza del cupon X-2.

**Tabla 34**

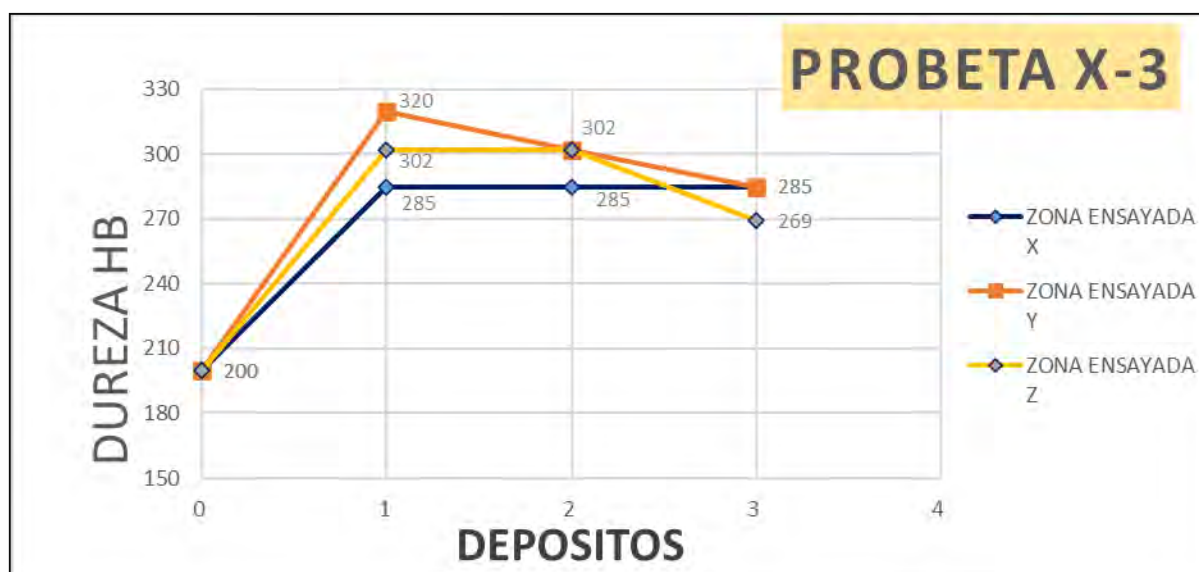
Resultado de la dureza Brinell del cupón X-3.

Probeta	Numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)	Dureza HB
		X	3.3	302

X-3	Primer deposito (pase de raíz)	Y	3.4	320
		Z	3.5	302
		X	3.6	285
	Segundo deposito (Relleno)	Y	3.5	302
		Z	3.7	269
		X	3.6	285
	Tercer deposito (relleno)	Y	3.6	285
		Z	3.7	269

**Figura 70**

*Variación de la dureza del cupón X-3*



**Tabla 35**

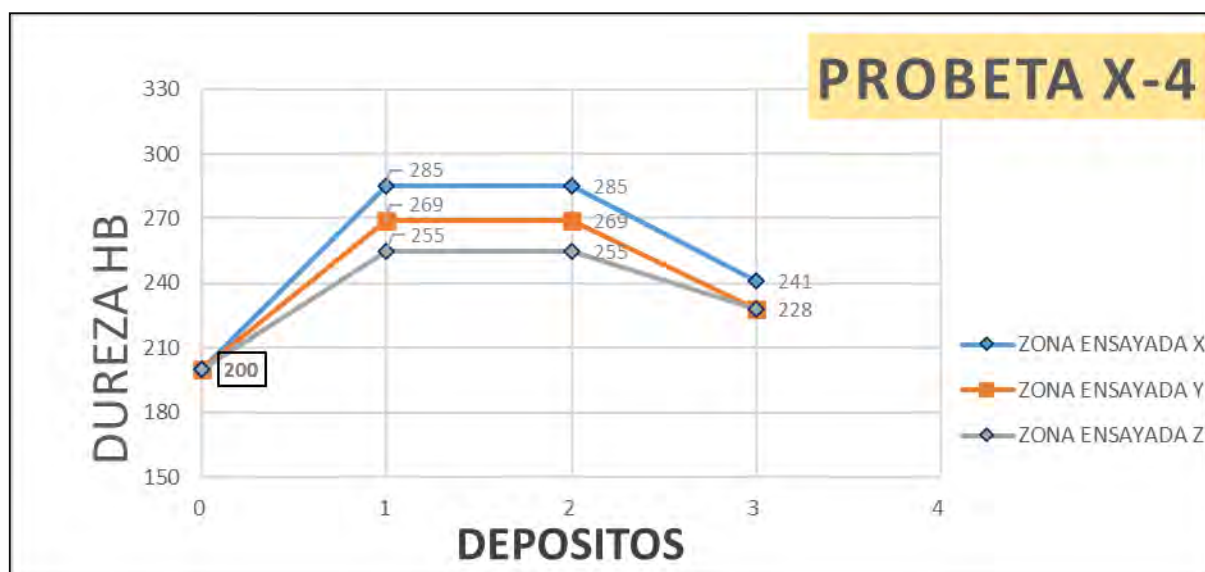
*Resultado de dureza Brinell del cupón X-4.*

Probeta	Numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)	Dureza HB
X-4	Primer deposito (pase de raíz)	X	3.6	285
		Y	3.7	269
		Z	3.8	255
	Segundo deposito (Relleno)	X	3.6	285
		Y	3.7	269
		Z	3.8	255
	Tercer deposito (relleno)	X	3.9	241

Y	4.0	228
Z	4.0	228

**Figura 71**

Variación de la dureza del cupón X-4.

**Tabla 36**

Resultado de la dureza Brinell del cupón X-5.

Probeta	Numero de deposito	Zona ensayada	Diámetro de huella (mm)	Dureza HB
X-5	Primer deposito (pase de raíz)	X	3.7	269
		Y	3.6	285
		Z	3.5	302
	Segundo deposito (Relleno)	X	3.7	269
		Y	3.8	255
		Z	3.8	255
	Tercer deposito (relleno)	X	3.9	241
		Y	4.0	228
		Z	4.1	217

**Figura 72**

Variación de la dureza del cupón X-5.



Fuente: Elaboración propia

#### f) Perfiles de dureza de los cupones estudiados

En la tabla 36 se detallan los valores en HB de los perfiles de dureza de los cupones

**Tabla 37**

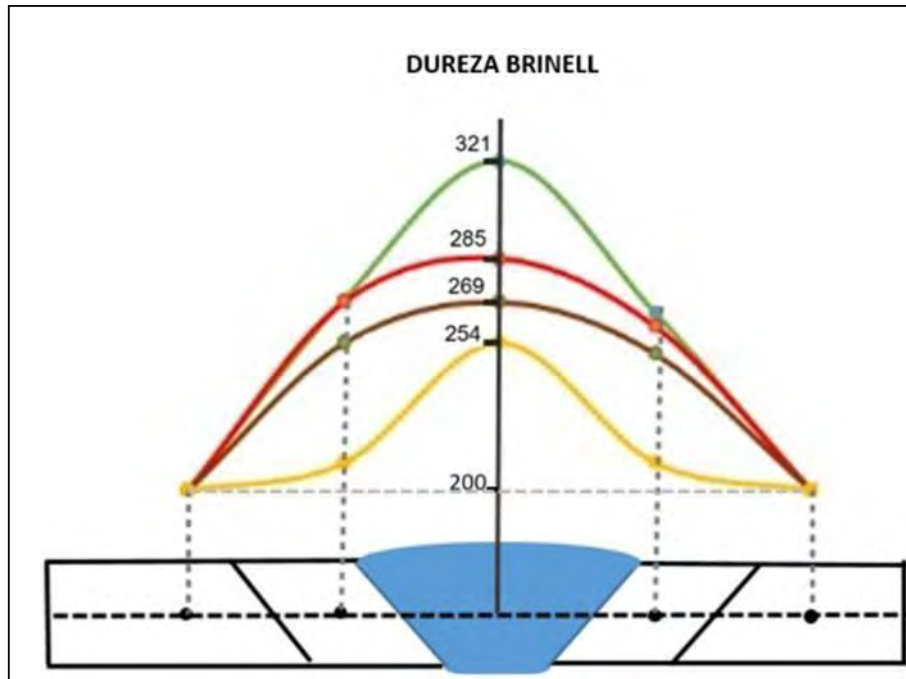
Valores del perfil de durezas.

Cupón	Metal base (lado izquierdo)	ZAC (lado izquierdo)	Deposito	ZAC (lado derecho)	Metal base (lado derecho)
X-2	200	270	321	265	202
X-3	198	260	285	260	200
X-4	199	254	269	250	201
X-5	202	210	254	210	200

En la figura 73, se observa los perfiles de dureza de las probetas.

**Figura 73**

*Perfil de dureza de los cupones.*



### g) Inspección por tintas penetrantes

Los resultados de la prueba de tintes penetrantes se resumen en la tabla 38.

**Tabla 38**

*Resultados de la inspección visual por tintes penetrantes (fluorescentes).*

Cupón	Observaciones	Defectos
X-1	Presenta discontinuidad.	Falta de fusión
X-2	Presenta discontinuidad.	Ninguna
X-3	Presenta discontinuidad	Ninguna
X-4	No presenta discontinuidad.	Ninguna
X-5	Presenta discontinuidad	Socavadura



Al realizar este ensayo, se determina si las probetas presentan discontinuidades, encontrándose que la probeta 4 no presenta discontinuidad por lo que se seleccionó dicha probeta.

#### **h) Ensayo de dobléz.**

En la tabla 39 se muestra los resultados obtenidos del ensayo de dobléz.

**Tabla 39**

*Resultados del ensayo de dobléz.*

Probeta	Doblado		Discontinuidad o defecto.	Calificación	
	Cara	Raíz		Cumple	No cumple
X-3	X	X	No presenta	X	
X-4	X	X	No presenta	X	

Fuente: Elaboración propia.

### **3.10. Análisis de los Resultados**

- *Calculo del calor neto*

De acuerdo a los resultados obtenidos, se asevera que el calor neto aumenta con el aumento de la intensidad de corriente.

- *Ancho de la zona afectada*

El ancho de la zona afectada por el calor (ZAC), esta condicionada por el aporte de calor. Esto quiere decir que a mayor aporte de calor, aumenta el ancho de la zona afectada por el calor (ZAC).

- *Inspección visual de los cupones*

Respecto a esta prueba, se indica que la probeta X-1, presento discontinuidades (falta de fusión) por el poco aporte de calor, por lo que se descartó para continuar estudiándolo. Los cupones

X-2 y X-5, si es cierto que presenta discontinuidades, pero no afecta en nada al estudio del efecto del calor en la dureza. Los cupones X-3 Y-4, no presentan discontinuidades.

- ***Medición de refuerzo de soldadura (corona de soldadura) y socavaduras***

Este ensayo visual, se determinó que el cupón X-5, presenta socavadura por la excesiva aplicación de calor de aporte (excesivo amperaje) y la velocidad de soldeo lo que no afecta la evaluación de la dureza. El resto de los cupones no presenta socavaduras.

- ***Inspección por tintas penetrantes***

Se observa que todas las probetas pasaron la inspección visual. Es decir, que no se encontraron discontinuidades, ni presencia de grietas, ni socavaciones, ni fusión incompleta que pudieran comprometer la sanidad de las juntas soldadas de las probetas.

- ***Ensayo de doblez***

El ensayo de doblez se realizó para observar la ductilidad de los cupones.

El cupón X-1 se fracturo al momento de hacer la prueba de doblez, porque presentaba falta de fusión a excepción del resto de los cupones que presentaban buena ductilidad.

- ***Ensayo de dureza***

Cupón X-2: Se alcanzó un incremento de 45% de dureza con respecto al material base, teniendo un aumento de la dureza en los siguientes.

Cupón X-3: respecto a este cupón , podemos indicar que la dureza en el primer cordon, en el punto X, aumento la dureza en 51% con referencia al metal base (que tiene una dureza de 200 HB), mientras que en los puntos Y y Z aumenta en 42% Y 35%. En el segundo cordon, en el punto

X y Y aumenta un 51% y el tercer cordón o deposito aumenta solo un 35%. En el tercer deposito, en las tres pasadas aumenta un 43% respecto al metal base. Esta variación se debe al calentamiento y posterior enfriamiento que experimenta el material en cada pasada ocasionando un normalizado de los granos en las primeras pasadas.

Cupón X-4: Por la variación de la intensidad de corriente (amperaje), las primeras pasadas hay un aumento de 42%, 35 % y 28% en la dureza con respecto al metal base. De igual forma en las pasadas dos y tres existe un aumento de dureza en 43%, 35% y 28%, mientras en la tercera pasada también existe un aumento de dureza con respecto al metal base, pero este aumento es menor con respecto a las pasadas anteriores. Esta variación se debe a la diferencia del aporte de calor por efecto de del amperaje. Esta variación se debe al calentamiento y posterior enfriamiento que experimenta el material en cada pasada ocasionando un normalizado de los granos en las primeras pasadas.

Cupón X-5: En las primeras pasadas existe un aumento de dureza con respecto al segundo y tercer deposito, esto se debe porque el aporte de calor es el mismo para las tres pasadas. Esta variación se debe al calentamiento y posterior enfriamiento que experimenta el material en cada pasada ocasionando un normalizado de los granos en las primeras pasadas.

En conclusión, se puede indicar que, la dureza en probetas de acero al carbono ASTM 128-C, aumenta considerablemente con la primera pasada en la ZAC y se reduce posteriormente en las siguientes pasadas, así como también disminuye al aumentar la intensidad de corriente (amperaje).

## CONCLUSIONES

1. El control adecuado de las variables de inspección por líquidos penetrantes, garantizan la calidad y correcta evaluación de las juntas soldadas.
2. El aporte de calor en las juntas de soldadura tiene efecto en los valores de dureza en la zona afectada por el calor. El aporte de calor tiene mucha incidencia en la precipitación de carburo de manganeso lo que le restaría dureza al cordón.
3. En los cupones de prueba, los primeros depósitos fueron aplicados con amperajes altos, para los subsiguientes depósitos, bien se usaron iguales.
4. Debido a la fácil precipitación de carburos de manganeso, se optó por seleccionar intensidades de corriente bajas en pasadas segunda y tercera.
5. Observando el perfil de los 4 cupones, se observa que la dureza aumenta tanto en el depósito como en la zona afectada por el calor (ZAC).

## RECOMENDACIONES

1. Para la realización de los ensayos de tintes penetrantes, debe tenerse en consideración algunas variables externas, tal como las condiciones ambientales, experiencia del operador que realiza el ensayo.
2. Se recomienda soldar el acero ASTM A128 CON INTENSIDADES DE CORRIENTE bajas, para evitar la precipitación de carburos de manganeso los cuales producirán lecturas erróneas de dureza.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.García, A. J. (2010). Estudio tribológico de aceros austeníticos tipo hadfield, influencia del manganeso en su respuesta frente al desgaste. *Metalurgia*, 46, 47-52. Obtenido de [https://www.academia.edu/11560942/Estudio\\_tribol%C3%B3gico\\_de\\_aceros\\_austen%C3%ADticos\\_tipo\\_Hadfield\\_influencia\\_del\\_manganeso\\_en\\_su\\_respuesta\\_frente\\_al\\_desgaste](https://www.academia.edu/11560942/Estudio_tribol%C3%B3gico_de_aceros_austen%C3%ADticos_tipo_Hadfield_influencia_del_manganeso_en_su_respuesta_frente_al_desgaste)
- Alonso, C. (2012). *Manual de Soldadura por Arco Eléctrico con electrodo recubierto*. Cano Pina Ceysa.
- American Welding Society RI. (26 de Agosto de 2009). *Manual de Soldadura*. Obtenido de pdfcoffee.com: <https://pdfcoffee.com/manual-de-soldadura-vol-1-aws-pdf-free.html>
- ASM Handbook. (1990). *Properties and Selection: Irons, steels and High Performance Alloys*. <https://tajhizkala.ir/doc/ASM/ASM%20Handbook%20Vol%201.pdf>.
- ASTM International. (16 de Agosto de 2017). *Métodos de prueba estándar para dureza Rockwell y dureza superficial Rockwell de materiales metálicos*. Obtenido de [www.astm.org](http://www.astm.org/e0018-03.html): <https://www.astm.org/e0018-03.html>
- BFMéxico. (14 de Febrero de 2022). *Cedulacion de parámetros para soldadura*. Obtenido de [bfmx.com](https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/): <https://bfmx.com/soldadura/parametros-de-soldadura-que-debes-regular/>
- Bravo Calvo, E. F. (27 de Enero de 2022). *Imperfecciones En Soldadura Y Tipos De Discontinuidades Introducción*. Obtenido de [www.academia.edu](http://www.academia.edu): [https://www.academia.edu/33510097/Imperfecciones\\_En\\_Soldadura\\_Y\\_Tipos\\_De\\_Discontinuidades\\_Introducci%C3%93n](https://www.academia.edu/33510097/Imperfecciones_En_Soldadura_Y_Tipos_De_Discontinuidades_Introducci%C3%93n)
- Chambi Paucar, H. G. (2014). Análisis De La Recuperación Del Pestillo De Compuerta De Cucharón De Pala Mecánica 3800-4100 Por Proceso De Soldadura Smaw. *Tesis Pregrado*. Universidadnacionaldesanagustín De Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2645/IMchpahg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Delgado, L. C. (2018). Obtenido de [repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9003/IMabdelc](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9003/IMabdelc).
- Destructivos, A. d. (2009). Ensayos no destructivos- Líquidos penetrantes. *Ensayos no destructivos- Líquidos penetrantes*. Asociación española de ensayos no destructivos, Madrid.
- Echevarría, R. (2002). *Defectología*. Universidad Nacional de Comahue, Santiago de Chile, Chile.
- Ecuador Documents. (2020). *Introducción A La Metalurgia De La Soldadura*. Obtenido de [fdocuments.ec](https://fdocuments.ec/document/introduccion-a-la-metalurgia-de-la-soldadura-56645fa627950.html?page=17): <https://fdocuments.ec/document/introduccion-a-la-metalurgia-de-la-soldadura-56645fa627950.html?page=17>

- Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (2011). Ensayos Destructivos Metalúrgicos. *Revista digital para profesionales de la enseñanza.*, 1-14. Obtenido de <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8427.pdf>
- Fosca, C. (2007). Introducción a la metalurgia de la soldadura. *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. PUCP, Lima, Peru. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/476338671/Introduccion-a-la-Metalurgia-de-la-Soldadura-Carlos-Fosca-pdf>
- Higuera, O. F., Trisancho, J. L., & Florez, L. C. (2007). *Fundamentos teóricos de los aceros auténticos al manganeso (aceros hadfield)*. Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.
- Higuera, O. F., Trisancho, J. L., & Florez, L. C. (2007). Fundamentos teóricos de los aceros auténticos al manganeso (aceros hadfield). *Scientia Et Technica*, 13(34), 231-236. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84934039.pdf>
- Ingemecánica. (12 de Octubre de 2022). *Medición de la Dureza de los Materiales*. Obtenido de [ingemecanica.com: https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla\\_dureza.html](https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla_dureza.html)
- Jeffus, L. (1 de Julio de 2009 ). *Soldadura. Principios y aplicaciones*. Obtenido de [books.google.com.pe: https://books.google.com.pe/books/about/Soldadura\\_Principios\\_y\\_aplicaciones.html?id=rHynAxzh0iEC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Soldadura_Principios_y_aplicaciones.html?id=rHynAxzh0iEC&redir_esc=y)
- Lincoln Electric. (2013). *Soldeo manual con electrodos revestidos*. Lincoln Electric. Obtenido de [https://www.academia.edu/7303830/Manual\\_Lincol\\_Electrodos](https://www.academia.edu/7303830/Manual_Lincol_Electrodos)
- Marcos, C. A. (2015). *Manual de prácticas de soldadura*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Oerlikon. (2008). *Manual de Soldadura & Catálogo de Productos*. Lima: Exsa. Obtenido de <https://www.soldaceros.com.pe/wp-content/uploads/2015/09/Manual-de-Soldadura-OERLIKON.pdf>
- Pérez Cargua, M. A., & Pullas Rea, L. M. (2009). Influencia De La Utilización De Insertos De Varilla Corrugada Sobre Las Soldaduras De Perfil Estructural. *Tesis de posgrado*. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/270/3/15T00419.pdf>
- Perez Cepeda, J. A. (2011). *Perez Cepeda, Jaime Andres*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7853>
- Radeva, V. (2014). Ciencia De Los Materiales Manual De Prácticas. *Ciencia De Los Materiales Manual De Prácticas*. Instituto Tecnológico De Santo Domingo, Santo Domingo. Obtenido de [https://www.academia.edu/27978069/CIENCIA\\_DE\\_LOS\\_MATERIALES\\_MANUAL\\_DE\\_PR%C3%81CTICAS](https://www.academia.edu/27978069/CIENCIA_DE_LOS_MATERIALES_MANUAL_DE_PR%C3%81CTICAS)

- SlidePlayer. (2014). *Tecnologías de unión*. Obtenido de [http://slideplayer.es/:  
http://slideplayer.es/slide/26599/](http://slideplayer.es/http://slideplayer.es/slide/26599/)
- society, A. W. (2012). *Manual de soldadura*. Mexico: Prentice - Hall Hispanoamerica S.A.
- Soldexa. (2011). *Manual de Soldadura y Catálogo de Productos*. Oerlikon. Obtenido de <https://es.slideshare.net/RonPincu/manual-soldadura-soldexa-15139801>
- Soldexa. (2021). *Catálogo de Consumibles*. Lima: Nazca Electroodos Soldexa. Obtenido de [https://www.syhrep.com/wp-  
content/uploads/2021/06/Catalogo\\_Soldexa\\_NAZCA\\_sp\\_pe\\_rev0\\_v4.pdf](https://www.syhrep.com/wp-content/uploads/2021/06/Catalogo_Soldexa_NAZCA_sp_pe_rev0_v4.pdf)
- Walteros Larrotta, G. (10 de Abril de 2010). *Manual de Soldadura Und 5 Tipos de Uniones*. Obtenido de es.scribd.com: [https://es.scribd.com/doc/29706904/Manual-de-Soldadura-  
Und-5-Tipos-de-Uniones](https://es.scribd.com/doc/29706904/Manual-de-Soldadura-Und-5-Tipos-de-Uniones)



# ANEXOS

## Anexo 1

SMAW

Acero Inoxidable



CITORIEL 801

Electrodo austenítico de tipo 18/8 con 4% Mn. El contenido de Mn le confiere la capacidad de autoendurecerse en trabajo hasta 50 HRC. CITORIEL 801 tiene excelentes propiedades mecánicas (alta tenacidad) y alta resistencia al fusuramiento. Así mismo, posee alta resistencia a los desgastes combinados de impacto, fricción metal - metal, abrasión, corrosión y altas temperaturas. El depósito es libre de fisuras y poros, y presenta muy buen acabado, sin chisporroteo y con pocas pérdidas por salpicaduras.

## Clasificación

AWS A5.4 / ASME SFA-5.4	E307-16
-------------------------	---------

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

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,08	4,00	0,40	máx. 0,025	máx. 0,020	0,50 1,50	9,50	19,70	-	-

## Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (+20°C) [J]
Sin tratamiento	> 590 (85 500)	350 (50 750)	> 30	> 80

## Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- Almacenamiento bajo horno: 50°C
- Resecado de 280°C a 300°C por 1 hora.

## Posiciones de Soldadura

P, H, Va, Sc.



## Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente continua (DC): Electrodo al positivo DCEP								
Diámetro	[mm]	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	5/64	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo		-	-	50	70	90	130	-
Amperaje máximo		-	-	75	120	140	180	-

## Aplicaciones

- Diseñado para unir y recargar piezas de acero al carbono, aceros de baja aleación y aceros al manganeso.
- Usado para unir aceros al manganeso con aceros aleados o aceros al carbono.
- Para recuperar piezas que han sufrido desgaste por fricción metal - metal como: vías férreas, ranas, cambios y cruces de rieles.
- Para relleno de cadenas, catalinas (sprockets), tambores, coronas dentadas, etc.
- Para bordes de cucharas de draga, dientes de excavadoras, partes de molinos y pulverizadores.
- Muy usado en la industria papelera como base para los sinfines y transportadores de bagazo.
- Para la recuperación de dientes de engranaje (como recubrimiento final), reparación de válvulas, turbinas, etc.