



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL NÚMERO DE PASADAS EN  
LA METALURGIA Y LA MICRO DUREZA DE LOS MATERIALES  
ALUMINIO 6063 Y ACERO AL CARBONO 1010 CON  
SOLDADURAS POR ARCO ELÉCTRICO CON  
ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)**

**Autor:**  
SILVA NELSON.

Naguanagua, Mayo de 2012.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL NÚMERO DE PASADAS EN  
LA METALURGIA Y LA MICRO DUREZA DE LOS MATERIALES  
ALUMINIO 6063 Y ACERO AL CARBONO 1010 CON  
SOLDADURAS POR ARCO ELÉCTRICO CON  
ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)**

*Trabajo especial de grado presentado ante la Ilustre Universidad de Carabobo para optar al título de  
Ingeniero Mecánico*

**Tutor académico:**  
OSWALDO URBANO.

**Autor:**  
SILVA NELSON.

Naguanagua, Mayo de 2012.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



## CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis de Pregrado titulada **Determinación de la influencia del número de pasadas en la metalurgias y la Microdureza de los materiales aluminio 6063 y acero 1010 con soldadura por arco eléctrico (SMAW)**, presentada por el bachiller: *Nelson Silva C.I.:v.15.653.618*, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

---

Prof. Oswaldo Urbano  
*Presidente del jurado*

---

Prof. Jurado1, *Carmelo Torres*  
*Miembro del jurado*

---

Prof. Jurado2, *Argel Porrelo*  
*Miembro del jurado*

En Naguanagua a los 15 días del mes de Mayo de 2.012

# DEDICATORIA

---

Desde comienzos de mi carrera en esta prestigiosa Universidad siempre he contado con la ayuda incondicional de Jehová Dios y gracia a él, he llegado a donde estoy por esa razón en estas primeras líneas le dedico este Trabajo Especial de Grado así como todas las veces que me levanto de mi cama a este ser Supremo.

A mis hermanos, porque han sido los amigos, los compañeros fieles en el camino recorrido hasta aquí; y en general a toda mi familia que de una u otra manera contribuyó con el logro de mi carrera.

Y por último, quiero dedicar este logro a todos nuestros amigos testigos de nuestros triunfos y fracasos.

Nelson Silva

# AGRADECIMIENTOS

---

A **Dios**, por darme la sabiduría, la salud y las fuerzas en toda mi trayectoria de mi vida.

Al tutor, profesor **Oswaldo Urbano**, quien me facilitó el tema del Trabajo Especial de Grado, me brindó su valiosa experiencia en lo que respecta a la asesoría técnica, revisión en cada etapa de preparación de los manuscritos y evaluación continua personalizada en los procesos de investigación.

Especial agradecimiento al personal técnico en soldadura calificada, que labora en el **Taller Metalmecánico** de nuestra prestigiosa Facultad de Ingeniería; su participación fue determinante en el éxito del proceso de soldadura.

Aprovechamos la oportunidad brindada para agradecer también a la técnico del laboratorio de materiales Yosmari Pérez, por sus asesorías, consejos, sugerencias y favores prestados.

A nuestros **padres, familiares y amigos**, como gratitud a su afecto, comprensión y sobre todo amor que me impulsa todos los días a seguir creciendo en todas nuestras áreas de nuestra vida.

Bendiciones a todos a través del Espíritu Santo quien es mi gran amigo.

Nelson Silva.

# RESUMEN

---

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia del número de pasadas en la metalurgia y la micro dureza de los materiales aluminio 6063 y acero al carbono 1010 con soldaduras por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW). Para la realización de la misma, se efectuaron cordones de soldaduras con bisel en V en perfiles de aluminio 6003 y acero al carbono 1010 con las intensidades de corrientes de 80, 110 y 130; 75, 100, 125 amperios respectivamente obtenidas de las pruebas pilotos. Realizando combinaciones de las intensidades de corriente en las probetas ya mencionadas, inmediatamente terminando el proceso de soldadura, la probeta se le aplicó los ensayos de metalografía, tracción y dureza, Se utilizaron nueve (9) de microscopía óptica, nueve (9) de tracción y dieciocho (18) Microdureza Vickers, con la finalidad de evaluar las propiedades mecánicas en las uniones soldadas a tope, con los diferentes tipos de material y sus respectivos electrodos.

**Descriptores:** Ensayos, Microdureza.

# NOMENCLATURA

---

**A:** Amperios.

**ASTM:** Asociación Internacional para la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales

**AWS:** La Sociedad Americana de Soldadura.

**DC:** Deformación Crítica.

**e:** valor nominal de la deformación.

**EPS:** Especificación del Procedimiento de Soldadura

**FS:** Fisuras de Solidificación.

**I:** Intensidad de corriente.

**Q:** Calor de entrada por el proceso de soldadura.

**S:** velocidad de la soldadura.

**SMAW:** proceso de soldadura con arco manual.

**T:** espesor de la probeta.

**V:** Voltaje.

**ZAT:** La Zona Afectada Térmicamente.

**1F:** Posición para soldar plana según ANSI.

**2F:** Posición para soldar horizontal según ANSI

**3G:** Posición para soldar Vertical según ANSI

$\rho$ : Factor de rendimiento.

**%RA:** Porcentaje de reducción de área

**A:** Área

**HV:** Dureza Vickers

**S:** Esfuerzo

**Ef:** Deformación de Ingeniería

**Smax:** Esfuerzo máximo

**Sy:** Esfuerzo de fluencia

**ZF:** Zona fundida

**MB:** Metal base

**C:** Carbono

**Si:** Silicio

**Mn:** Manganeseo

**P:** Fosforo

**S:** Azufre

**Cu:** Cobre

**$\sigma_u$**  : Resistencia a la tracción

**$\sigma_e$**  : Limite elástico

**$\sigma_y$**  : Esfuerzo de fluencia

**$\sigma_r$**  : Esfuerzo de ruptura

**Ti O<sub>2</sub>:** Oxido de titanio

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** Oxido férrico



# ÍNDICE GENERAL

---

	Pág.
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
Resumen.....	vi
Nomenclatura.....	vii
Índice General.....	ix
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tablas.....	xix
Introducción.....	21
 <b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1.2. SITUACION PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.1. Objetivo General.....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>23</b>
<b>1.4. JUSTIFICACION.....</b>	<b>23</b>
<b>1.5. ALCANCE.....</b>	<b>24</b>
<b>1.6. LIMITACIONES.....</b>	<b>25</b>

**CAPÍTULO 2**

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>26</b>
<b>2.2. FUNDAMENTOS TEORICOS.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.1. SOLDADURAS Y TIPOS.....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.2. CALSIFICACION DE LOS TIPOS DE SOLDADURAS.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2.1. Soldadura Blanda.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.2.2. Soldadura fuerte.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.2.3. Soldadura por presión.....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.2.4. Soldadura oxiacetilénica.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.2.5. Soldadura por arco eléctrico.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.2.6. Soldadura por arco sumergido.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.2.7 Soldadura por arco en atmósfera inerte. ....</b>	<b>42</b>
<b>2.2.2. 8.Soldadura aluminotérmica o con termita.....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.2.9. Soldadura por resistencia eléctrica.....</b>	<b>46</b>
<b>2.2.2.10.Soldadura metálica por arco protegido.....</b>	<b>49</b>
<b>2.2.3 CLASIFICACION DEL PROCESO GMAW.....</b>	<b>53</b>
<b>2.3. SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW).....</b>	<b>59</b>
<b>2.4. EL ACERO.....</b>	<b>60</b>
<b>2.5. ENSAYOS MECANICOS APLICADOS AL ACERO.....</b>	<b>64</b>
<b>2.6. ACEROS AL CARBONO AISI 1010.....</b>	<b>69</b>

<b>2.7. EL ALUMINIO.....</b>	<b>70</b>
<b>2.8. APLICACIONES DEL ALUMINIO.....</b>	<b>71</b>
<b>2.9. TIPOS DE ALEACIONES NORMALIZADAS.....</b>	<b>74</b>
<b>2.9.1. Aleaciones de aluminio forjado sin tratamiento térmico.....</b>	<b>74</b>
<b>2.9.2. Aleaciones de aluminio forjado con tratamiento térmico.....</b>	<b>75</b>
 <b>CAPÍTULO 3</b>	
<b>3. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>77</b>
<b>3.1. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>77</b>
<b>3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>77</b>
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4. MATERIALES Y EQUIPOS A UTILIZAR.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4.1. MATERIALES A UTILIZAR.....</b>	<b>78</b>
<b>3.4.1.1 Metal Base.....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.1.2 Metal de Aporte.....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.2. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.2.1. Equipos para la realización de la soldadura.....</b>	<b>79</b>
<b>3.4.2.2. Equipos y herramientas para usar en las probetas.....</b>	<b>80</b>
<b>3.4.2.3. Equipos y herramientas para usar en los ensayos.....</b>	<b>80</b>
<b>3.5. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>80</b>
<b>3.5.1. Ubicación de máquinas y equipos a utilizar.....</b>	<b>80</b>

<b>3.6. CORTES DE LÁMINAS A SOLDAR.....</b>	<b>83</b>
<b>3.7. PROCESO DE SOLDADURA SMAW.....</b>	<b>84</b>
<b>3.7.1 CONDICIONES DE TRABAJO FIJADAS.....</b>	<b>84</b>
3.7.1.1. Unión de láminas.....	84
3.7.1.2. Sujeción de las láminas en la mesa.....	85
3.7.1.3. Intensidades de trabajo.....	85
3.7.1.4. Voltaje de trabajo.....	85
3.7.1.5. Electrodo utilizados.....	85
3.7.1.6. La soldadura.....	86
<b>3.8. REALIZACION DE LOS ENSAYOS.....</b>	<b>86</b>
3.8.1. ENSAYOS DE TRACCION.....	88
3.8.2. ENSAYOS METALURGICOS.....	90
3.8.3. ENSAYOS DE MICRODUREZA VICKERS.....	91
<b>3.9. ELBORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA EPS.....</b>	<b>92</b>
3.9.1. EPS: ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA...	92
<b>3.10. ELECTRODO <math>AL_2 Si_5</math>.....</b>	<b>92</b>
<b>3.11. RESUMENDE ENSAYOS PROGRAMADOS.....</b>	<b>97</b>
<b>3.12. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA ENSAYO DE TRACCIÓN</b>	<b>98</b>
<b>3.13. PREPARACIÓN Y EXAMEN METALOGRAFICO DE LA SUPERFICIE</b>	
<b>DE LAS MUESTRAS.....</b>	<b>99</b>
<b>3.14. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA ENSAYOS DE MICRO</b>	

<b>DUREZA VICKER.....</b>	<b>100</b>
<b>CAPITULO 4</b>	
<b>4. Análisis de Resultados.....</b>	<b>102</b>
<b>4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO 1010.....</b>	<b>102</b>
<b>4.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALUMINIO 6003.....</b>	<b>104</b>
<b>4.2.1. Composición química del material aluminio 6003 obtenida     Mediante el ensayo de chispa en ALUCASA.....</b>	<b>104</b>
<b>4.2.2. Composición química del material aluminio 6063 obtenida por el     Trabajo de investigación investigación “Aleaciones de Aluminio”.</b>	<b>104</b>
<b>4.3. PARAMETROS DE LA SOLDADURA EN LAS LÁMINAS.....</b>	<b>106</b>
<b>4.4. RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.....</b>	<b>109</b>
<b>4.4.1 GRÁFICOS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO 1010.....</b>	
<b>4.5. METALOGRAFÍA.....</b>	<b>112</b>
<b>4.51. MICROSCOPIA DEL ACERO 1010.....</b>	<b>112</b>
<b>4.6. ANÁLISIS METALOGRÁFICO.....</b>	<b>115</b>
<b>4.6.1. METAL BASE.....</b>	<b>115</b>
<b>4.6.2. CORDON DE SOLDADURA.....</b>	<b>115</b>
<b>4.6.3. ZONA AFECTADA POR EL CALOR.....</b>	<b>116</b>
<b>4.7. RESULTADO DEL ANÁLISIS MÉTALOGRÁFICO DEL ALUMINIO 6063</b>	<b>116</b>
<b>4.8. MICRODUREZA VICKERS.....</b>	<b>120</b>
<b>4.8.1. ENSAYO DE MICRODUREZA VICKERS.....</b>	<b>121</b>

<b>4.9. ANALISIS DE RESULTADO DE LA MICRO DUREZA VICKER.....</b>	<b>128</b>
--	------------

## **CAPÍTULO 5**

<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>129</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>130</b>
<b>5.3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>131</b>
<b>5.4. ANEXOS.....</b>	<b>134</b>
• <b>Anexo N°1.....</b>	<b>135</b>
• <b>Anexo N° 2.....</b>	<b>136</b>
• <b>Anexo N° 2.1.....</b>	<b>136</b>
• <b>Anexo N° 2.2.....</b>	<b>137</b>
• <b>Anexo N° 3.....</b>	<b>137</b>
• <b>Anexo N° 3.1.....</b>	<b>138</b>
• <b>Anexo N° 4.....</b>	<b>139</b>
• <b>Anexo N° 5.....</b>	<b>140</b>
• <b>Anexo N° 6.....</b>	<b>141</b>
• <b>Anexo N° 7.....</b>	<b>142</b>
• <b>Anexo N° 8.....</b>	<b>143</b>
• <b>Anexo N° 9.....</b>	<b>144</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

	Pág.
2.1	Proceso de soldadura de los metales..... 34
2.2	Kit de soldadura fuerte..... 36
2.3	Elementos presentes en la soldadura por arco eléctrico..... 38
2.4	Proceso de soldadura por Arco eléctrico..... 39
2.5	Materiales presentes en el proceso de soldadura por Arco eléctrico 41
2.6	Elementos de la soldadura por arco sumergido..... 42
2.7	Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con Electrodo no consumible o refractario..... 43
2.8	Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con Electrodo consumible..... 44
2.9	Elementos de la soldadura con termita..... 45
2.10	Esquema del procedimiento de energía radiante..... 45
2.11	Esquema del procedimiento de la soldadura por punto..... 47
2.12	Tipos de soldadura por punto..... 47
2.13	Esquema de soldadura por costura..... 48
2.14	Equipo de soldadura a tope..... 49
2.15	Soldadura a tope..... 49
2.16	Proceso de soldadura con arco protegido..... 50

2.17	Soldadura por arco eléctrico sumergido.....	50
2.18	Aluminio serie 6000.....	73
3.1	Esquema del procedimiento experimental a realizar.....	81
3.2	Diagrama de la Realización de los Ensayos Mecánicos según su material.....	82
3.3	Esquema de diseño de juntas soldadas por el método SMAW.....	84
3.4	(a) Máquina fresadora. (b) Máquina limadora.....	87
3.5	Máquina cortadora.....	87
3.6	Probeta de tracción según norma COVENIN 7:2-001, probeta tipo A-2.....	88
3.7	Máquina de tracción GALDABINI de 20 TON.....	90
3.8	Máquina de analizador de imágenes.....	90
3.9	Representación de las zonas en las que se dejó la huella para evaluar la dureza.....	91
3.10	Microdurómetro Vickers.....	91
3.11	Formato EPS.....	94
3.12	Posiciones de Soldadura (Fuente: Catálogo Lincoln Electric.).....	95
4.1	Aleación de Aluminio serie 6000.....	105
4.2	Realización del proceso de soldadura.....	107
4.3	Probetas de aluminio 6063 soldadas de 1, 2 y 3 pasadas.....	107
4.4	Probetas de 1, 2 y 3 pasadas de Aluminio 6063.....	108
4.5	Probetas de acero AISI 1010 soldadas de 1, 2 y 3 pasadas.....	108
4.6	Probetas de 1, 2 y 3 pasadas de Acero 1010.....	108
4.7	Ensayo de tracción para el aluminio 6063- probeta 001.....	109



4.8	Ensayo de tracción para el aluminio 6063- probeta 003.....	110
4.9	Ensayo de tracción para el aluminio 6063- probeta 006.....	110
4.10	Ensayo de tracción para el acero 1010- probeta 001.....	111
4.11	Ensayo de tracción para el acero 1010- probeta 004.....	111
4.12	Ensayo de tracción para el acero 1010- probeta 005.....	112
4.13	Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M01.....	113
4.14	Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M02.....	113
4.15	Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M03.....	114
4.16	Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo(E-41413).M04.....	114
4.17	Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M05.....	115
4.18	Microscopia a 100X,(0.2 $\mu$ ) de la junta de aluminio 6063.....	116
4.19	Material Base (MB) 1000X, (0.05 $\mu$ ).....	117
4.20	Material de Aporte (MA) 100X, (0.05 $\mu$ ).....	117
4.21	Zona de transición 100X (MB parte superior derecha – MA parte inferior izquierda).....	117
4.22	Microscopia de la junta de aluminio 6063.....	118
4.23	Microscopia de la junta de aluminio 6063.....	118
4.24	Microscopia a 200X,(0.3 $\mu$ ), de la junta de aluminio 6063.....	118
4.25	Material Base (MB) 1000X,(0.05 $\mu$ ).....	119
4.26	Material de Aporte (MA) 100X, (0.4 $\mu$ ).....	119
4.27	Microscopia de la junta de aluminio 6063.....	119

4.28	Identaciones realizadas en las probetas.....	121
4.29	Diagonal media de la huella.....	122
4.30	Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de acero 1010- I=125 A.....	124
4.31	Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de acero 1010- I=100 A.....	124
4.32	Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de acero 1010- I=75 A.....	125
4.33	Comparación de las Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de acero 1010.....	125
4.34	Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063 I=130 A.....	126
4.35	Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063 I=110 A.....	126
4.36	Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063 I=80 A.....	127
4.37	Comparación de las Gráficas de las Identaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063.....	127

# ÍNDICE DE TABLAS

---

	Pág.
<b>2.1</b> Propiedades de diversos gases empleados en la soldadura	
Oxiacetilénica.....	37
<b>2.2</b> Composición Química del Acero AISI 1010.....	69
<b>2.3</b> Propiedades mecánicas del acero AISI 1010.....	70
<b>2.4</b> Características mecánicas de la aleación de aluminio 6063.....	74
<b>3.1</b> Población y muestra en estudio.....	78
<b>3.2</b> Composición química del electrodos para el acero 1010.....	79
<b>3.3</b> Características de las láminas iniciales a utilizar.....	83
<b>3.4</b> <i>Ubicación de los equipos y maquinarias a utilizar.....</i>	83
<b>3.5</b> Característica de Maquinas SMAW.....	84
<b>3.6</b> Parámetros óptimos de soldadura.....	95
<b>3.7</b> Características Mecánicas el electrodo -Al Si 5 AWS A5.3:E4043. .	95
<b>3.8</b> Composición química (%) del electrodo -Al Si.....	96
<b>3.9</b> Resumen de ensayos programados para muestras de acero	97
AISI 1010 soldado por el método SMAW.....	
<b>3.10</b> Resumen de ensayos programados para muestras de aluminio	97
6063 soldados por el método SMAW.....	

<b>4.1</b>	Comparación de los componentes químicos del ACERO 1010	103
<b>4.2</b>	Propiedades mecánicas de los aceros AISI.....	103
<b>4.3</b>	Composición química del material Aluminio 6063 obtenida <i>Mediante el Ensayo de Chispa en ALUCASA. ....</i>	104
<b>4.4</b>	Comparación de los esfuerzos del AA-6063.....	106
<b>4.5</b>	Parámetros de trabajo según el tipo de electrodo.....	107
<b>4.6</b>	Indentaciones realizadas a las muestras para el Aluminio 6063.....	123
<b>4.7</b>	Identaciones realizadas a las muestras para el acero AISI 1010.....	123

# CAPÍTULO 4

## *Análisis y Resultados*

---

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos para los distintos ensayos (Metalografía, tracción y Microdureza Vickers) realizados para el estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales efectuado a las probetas de las láminas de aluminio aleaciones AA-6063 y Acero al carbono 1010, indicándose los respectivos análisis de las condiciones estudiadas.

### **4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO 1010.**

En la tabla 4.1 y 4.2, se comparan los ensayos realizados con los datos del libro metal Hand Book, según su composición química con los elementos del acero AISI 1010 y sus propiedades. Es decir, Los valores teóricos se obtuvieron de la tabla del libro y el valor real fue el promedio obtenido en las (02) dos pruebas del ensayo de chispa.

Además, se realizó las pruebas de la composición de las probetas de el perfil de Acero 1010 en la empresa Metelcar y se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 4.1.

#### **Equipo de Espectrometría**

Emisiones Ópticas (SPECTROLAB)

CODGO INTERNO: MT-CT-05CA

**Tabla 4.1.** Comparación de los componentes químicos del ACERO 1010

ACERO 1010		ACERO 1010	
Valor teórico( Metal Hand Book)		Valor real ( Metalcar)	
C (%)	0,15-0,20	C (%)	0,181
Mn (%)	0,60-0,90	Mn (%)	0,631
P (%)	0,04	P (%)	0,0412
S (%)	0,05	S (%)	0,0488
Si (%)	0,15-0,30	Si (%)	0,3021

Fuente: Propia.

**Tabla 4.2.** Propiedades mecánicas de los aceros AISI.

N°SAE o AISI	Resistencia a la tracción Rm		Límite de fluencia Re		Alargamiento En 50mm	Dureza Brinell
	Kgf/mm <sup>2</sup>	Mpa	Kgf/mm <sup>2</sup>	Mpa		
1010	40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1015	42,9	420,7	32,0	313,8	39	126
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143
1025	50,1	491,3	34,5	338,3	34	161
1030	56,3	552,1	35,2	345,2	32	179
1035	59,8	586,4	38,7	377,5	29	190
1040	63,4	621,7	42,2	413,8	25	201
1045	68,7	673,7	42,2	413,8	23	215
1050	73,9	724,7	42,2	413,8	20	229

Fuente: Metal Hand Book.

## 4.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALUMINIO 6063.

### 4.2.1. Composición química del material aluminio 6003 obtenida mediante el ensayo de chispa.

Se realizaron las pruebas de la composición de las probetas de el perfil de Aluminio en la empresa ALUCASA y se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 4.3.

#### Equipo de Espectrometría

Emisiones Ópticas (SPECTROLAB)  
CODGO INTERNO: EE-CQ-02LAB

**Tabla 4.3.** Composición química del material Aluminio 6063 obtenida mediante el Ensayo de Chispa en ALUCASA.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	B	Bi	As	Al
0,211	0,36	0,09	0,1211	0,6489	0,1153	0,023	0,127	0,0051	0,014	0,003	97,52

Fuente: Laboratorio ALUCASA

### 4.2.2. Composición química del material aluminio 6063 obtenida por el trabajo de investigación “Aleaciones de Aluminio”.

En la fig.4.1 Se presenta la composición del aluminio de la serie 6063.

AA DESIGNATION	SILICON	IRON	COPPER	MANGANESE	MAGNESIUM	CHROMIUM	NICKEL	ZINC	TITANIUM	OTHERS		ALUMINUM Min.
										Each	Total	
6003	0.35-1.0	0.6	0.10	0.8	0.8-1.5	0.35	..	0.20	0.10	0.05	0.15	Remainder
6005	0.6-0.9	0.35	0.10	0.10	0.40-0.6	0.10	..	0.10	0.10	0.05	0.15	Remainder
6053	0.35	0.35	0.10	..	1.1-1.4	0.15-0.35	..	0.10	..	0.05	0.15	Remainder
6061	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	..	0.25	..	0.05	0.15	Remainder
6063	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	..	0.10	0.10	0.05	0.15	Remainder
6066	0.9-1.8	0.50	0.7-1.2	0.6-1.1	0.8-1.4	0.40	..	0.25	0.20	0.05	0.15	Remainder
6070	1.0-1.7	0.50	0.15-0.40	0.40-1.0	0.50-1.2	0.10	..	0.25	0.15	0.05	0.15	Remainder
6101	0.30-0.7	0.50	0.10	0.03	0.35-0.8	0.03	..	0.10	..	0.03	0.10	Remainder
6105	0.6-1.0	0.35	0.10	0.10	0.45-0.8	0.10	..	0.10	0.10	0.05	0.15	Remainder
6151	0.6-1.2	1.0	0.35	0.20	0.45-0.8	0.15-0.35	..	0.25	0.15	0.05	0.15	Remainder
6162	0.40-0.8	0.50	0.20	0.10	0.7-1.1	0.10	..	0.25	0.10	0.05	0.15	Remainder
6201	0.50-0.9	0.50	0.10	0.03	0.6-0.9	0.03	..	0.10	..	0.03	0.10	Remainder
6253	0.35	0.50	0.10	..	1.0-1.5	0.04-0.35	..	1.6-2.4	..	0.05	0.15	Remainder
6262	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.14	..	0.25	..	0.15	0.05	0.15
6351	0.7-1.3	0.50	0.10	0.40-0.8	0.40-0.8	..	..	0.20	0.20	0.05	0.15	Remainder
6463	0.20-0.6	0.15	0.20	0.05	0.45-0.9	..	..	0.20	..	0.05	0.15	Remainder
6951	0.20-0.50	0.8	0.15-0.40	0.10	0.40-0.8	..	..	0.05	..	0.05	0.15	Remainder
7005	0.35	0.40	0.10	0.20-0.7	1.0-1.8	0.06-0.20	..	4.0-5.0	0.01-0.06	0.05	0.15	Remainder
7008	0.10	0.10	0.05	0.05	0.7-1.4	0.12-0.25	..	4.5-5.5	0.05	0.05	0.10	Remainder
7049	0.25	0.35	1.2-1.9	0.20	2.0-2.9	0.10-0.22	..	7.2-8.2	0.10	0.05	0.15	Remainder
7050	0.12	0.15	2.0-2.6	0.10	1.9-2.6	0.04	..	5.7-6.7	0.06	0.05	0.15	Remainder
7072	0.7 Si + Fe	0.10	0.10	0.10	0.10	..	..	0.8-1.3	..	0.05	0.15	Remainder
7075	0.40	0.50	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	..	5.1-6.1	0.20	0.05	0.15	Remainder
7108	0.10	0.10	0.05	0.05	0.7-1.4	..	..	4.5-5.5	0.05	0.05	0.15	Remainder
7178	0.40	0.50	1.6-2.4	0.30	2.4-3.1	0.18-0.28	..	6.3-7.3	0.20	0.05	0.15	Remainder
8017	0.10	0.55-0.8	0.10-0.20	..	0.01-0.05	..	..	0.05	..	0.03	0.10	Remainder
8030	0.10	0.30-0.8	0.15-0.30	..	0.05	..	..	0.05	..	0.03	0.10	Remainder
8176	0.03-0.15	0.40-1.0	..	..	..	..	..	0.10	..	0.05	0.15	Remainder
8177	0.10	0.25-0.45	0.04	..	0.04-0.12	..	..	0.05	..	0.03	0.10	Remainder

Fig.4.1. Aleación de Aluminio serie 6000.

Fuente: Laboratorio ALUCASA

La tabla 4.1 es comparativa de las propiedades mecánicas de las y AA-6063 obtenidos experimentalmente.

Propiedades mecánicas del AA-6063. Información contenida en el libro Metals Handbook, Propiedades y sección de metales, volumen 1, 8vo edición, páginas 940 y 946 respectivamente. Ver tabla 4.4.



**Tabla 4.4.** Comparación de los esfuerzos del AA-6063

AA-6063 experimental	AA-6063 Handbook
$\sigma_f = 112 \frac{N}{mm^2}$	$\sigma_f = 128 \frac{N}{mm^2}$
$\sigma_u = 155 \frac{N}{mm^2}$	$\sigma_u = 160 \frac{N}{mm^2}$

**Fuente:** Propia.

Al aplicar el ensayo de tracción a las probetas de las dos aleaciones se obtuvieron valores los cuales se cotejaron con las indicadas para la condición de recocido con las propiedades mecánicas contenidas en el texto Metals Hand book volumen1, 8va edición, Título: Propiedades de las Aleaciones tratadas del aluminio (Properties of Wrought Aluminum Alloys), páginas 940 y 946 respectivamente.

Teniendo en cuenta que la ductilidad es la capacidad de un material a deformarse permanentemente sin fallar, la ductilidad del aluminio comparándola con otros materiales es buena.

Comparándola con la del acero se notará que los esfuerzos máximos para las aleaciones de aluminio son menores que las del acero, de ahí que la ductilidad de los aluminios es mejor, ello debido a que la estructura molecular no está tan unida como la de los aceros.

### 4.3. PARAMETROS DE LA SOLDADURA EN LAS LÁMINAS

Se realizó la soldadura tomando constante los siguientes parámetros voltaje, intensidad de corriente, así como la velocidad de pasada que es un factor que fue asociado a la experiencia del soldador estos datos se muestran en la

(tabla 4.5). También se observa en las fig. 4.3 a 4.6. las distintas probetas y el proceso de la soldadura.

**Tabla 4.5.**Parámetros de trabajo según el tipo de electrodo.

Tipo de electrodo	Intensidad de corriente	Voltaje (V)	Velocidad (mm/s)
Acero E-41413	75-125	25	2,86
Aluminio E-4043	80-130	23	2,39

**Fuente:** Propia.



**Fig.4.2.** Realización del proceso de soldadura.



**Fig.4.3.** Probetas de aluminio 6063 soldadas de 1, 2 y 3 pasadas.

**Fuente:** Propia



**Fig.4.4.** Probetas de 1, 2 y 3 pasadas de Aluminio 6063.



**Fig.4.5.** Probetas de acero AISI 1010 soldadas de 1, 2 y 3 pasadas.



**Fig.4.6.** Probetas de 1, 2 y 3 pasadas de Acero 1010.

**Fuente:** Propia

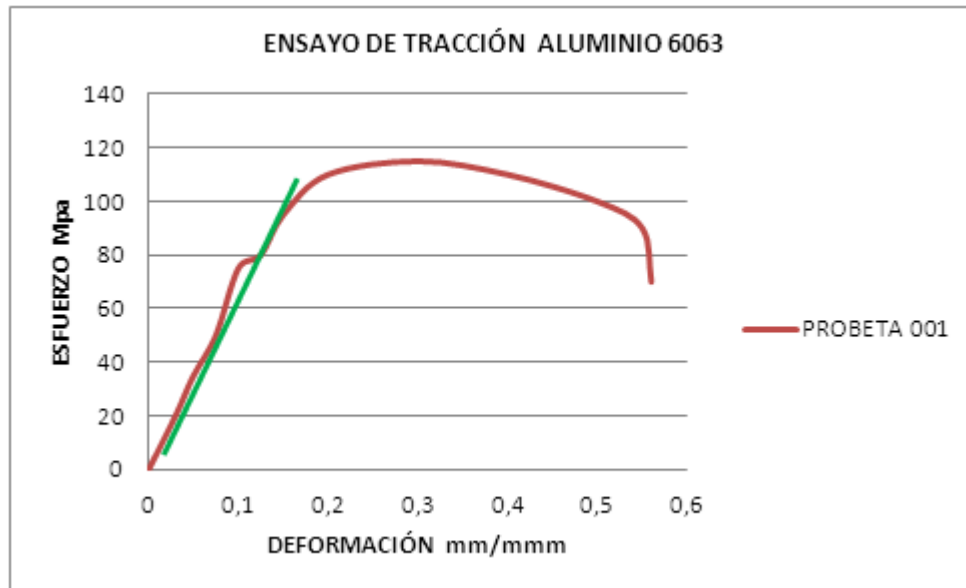
#### 4.4. RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.

Al concluir los ensayos de tracción en la máquina de ensayos universal Galdabini y en la maquina EMIC se obtuvieron las gráficas Fuerza-desplazamiento, una curva por cada probeta. Luego se procedió a obtener las curvas Esfuerzo-Deformación para cada una de las condiciones de ensayo previamente establecidas en la fig. 4.7 – 4.12.

Este ensayo se realiza según la norma ASTM A – 370, es uno de los ensayos de resistencia comúnmente usado, se emplea con el propósito de clasificar el material base y el material de aporte en uniones soldadas, también se emplea para evaluar la resistencia de dichas uniones.

A continuación se muestra las gráficas de *esfuerzo-deformación* de para cada aleación

##### 4.4.1 GRÁFICOS ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ALUMINIO 6063



**Fig.4.7.** Ensayo de tracción para el aluminio 6063- probeta 001.

**Fuente:** Propia

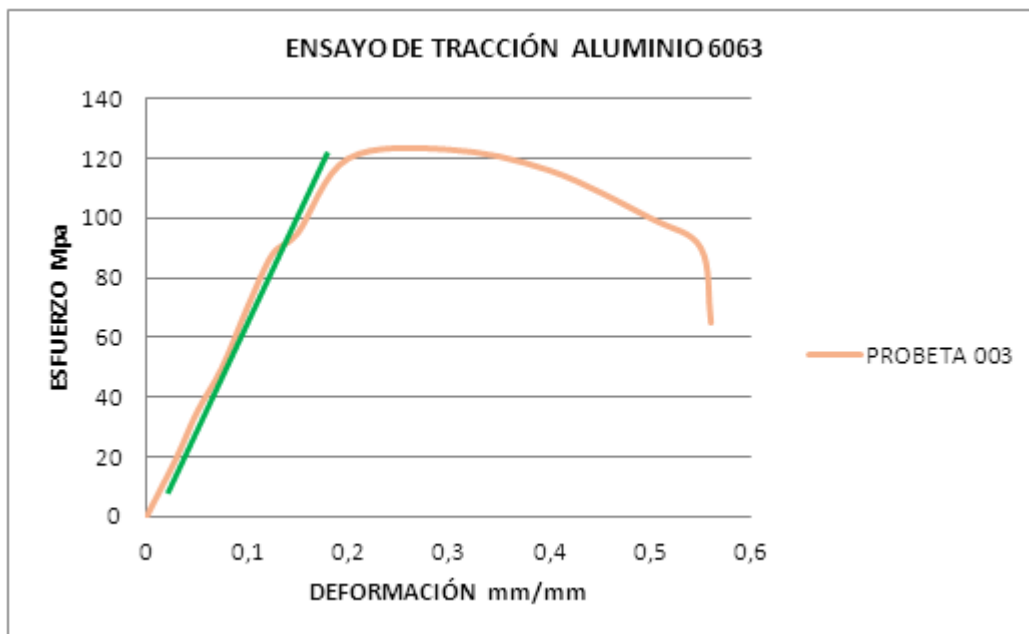


Fig.4.8. Ensayo de tracción para el aluminio 6063- probeta 003.

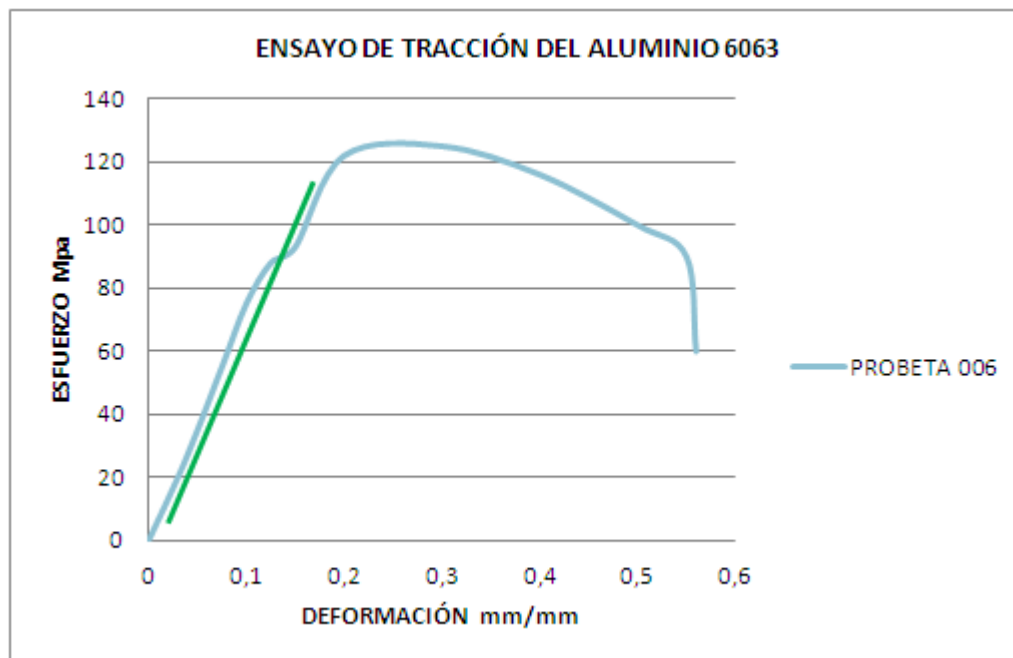
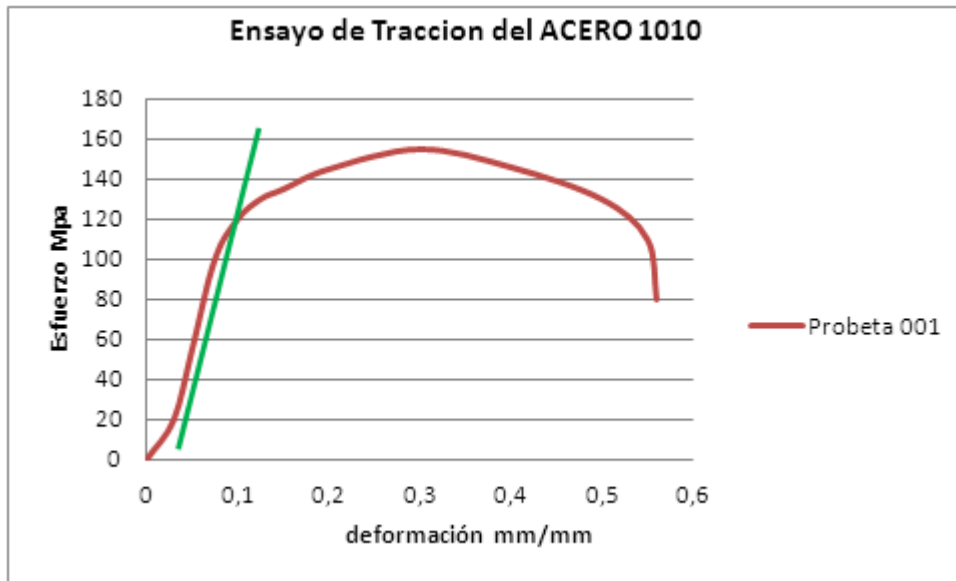


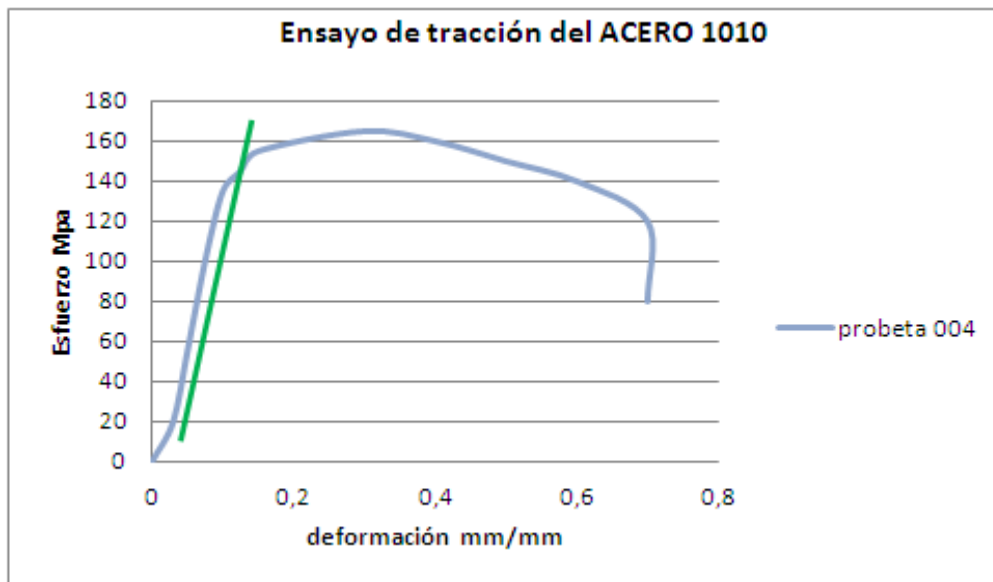
Fig.4.9. Ensayo de tracción para el aluminio 6063- probeta 006.

Fuente: Propia



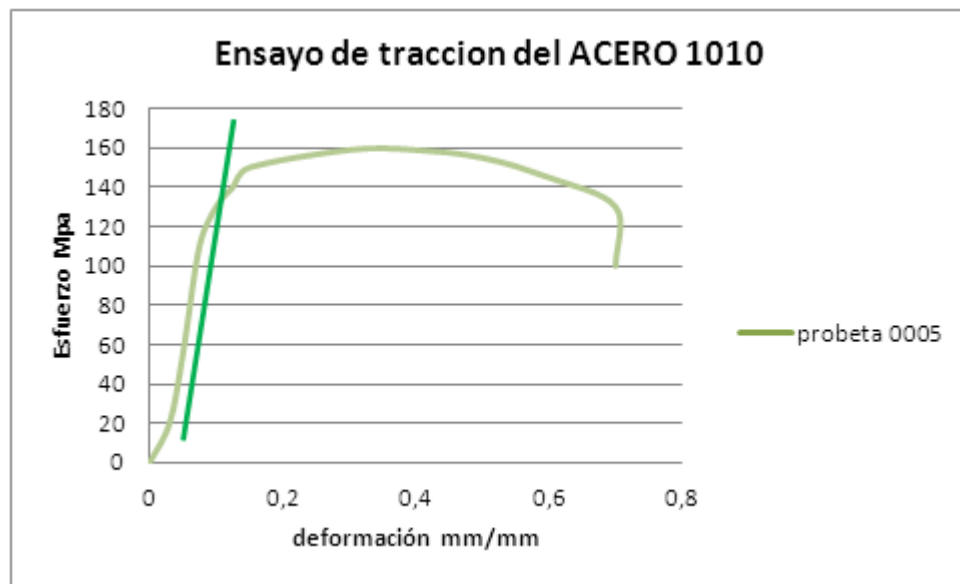
**Fig.4.10.** Ensayo de tracción para el acero 1010- probeta 001.

Fuente: Propia



**Fig.4.11.** Ensayo de tracción para el acero 1010- probeta 004.

Fuente: Propia



**Fig.4.12.** Ensayo de tracción para el acero 1010- probeta 005.

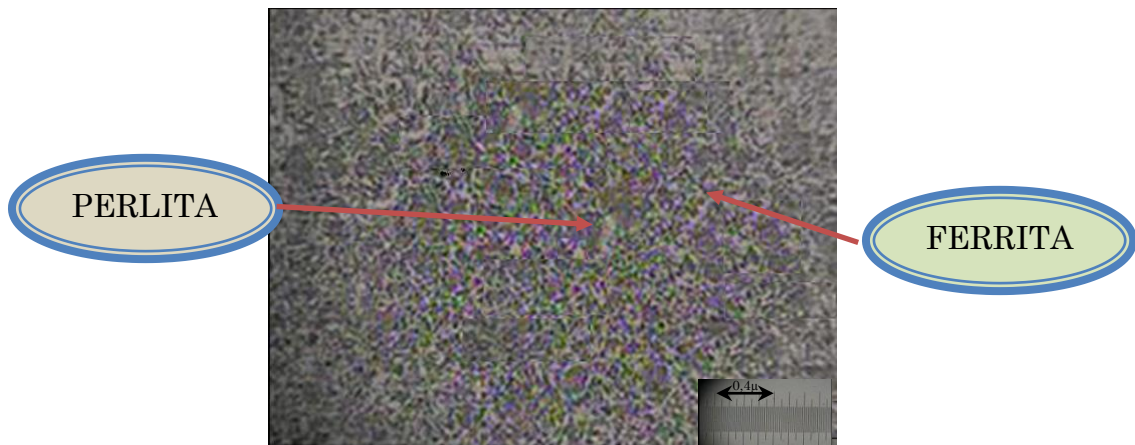
**Fuente:** Propia

Consiste en aplicar esfuerzos de tensión a un material hasta su ruptura. Las cargas en la probeta y en el alargamiento de ésta, se miden continuamente a medida que se aumenta la carga, el esfuerzo al cual se somete la probeta se determina dividiendo la fuerza aplicada por el área transversal nominal de la misma, y la deformación se obtiene dividiendo el alargamiento total por una longitud inicial de referencia. Como resultado se obtiene de este ensayo un diagrama esfuerzo – deformación.

## 4.5. METALOGRAFÍA.

### 4.5.1. MICROSCOPIA DEL ACERO 1010.

A continuación se observara en detalle la Microscopia del Acero 1010

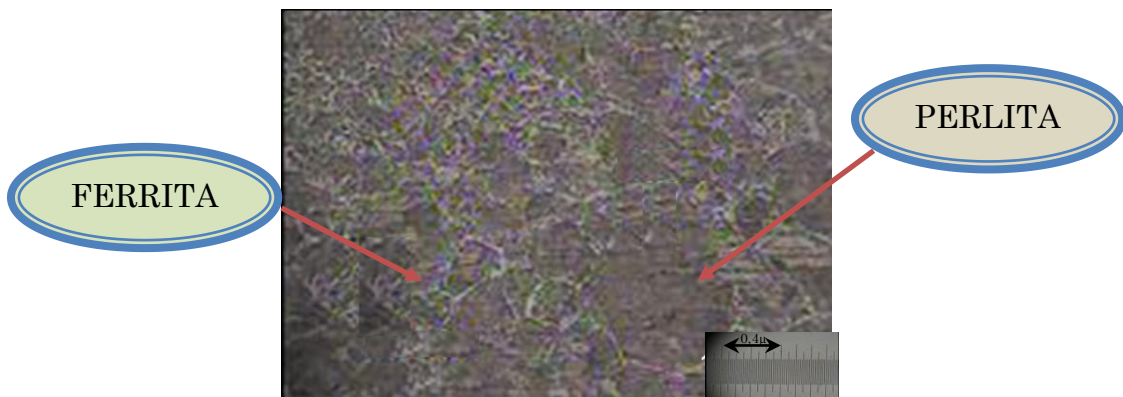


**DESCRIPCIÓN** Muestra del cordón de soldadura del acero 1010, soldada con electrodo E - 41413, a 100x, (0.3μ)

**OBSERVACIÓN** Se observa la perlita y ferrita y poros los cuales puede ser por la humedad de los electrodos

**Fig. 4.13.** Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M01

Fuente: Propia



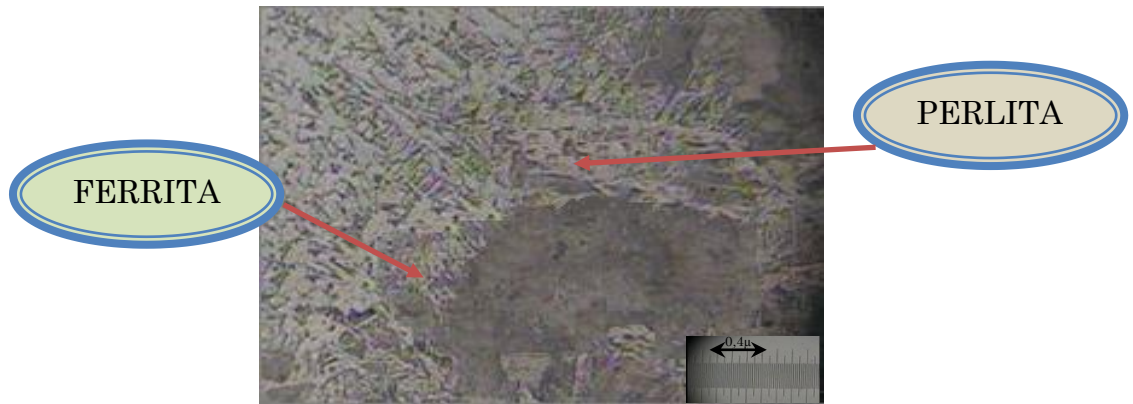
**DESCRIPCIÓN** Muestra del cordón de soldadura del acero 1010, soldada con electrodo Celulósico E - 41413, a 100x, (0.3μ)

**OBSERVACIÓN** Se observa una matriz de ferrita con presencia de perlita en forma de granos alargados.

**Fig. 4.14.** Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M02

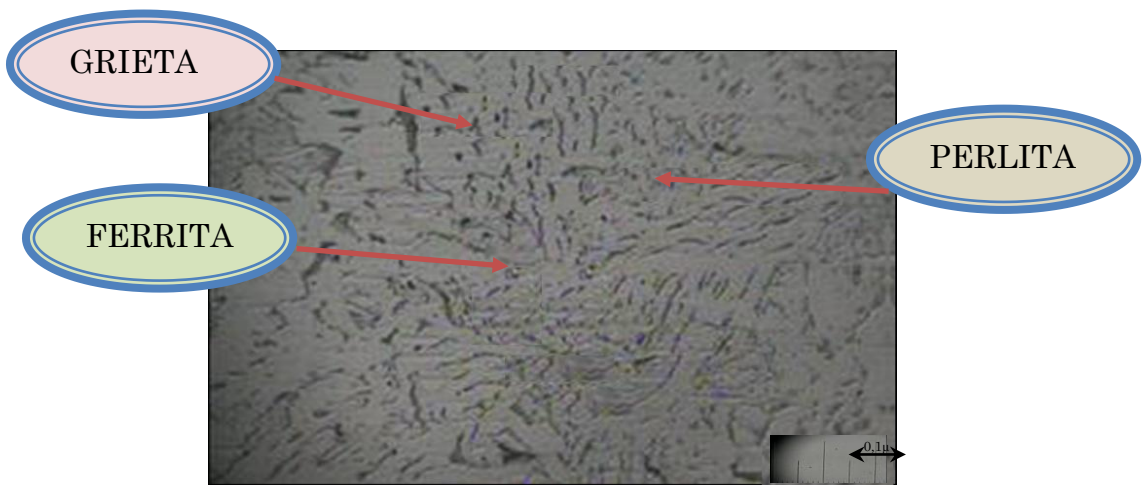
Fuente: Propia





<b>DESCRIPCIÓN</b>	Muestra del cordón de soldadura del acero 1010, soldada con electrodo E - 41413, a 100x,(0.3μ)
<b>OBSERVACIÓN</b>	Se observa una gran cantidad de perlita y unas fronteras de ferrita

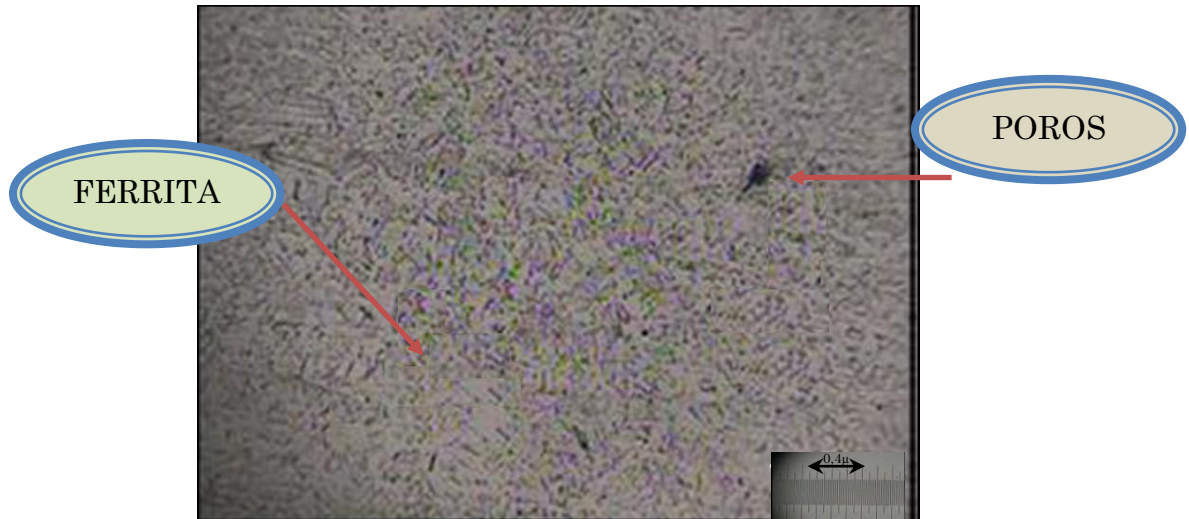
**Fig. 4.15.** Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M03.



<b>DESCRIPCIÓN</b>	Muestra del cordón de soldadura del acero 1010, soldada con electrodo E - 41413, a 400x. (0.2μ)
<b>OBSERVACIÓN</b>	Se observa la perlita y ferrita y un tamaño de grano irregular así como grietas en la unión.

**Fig. 4.16.** Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M04

**Fuente:** Propia



<b>DESCRIPCIÓN</b>	Muestra del cordón de soldadura del acero 1010, soldada con electrodo E - 41413 a 100x,(0.3μ)
<b>OBSERVACIÓN</b>	Se puede ver la ferrita con granos de perlita, poros que son por la humedad de los electrodos.

**Fig. 4.17.** Evaluación metalografía para el acero 1010, soldado con electrodo (E-41413).M05

.Fuente: Propia

## 4.6. ANÁLISIS METALGRÁFICO

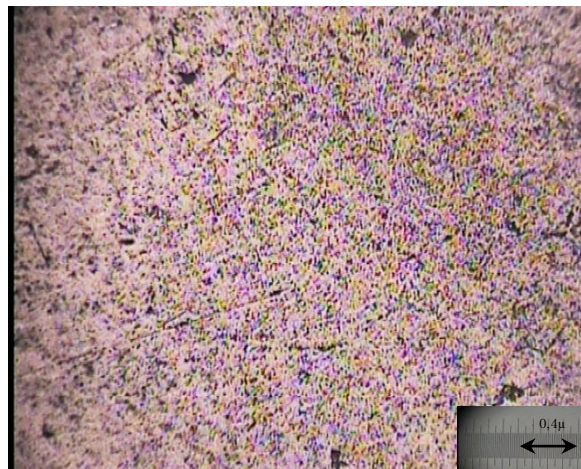
**4.6.1. METAL BASE.** Se observa como la temperatura alcanzada en el proceso de soldeo no causó variación microestructural significativa en el tamaño del grano, morfología y tamaño de precipitados.

**4.6.2. CORDON DE SOLDADURA.** Aquí se detalla presencia de grandes porosidades dejadas en el proceso de soldeo a raíz de los gases y que hace que su distribución de granos sea totalmente distinta a las otras zonas estudiadas.

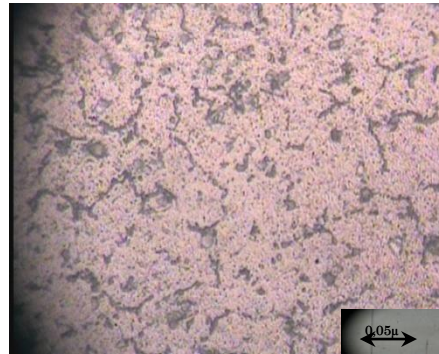
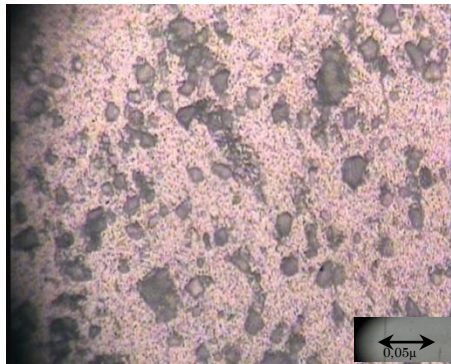
**4.6.3. ZONA AFECTADA POR EL CALOR.** En esta zona se observa la formación de estructuras dendríticas columnares, hasta llegar a una estructura completamente dendrítica en el cordón de soldadura, con presencia de porosidades y de algunas incrustaciones en el cordón. Igualmente se observa que a medida que se desplaza al metal base, los granos son de dimensiones aproximadamente uniformes (equiaxiales), lo cual se atribuye que permanézcala temperatura constante en el proceso de soldeo.

#### **4.7. RESULTADO DEL ANÁLISIS MÉTALOGRAFICO DEL ALUMINIO 6063.**

A continuación expondremos las diferentes micrografías a las que se sometieron las aleaciones en sus diferentes estados de deformación, las probetas fueron atacadas con ácido fluorhídrico al 5 % de concentración, la mayoría de las imágenes se tomaron a un aumento de 400X y 100X. A continuación en las fig. 4.13- 4.17 las muestra del estudio metalográfico.



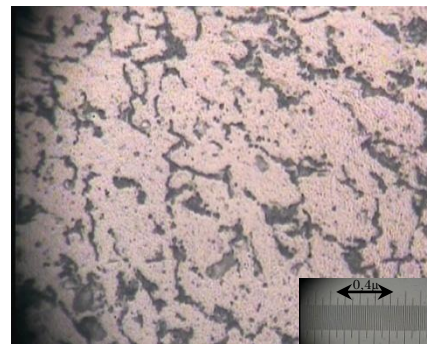
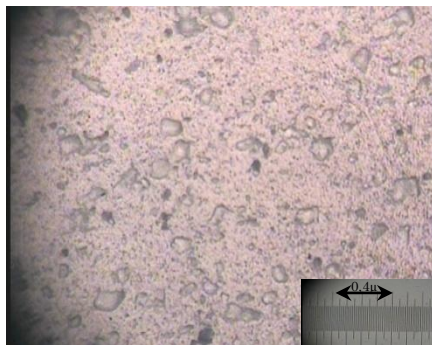
**Figura 4.18.** Microscopia a 100X,(0.2μ) de la junta de aluminio 6063  
.Fuente: Propia



**Fig. 4.19.**Material Base (MB) 1000X,  
(0.05 $\mu$ )

Material de Aporte (MA)  
1000X, (0.05 $\mu$ )

.Fuente: Propia



Material Base MB 100X, (0.2 $\mu$ )      Material de Aporte MB 100X(0.2 $\mu$ )  
**Fig. 4.20.**Zona de transición 100X (MB parte superior derecha – MA parte inferior izquierda)

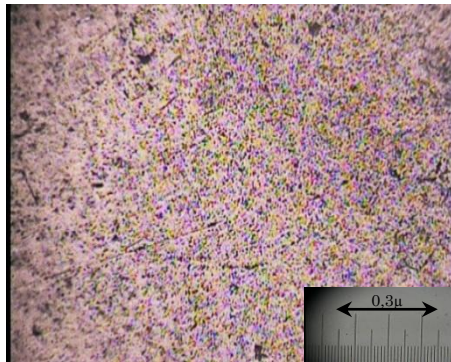
Fuente: Propia



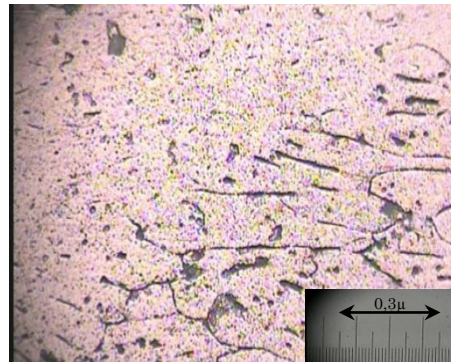
Zona de transición 200X, (0.3 $\mu$ ) (MA parte superior – MB parte inferior)

**Figura 4.21.** Microscopia de la junta de aluminio 6063

**Fuente:** Propia

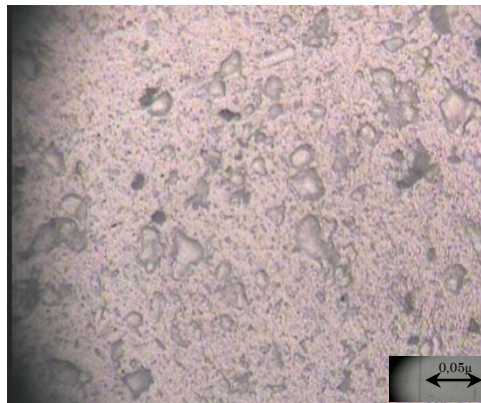


**Figura 4.22.** Microscopia de la junta de aluminio 6063

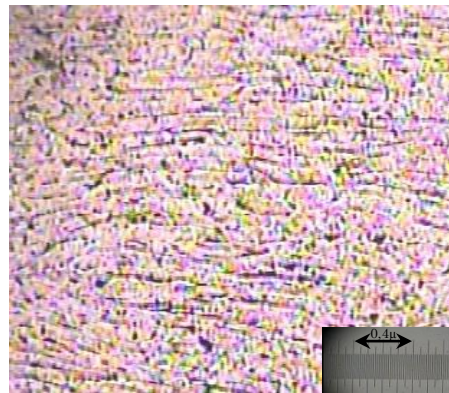


**Figura 4.23.** Microscopia a 200X,(0.3 $\mu$ ), de la junta de aluminio 6063 en la zona de transición (MB parte superior, MA en la parte inferior).

**Fuente:** Propia

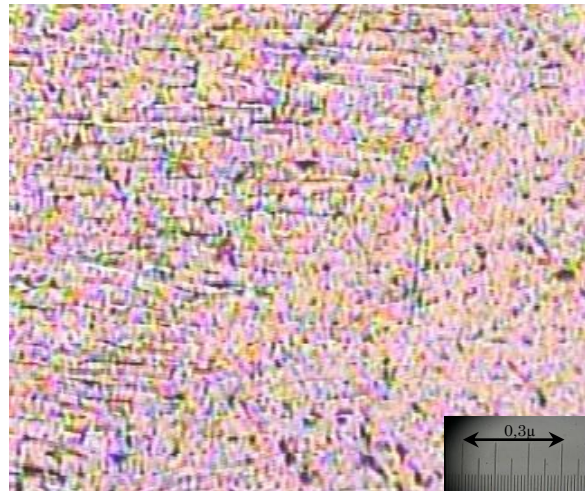


**Fig. 4.24.**Material Base (MB)  
1000X,(0.05 $\mu$ )



**Fig. 4.25.**Material de Aporte (MA)  
100X, (0.4 $\mu$ )

.Fuente: Propia



Zona de transición 200X, (0.3 $\mu$ ) (MA parte superior – MB parte inferior)  
**Figura 4.26. Microscopia de la junta de aluminio 6063.**

Fuente: Propia

#### **4.8. MICRODUREZA VICKERS.**

Una vez culminado los ensayos anteriores, aquí se realizó una serie de indentaciones con la finalidad de determinar por medio de promedios la dureza que posee las aleaciones para cada condición.

Se observa que en las dos aleaciones existe un leve incremento desde la zona de fusión hasta la zona afectada por el calor y una disminución baja desde la zona afectada por el calor hasta el metal base.

El incremento se debe a que hubo una cercanía de las moléculas teniendo en cuenta que el coeficiente de dilatación térmica es mayor en el aluminio que en otros metales, permitiendo que se contrajeran los granos que previamente habían sufrido un alargamiento debido a la deformación en la dirección longitudinal. Debido a que la soldadura se hizo manualmente y aunque la temperatura se mantuvo constante pudo haber ocurrido que hubo una mayor cercanía entre el electrodo y la zona de contacto por lo tanto la zona afectada por el calor se hizo menor permitiendo que los granos no se alargaran. Observando la curva se nota que las dos aleaciones pierden resistencia desde la zona afectada por el calor hasta el metal base.

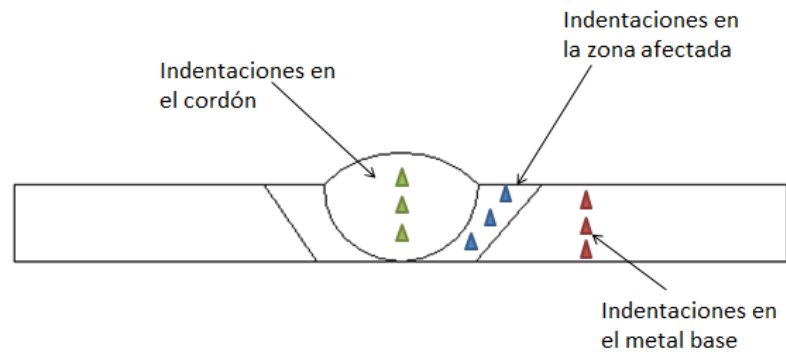
El decrecimiento se debe a que hubo una separación de las moléculas teniendo en cuenta que el coeficiente de dilatación térmica es mayor en el aluminio que en otros metales, permitiendo que se alargaran los granos que previamente habían sufrido una pequeña reducción producto de la deformación en la dirección longitudinal.

Se puede observar que para este porcentaje de reducción de espesor no existe variación desde una zona a otra lo que quiere decir que se

mantuvieron todas las propiedades mecánicas y la microestructura para las dos aleaciones que no sufrieron ningún tipo de afectación.

#### 4.8.1. ENSAYO DE MICRODUREZA VICKERS

Para la preparación de las muestras se llevó a cabo la metalografía con Nital como fue descrito en el aparte 3.311, se llevó a cabo un ensayo de microdureza Vickers de la probeta realizando tres (3) Indentaciones tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada y metal base para cada tipo de revestimiento y cada acero utilizado como se muestra en la figura 4.1.



**Figura 4.27.** Identaciones realizadas en las probetas.

En este caso se emplea como cuerpo de penetración una pirámide cuadrangular de diamante. La huella vista desde arriba es un cuadrado. Este procedimiento es apropiado para aceros nitrurados y cementados en su capa externa, así como para piezas de paredes delgadas de acero o metal es no férreo.

La dureza Vickers ( $H_V$ ) se calcula partiendo de la fuerza en Newton y de la diagonal en  $\text{mm}^2$  de la huella de la pirámide según la fórmula:

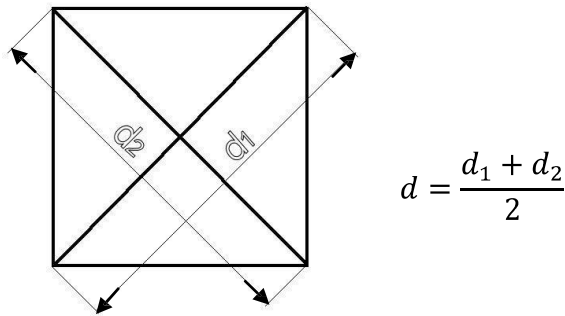


$$HV = 1,8544 \times \frac{P}{d^2}$$

$P$ : carga aplicada en N

$d$ : Diagonal media de la huella en mm.

La diagonal ( $d$ ) es el valor medio de las diagonales de la huella ( $d_1$ ) y ( $d_2$ ).



$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

**Fig.4.28.** Diagonal media de la huella.

.Fuente: Propia

Este ensayo, al igual que el Brinell, se basa en el principio de calcular el valor de dureza relacionando la fuerza de aplicación sobre la superficie de la impresión en el material.

Lo hemos simplificado utilizando en este caso el valor de la longitud de la diagonal. Los valores de las cargas más usados van desde 1 a 120 kgs. En las tablas 4.11 y 4.12, están los datos de las Indentaciones en el acero AISI 1010 y el aluminio 6063

En las fig. 4.21 – 4.28, están representadas las gráficas de los datos anteriores establecidos por cada uno de los materiales de acero y aluminio en cuanto a las indentaciones.

**Tabla 4.6** Indentaciones realizadas a las muestras para el Aluminio 6063

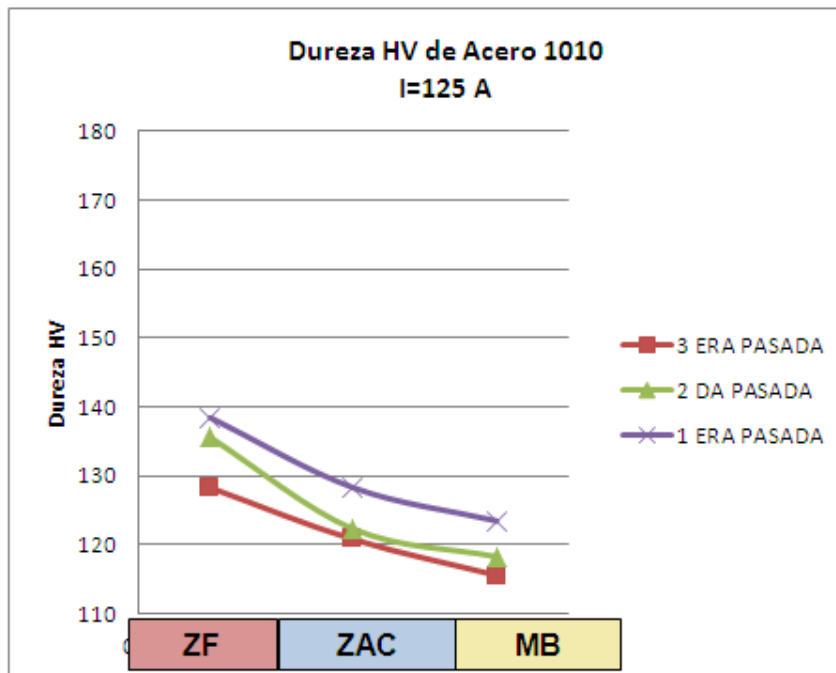
<b>Muestras Aluminio 6063</b>	I 3			PROMEDIOS	I 2			PROMEDIOS	I 1			PROMEDIOS
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
<b>Indentaciones</b>	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
<b>Cordón dureza (HV)</b>	48,4	52,3	56,8	52,50	60,3	62,4	65,3	62,67	80,4	85,6	89,5	85,17
<b>Zona afectada dureza (HV)</b>	38,7	41,3	42,8	40,93	49,2	51,2	53,4	51,27	70,5	75,3	76,8	74,20
<b>Metal base dureza (HV)</b>	30,2	34,2	36	33,47	39	42,3	45,3	42,20	60,5	64,9	68,5	64,63

Fuente: Propia.

**Tabla 4.7.** Indentaciones realizadas a las muestras para el acero AISI 1010

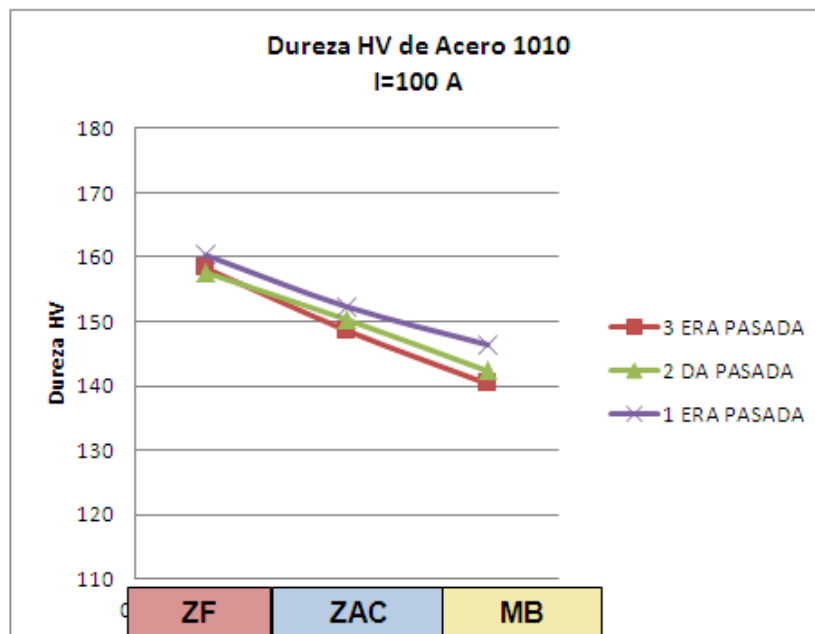
<b>Muestras del Acero 1010</b>	I 3			PROMEDIOS	I 2			PROMEDIOS	I 1			PROMEDIOS
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
<b>Indentaciones</b>	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
<b>Cordón dureza (HV)</b>	128,3	135,6	138,5	134,13	158,3	157,6	160,3	158,73	174	176,4	180,5	176,97
<b>Zona afectada dureza (HV)</b>	120,8	122,3	128,3	123,80	148,6	150,3	152,3	150,40	160,2	170,3	173	167,83
<b>Metal base dureza (HV)</b>	115,6	118,3	123,5	119,13	140,3	142,3	146,4	143,00	152,4	164,2	168,5	161,69

Fuente: Propia



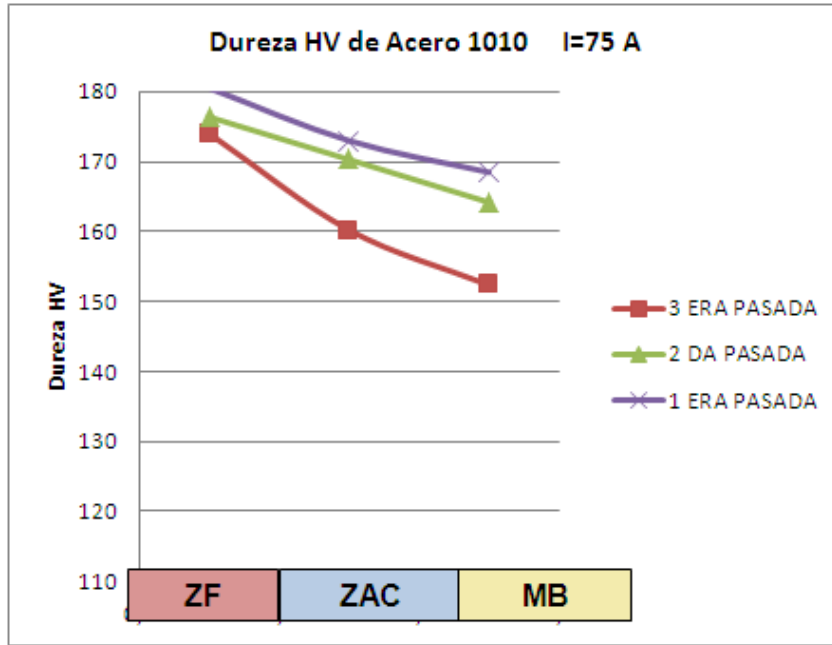
**Figura 4.29** Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de acero 1010- I=125 A

.Fuente: Propia



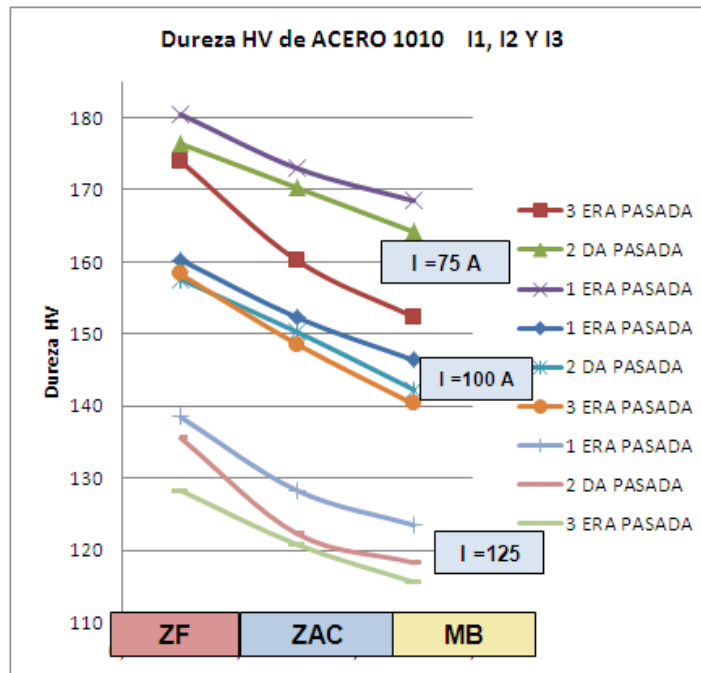
**Figura 4.30.** Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de acero 1010- I=100 A

.Fuente: Propia



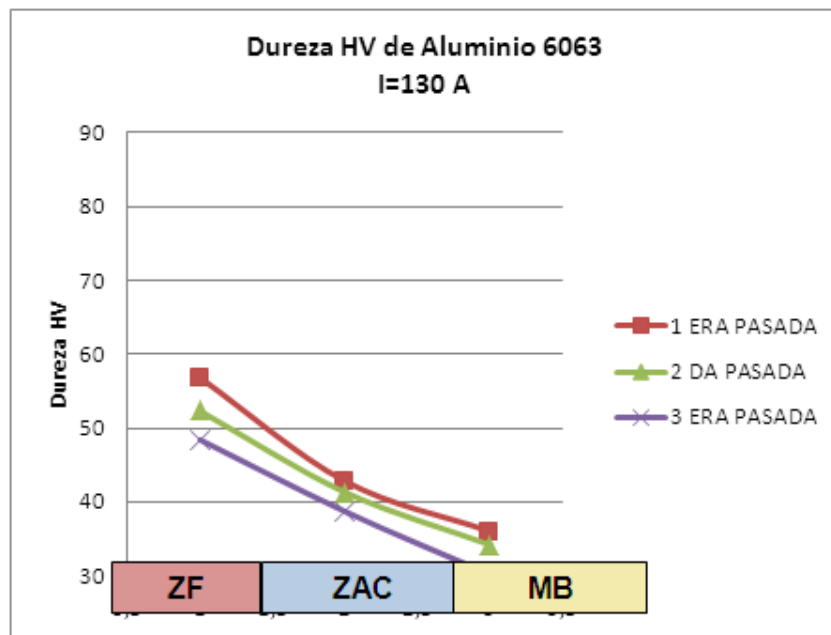
**Figura 4.31.** Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de acero 1010- I=75 A

Fuente: Propia



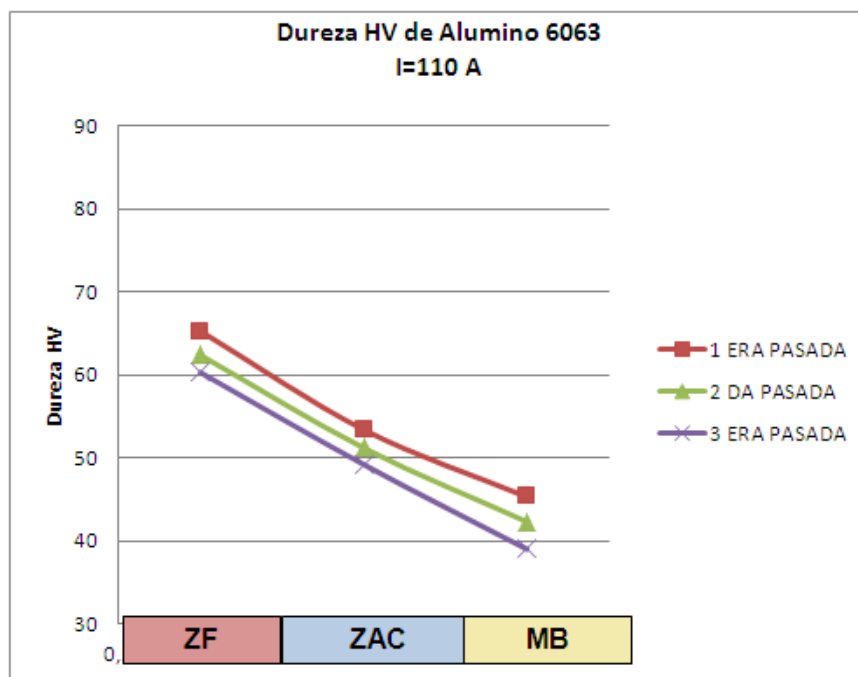
**Figura 4.32.** Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de acero 1010

Fuente: Propia



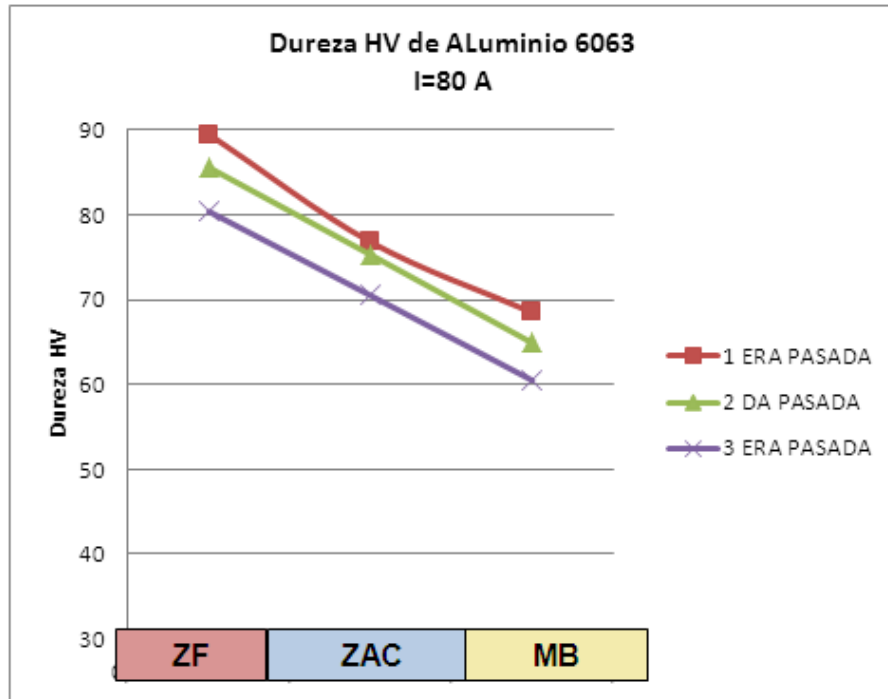
**Figura 4.33.** Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063 I=130A

Fuente: Propia



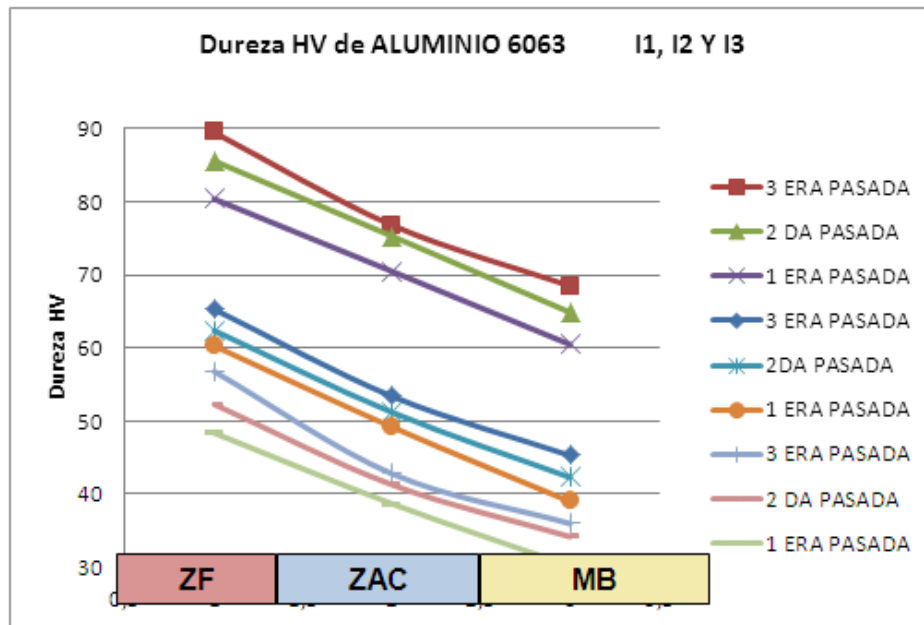
**Figura 4.34.** Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063 I=110

Fuente: Propia



**Figura 4.35.** Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063 I=80 A

Fuente: Propia



**Figura 4.36.** Comparación de las Gráficas de las Indentaciones realizadas en la probeta de aluminio 6063

Fuente: Propia

#### **4.9. ANALISIS DE RESULTADO DE LA MICRO DUREZA VICKER.**

Los resultados obtenidos en las gráficas de los ensayos de Microdureza indican que mientras el número de pasadas es mayor, disminuye la dureza de las distintas zonas de la soldadura en un 25 %, igualmente al ser mayor la intensidad de corriente, menor es la dureza de las zonas de la soldadura, esto se cumple tanto para el acero AISI 1010 como para el aluminio 6063.

Los valores de la dureza para la intensidad de corriente de 125 A en el acero AISI 1010, su dureza para la tercera pasada es 180HV y los valores de la dureza para la intensidad de corriente de 130 A en el aluminio 6063, su dureza para la tercera pasada es 90HV. Esto se debe primeramente a las propiedades de cada uno de los materiales a trabajar y el calor de entrada hace que el material de aporte se funda completamente y se solidifique perfectamente para alcanzar altas durezas.

# CAPÍTULO 1

## *Introducción*

---

### **1.1. INTRODUCCION**

Los procesos de fabricación son de una gran importancia dentro del desarrollo tecnológico industrial debido a que a partir de muchos de ellos es que se generan la gran mayoría de los componentes de los equipos y artefactos que empleamos en el día a día.

Uno de estos procesos es el de soldadura el cual se ha convertido a nivel industrial en una herramienta indispensable a la hora de realizar uniones permanentes de piezas metálicas; el presente trabajo de investigación se plantea : Determinación de la influencia del número de pasadas en la metalurgias y Microdureza de los materiales aluminio 6000 y aceros 1010 y los aceros con soldadura por arco térmico (SMAW) tomando como parámetros de variación el voltaje y el amperaje, para de esta manera al final de la elaboración del mismo establecer sus posibles aplicaciones a nivel industrial.

### **1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Los aceros al carbono y el aluminio, constituyen uno de los grupos de materiales más versátiles y utilizados en muchas aplicaciones industriales, que van desde la realización de las más simples estructuras hasta los más complejos dispositivos mecánicos.

En muchos procesos de fabricación a nivel industrial, la soldadura surge como uno de los componentes cuya utilización resulta imprescindible debido a la necesidad de unión de elementos que en conjunto cumplen una determinada función.



Actualmente debido al creciente uso que tiene el proceso de soldadura, se han desarrollado una variedad de métodos a través de los cuales se pueden obtener uniones soldadas, entre los cuales se encuentra: La soldadura por arco manual con electrodo revestidos (SMAW), la cual destaca como uno de los procedimientos más simples, y a pesar que han surgido otros métodos más innovadores, no ha sido desplazada del mercado ya que su sencillez se traduce en facilidad en su operación y bajos costos.

Por otro lado cada uno de estos métodos de soldadura, tienen características particulares originadas por la naturaleza de cada proceso y además existen desventajas en la utilización de éstas que dependen del material a soldar y la aplicación en donde serán utilizadas.

En éste sentido surge la necesidad de realizar análisis en la soldabilidad de algunos métodos para obtener uniones soldables en materiales comúnmente utilizados como es el Acero y el aluminio. Algunas de las propiedades que son importantes conocer previamente a la selección de un determinado tipo de soldadura son las propiedades mecánicas, ya que de la necesidad de algunas de éstas características en algunas aplicaciones, depende la selección adecuada de la soldadura usada en el material apropiado.

Ésta investigación tiene como propósito fundamental contribuir al aumento de los conocimientos actuales acerca de las propiedades mecánicas de la soldadura SMAW, y cuales ventajas y desventajas pueden presentar en los materiales a utilizar. Además éste proyecto se fundamenta en los objetivos de la línea de investigación de Comportamiento Mecánico de los materiales por lo que su realización puede contribuir con investigaciones futuras.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la influencia del número de pasadas en la metalurgia y la microdureza de los materiales aluminio 6063 y aceros al carbono 1010 con soldaduras por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar la composición química del acero 1010.
2. Determinar la composición química del aluminio 6063.
3. Determinar las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción del acero 1010 y del aluminio 6063.
4. Determinar las propiedades metalúrgicas de aceros 1010 y el aluminio 6063 en función del número de pasada.
5. Determinar el perfil de microdureza del acero 1010 en función de intensidad.
6. Determinar el perfil de microdureza del aluminio 6063 en función de intensidad.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

El pilar fundamental de ésta investigación es constituir criterios de comparación de las propiedades mecánicas de aceros al carbono con el aluminio cuando son empleados como uniones soldables por el método SMAW predecir un futuro comportamiento en algunas aplicaciones industriales y así facilitar la selección adecuada de la soldadura a utilizar.

Por otra parte se pretende demostrar las ventajas de éstas soldaduras en los materiales que analizaremos los cuales son ampliamente utilizados en la industria, tanto para aplicaciones estructurales, en el caso del Acero 1010 y el aluminio 3003. Además, este análisis comparativo favorece de manera positiva en la formación de criterios en los estudiantes de Ingeniería Mecánica, por constituir el inicio de futuras investigaciones en la línea de comportamiento mecánico de los materiales, así como también contribuye con el sector industrial venezolano especialista en éste campo.

### **1.5. ALCANCE**

El presente trabajo se enfocara en el estudio de soldadura (SMAW) en acero 1010 y aluminio 6063, para así verificar las mejoras que puede aportar, experimentar y comparar entre la variación de las dos intensidades de amperaje entre los dos materiales lo cual va a conseguir a las distintas etapas de soldaduras y efectuándola lo más simétricas posible, y sometido a este proceso con las características de trabajo antes mencionadas para el cual utilizaremos para realizar los ensayos unas 30 probetas, además de la utilización de la varilla como material de aporte, este estudio será realizara en su mayoría en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad de Carabobo y para ciertos situaciones se contarán con los talleres de Metalurgia Hermanos García, la cual es una colaboración desinteresada de los mismos. La planificación correspondiente a la elaboración del trabajo de grado estará prevista para 2 periodos lectivos, abarcando así todos los objetivos especificados

## **1.6. LIMITACIONES**

- Disponibilidad del equipo de soldadura.
- El tiempo de realización del proyecto tiene un plazo máximo de dos semestres.
- El soldador a realizar la soldadura debe estar calificado por la (SMAW)
- Poca disponibilidad de maquinaria y herramientas para realizar las probetas en el laboratorio de la Universidad de Carabobo.

# CAPÍTULO 2

*Marco Teórico*

---

## 2.1. ANTECEDENTES

**1. J.C. Lippold, (1982).** Los aceros inoxidables austeníticos son utilizados generalmente para aplicaciones que requieran una combinación de resistencia, tenacidad y resistencia a la corrosión. Generalmente el uso de este tipo de aleaciones requiere de soldadura para uniones necesarias por lo que es de vital importancia asegurar que el agrietamiento térmico en la misma pueda ser eliminado o controlado dentro de los límites tolerables. En la mayoría de los casos la optimización química de la aleación y los parámetros de proceso de soldadura, dan como resultado un conjunto soldado aceptable pero aun así no escapan al agrietamiento en caliente en la soldadura durante la fabricación continua siendo un persistente problema para el sistema.

El agrietamiento térmico y las micro fisuras tanto en la zona de fusión como en la zona afectada por el calor en la soldadura resultan de la combinación de dos condiciones:

1. Un nivel térmico crítico y/o recuperación mecánica.
2. Una micro estructura susceptible a grietas.

La recuperación es inherente en los procesos de soldadura, apareciendo principalmente debido a la contracción por solidificación, expansión y contracción térmica, siendo esta última muy importante al momento de diseñar la junta y el montaje mecánico. En la zona de fusión, micro segregaciones de elementos disueltos durante la solidificación del charco de soldadura, provocan una depresión localizada a lo largo de los bordes del grano. Si el rango de solidificación efectiva en los bordes es significativamente menor que el de la masa del material cercano, se pudiera iniciar grietas térmicas en estas áreas, siempre que se presente una recuperación suficiente.

El agrietamiento en caliente en la zona afectada está asociado, por lo general, a la formación de las películas de líquido a lo largo de los bordes adyacentes a la línea de fusión. Estas películas pueden ser el resultado de segregaciones de impurezas o de elementos disueltos en los linderos, constituyéndose de carburos. Si la energía interfacial sólido-líquido es tal que los linderos se encuentren completamente mojados por el líquido, la zona afectada por el calor es susceptible al agrietamiento térmico en mayor grado si existe una recuperación suficiente.

Aun cuando se conocen datos importantes sobre los mecanismos de solidificación y transformaciones en el estado sólido en la soldadura en los aceros inoxidable austeníticos, aún no se ha desarrollado una exposición razonable que explique del porque las aleaciones que se han modificado como ferrita delta son más resistentes al agrietamiento térmico que las aleaciones similares que solidifican como austenita.

**2. Silva y Padrón. (2003).** El objetivo de este trabajo consiste, en la obtención de las propiedades mecánicas y metalográficas de los aceros inoxidable y al carbono después de haber sido sometidas a soldadura por arco de plasma y soldadura por arco con electrodo de tungsteno. Aquí se obtienen resultados interesantes donde se muestra entre otras cosas: en el ensayo de doblado se demostró que el acero inoxidable presenta mayor soldabilidad que el acero al carbono 1020 en los dos procesos de soldadura analizados sin material de aporte. La gran mayoría de los ensayos mecánicos fallaron en la zona fundida debido a que las juntas fueron soldadas por una sola cara y la penetración no fue completamente eficiente. Para el proceso PAW la penetración es mucho mayor que en el proceso GTAW debido a que la concentración de calor es más puntual en el proceso PAW y que la masa de metal fundido es más pequeña. En el acero inoxidable 304 se puede apreciar la austenita y en muy poca cantidad la fase Ferrítica debido a su bajo

porcentaje de carbono, no precipitaron carburos de cromo. En el acero 1020 se puede apreciar la ferrita como una zona blanca y la fase perlita dendrita oscura debido a su alto porcentaje de carbono en comparación con el acero inoxidable 304.

**3. Bruno y Viñoles, (2004).** En este trabajo se realizó un estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales en las uniones soldadas realizadas con tres tipos de electrodos revestidos (bajo hidrogeno, celulósico y rutilico), cada uno de ellos sometido a cuatro condiciones ambientales diferentes (1h de humedad, 4h de humedad, ambiente y 100 °C), en un acero al carbono ASTM-36, para poder obtener una base de comparación del comportamiento del cordón de soldadura de los diferentes electrodos a determinada condición. En el análisis de las propiedades mecánicas y de la microestructura de las muestras soldadas se utilizaron los ensayos de tracción, dobléz, estudio macroscópico y el estudio de microscopia óptico. Luego de realizar los mencionados ensayos se pudo llegar a la conclusión que las uniones soldadas realizadas con los tres tipos de electrodos en la condición de 100 °C resulta ser la más satisfactoria desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, esto es debido a la disminución de la humedad presente en dichos electrodos.

**4. H.T. Zhang et al, (2006.)** Estudiaron las propiedades mecánicas y la microestructura en la interfase de articulaciones de aluminio-acero recubiertas con zinc y hechas por un proceso de soldadura. También se realizó un esfuerzo para determinar el método más conveniente para soldar. Otro estudio acerca de uniones soldadas de aluminio es el realizado por **C.A. Bloem et al en 2007** donde se evaluó y comparó la respuesta mecánica de la unión en dos diferentes estados metalúrgicos en las aleaciones AA6063 y AA7020, ambas con un abundante uso industrial. Observándose diferencias significativas en tanto la respuesta mecánica al estado metalúrgico previo, así

como el comportamiento en general de ambas aleaciones. La unión se realizó a tope en dos pasadas en sentido perpendicular a la dirección de laminación, entre la primera y segunda pasada, se realizó una limpieza mecánica con disco abrasivo.

**5. Cegarra y Palacio, (2004).** El objetivo de este trabajo es predecir en forma teórica los valores de resistencia de las juntas soldadas tanto por arco sumergido como por electro soldadura y realizar el análisis comparativo que ayude a profundizar en las similitudes y diferencias entre ambas. En este sentido se realizaron pruebas reales a tracción a dos tipos de perfiles de cada catálogo, utilizando las normas existentes para realizar estos ensayos, una vez realizado esto, se validaron los resultados realizando ensayos virtuales a tracción por medio del software Visual Nastran <sup>TM</sup>, donde se obtuvieron errores de dispersión por el orden de los 14% y 28% para las juntas de los perfiles Properca y de 13% y 27% para TRIME C.A. Ya validados los valores obtenidos, se generaron las curvas de tracción y flexión para cada serie de perfiles, obteniéndose que los concentradores de esfuerzos para la tracción se redujeran a medida que los espesores de alma y ala aumentaban, en el caso de flexión, el concentrador se mantenía estable en un valor cercano a 1,15. La comparación entre los perfiles señala que los perfiles de la serie IPE pueden soportar una cantidad de carga de tracción en algunos casos del doble de la soportada por sus homólogos de los perfiles VP, esto producto de la desproporcionalidad entre los valores de espesor entre alma y ala de unos perfiles en particular, lo que generaba una densificación de esfuerzos justo en la zona de unión.



## 2.2 FUNDAMENTOS TEORICOS.

### 2.2.1. SOLDADURA Y TIPOS

La historia de la unión de metales se remonta a varios milenios, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y el Oriente Medio. La soldadura fue usada en la construcción del Pilar de Hierro en Delhi, en la India, erigido cerca del año 310 y pesando 5.4 toneladas métricas. La Edad Media trajo avances en la soldadura de fragua, con la que los herreros repetidamente golpeaban y calentaban el metal hasta que ocurría la unión.

En 1540, Vannoccio Biringuccio publicó a *De la pirotechnia*, que incluye descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del renacimiento eran habilidosos en el proceso, y la industria continuó creciendo durante los siglos siguientes. Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, Sir Humphry Davy descubrió el arco eléctrico, y los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por un ruso, Nikolai Slavyanov, y un americano, C. L. Coffin a finales de los años 1800, incluso como la soldadura por arco de carbón, que usaba un electrodo de carbón, ganó popularidad. Alrededor de 1900, A. P. Strohmenger lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular por otra década.

La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, con las primeras patentes yendo a Elihu Thomson en 1885, quien produjo posteriores avances durante los siguientes 15 años. La soldadura de termita fue inventada en 1893, y alrededor de ese tiempo, se estableció otro proceso, la soldadura a gas. El acetileno fue descubierto en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue práctico hasta

cerca de 1900, cuando fue desarrollado un soplete conveniente. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos de soldadura debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo 20, bajó en las preferencias para las aplicaciones industriales. En gran parte fue sustituida por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizan el arco y blindaban el material base de las impurezas.

La Primera Guerra Mundial causó un repunte importante en el uso de los procesos de soldadura, con las diferentes fuerzas militares procurando determinar cuáles de los varios procesos nuevos de soldadura serían los mejores. Los británicos usaron primariamente la soldadura por arco, incluso construyendo una nave, el Fulagar, con un casco enteramente soldado. Los estadounidenses eran más vacilantes, pero comenzaron a reconocer los beneficios de la soldadura de arco cuando el proceso les permitió reparar rápidamente sus naves después de los ataques alemanes en el puerto de Nueva York al principio de la guerra. También la soldadura de arco fue aplicada primero a los aviones durante la guerra, pues algunos fuselajes de aeroplanos alemanes fueron construidos usando el proceso.

Durante los años 1920, importantes avances fueron hechos en la tecnología de la soldadura, incluyendo la introducción de la soldadura automática en 1920, en la que el alambre del electrodo era alimentado continuamente. El gas de protección se convirtió en un tema recibiendo mucha atención, mientras que los científicos procuraban proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno en la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas primarios, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, argón, y helio como atmósferas de soldadura. Durante la siguiente década, posteriores avances permitieron la soldadura de metales reactivos como el aluminio y el magnesio. Esto, conjuntamente con desarrollos en la

soldadura automática, la corriente alterna, y los fundentes alimentaron una importante extensión de la soldadura de arco durante los años 1930 y entonces durante la Segunda Guerra Mundial.

A mediados del siglo XX, fueron inventados muchos métodos nuevos de soldadura. 1930 vio el lanzamiento de la soldadura de perno, que pronto llegó a ser popular en la fabricación de naves y la construcción. La soldadura de arco sumergido fue inventada el mismo año, y continúa siendo popular hoy en día. En 1941, después de décadas de desarrollo, la soldadura de arco de gas tungsteno fue finalmente perfeccionada, seguida en 1948 por la soldadura por arco metálico con gas, permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos pero requiriendo costosos gases de blindaje.

Sin embargo, la soldadura de arco metálico blindado fue desarrollada durante los años 1950, usando un fundente de electrodo consumible cubierto, y se convirtió rápidamente en el más popular proceso de soldadura de arco metálico. En 1957, debutó el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando en velocidades de soldadura altamente incrementadas, y ése mismo año fue inventada la soldadura de arco de plasma. La soldadura por electroescoria fue introducida en 1958, y fue seguida en 1961 por su prima, la soldadura por electrogas.

Otros desarrollos recientes en la soldadura incluyen en 1958 el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible la soldadura profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada. Siguiendo la invención del láser en 1960, la soldadura por rayo láser debutó varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad. Sin embargo, ambos procesos continúan siendo altamente costosos debido al alto costo del equipo necesario, y esto ha limitado sus aplicaciones.

## 2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE SOLDADURA

Se pueden distinguir primeramente los siguientes tipos de soldadura y esta los podemos ver estructurados en la fig. 2.1:

- **Soldadura heterogénea.** Se efectúa entre materiales de distinta naturaleza, con o sin metal de aportación: o entre metales iguales, pero con distinto metal de aportación. Puede ser blanda o fuerte.
- **Soldadura homogénea.** Los materiales que se sueldan y el metal de aportación, si lo hay, son de la misma naturaleza. Puede ser oxiacetilénica, eléctrica (por arco voltaico o por resistencia), etc. Si no hay metal de aportación, las soldaduras homogéneas se denominan autógenas. Por soldadura autógena se entiende aquella que se realiza sin metal de aportación, de manera que se unen cuerpos de igual naturaleza por medio de la fusión de los mismos; así, al enfriarse, forman un todo único.

Etimológicamente, esta expresión quiere decir «engendada o efectuada por sí misma».

Tuvo su origen en Francia hacia la mitad del siglo XIX. Una confusión bastante extendida, que es importante aclarar, es la de denominar como soldadura autógena a la oxiacetilénica que se estudiará en un apartado posterior-, que sólo lo será cuando se realice sin metal de aportación

### 2.2.2.1. Soldadura blanda

Esta soldadura de tipo heterogéneo se realiza a temperaturas por debajo de los 400 °C. El material metálico de aportación más empleado es una aleación de estaño y plomo, que funde a 230 °C aproximadamente.

### Procedimiento para soldar.

Lo primero que se debe hacer es limpiar las superficies, tanto mecánicamente como desde el punto de vista químico, es decir, desengrasarlas, desoxidarlas y posteriormente recubrirlas con una capa de material fundente que evite la posterior oxidación y facilite el «mojado» de las mismas.

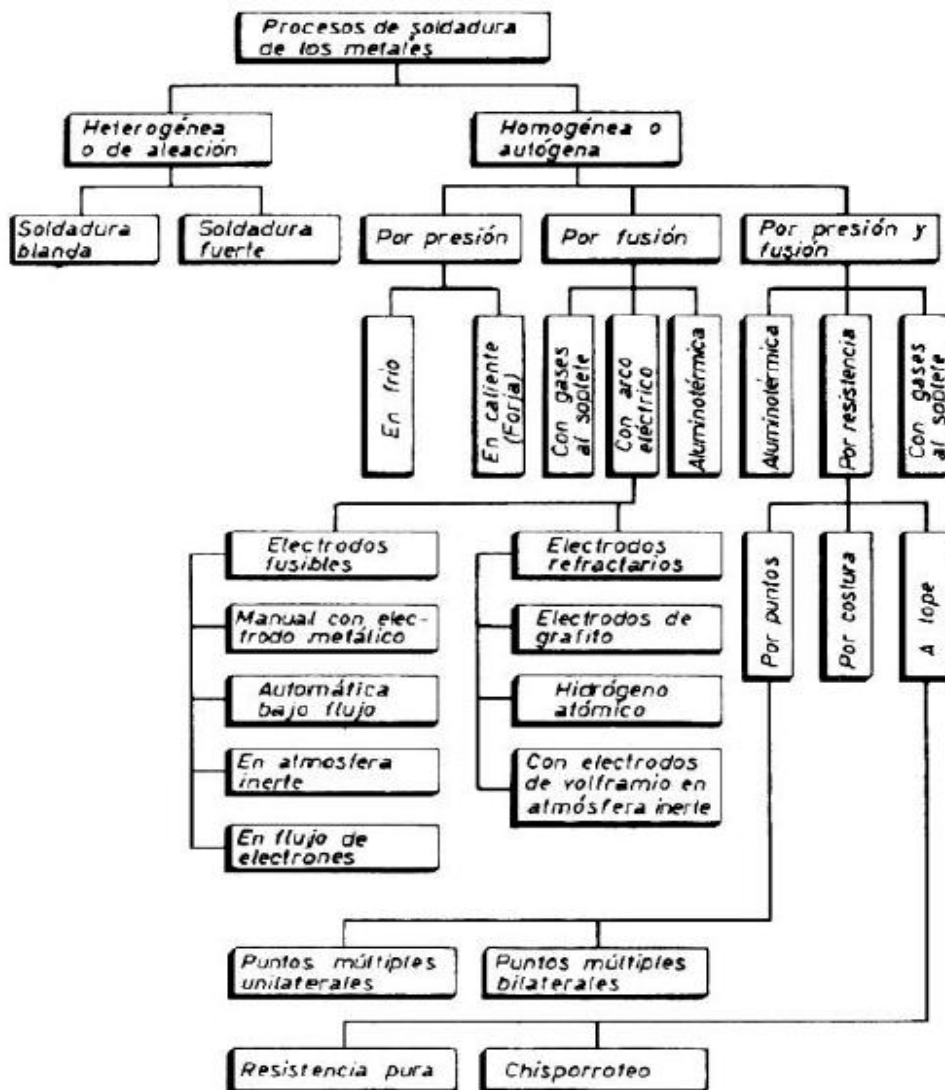


Figura 2.1. Proceso de soldadura de los metales.

Fuente: AGA Venezolana

A continuación se calientan las superficies con un soldador y, cuando alcanzan la temperatura de fusión del metal de aportación, se aplica éste; el metal corre libremente, «moja» las superficies y se endurece cuando enfría. El estaño se une con los metales de las superficies que se van a soldar. Comúnmente se estañan, por el procedimiento antes indicado, ambas caras de las piezas que se van a unir y posteriormente se calientan simultáneamente, quedando así unidas.

En muchas ocasiones, el material de aportación se presenta en forma de hilo enrollado en un carrete. En este caso, el interior del hilo es hueco y va relleno con la resma antioxidante, lo que hace innecesario recubrir la superficie.

Tiene multitud de aplicaciones, entre las que destacan:

- Electrónica. Para soldar componentes en placas de circuitos impresos.
- Soldaduras de plomo. Se usan en fontanería para unir tuberías de plomo, o tapar grietas existentes en ellas.
- Soldadura de cables eléctricos.
- Soldadura de chapas de hojalata.

Aunque la soldadura blanda es muy fácil de realizar, presenta el inconveniente de que su resistencia mecánica es menor que la de los metales soldados; además, da lugar a fenómenos de corrosión.

#### **2.2.2.2. Soldadura fuerte**

También se llama *dura* o *amarilla*. Es similar a la blanda, pero se alcanzan temperaturas de hasta 800 °C. Como metal de aportación se suelen usar

aleaciones de plata, y estaño (conocida como soldadura de plata); o de cobre y cinc. Como material fundente para cubrir las superficies, desoxidándolas, se emplea el bórax. Un soplete de gas aporta el calor necesario para la unión. La soldadura se efectúa generalmente a tope, pero también se suelda a solape y en ángulo.

Este tipo de soldadura se lleva a cabo cuando se exige una resistencia considerable en la unión de dos piezas metálicas, o bien se trata de obtener uniones que hayan de resistir esfuerzos muy elevados o temperaturas excesivas, en la fig. 2.2 podemos ver el kit de soldadura fuerte. Se admite que, por lo general, una soldadura fuerte es más resistente que el mismo metal que une.



**Figura 2.2. Kit de soldadura fuerte.**

**Fuente:** AGA Venezolana

### **2.2.2.3. Soldadura por presión**

Esta es un tipo de soldadura donde la unión entre los metales se produce sin aportación de calor. Puede resultar muy útil en aplicaciones en las que sea fundamental no alterar la estructura o las propiedades de los materiales que se unen. Se puede realizar de las siguientes maneras:

- *Por presión en frío o en caliente:* Consiste en limpiar concienzudamente las superficies que hay que unir; y, tras ponerlas en contacto, aplicar una presión sobre ellas hasta que se produzca la unión.
- *Por fricción:* Se hace girar el extremo de una de las piezas y, después, se pone en contacto con la otra. El calor producido por la fricción une ambas piezas por deformación plástica.

#### 2.2.2.4. Soldadura oxiacetilénica (con gases al soplete)

El calor aportado en este tipo de soldadura se debe a la reacción de combustión del acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>): que resulta ser fuertemente exotérmica, aquí en la tabla 2.1, pues se alcanzan temperaturas del orden de los 3500 °C

**Tabla 2.1.** Propiedades de diversos gases empleados en la soldadura oxiacetilénica.

Denominación del gas	Fórmula química	Densidad con relación al aire	m <sup>3</sup> de O <sub>2</sub> para la combustión de 1 m <sup>3</sup> de gas	Temperatura de combustión, en O <sub>2</sub> , en °C.
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0,9056	2,5	3200
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1,53	5	2750
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0,0695	0,5	2200
Gas natural (metano)	CH <sub>4</sub>	0,56	2	2000

Fuente: Cristóbal de Monroy

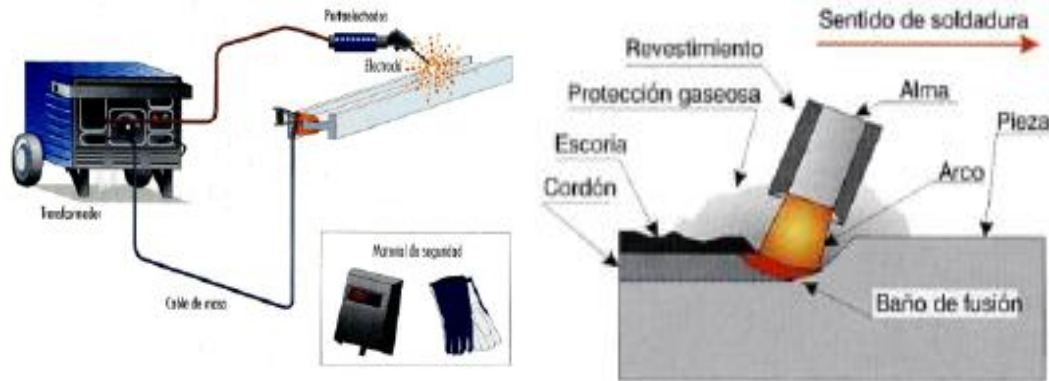
#### 2.2.2.5. Soldadura por arco eléctrico

En la actualidad, la soldadura eléctrica resulta indispensable para un gran número de industrias. Es un sistema de reducido coste, de fácil y rápida utilización, resultados perfectos y aplicables a toda clase de metales. Puede



ser muy variado el proceso pero lo elementos básicos lo observamos en la fig.2.3

El procedimiento de soldadura por arco consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco eléctrico. Los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea.



**Figura 2.3.** Elementos presentes en la soldadura por arco eléctrico.

**Fuente:** AGA Venezolana

Al ponerse en contacto los polos opuestos de un generador se establece una corriente eléctrica de gran intensidad. Si se suministra la intensidad necesaria, la sección de contacto entre ambos polos -por ser la de mayor resistencia eléctrica- se pone incandescente. Esto puede provocar la ionización de la atmósfera que rodea a la zona de contacto y que el aire se vuelva conductor, de modo que al separar los polos el paso de corriente eléctrica se mantenga de uno a otro a través del aire.

Antes de iniciar el trabajo de soldadura se deben fijar las piezas sobre una mesa o banco de trabajo, de manera que permanezcan inmóviles a lo largo de todo el proceso. Durante la operación, el soldador debe evitar la acumulación de escoria, que presenta una coloración más clara que el metal.

El electrodo ha de mantenerse siempre inclinado, formando un ángulo de  $15^\circ$  aproximadamente sobre el plano horizontal de la pieza, y comunicar un movimiento lento en zigzag -de poca amplitud-, para asegurar una distribución uniforme del metal que se va desprendiendo del electrodo, ver figura 2.4.



**Figura 2.4.** Proceso de soldadura por Arco eléctrico.

**Fuente:** AGA Venezolana

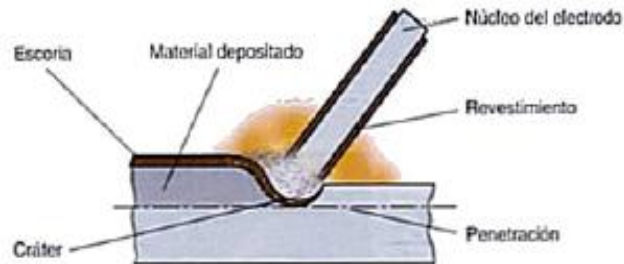
El arco eléctrico genera un cráter en la pieza. Es fundamental, para que la soldadura presente una penetración eficaz, tener en cuenta la longitud del arco (distancia entre el extremo del electrodo y la superficie del baño fundido). Si el arco es demasiado pequeño, la pieza se calienta exageradamente y la penetración resulta excesiva; en ese caso, puede llegar a producirse una perforación peligrosa. Por el contrario, si el arco es demasiado largo, se dispersa parte de su calor, y la penetración resulta insuficiente. El operario soldador ha de ser lo bastante hábil como para mantener el arco a la longitud adecuada. Las temperaturas que se generan son del orden de  $3\ 500\ ^\circ\text{C}$ .

Este tipo de soldadura puede realizarse con electrodos metálicos o de carbón. Esto ha dado lugar, a lo largo de la historia de la soldadura por arco, a varios procedimientos distintos:

- **Procedimiento Zerener.** Con este método, de patente alemana, el arco salta entre dos electrodos de carbón, y mediante un electroimán se dirige hacia la junta que se desea soldar para mejorar la aportación de calor. Actualmente este procedimiento ha caído en desuso, debido a que se forma óxido en la soldadura y a que resulta excesivamente complicada tanto la construcción de los portaelectrodos como la posterior retirada de los mismos.
- **Procedimiento Bernardos.** Sustituye uno de los electrodos de carbón por la pieza que hay que soldar, de manera que el arco salta entre ésta y el otro electrodo de carbón. Constituye una mejora del método de Zerener, y aún se emplea en algunas máquinas de soldadura automática con corriente continua.
- **Procedimiento Slavianoff.** Este método, de origen ruso y que data de 1891, realiza la soldadura mediante el arco que salta entre la pieza y un electrodo metálico. Estas soldaduras son bastante deficientes, pues se oxidan con el oxígeno del aire.
- **Procedimiento Kjellberg.** Finalmente, en el año 1908, Kjellberg comenzó a utilizar electrodos metálicos recubiertos de cal. Este revestimiento, aunque no es el más adecuado, mejora mucho la soldadura. Efectivamente, la idea respondió al fin deseado, de manera que en la actualidad se están obteniendo importantes avances en la investigación de recubrimientos apropiados (recubrimiento ácido, básico, oxidante, de rutilo...) para los electrodos, que son cada vez más gruesos y completos. El recubrimiento, además, tiene otros fines como son: añadir elementos de aleación al baño

fundido, formar una escoria fluida, estabilizare el arco, etc. Los materiales presentes en la soldadura, fig.2.5.

Todos estos procedimientos son manuales pero hay otros procedimientos semiautomáticos o totalmente automáticos.

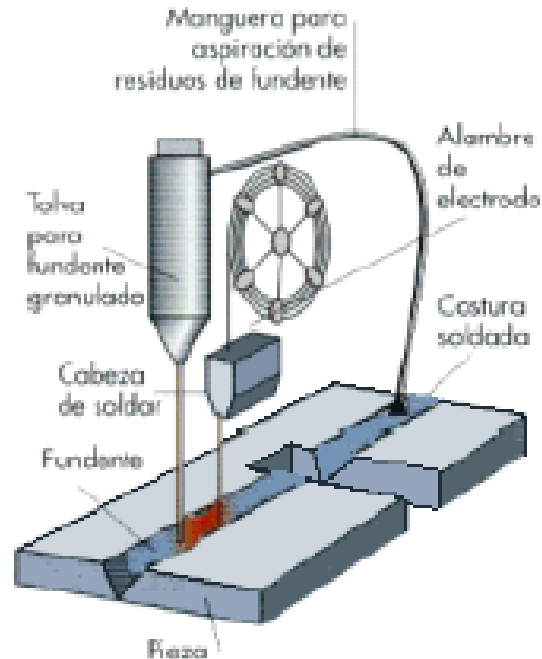


**Figura 2.5.** Materiales presentes en el proceso de soldadura por Arco eléctrico.

**Fuente:** Lincoln

#### 2.2.2.6. Soldadura por arco sumergido

Utiliza un electrodo metálico continuo y desnudo. El arco se produce entre el alambre y la pieza bajo una capa de fundente granulado que se va depositando delante del arco. Tras la soldadura se recoge el fundente que no ha intervenido en la operación. En la fig.2.6. Observe todos sus elementos.



**Figura 2.6.** Elementos de la soldadura por arco sumergido.

**Fuente:** Welding and Cutting

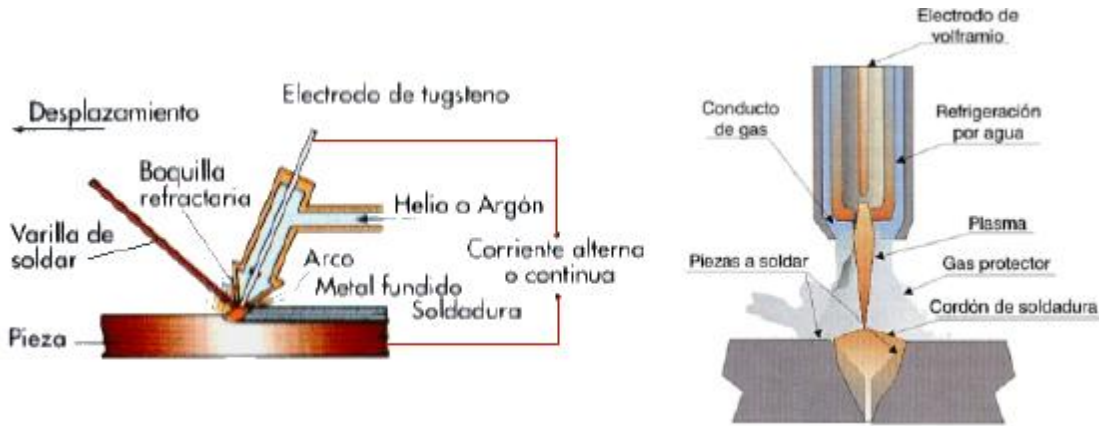
### 2.2.2.7. Soldadura por arco en atmósfera inerte

Este procedimiento se basa en aislar el arco y el metal fundido de la atmósfera, mediante un gas inerte (helio, argón, hidrógeno, anhídrido carbónico, etc.).

Existen varios procedimientos:

- **Con electrodo refractario** (método **TIG**).

El arco salta entre el electrodo de Wolframio o tungsteno (que no se consume) y la pieza, el metal de aportación es una varilla sin revestimiento de composición similar a la del metal base. En la fig.2.7. observe sus elementos.



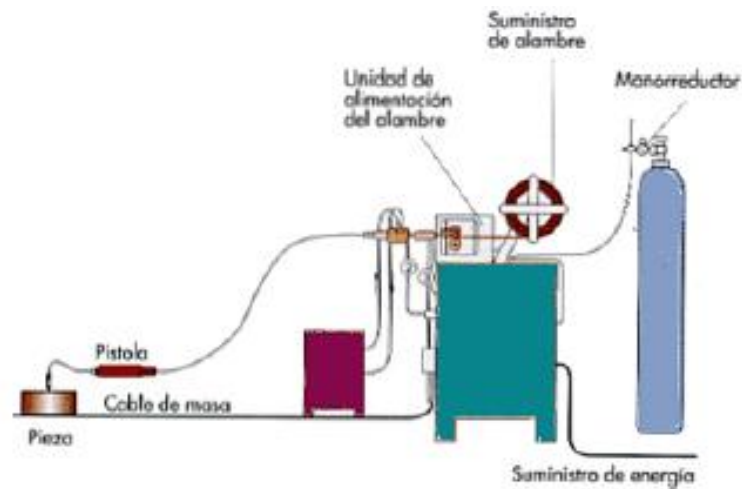
**Figura 2.7.** Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con electrodo no consumible o refractario.

**Fuente:** AGA Venezolana

- **Con electrodo consumible** (método **MIG** y **MAG**).

Aquí se sustituye el electrodo refractario de wolframio por un hilo de alambre continuo y sin revestimiento que se hace llegar a la pistola junto con el gas. Según sea el gas así recibe el nombre, (MIG = **Metal Inert Gas**) o MAG si utiliza anhídrido carbónico que es más barato. La soldadura por arco eléctrico puede realizarse empleando corriente continua o alterna. La tensión más ventajosa en corriente continua es de 25 a 30 voltios, pero para cebar el arco al comenzar la tensión ha de ser de 70 a 100 voltios; por este motivo, es necesario intercalar una resistencia en serie que haga de regulador.

La intensidad de corriente está comprendida entre 30 y 300 amperios, según la amplitud y la profundidad de la soldadura que se vaya a realizar. Las máquinas de corriente alterna para soldadura llevan un transformador que reduce la tensión de la red, generalmente de 220 voltios, a la de soldadura (inferior a 70 voltios). Estos equipos son más sencillos y económicos; por eso son los más empleados, sobre todo para algunos trabajos que se realizan en pequeños talleres. En la fig.2.8, observe sus elementos.



**Figura 2.8.** Elementos de la soldadura por arco en atmósfera inerte y con electrodo consumible

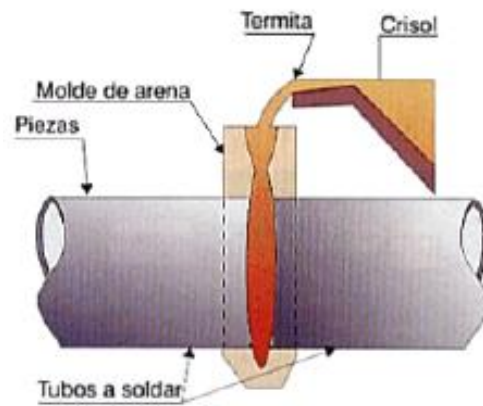
**Fuente:** AGA Venezolana

### 2.2.2.8. Soldadura aluminotérmica o con termita.

Utiliza como fuente de calor para fundir los bordes de las piezas a unir y metal de aportación el hierro líquido y sobrecalentado que se obtiene de la reacción química se produce entre el óxido de hierro y el aluminio de la cual se obtiene la alúmina (óxido de aluminio), hierro y una muy alta temperatura.

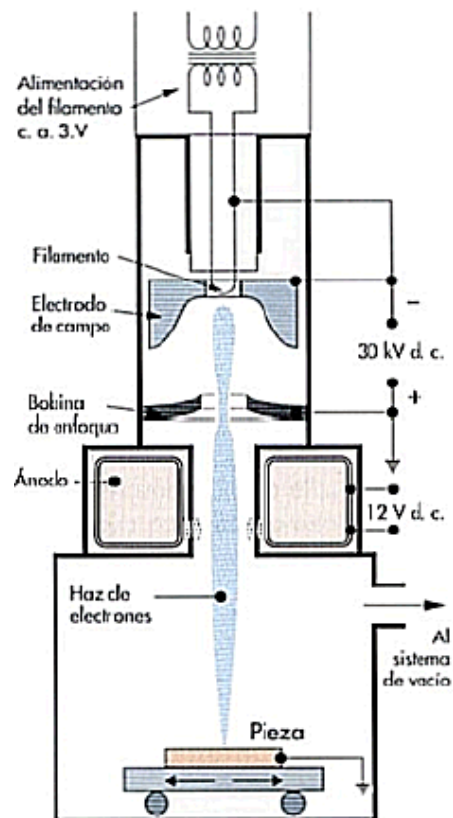


La alúmina forma una escoria en la parte superior de la unión evitando la oxidación. Pues, para efectuar la soldadura se realiza un molde de arena alrededor de la zona de soldadura y se vierte el metal fundido en él. En la fig.2.9, observe sus elementos y el proceso de energía en la fig. 2.10



**Figura 2.9.** Elementos de la soldadura con termita.

*Fuente:* Welding and Cutting.



**Figura 2.10.** Esquema del procedimiento de energía radiante

*Fuente:* Silva y Padrón



### 2.2.2.8. Soldadura por resistencia eléctrica

Este tipo de soldadura se basa en el efecto Joule: el calentamiento se produce al pasar una corriente eléctrica a través de la unión de las piezas. El calor desprendido viene dado por la expresión:

$$Q = 0,24 * I^2 * R * t... \quad \text{Ec. 1}$$

Siendo:

**Q** = calor (en calorías).

**I** = intensidad de corriente eléctrica (en amperios).

**R** = resistencia (en ohmios) al paso de la corriente eléctrica.

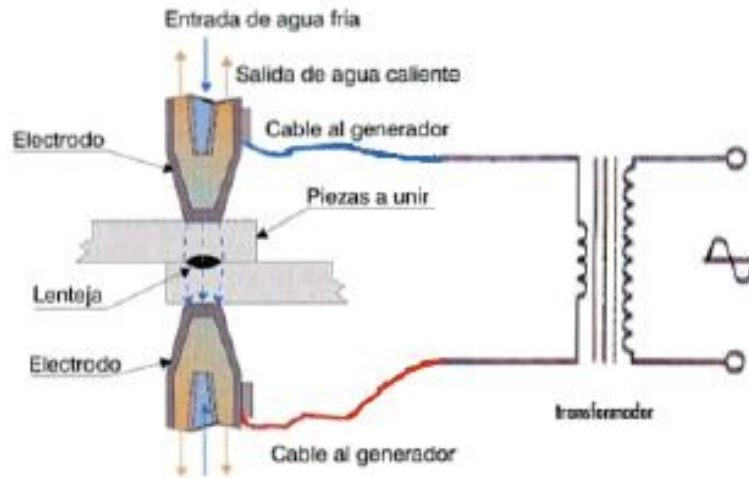
**t** = tiempo (en segundos).

La soldadura por resistencia puede realizarse de las siguientes maneras:

- **Por puntos:** Las piezas, generalmente chapas, quedan soldadas por pequeñas zonas circulares aisladas y regularmente espaciadas que, debido a su relativa pequeñez, se denominan puntos. Las chapas objeto de unión se sujetan por medio de los electrodos y, a través de ellos, se hace pasar la corriente eléctrica para que funda los puntos. Cuando se solidifican, la pieza queda unida por estos puntos, cuyo número dependerá de las aplicaciones y de las dimensiones de las chapas que se unen.

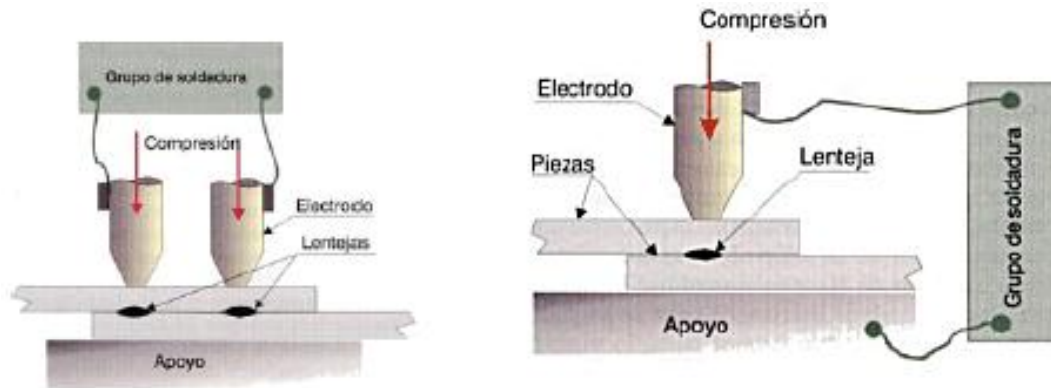
Este tipo de soldadura por puntos tiene gran importancia en la industria moderna, sobre todo en chapa fina. Se emplea en la fabricación de carrocerías de automóviles, electrodomésticos (por ejemplo, neveras), y en las industrias eléctrica y de juguetería.

Existen algunas variantes de la soldadura por puntos: por puntos individuales, por puntos múltiples, bilateral, unilateral, etc. En la fig.2.11 y fig. 2.12, observe sus tipos, elementos y esquema del proceso.



**Figura 2.11.** Esquema del procedimiento de la soldadura por punto.

Fuente: Silva y Padrón



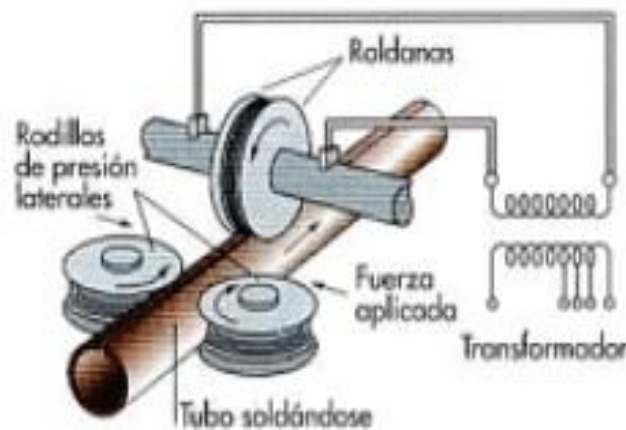
**Figura 2.12.** Tipos de soldadura por punto.

Fuente: Silva y Padrón

- **Por costura:** La soldadura eléctrica por costura se basa en el mismo principio que la soldadura por puntos, pero en este caso las puntas de los electrodos se sustituyen por rodillos, entre los cuales y, presionadas por el

borde de éstos, pasan las piezas a soldar. De esta manera se puede electrodo mientras pasa la corriente eléctrica.

- **A tope:** Las dos piezas que hay que soldar se sujetan entre unas mordazas por las que pasa la corriente, las cuales están conectadas a un transformador que reduce la tensión de red a la de la soldadura. Las superficies que se van a unir, a consecuencia de la elevada resistencia al paso de la corriente que circula por las piezas, se calientan hasta la temperatura conveniente para la soldadura. En la fig.2.13, observe sus elementos.



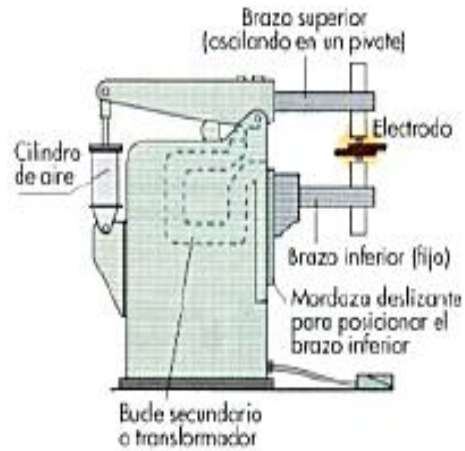
**Figura 2.13.** Esquema de soldadura por costura.

**Fuente:** Silva y Padrón

En este momento se interrumpe la corriente, y se aprietan las dos piezas fuertemente una contra otra. Una variante de este método es no ejercer presión sino dejar que entre las piezas se realicen múltiples arcos eléctricos, llamado por chisporroteo.

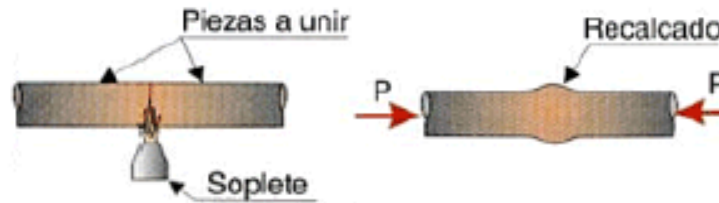
Durante la soldadura conviene refrigerar las mandíbulas de las mordazas. También se puede realizar el calentamiento de las zonas a unir con gases y posteriormente ejercer presión (a tope con gases). También se puede realizar el

calentamiento de las zonas a unir con gases y posteriormente ejercer presión (a tope con gases). En la fig.2.14 y 2.15, observe sus elementos y procedimientos.



**Figura 2.14.** Equipo de soldadura a tope.

**Fuente:** Silva y Padrón

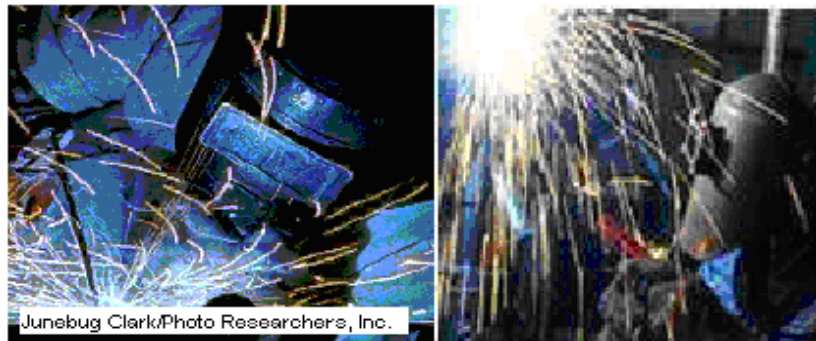


**Figura 2.15.** Soldadura a tope.

**Fuente:** Mejías y Guzmán

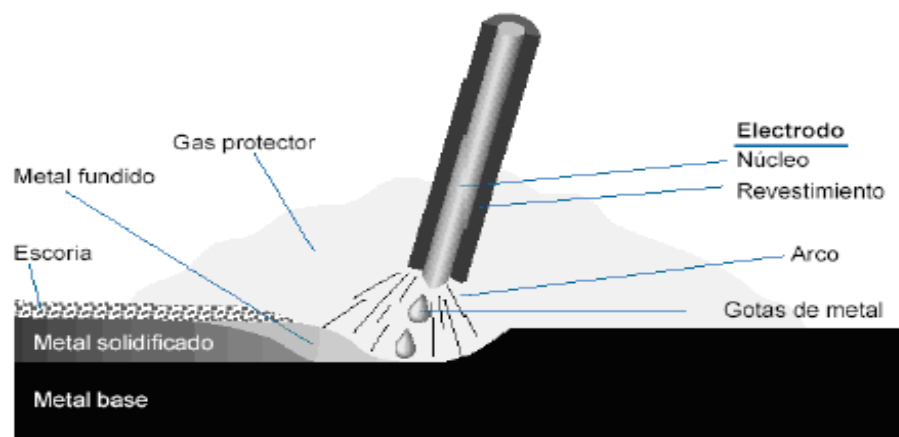
### 2.2.2.9. Soldadura metálica con arco protegido SMAW.

La soldadura metálica con arco es un proceso de soldadura con arco eléctrico que usa un electrodo consumible y consiste en una varilla de metal de aporte recubierta con materiales químicos que proporcionan un fundente y protección.



**Figura 2.16.** Proceso de soldadura con arco protegido.

**Fuente:** AGA Venezolana



**Figura 2.17.** Soldadura por arco eléctrico sumergido.

**Fuente:** Silva y Padrón

En ocasiones, el proceso se denomina soldadura de varilla. La varilla de soldadura normalmente tiene una longitud entre de 230 a 460 mm y un diámetro de 2.5 a 9.5 mm. En la fig.2.16 y 2.17, observe sus elementos. El metal de aporte usado en la varilla debe ser compatible con el metal que se va a soldar y, por tanto, la composición debe ser muy parecida a la del metal base. El recubrimiento consiste en celulosa pulverizada (polvos de algodón y madera) mezclados con óxidos, carbonatos y otros ingredientes integrados mediante un aglutinante de silicato.

En ocasiones se incluyen en el recubrimiento polvos metálicos para aumentar la cantidad de metal de aporte y agregar elementos de aleación. El calor del proceso de soldadura funde el recubrimiento y proporciona una atmósfera protectora y escoria para la operación de soldadura. También ayuda a estabilizar el arco eléctrico y regula la velocidad a la que se funde el electrodo.

Durante la operación, el extremo de metal descubierto de la varilla de soldadura (que está en la otra punta de la soldadura) se sujeta en un soporte de electrodos conectado a la fuente de energía. El soporte tiene una manija aislada para que lo tome y manipule el soldador. Las corrientes que se usan regularmente en la SMAW varían entre 30 y 300 A y 15 a 45 V. La selección de los parámetros de energía adecuados depende de los metales que se van a soldar, del tipo y longitud del electrodo, así como de la profundidad de penetración de la soldadura requerida. El transformador de corriente, los cables de conexión y el soporte del electrodo pueden adquirirse en algunos miles de dólares.

Por lo general, la soldadura metálica con arco protegido se ejecuta en forma manual y sus aplicaciones comunes incluyen la construcción, instalación de tuberías, estructuras de maquinaria, construcción de embarcaciones, tiendas de manufactura y trabajos de reparación. Se prefiere sobre la soldadura con oxígeno y gas combustible para secciones más gruesas que 4.8 mm debido a su mayor densidad de energía. El equipo es portátil y de bajo costo, lo que convierte a la SMAW en el proceso más versátil y de mayor uso entre los procesos de AW. Los metales base incluyen los aceros, los aceros inoxidable, los hierros fundidos y ciertas aleaciones no ferrosas. No se usa o se emplea rara vez en aluminio y sus aleaciones, al igual que en las aleaciones de cobre y titanio.

La desventaja de la soldadura metálica con arco protegido como operación de producción proviene del uso de varillas de electrodos consumibles, porque éstos deben cambiarse en forma periódica a causa del desgaste. Esto reduce el tiempo de arco eléctrico en este proceso de soldadura. Otra limitación es el nivel de corriente que puede usarse, porque la longitud del electrodo varía durante la operación y ésta afecta el calentamiento de la resistencia del electrodo, los niveles de corriente deben mantenerse dentro de un rango seguro o el recubrimiento se sobrecalentará y fundirá prematuramente cuando se empiece a usar una nueva varilla de soldadura. Algunos de los otros procesos de soldadura con arco eléctrico superan las limitaciones de la longitud de la varilla de soldadura en este proceso, usando un electrodo de alambre que se alimenta en forma continua.

Desde su aparición en el mundo de la soldadura, todas las agencias de regulación y clasificación de los metales de aporte tomaron muy en serio este proceso y la creación de su propio código de clasificación fue indispensable, en el caso de la Sociedad Americana de Soldadura AWS, se crearon dos códigos por separado, uno para las aleaciones de bajo contenido de Carbón o también conocido como acero dulce y uno para las aleaciones de alto contenido de Carbón o donde la composición química final del material aportado fuera cambiada de forma dramática.

Un buen procedimiento de soldada está caracterizado por la poca presencia de porosidad, buena fusión, y una terminación libre de grietas o quebraduras La Porosidad, es una de las causas más frecuentemente citadas de una soldadura pobremente ejecutada, es causada por el exceso de oxígeno de la atmósfera, creada por el gas usado en el proceso y cualquier contaminación en el metal base, que, combinado con el carbón en el metal soldado forma diminutas burbujas de monóxido de carbono (CO). Algunas de estas burbujas de CO pueden quedar atrapadas en la soldadura fundida

después que se enfría y se convierten en poros mejor conocidos como porosidad.

### 2.2.3 CLASIFICACIÓN DEL PROCESO GMAW

El proceso puede ser:

- **Semiautomático:**

La tensión de arco (voltaje), velocidad de alimentación del alambre, intensidad de corriente (amperaje) y flujo de gas se regulan previamente. El arrastre de la pistola de soldadura se realiza manualmente.

- **Automático**

Todos los parámetros, incluso la velocidad de soldadura, se regulan previamente, y se aplican en forma automática.

- **Robotizado**

Este proceso de soldadura, se puede robotizar a escala industrial. En este caso, todos los parámetros y las coordenadas de localización de la unión a soldar; se programan mediante una unidad específica para este fin. La soldadura la realiza un robot al ejecutar la programación.

#### a. Condiciones operacionales

El comportamiento del arco, el tipo de transferencia del metal a través del mismo, la penetración, forma del cordón, etc., están condicionados por una serie de parámetros entre los que se destacan:



- **Polaridad**

Afecta al tipo de transferencia, penetración, velocidad de fusión del alambre, etc. Normalmente, se trabaja con polaridad inversa (DC +).

- **Tensión de arco (Voltaje)**

Este parámetro puede regularse a voluntad desde la maquina soldadora y resulta determinante, en el tipo de transferencia

- **Velocidad de alimentación del alambre**

En este proceso no se regula previamente, la intensidad de corriente (amperaje), sino que ésta, por el fenómeno de autorregulación, resulta de la velocidad impuesta al alambre.

- **Naturaleza del metal base**

Presenta una notable influencia, sobre el tipo de transferencia del metal, penetración, aspecto del cordón, proyecciones, etc.

- **La porosidad**

Dentro de los defectos típicos a saber, se encuentra la porosidad. Esta se debe en general, a deficiente protección gaseosa (exceso y/o insuficiencia) durante la operación de soldadura. El gas tiene por misión proteger el electrodo de alambre en fase de fusión y el baño de soldadura, del acceso de aire.

- **Rodillos de arrastre inadecuados**

Los rodillos de arrastre son elementos de la unidad de alimentación de alambre. El caso más simple del sistema es aquel que lleva un solo rodillo de arrastre y otro de apoyo presionado por un resorte regable contra el primero.

El rodillo de arrastre presenta una ranura en la que se encaja el alambre. La ranura puede tener una sección semicircular y estar provistas de estrías, Así el arrastre es excelente, pero las estrías, muerden el alambre desprendiendo el recubrimiento de cobre como polvo metálico y viruta de acero que penetra en todos los elementos de la unidad de alimentación (devanadora, tubo guía del alambre, etc.). Por otro lado, las estrías o marcas producidas en el alambre actúan como una lima sobre las paredes internas del tubo de contacto o boquilla, acelerando el desgaste. Por esta razón se prefiere adoptar el perfil triangular (rodillo en "V").

Las distintas posibilidades de arrastre que se presentan con este tipo de perfil son:

1. Si el diámetro del alambre es mayor que el ancho del perfil entonces el alambre será mordido y se desprenderá cobre y viruta de acero.
2. Si el diámetro del alambre es igual al ancho del perfil o ligeramente inferior y la presión de rodillos no es excesiva, entonces habrá un buen arrastre.
3. Si el diámetro del alambre es inferior al ancho del perfil entonces no habrá arrastre, sino resbalamiento.
4. Si la presión en rodillos es alta, el alambre será deformado, y se produce desprendimiento de cobre. El perfil que presentara el alambre no será circular.

5. Si la presión de rodillos es baja, no se producirá arrastre, sino resbalamiento. El inconveniente del perfil triangular (rodillo en "V") es el exceso de presión que deforma el alambre.

Una solución a esto último es la utilización de dos pares de rodillos para no ejercer toda la presión, sobre un mismo punto del alambre.

### **c. Beneficios del sistema GMAW.**

- 1.- No genera escoria.
- 2.- Alta velocidad de deposición.
- 3.- Alta eficiencia de deposición.
- 4.- Fácil de usar.
- 5.- Mínima salpicadura.
- 6.- Aplicable a altos rangos de espesores.
- 7.- Baja generación de humos.
- 8.- Es económica.
- 9.- La pistola y los cables de soldadura son ligeros haciendo más fácil su manipulación.
- 10.- Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
- 11.- Rapidez de deposición.
- 12.- Alto rendimiento.
- 13.- Posibilidad de automatización

#### **d. Parámetros de la soldadura:**

En la soldadura GMAW hay una serie de parámetros que afectan el proceso de soldadura y la soldadura final. Se diferencia entre parámetros predeterminados, parámetros dependientes del equipo y parámetros dependientes del operario.

#### **e. Parámetros predeterminados:**

- Tipo de electrodo.
- Diámetro del electrodo.
- Tipo de gas de protección.
- Flujo de gas de protección.

Estos parámetros se eligen antes de iniciar la soldadura, y se determinan según el material a soldar, el tipo de unión y la posición de soldadura.

#### **e.1 Parámetros dependientes del equipo:**

- Velocidad de alimentación del alambre.
- Tensión.
- Inductancia.

Estos parámetros se ajustan en el equipo de soldadura.

#### **e.2 Parámetros dependientes del operario:**

- Velocidad de soldadura.
- Distancia de la boquilla de contacto a la pieza.
- Inclinação de la pistola.

Estos parámetros dependen de su habilidad como soldador para manejar la pistola.

## **f. Aspectos de salud y seguridad:**

### **f.1 Riesgos**

En la soldadura GMAW, al igual que en cualquier otro proceso, deben evitarse ciertos riesgos para la salud, tales como:

- **Humos y gases.**
- **Radiación ultravioleta.**
- **Riesgos con la electricidad.**

Para evitar todo tipo de problemas, es recomendable adoptar medidas de seguridad, según se indica en las secciones siguientes.

### **f.2 Humos y gases**

En toda operación de soldadura se forman humos y gases en mayor o menor cantidad. Los riesgos se pueden reducir enormemente:

- Asegurándose de tener buena ventilación general.
- Usando extractores puntuales.
- Evitando mantener la cabeza en el penacho de humos y gases que se levanta del lugar de soldadura.
- Usando algún tipo de protección respiratoria cuando se suelda en espacios estrechos.

Cambiando el gas de protección, de CO<sub>2</sub> a Argón MIX. Así se produce menor cantidad de humo.

### **2.3. SOLDADURA MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO (SMAW)**

La Soldadura Manual con Electrodo revestido es los más antiguos y versátiles de los distintos procesos de soldadura por arco. El arco eléctrico se mantiene entre el final del electrodo revestido y la pieza a soldar. Cuando el metal se funde, las gotas del electrodo se transfieren a través del arco al baño del metal fundido, protegiéndose de la atmósfera por los gases producidos en la descomposición del revestimiento, así lo podemos apreciar en la fig.2.1. Soldadura manual con arco revestido. La escoria fundida flota en la parte superior del baño de soldadura, desde donde protege al metal depositado de la atmósfera durante el proceso de solidificación.

La escoria debe eliminarse después de cada pasada de soldadura. Se fabrican cientos de tipos diferentes de electrodos, a menudo conteniendo aleaciones que proporcionan resistencia, dureza y ductilidad a la soldadura. El proceso, se utiliza principalmente para aleaciones ferrosas para unir estructuras de acero, en construcción naval y en general en trabajos de fabricación metálica. A pesar de ser un proceso relativamente lento, debido a los cambios del electrodo y a tener que eliminar la escoria, aún sigue siendo una de las técnicas más flexibles y se utiliza con ventaja en zonas de difícil acceso.

La Sociedad Americana de Soldadura "AWS" ha establecido una serie de códigos de identificación y a su vez de Clasificación para los diferentes productos que las grandes y medianas fábricas de electrodos producen para abastecer el mercado, estos códigos se han convertido en la referencia más comúnmente usada en Latino-América por su fácil reconocimiento y manejo y aunque algunos fabricantes nombran sus productos con sus propios nombres comerciales, los usuarios en su mayoría prefieren llamarlos por su código de identificación de la AWS.

Los electrodos, en particular, tienen su propio código en todas las agencias que los clasifica, que los separa de los demás productos y los hace identificables de manera específica, el código que AWS usa para esto, y que probablemente sea el más popular en Latino-América se ha convertido en la referencia que más comúnmente se usa para Clasificar, son el AWS A5.1 para los electrodo de acero "dulce" o de relleno, y el AWS A5.5 para los electrodos de aleación de acero (alto contenido de carbón), muchos los identifican separándolos erróneamente como "Electrodos de Bajo Hidrogeno y Electrodos de Alto Hidrogeno" respectivamente, pero algunas variaciones de los electrodos en ambas clasificaciones contienen en sus fundentes altas o bajas cantidades de Hidrogeno que los excluye de esa referencia.

Ejemplo: **E-6010**

**E** = Electrodo

**60** = 60 X 1000 PSI = 60.000 PSI de fuerza tensil

**1** = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza) \*\*

**0** = DCEP (direct current electrode positivo) Corriente Directa "DC" electrodo positivo "+" \*

## 2.4. EL ACERO

El acero es la aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar, a diferencia de los aceros, se moldean.

La existencia de gran variedad de aceros, en virtud de sus materiales aleantes, llevó a *Siemens* a definir el acero como «un compuesto de hierro y otra sustancia que incrementa su resistencia»

Los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas.

Sin embargo, en ciertos sectores, como la construcción aeronáutica, el acero apenas se usa debido a que es un material muy pesado. El acero es casi tres veces más pesado que el aluminio (7,85/2,7).

#### **a. Historia**

Aunque no se tienen datos precisos de la fecha en la que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir un metal susceptible de ser utilizado, los primeros utensilios de este metal descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a. C. También se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro.

Algunos de los primeros aceros provienen del Este de África, fechados cerca de 1400 a. C.

La China antigua bajo la dinastía Han, entre el 202 a. C. y el 220 d. C., creó acero al derretir hierro forjado junto con hierro fundido, obteniendo así el mejor producto de carbón intermedio, el acero, en torno al siglo I a. C. Junto con sus métodos originales de forjar acero, los chinos también adoptaron los métodos de producción para la creación de acero wootz, una idea importada de India a China hacia el siglo V. El acero wootz fue producido en India y en Sri Lanka desde aproximadamente el año 300 a. c.

Este temprano método utilizaba un horno de viento, soplado por los monzones. También conocido como acero Damasco, el acero wootz es famoso por su durabilidad y capacidad de mantener un filo. Originalmente fue creado



de un número diferente de materiales, incluyendo trazas de otros elementos en concentraciones menores a 1000 partes por millón o 0,1% de la composición de la roca. Era esencialmente una complicada aleación con hierro como su principal componente. Estudios recientes han sugerido que en su estructura se incluían nanotubos de carbono, lo que quizá explique algunas de sus cualidades legendarias; aunque teniendo en cuenta la tecnología disponible en ese momento fueron probablemente producidos más por casualidad que por diseño.

El acero crucible (*Crucible steel*), basado en distintas técnicas de producir aleaciones de acero empleando calor lento y enfriando hierro puro y carbón, fue producido en Merv entre el siglo IX y el siglo X.

En China, bajo la dinastía Song del siglo XI, hay evidencia de la producción de acero empleando dos técnicas: una de un método "berganESCO" que producía un acero de calidad inferior por no ser homogéneo, y un precursor del moderno método Bessemer el cual utilizaba una descarbonización a través de repetidos forjados bajo abruptos enfriamientos (*cold blas*).

El hierro para uso industrial fue descubierto hacia el año 1500 a. C., en Medzamor, cerca de Erevan, capital de Armenia y del monte Ararat. La tecnología del hierro se mantuvo mucho tiempo en secreto, difundiéndose extensamente hacia el año 1200 a. C.

Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Las características conferidas por la templabilidad no consta que fueran conocidas hasta la Edad Media, y hasta el año 1740 no se produjo lo que hoy día denominamos acero.

Los métodos antiguos para la fabricación del acero consistían en obtener hierro dulce en el horno, con carbón vegetal y tiro de aire. Una posterior expulsión de las escorias por martilleo y carburación del hierro dulce para cementarlo. Luego se perfeccionó la cementación fundiendo el acero cementado en crisoles de arcilla y en Sheffield (Inglaterra) se obtuvieron, a partir de 1740, aceros de crisol.

Fue Benjamin Huntsman el que desarrolló un procedimiento para fundir hierro forjado con carbono, obteniendo de esta forma el primer acero conocido.

### **Aceros bajos en carbono.**

Constituye la mayor parte de todo el acero fabricado. Contienen menos del 0.25 % en peso de C, no responde al tratamiento térmico para dar martensita ni se pueden endurecer por acritud. La microestructura consiste en ferrita y perlita. Por tanto, son relativamente blandos y poco resistentes pero con extraordinaria ductilidad y tenacidad.

Son de fácil mecanizado, soldables y baratos. Se utilizan para fabricar vigas, carrocerías de automóviles, y láminas para tuberías edificios y puentes. Otro grupo de aceros de bajo contenido en carbono son los de *alta resistencia y baja aleación*. Contienen concentraciones variables de Cu, V, Ni y Mo totalizando  $\approx 10$  % en peso. Poseen mucha más resistencia mecánica, que puede aumentar por tratamiento térmico y mantienen las propiedades de fácil mecanizado. Se emplean en componentes donde la resistencia mecánica es crítica: puentes, torres, columnas de soportes de edificios altos, bastidores de camiones y vagones de tren.

***Aceros medios en carbono.***

Contienen entre el 0.25 y 0.60 % en peso de C. Estos aceros pueden ser tratados térmicamente mediante austenización, temple y revenido para mejorar las propiedades mecánicas. La microestructura generalmente es martensita revenida. Las adiciones de Cr, Ni y Mo facilitan el tratamiento térmico que en su ausencia es difícil y útil solo para secciones de pieza relativamente delgadas. Son más resistentes que los aceros bajos en carbono pero menos dúctiles y maleables. Se suelen utilizar para fabricar cinceles, martillos, cigüeñales, pernos, etc.

***Aceros altos en carbono.***

Generalmente contienen entre el 0.60 y 1.4 % en peso de C. Son más duros y resistentes (y menos dúctiles) que los otros aceros al carbono. Casi siempre se utilizan con tratamientos de templado y revenido que lo hacen muy resistentes al desgaste y capaces de adquirir la forma de herramienta de corte. Generalmente contienen Cr, V, W y Mo, los cuales dan carburos muy duros como  $Cr_23C_6$ ,  $V_4C_3$  y WC. Se utilizan como herramientas de corte, matrices para fabricar herramientas de herrería y carpintería. Por ejemplo, cuchillos, navajas, hojas de sierra, brocas para cemento, corta tubos, troqueles, herramientas de torno, muelles e hilos e alta resistencia.

**2.5. ENSAYOS MECÁNICOS APLICADOS AL ACERO**

Cuando un técnico proyecta una estructura metálica, diseña una herramienta o una máquina, define las calidades y prestaciones que tienen que tener los materiales constituyentes. Como hay muchos tipos de aceros diferentes y, además, se pueden variar sus prestaciones con tratamientos térmicos, se establecen una serie de ensayos mecánicos para verificar

principalmente la dureza superficial, la resistencia a los diferentes esfuerzos que pueda estar sometido, el grado de acabado del mecanizado o la presencia de grietas internas en el material.

Hay dos tipos de ensayos, unos que pueden ser destructivos y otros no destructivos.

**Los ensayos no destructivos** son los siguientes:

- Ensayo microscópico y rugosidad superficial. Microscopios y rugosímetros.
- Ensayos por ultrasonidos.
- Ensayos por líquidos penetrantes.

**Los ensayos destructivos** son los siguientes:

- Ensayo de tracción con probeta normalizada.
- Ensayo de resiliencia.
- Ensayo de compresión con probeta normalizada.
- Ensayo de cizallamiento.
- Ensayo de flexión.
- Ensayo de torsión.
- Ensayo de plegado.
- Ensayo de fatiga.
- Ensayo de dureza (Brinell, Rockwell, Vickers). Mediante durómetros.

Todos los aceros tienen estandarizados los valores de referencia de cada tipo de ensayo al que se le somete.

### **Tipos de ensayos mecánicos a realizar luego del proceso de soldadura en el acero:**

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada realizada con dicho material a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Módulo de elasticidad o Módulo de Young, que cuantifica la proporcionalidad anterior.
- Coeficiente de Poisson, que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- Límite de proporcionalidad valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.
- Límite de fluencia o límite elástico aparente: valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.
- Límite elástico (límite elástico convencional o práctico): valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado.
- Carga de rotura o resistencia a la tracción: carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.

- Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.
- Estricción: es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

Normalmente, el límite de proporcionalidad no suele determinarse ya que carece de interés para los cálculos. Tampoco se calcula el Módulo de Young, ya que éste es característico del material; así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes.

La dureza es una propiedad mecánica de los materiales consistente en la dificultad que existe para rayar o crear marcas en la superficie mediante micropenetración de una punta.

En metalurgia la dureza se mide utilizando un durómetro para el ensayo de penetración. Dependiendo del tipo de punta empleada y del rango de cargas aplicadas, existen diferentes escalas, adecuadas para distintos rangos de dureza.

El interés de la determinación de la dureza en los aceros estriba en la correlación existente entre la dureza y la resistencia mecánica, siendo un método de ensayo más económico y rápido que el ensayo de tracción, por lo que su uso está muy extendido.

Hasta la aparición de la primera máquina Brinell para la determinación de la dureza, ésta se medía de forma cualitativa empleando una lima de acero templado que era el material más duro que se empleaba en los talleres.

Las escalas de uso industrial actuales son las siguientes:

- **Dureza Brinell:** Emplea como punta una bola de acero templado o carburo de W. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6mm de espesor. Estima resistencia a tracción.
- **Dureza Knoop:** Mide la dureza en valores de escala absolutas, y se valoran con la profundidad de señales grabadas sobre un mineral mediante un utensilio con una punta de diamante al que se le ejerce una fuerza standard.
- **Dureza Rockwell:** Se utiliza como punta un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales. Se suele considerar un ensayo no destructivo por el pequeño tamaño de la huella.
- **Rockwell superficial:** Existe una variante del ensayo, llamada Rockwell superficial, para la caracterización de piezas muy delgadas, como cuchillas de afeitar o capas de materiales que han recibido algún tratamiento de endurecimiento superficial.
- **Dureza Rosiwal:** Mide en escalas absoluta de durezas, se expresa como la resistencia a la abrasión medias en pruebas de laboratorio y tomando como base el corindón con un valor de 1000.
- **Dureza Shore:** Emplea un escleroscopio. Se deja caer un indentador en la superficie del material y se ve el rebote. Es adimensional, pero consta de varias escalas. A mayor rebote -> mayor dureza. Aplicable para control de

calidad superficial. Es un método elástico, no de penetración como los otros.

- **Dureza Vickers:** Emplea como penetrador un diamante con forma de pirámide cuadrangular. Para materiales blandos, los valores Vickers coinciden con los de la escala Brinell. Mejora del ensayo Brinell para efectuar ensayos de dureza con chapas de hasta 2mm de espesor.

## 2.6. ACEROS AL CARBONO AISI 1010

### c.1 AISI 1010

Composición Química obtenida según las normas AISI en la tabla 2.2:

**Tabla 2.2.** Composición Química del Acero AISI 1010. Fuente: Smith William.

Elemento	% Presente
C	0,15 – 0,20
Mn	0,60 – 0,90
Si	0,15 -0,30
P max.	0,04
S max	0,05

Acero de bajo carbón comúnmente usado en su condición de recocido en parte donde la resistencia no es crítica.

También puede ser cementado logrando una dureza uniforme en la superficie con centro suave. Este acero puede surtirse tanto en acabado en frío como en caliente.



## Aplicaciones

En partes que requieran un formado en frío (recalcar, doblar, estampar, etc.). En flechas, pernos, tensores. Si se busca tener dureza superficial con centro suave se puede cementar para fabricar piezas como engranes, espárragos, sinfines, piñones, tornillos, etc. En la tabla.2.3, observe sus propiedades.

**Tabla 2.3.** Propiedades mecánicas del acero AISI 1010.

	RESISTENCIA A LA TENSION (Kg/cm <sup>2</sup> )	PUNTO DE CEDENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	% ELOGACION EN 50.8 mm.	REDUCCION DE AREA	DUREZA BRINELL
Sin tratamiento 1"Ø	4710	3160	36	58	137
Recocido 1"Ø	4220	2810	38	62	121
Estirado en frío 1"Ø	5970	4920	28	55	167
Cementado (915°C)	6120	3860	25	57	179
Tratado (775°C)	5760	3530	30	70	163
Revenido (180°C)	5200	2830	32	72	149

**Fuente:** Smith William.

## 2.7. EL ALUMINIO

Es el elemento metálico más abundante en corteza terrestre. Su ligereza, conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y bajo punto de fusión, le

convierten en un material idóneo para multitud de aplicaciones, especialmente en aeronáutica. Sin embargo, la elevada cantidad de energía necesaria para su obtención dificulta su mayor utilización, dificultad que puede compensarse por su bajo costo de reciclado, su dilatada vida útil y la estabilidad de su precio.

## 2.8. APLICACIONES DEL ALUMINIO

Ya sea considerando la cantidad o el valor del metal empleado, su uso excede al de cualquier otro material, exceptuando el acero. Además, es un material importante en múltiples actividades económicas.

El aluminio puro es blando, pero sus aleaciones con pequeñas cantidades de cobre, manganeso, silicio, magnesio y otros elementos, presenta una gran variedad de características adecuadas a las más diversas aplicaciones. Estas aleaciones, constituyen el componente principal de muchas de las partes de los aviones y cohetes, en los que el peso es un factor crítico de diseño.

Cuando se evapora el aluminio en el vacío, forma un revestimiento que refleja tanto la luz visible como la infrarroja, además, la capa de óxido que se forma impide el deterioro del recubrimiento, por esta razón, se ha empleado para revestir los espejos de telescopios, en sustitución de la plata. Si bien el aluminio está recubierto de una capa de óxido, esta no permanecerá en presencia de ácidos, particularmente perclórico y clorhídrico, ni en soluciones muy alcalinas de KOH o NaOH, pues hay una enérgica reacción.

Asimismo la presencia de  $\text{CuCl}_2$  o  $\text{CuBr}_2$  destruye el óxido y se disuelve energéticamente en agua. Con mercurio y sales de este, reacciona si está limpio formando una amalgama que impide su pasivación. Reacciona también energéticamente en frío con bromo, y en caliente con muchas sustancias, dependiendo de la temperatura, reduciendo a casi cualquier óxido (proceso de termita). Es atacado por halógenos. Entre los derivados orgánicos del

aluminio destaca en  $\text{Al}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_3$  que arde al aire violentamente y destruye rápidamente los tejidos. Las reacciones del aluminio a menudo van acompañadas de emisión de luz.

Dada su gran reactividad química, finamente pulverizado se usa como combustible sólido de cohetes y para aumentar la potencia de explosión, como ánodo de sacrificio y en procesos de aluminotermia (termita) para la obtención de metales.

### Otros usos del aluminio son:

- **Transporte:** Como material estructural en aviones, automóviles, tanques, superestructuras de buque, blindajes, etc.
- **Estructuras** portantes de aluminio en edificios.
- **Embalaje:** Papel aluminio, latas, tetrabriks, etc.
- **Construcción:** Ventanas, puertas, perfiles de estructuras, persianas, etc.
- **Bienes de uso:** utensilios de cocina, herramientas, etc.
- **Transmisión eléctrica.** Aunque su conductividad eléctrica es tan solo el 60% de la del cobre, su mayor ligereza disminuye el peso de los conductores y permite una mayor separación de las torres de alta tensión, disminuyendo los costos de las infraestructuras.
- **Recipientes criogénicos** (hasta  $-200\text{ }^\circ\text{C}$ ), ya que no presenta temperatura de transición (dúctil a frágil) como el acero, así la tenacidad del material es mejor a bajas temperaturas, calderería.

- **Los hidruros** complejos de aluminio son reductores valiosos en síntesis orgánica.
- **Los haluros** de aluminio tienen características de ácidos Lewis y son utilizados como catalizadores o reactivos auxiliares.
- **Los aluminosilicatos** son una clase importante de minerales. Forman parte de las arcillas y son la base de muchas cerámicas. En la fig.2.18, observe los elementos de las aleaciones de aluminio de la serie 6xxx.
- **Aditivos de óxido** de aluminio o aluminosilicatos a vidrios, varían las características térmicas, mecánicas y ópticas de los mismos.

Percent of Alloy Elements - Aluminum and Normal Impurities Constitute Remainder								
Alloy	Silicon	Copper	Manganese	Magnesium	Chromium	Nickel	Zinc	Titanium
6003	0.7			1.2				
6005	0.8			0.50				
6053	0.7			1.2	0.25			
6061	0.6	0.28		1.0	0.20			
6083	0.40			0.7				
6066	1.4	1.0	0.8	1.1				
6070	1.4	0.28	0.7	0.8				
6101	0.50			0.6				
6105	0.8			0.62				
6151	0.9			0.6	0.25			
6182	0.6			0.9				
6201	0.7			0.8				
6253	0.7			1.2	0.25	2.0		
6262	0.6	0.28		1.0	0.09			
6351	1.0		0.6	0.6				
6463	0.40			0.7				
6951	0.35	0.28		0.6				

**Fig.2.18.** Aluminio serie 6000

Fuente Kenneth G.

Perfiles de carpintería metálica, puertas, ventanas, carcasas para motores eléctricos, sistemas de ensamblado, elementos especiales para maquinaria, tubos de riego, instalaciones neumáticas y en general donde se busque una aplicación decorativa. La aleación de aluminio 6063 se utiliza típicamente en aplicaciones comerciales. En la tabla 2.4, observe sus propiedades.

**Tabla 2.4.** Características mecánicas de la aleación de aluminio 6063

<i>Peso específico</i>	<i>gr/cm</i>	<i>2,70</i>
<i>Carga de rotura Rem</i>	<i>N/mm<sup>2</sup></i>	<i>160</i>
<i>Límite elástico Rp 0,2</i>	<i>N/mm<sup>2</sup></i>	<i>110</i>
<i>Alargamiento A5</i>	<i>%</i>	<i>14</i>
<i>Resistencia a la cizalladura</i>	<i>N/mm<sup>2</sup></i>	<i>140</i>
<i>Módulo de elasticidad</i>	<i>N/mm<sup>2</sup></i>	<i>69.000</i>
<i>Dureza Brinell</i>	<i>HB</i>	<i>65</i>

Fuente: Aluminio Normas y Datos.

## 2.8.-TIPOS DE ALEACIONES NORMALIZADAS

Las aleaciones de aluminio forjado se dividen en dos grandes grupos, las que no reciben tratamiento térmico y las que reciben tratamiento térmico.

### 2.8.1-Aleaciones de aluminio forjado sin tratamiento térmico

Las aleaciones que no reciben tratamiento térmico solamente pueden ser trabajadas en frío para aumentar su resistencia. Hay tres grupos principales de estas aleaciones según la norma AISI-SAE que son los siguientes:

- **Aleaciones 1xxx.** Son aleaciones de aluminio técnicamente puro, al 99,9% siendo sus principales impurezas el hierro y el silicio como elemento aleante. Se les aporta un 0,12% de cobre para aumentar su resistencia. Tienen una resistencia aproximada de 90 MPa. Se utilizan principalmente para trabajos de laminados en frío.
- **Aleaciones 3xxx.** El elemento aleante principal de este grupo de aleaciones es el manganeso (Mn) que está presente en un 1,2% y tiene como objetivo reforzar al aluminio. Tienen una resistencia aproximada de 16kpsi (110MPa) en condiciones de recocido. Se utilizan en componentes que exijan buena mecanibilidad.
- **Aleaciones 5xxx.** En este grupo de aleaciones es el magnesio es el principal componente aleante su aporte varía del 2 al 5%. Esta aleación se utiliza para conseguir reforzamiento en solución sólida. Tiene una resistencia aproximada de 28 kpsi (193 MPa) en condiciones de recocido.

### 2.8.2-Aleaciones de aluminio forjado con tratamiento térmico

Algunas aleaciones pueden reforzarse mediante tratamiento térmico en un proceso de precipitación. El nivel de tratamiento térmico de una aleación se representa mediante la letra T seguida de un número por ejemplo T5. Hay tres grupos principales de este tipo de aleaciones.

- **Aleaciones 2xxx:** El principal aleante de este grupo de aleaciones es el cobre (Cu), aunque también contienen magnesio Mg. Estas aleaciones con un tratamiento T6 tiene una resistencia a la tracción aproximada de 64 kpsi (442 MPa) y se utiliza en la fabricación de estructuras de aviones. Algunas de estas aleaciones se denominan duraluminio.

- **Aleaciones 6xxx.** Los principales elementos aleantes de este grupo son magnesio y silicio. Con unas condiciones de tratamiento térmico T6 alcanza una resistencia a la tracción de 42 kpsi (290 MPa) y es utilizada para perfiles y estructuras en general.
- **Aleaciones 7xxx.** Los principales aleantes de este grupo de aleaciones son cinc, magnesio y cobre. Con un tratamiento T6 tiene una resistencia a la tracción aproximada de 73 kpsi (504 MPa) y se utiliza para fabricar estructuras de aviones. Fuente : William Smith

# CAPÍTULO 3

Marco Metodológico

---

## 3.1. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo especial de grado a desarrollarse puede definirse como de tipo *descriptivo y explicativo*.

- *Descriptivo* porque en esta investigación y el análisis de la determinación de la influencia del numero de pasadas en las propiedades metalúrgicas y mecánicas del acero 1010 y aluminio 3003 con soldadura por arco térmico (SMAW )
- *Experimental* ya que el análisis comparativo que se realizó se fundamentó en ensayos mecánicos normalizados y el estudio de muestras de manera experimental.

## 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

A fin de cumplir los objetivos propuestos en el trabajo especial de grado, se ha diseñado la investigación como documental y experimental.

- *Documental:* porque se realizó una revisión amplia de todas las variables a tener en cuenta para la realización de uniones soldadas por los métodos SMAW, en los aceros 1010 y el aluminio 6063 y de los ensayos mecánicos a realizar para obtener las propiedades más importantes que posteriormente serán comparadas entre si.
- *Experimental* ya que se realizó ensayos mecánicos normalizados y los resultados analizados se obtuvo experimentalmente.



### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.

El grupo de los Aceros 1010 y aluminio 6063 representan la población estudiada en este trabajo especial de grado, mientras que la muestra se encuentra constituida por 18 probetas para el estudio metalográfico, probetas para tracción de acero 1010 18 y 18 para el estudio de microdureza. En la tabla.3.1, observe la población.

**Tabla 3.1.** Población y muestra en estudio.

Población	Aceros 1010	Aluminio 6063
Muestra 1	09 Probetas de Dureza	09 Probetas de Dureza
Muestra 2	09 Probetas para metalurgia	09 Probetas para metalurgia
Muestra 3	09 probetas de tracción	09 probetas de tracción

Fuente: Propia

### 3.4. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

A continuación se hace una descripción detallada de los materiales, equipos y herramientas en la realización tanto de las probetas como en la realización de los ensayos.

#### 3.4.1 MATERIALES.

Los materiales utilizados en la realización de las probetas se dividen básicamente en dos grupos: materiales base y materiales de aporte.

### 3.4.1.1 Metal Base.

Este grupo lo conforman las 54 láminas de acero 1010 y las 54 láminas de aluminio 6063, para realizar seis uniones soldadas de cada uno de estos materiales.

### 3.4.1.2 Metal de Aporte.

Este grupo está conformado por un lado por los electrodos a utilizar en la soldadura manual y por el otro por el electrodo y el fundente a utilizar para realizar las muestras con soldadura por arco sumergido. En la tabla 3.2 se muestran las especificaciones de los materiales mencionados.

**Tabla 3.2. Composición química del electrodo para el acero 1010.**

MATERIAL	PROCESO	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
Electrodo E-41413	SMAW	0.12	0.24	0.60	0.01	0.02

Fuente: Anexo3 Catálogos Lincoln.

## 3.4.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

### 3.4.2.1 Equipos a usar en la realización de las Soldaduras.

- Equipo de Soldadura por arco eléctrico manual marca Miller, Rango de intensidad fuente de poder : (0- 600 A)
- Mandarria.
- Esmeril.
- Bases o soportes para colocar las láminas soldadas.

#### ***3.4.2.2 Equipos y herramientas que se usó para realizar las probetas.***

- Cizalla.
- Fresadora.
- Esmeril.
- Limadora.
- Lijas.

#### ***3.4.2.3 Equipos y herramientas que se usó para realizar los ensayos.***

- Microdurómetro E.LEITZ.
- Microscopio óptico.
- Pulidora metalográfica.
- Lijas, alúmina.

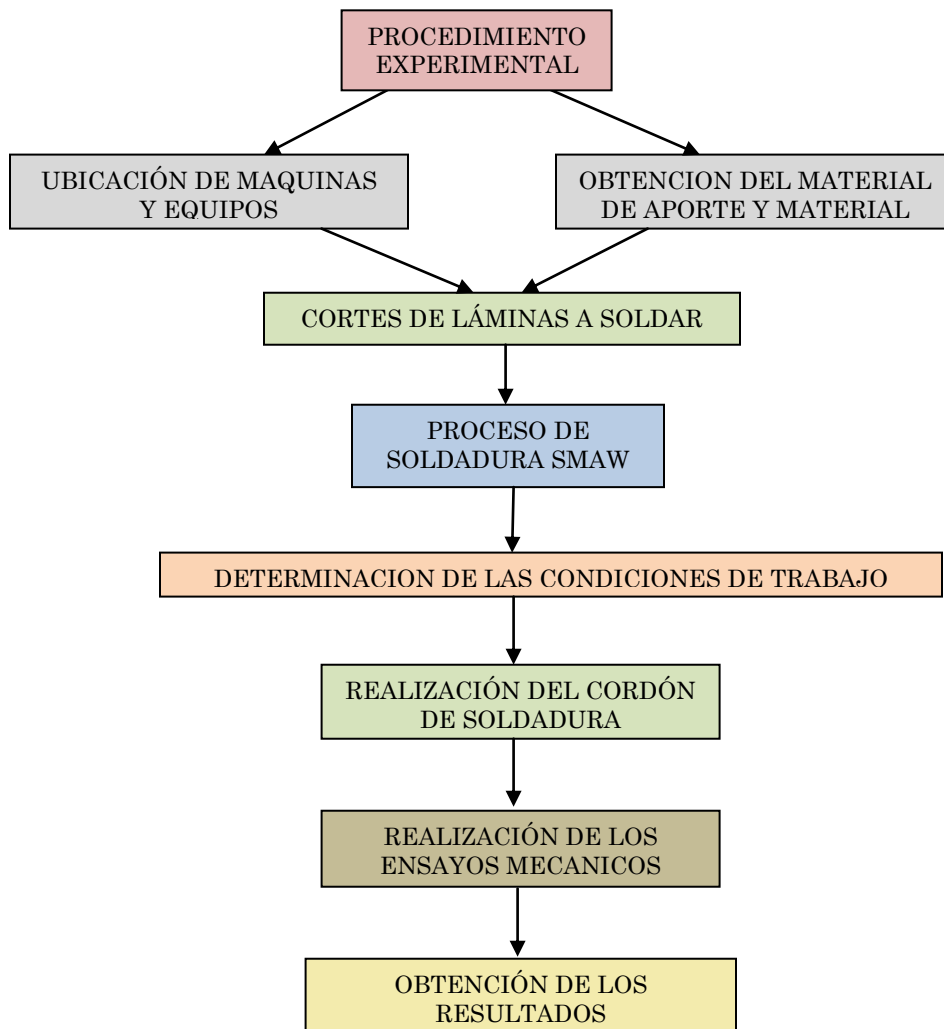
### **3.5. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.**

En esta sección se presentan los pasos a seguir para cumplir con el objetivo fundamental de la investigación, incluyendo los procedimientos para la obtención de las probetas y ensayos necesarios para su posterior análisis. En la fig.3.1, observe el esquema de procedimiento experimental.

#### **3.5.1. Ubicación de máquinas y equipos.**

Luego de fijar el procedimiento experimental a seguir para cumplir los objetivos de este trabajo especial de grado primeramente se procedió a investigar la ubicar cada uno de los equipos necesarios para realizar las muestras que servirán en el estudio comparativo entre soldaduras. Para llevar a cabo esta comparación es fundamental antes de programar las distintas actividades experimentales, conocer la disponibilidad de equipos y maquinarias existentes en la realización de los cordones por los métodos fijados, cortar y mecanizar las probetas y realizar los

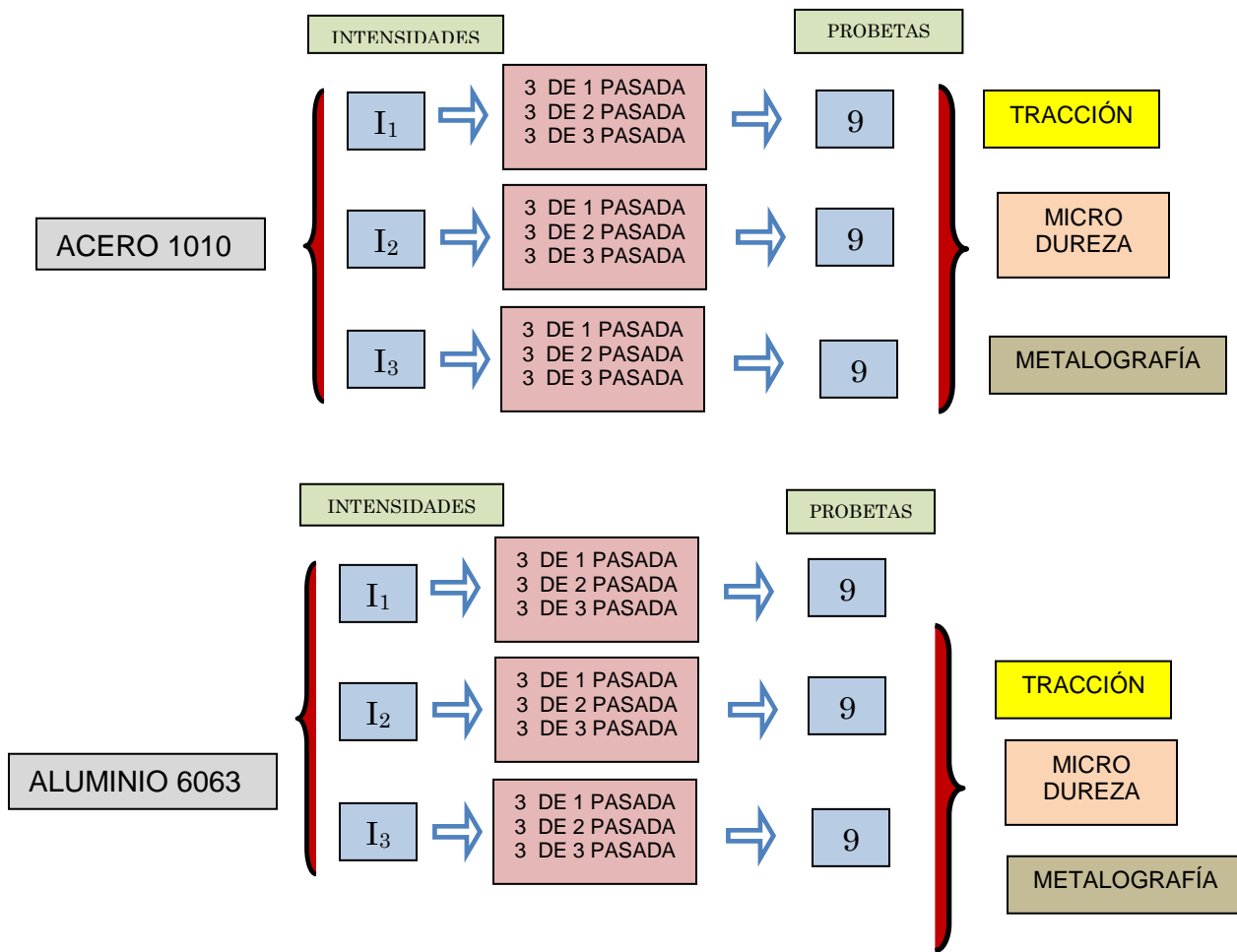
ensayos mecánicos y metalúrgicos, ya que en la medida que la disponibilidad de éstos sea mayor o menor, las investigación tendrá una fluencia adecuada.



**Figura 3.1.** Esquema del procedimiento experimental que se realizó

Fuente: Propia

En la tabla 3.5, se muestra de manera resumida las instalaciones en donde se ubicaron los equipos y maquinarias que se usó, tanto de empresas como de institutos de educación, las cuales se utilizaron en cada una de las fases del proyecto. En la fig.3.1, observe el diagrama de la realización de las probetas.



**Fig. 3.2.** Diagrama de la Realización de los Ensayos experimentales según los parámetros utilizados.

Fuente: Propia

### 3.6. CORTE DE LÁMINAS A SOLDAR.

Inicialmente se necesitan láminas con las siguientes dimensiones mínimas, ver tabla 3.3:

**Tabla 3.3.** Características de las láminas iniciales que se usó

Tipo de Acero	Cantidad de Láminas	Dimensiones Mínimas (mm)
Acero1010	54	150x400x10

Fuente: Propia

**Tabla. 3.4.** Ubicación de los equipos y maquinarias a utilizar.

MAQUINAS O EQUIPOS	UBICACIÓN DE MÁQUINAS O EQUIPOS
Soldadora SMAW	Empresa TRIME C.A.
Cizalla Para Corte en tiras De Láminas	Empresa TRIME C.A.
Equipos Para Realización de Probetas de Tracción	Laboratorio de Procesos* y Hogar Don Bosco
Equipos Para Realización de Probetas para metalografía	Laboratorio de Procesos *
Máquina para ensayos de Tracción.	Laboratorio de Materiales*
Equipo para ensayos de microdureza	Laboratorio de Materiales*
Equipo para análisis de la metalurgia de muestras	Laboratorio de Materiales*

Fuente: Propia

\* Ubicados en la Escuela de Ingeniería mecánica de la Universidad de Carabobo.

### 3.7. PROCESO DE SOLDADURA SMAW.

#### 3.7.1 CONDICIONES DE TRABAJO FIJADAS.

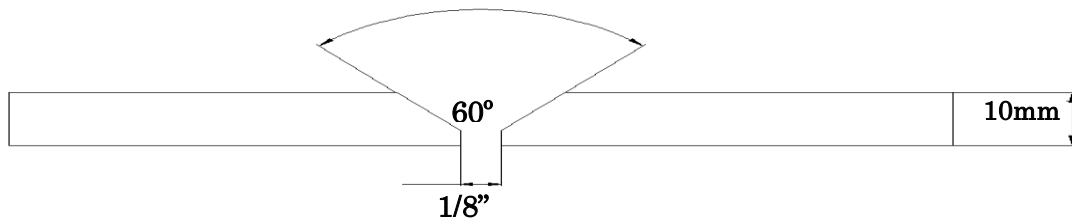
La soldadura a través del proceso de electrodo se realizara tanto en láminas de acero 1010 y láminas de aluminio 6063, para lo cual las láminas fueron soldadas de la siguiente manera:

**Tabla. 3.5. Características Máquina SMAW**

Características Máquina SMAW	
Marca	Miller
Voltaje	(20 a 30 V)
Rango de intensidad fuente de poder.	(0- 600 A)

Fuente: Propia

**3.7.1.1. Unión de las láminas:** las láminas fueron cortadas con un bisel de 30° cada una, y unidas a una luz de 1/8", según normas Covenin 7: 2-001 probeta tipo A-2 como el que se muestra en la figura 3.6.



**Figura 3.3.** Esquema de diseño de juntas soldadas por el método SMAW.

Fuente: Propia

**3.7.1.2. Sujeción de las láminas a la mesa de trabajo:** a fin de que las láminas sufrieran la menor deformación posible, se soldaron soportes a ellas con pequeños puntos de soldadura los cuales evitan su pandeo o combadura, además se soldaron en los extremos pequeñas láminas de acero para que el operador inicie el cordón en éstas y no se dañe la soldadura realizada a lo largo de las láminas que se utilizarán para realizar las probetas.

**3.7.1.3. Intensidades de trabajo:** la intensidad de corriente constituye el parámetro a fijar en este trabajo especial de grado, por lo cual se necesitan obtener láminas soldadas de manera tal de estudiar el comportamiento de las muestras a medida que varía la intensidad. Aunado a esto, según indicaciones del operador calificado, luego de ejecutar algunas pruebas, sugirió como intensidad máxima de trabajo a la cual se podía realizar la soldadura con la máquina disponible: 150 A, y como intensidad mínima: 40A,

**3.7.1.4. El voltaje de Trabajo:** se trabajó con un voltaje entre (26 V).

**3.7.1.5. Electrodo utilizados:** Se utilizó electrodos E-41403 según Catalogo de Linconl para el material.

Al constituir esta investigación un estudio comparativo entre las propiedades mecánicas y la metalurgia de juntas soldadas por los métodos SMAW, las condiciones de operación por el método SMAW, inicialmente se trataran de mantener iguales que para el método SMAW, pero al constituir procesos con características distintas, se procedió a fijar las condiciones con las limitaciones propias de éste proceso.

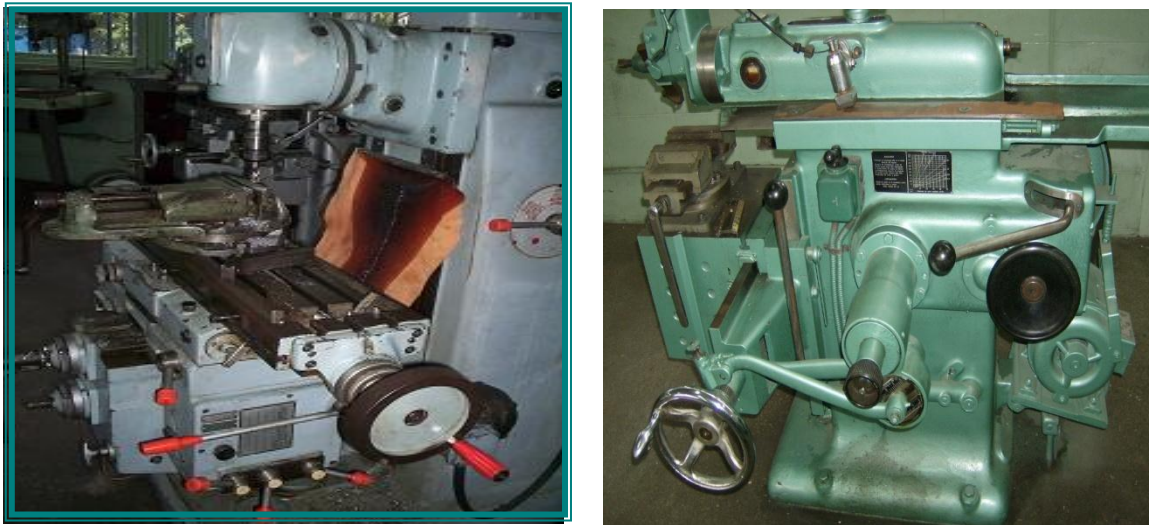


Primeramente se tomaran en cuenta que existirá un patrón de comparación entre ambas intensidades, teniendo en cuenta que son, totalmente distintos desde el punto de vista de su operación, por lo que inicialmente se partirá de las siguientes condiciones:

**3.7.1.6. La soldadura:** en el proceso de electrodo manual se realizó por un solo lado de la lámina así como lo establece las normas de la ASTM para ensayos de tracción con estas características de dimensiones, por lo cual para el proceso de soldadura que se utilizó es arco revestido de una, dos y tres pasada por un solo lado, de manera que la metalurgia de las muestras sean lo más comparables posible.

### **3.8. REALIZACIÓN DE ENSAYOS.**

Existe una variedad de ensayos a través de los cuales se pueden obtener distintas propiedades mecánicas de los materiales, en este caso, de uniones soldadas, estas propiedades permiten la adecuada selección del material para una aplicación determinada, donde se necesitan unir permanentemente piezas, que en conjunto tendrán una función determinada. En la fig.3.5 y 3.6, observe las maquinas donde se obtuvo la probeta.



**Figura 3.4.** (a) Máquina fresadora. (b) Máquina limadora.

**Fuente: Propia**



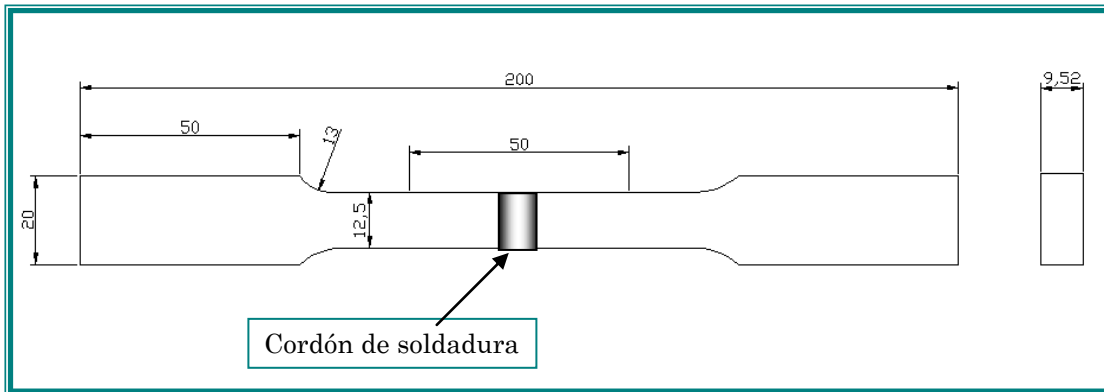
**Figura 3.5.** Máquina cortadora.

**Fuente: Propia**

Para este trabajo especial de grado se han elegido ciertas propiedades que serán posteriormente comparadas, las cuales se obtendrán a través de los siguientes ensayos:

### 3.8.1. ENSAYO DE TRACCIÓN.

Se ensayarán muestras cuya cantidad se especifican más adelante bajo la norma COVENIN 7:2-001, probeta tipo A-2, cuyas dimensiones se muestran a continuación, fig.3.7:



**Figura 3.6.** Probeta de tracción, probeta tipo A-2.

**Fuente:** Norma COVENIN 7:2-001,

El ensayo se realiza aplicando una carga axial sobre la probeta. La fuerza y la elongación son registradas digitalmente por un controlador automatizado, conectado a la máquina de tracción Galdabini de 20 TON. Los datos obtenidos de fuerza y elongación, pueden convertirse a fin de obtener la curva ingenieril de la siguiente manera:

- Se divide la fuerza medida entre el área transversal de la sección original de la probeta, para obtener el esfuerzo.
- Se divide la elongación entre la longitud original de la probeta entre las marcas calibradas, para obtener deformación.

- Con éstos datos se construye la curva *esfuerzo vs deformación* para cada probeta ensayada.

De la gráfica **esfuerzo vs deformación** se obtienen propiedades de interés a evaluar como:

**Esfuerzo de fluencia**, para obtener este esfuerzo por lo general se utiliza el “Método de la deformación permanente especificada” (offset method). Se marca la deformación especificada sobre el eje de la deformación, luego se marca una línea paralela a la zona elástica y se intercepta con la curva esfuerzo vs deformación, el punto de intersección representa el esfuerzo de cedencia o fluencia.

**Esfuerzo de ruptura**, para obtener este esfuerzo se divide la carga de ruptura entre el área transversal calibrada. Esta fuerza de ruptura ocurre una vez que se alcanza el valor de esfuerzo máximo y comienza a disminuir el área transversal, formándose una especie de cuello, a partir del cual con una carga menor a la máxima, el material fractura, este punto se reconoce en la gráfica cuando la curva comienza a hacerse completamente vertical.

**Esfuerzo máximo**, se obtiene al dividir la carga máxima obtenida en el ensayo por el área trasversal calibrada.

Para este tipo de ensayo se somete a prueba 3 muestras por cada intensidad de corriente, para el tipo de proceso usado y para cada material. En la fig.3.8, observe la máquina de tracción Galdabini.

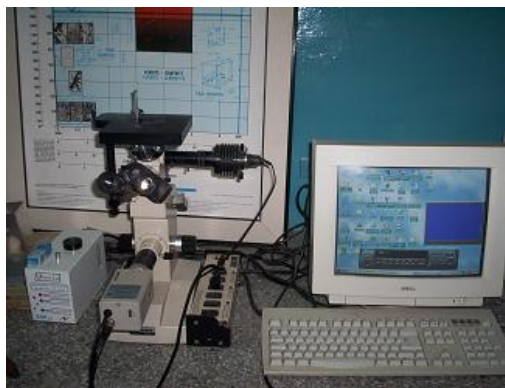


**Figura 3.7.** Máquina de tracción GALDABINI de 20 TON.

**Fuente:** Propia

### **3.8.2. ENSAYOS METALÚRGICOS**

Se cortó 18 muestras en total, a diferentes intensidades tanto para el proceso de soldadura de electrodo manual, en los dos metales a estudiar, cortados en el sentido transversal a la laminación, con una sierra mecánica. Para la preparación de las muestras se procedió a devastar con la máquina lijadora de 180, luego se siguieron preparando empleando secuencia de lijas de 220, 240, 320, 400, 600, 1500, y así se pudo revelar la microestructura del metal base, zona afectada por el calor y cordón de soldadura. En la fig.3.9, observe el analizador de imágenes UC.

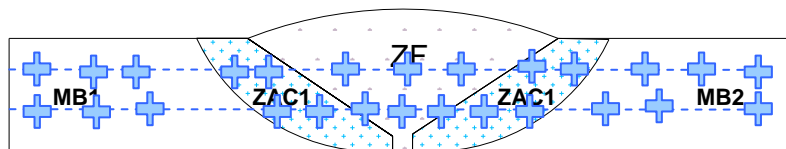


**Figura 3.8.** Máquina de analizador de imágenes.

**Fuente:** Propia

### 3.8.3. ENSAYO DE MICRODUREZA VICKERS.

Para determinar la dureza Vickers del metal base, zona afectada por el calor y cordón de soldadura, se utilizó las mismas probetas para la metalografía, para llevar a cabo en un microdurómetro de huella de base piramidal, ya que para una acero 1010 es necesario una penetración significativa y esta configuración del cual explicaremos mas adelante la marca LEITZ dureza superficial se efectuara sobre las probetas con la preparación metalografía. En la fig.3.10 y 3.11 observe las zonas de las huellas de este ensayo y el microdurometro de Vicker.



**Figura 3.9.** Representación de las zonas en las que se dejó la huella para evaluar la dureza

Fuente: Propia



**Figura 3.10.** Microdurómetro Vickers.

Fuente: Propia

### 3.9. ELABORACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA EPS.

#### 3.8.4 EPS: Especificación del Procedimiento de Soldadura

El EPS, es un documento que relaciona las variables a considerar en la realización de una soldadura específica, determina la ejecución de las pruebas de calificación tanto de proceso y procedimiento como del operario de soldadura.

El EPS involucra todas las variables esenciales (son aquellas en las cuales un cambio, se considera que afecta las propiedades mecánicas de la soldadura y requieren de recalificación), variables suplementarias (son aquellas que por requerimientos de otras secciones del código requieren pruebas de impacto. Cuando se especifica pruebas de impacto un cambio en una variable suplementaria requiere recalificación de EPS) y variables no esenciales (son aquellas en que un cambio no afecta las propiedades mecánicas de la soldadura y por lo tanto se puede hacer sin recalificar el EPS, pero se debe documentar el cambio. Para este Trabajo de Grado se muestra el EPS en la Fig. 3.14.

#### 3.10 ELECTRODO AL<sub>2</sub>SI<sub>5</sub>

##### Clasificación

DIN 1732:	EL-AI Si 5	AWS A5.3:	E4043
✓ Werkstoff-Nr.:	3.2245.		

Se muestra en la tabla 3.2 -3.3 y 3.4 las características del electrodo

## Descripción General

- ✓ Electrodo para soldadura a de aluminio.
- ✓ Especial para soldadura de aleaciones de aluminio forjado y fundido que contengan menos de 5% Si como elemento principal de aleación.
- ✓ Buena soldabilidad, sin porosidad. En la Fig. 3.10 se muestra sus posiciones en que se puede soldar.
- ✓ Aleación de aluminio al 5% de silicio de bajo punto de fusión.
- ✓ Su depósito es libre de poros y fisuras.
- ✓ Su arco es estable y presenta alta velocidad de fusión
- ✓ El contenido de silicio le eleva su resistencia a la tracción, le reduce su temperatura de fusión y le mejora sus características de soldabilidad incrementándole su fluidez. En la tabla 3.5, 3.6 y 3.7. parámetros y propiedades del electrodo.



**ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS) SI**  
**PRECALIFICADO \_\_\_ CALIFICADO POR ENSAYO Varestraint longitudinal**

Nombre de la Empresa Universidad de Carabobo      Revisión      Fecha      Por  
 Proceso(s) de Soldadura SMAW      Autorizado por      Fecha  
 RCP [PQR] de apoyo No. (s) \_\_\_\_\_  
 Tipo - Manual   
 Semi - Automática   
 Automática

---

**DISEÑO DE JUNTA \***  
 Tipo:  
 Soldadura de un solo lado       Soldadura en ambos  
 lados   
 Respaldo: Si  No   
 Material de Respaldo: \_\_\_\_\_

---

Abertura de raíz 0      Dimensión del Talón \_\_\_\_\_  
 Angulo del Bisel 60°      Radio (J-U) NA  
 Repelado de Raíz: Si  No  Método \_\_\_\_\_  
 \* Puede utilizarse un esquema o dibujo de la junta

---

**METALES BASE**  
 Espec. del Material \_\_\_\_\_  
 Tipo o Grado \_\_\_\_\_  
Al 6063  
 Espesor: con bisel en V      de filete \_\_\_\_\_  
 Diámetro (Tubo o Caño): \_\_\_\_\_

---

**METALES DE APORTE**  
 Especificación IRAM( o AWS) E-4043  
 Clasificación IRAM( o AWS) \_\_\_\_\_

---

**PROTECCION**  
 Fundente:      Clasificación: \_\_\_\_\_  
 Gas:      Composición: \_\_\_\_\_  
 Veloc. del Flujo: \_\_\_\_\_  
 Diámetro de la Tobera: \_\_\_\_\_

---

**PRECALENTAMIENTO**  
 Temp. de precalentamiento, Min \_\_\_\_\_  
 Temp. entre pasadas, Min \_\_\_\_\_      Max \_\_\_\_\_

---

**POSICION**  
 Posición del Bisel: Horizontal      Filete \_\_\_\_\_  
 Progresión Vertical: Ascendente  Descendente

---

**CARACTERISTICAS ELECTRICAS**  
 Modo de Transferencia (GMAW)  
 Corto circuito   
 Globular  Spray   
 Comiente: CA  CCEP  CCEN  Pulsante   
 Otro \_\_\_\_\_  
 Electrodo de Tungsteno (GTAW)  
 Tamaño: \_\_\_\_\_  
 Tipo: \_\_\_\_\_

---

**TECNICA**  
 Cordón rectilíneo u oscilante: Rectilíneo  
 Pasada múltiple o Pasada única (por lado) Única  
 Número de Electrodo(s) \_\_\_\_\_  
 Espaciado de Electrodo(s) NA      Longitudinal \_\_\_\_\_  
    Lateral \_\_\_\_\_  
    Angulo \_\_\_\_\_  
 Distancia del tubo de contacto a la pieza NA  
 Limpieza entre pasadas NA

---

**TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A LA SOLDADURA**  
 Temp. \_\_\_\_\_  
 Tiempo \_\_\_\_\_

---

**PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

Pasada o capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Tipo y Polaridad	Comiente Amperes o Velocidad de Alimentación del Alambre	Tensión V	Velocidad de Avance mm/ s	Detalles de la Junta
		Clase	Diámetro					
1	SMAW	E-4043	3/32"	DC+	130-75 A	25	4,43	Sobre lamina de Al 6063

Universidad de Carabobo
Ing. Camelo Jesús Torres

**Fig.3.11. Formato EPS**

Fuente: Propia.



**Fig. 3.12. Posiciones de Soldadura**

Fuente: Catálogo Lincoln Electric.

**Tabla3.6. Parámetros óptimos de soldadura**

Posición de Diámetros (mm)	Intensidad de corriente (A)		
	1F	2F	3G ascendente
2,5	60	60	55
3,2	80	80	75
4,5	110	110	105

Fuente: Catálogo Lincoln Electric.

**Tabla 3.7. Características Mecánicas del electrodo -Al Si 5 AWS A5.3:E4043.**

Condición	Lim. Elast 0,2% (MPa)	R. Tracción (MPa)	Alargamiento (%)
Valores típicos Sin tratamiento	90	160	15

Fuente: Catálogo Lincoln Electric.

**Tabla 3.8.** Composición química (%) del electrodo -Al Si

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Otros
4,7-5,3	0,2 max	0,05 max	0,05 max	0, 05 max.	0, 10 max.	0,10 max	0,15 max

. (Fuente: Catálogo Lincoln Electric.)

### Resecado:

- ✓ Electrodo altamente higroscópico, es importante el uso de electrodos secos.
- ✓ En caso que los electrodos hayan estado expuestos excesivamente a la intemperie, resecar entre 110 a 120°C/2 horas.

### Aplicaciones:

- ✓ Para la soldadura de unión y relleno de Al puro, Al - Si y Al - Si - Mg, con un contenido de silicio
- ✓ Menor al 7%, con o sin adición de cobre, ya sean en estado fundido, laminado o extruido.
- ✓ Permite soldar aleaciones de aluminio disímiles.
- ✓ Ideal para la fabricación y carteras, monoblocks, carcasas de motores eléctricos, cámaras de refrigeración, cabinas, compuertas, moldes para plásticos, tuberías, tanques y muchas otras estructuras de aluminio.
- ✓ Se recomienda precalentar las piezas a soldar a una temperatura entre 150 a 200°C. (**Fuente:** Catálogo Lincoln Electric.) En la tabla.3.10, observe el

resumen de ensayos programados para las muestras de acero 1010 y aluminio 6063.

### 3.11. RESUMEN DE ENSAYOS PROGRAMADOS.

**Tabla 3.9.** Resumen de ensayos programados para muestras de acero AISI 1010 soldado por el método SMAW.

	Ensayos a Realizar	Nº de probetas	Intensidad de la soldadura
SMAW	Tracción	3	I1= 75 A
		3	I2 = 100 A
		3	I3 = 125 A
	Dureza	3	I1= 75 A
		3	I2 = 100 A
		3	I3 = 125 A
	Microscopía	3	I1= 75 A
		3	I2 = 100 A
		3	I3 = 125 A

**Tabla 3.10.** Resumen de ensayos programados para muestras de aluminio 6063 soldados por el método SMAW.

	Ensayos a Realizar	Nº de probetas	Intensidad de la soldadura
SMAW	Microdureza	3	I1= 80 A
		3	I2 = 110 A
		3	I3 = 130 A
	Tracción	3	I1= 80 A
		3	I2 = 110 A
		3	I3 = 130 A
	Microscopía	3	<b>I1= 80 A</b>
		3	I2 = 110 A
		3	I3 = 130 A

Fuente: Propia

### 3.12. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción se realizó con las probetas que fueron soldadas con los electrodos de revestimiento celulósico rutilico y bajo hidrogeno. Además, este ensayo se realizó siguiendo los pasos descritos por la norma ASTM E8M-04:

1. Se calibró el cero (0) de la máquina de ensayo.
2. Se sujetó la probeta en la máquina de ensayo, se ajustaron los soportes o mordazas.
3. Se estableció y registró la velocidad del ensayo, la cual según la norma ASTM E8M-04. De esta manera se fijó en la máquina una velocidad de 1,5 mm/min, que corresponde a una velocidad normal
4. Se obtuvo el comportamiento Esfuerzo-Deformación del ensayo.
5. Se determinó el esfuerzo de fluencia por el método Offset al 0,2% o 2% según las características de la curva.
6. Se calculó la resistencia a la tracción de la probeta como la división entre la máxima fuerza registrada sobre la probeta durante el ensayo y el área original de la sección transversal.
7. Se unieron las partes fracturadas de la probeta y se midió la longitud final entre marcas después del ensayo con una apreciación igual o superior a 0,05mm
8. Se redondearon los resultados obtenidos para esfuerzo de fluencia y resistencia a la tracción a una apreciación de 1Mpa.

9. Se reportaron los resultados obtenidos, mostrando el número de probeta, tiempo de exposición, esfuerzo de fluencia, deformación en el punto de fluencia, esfuerzo máximo.
10. Se calculó y reportó además los valores de deformación ingenieril como la división de la longitud final menos la longitud inicial, entre la longitud inicial entre marcas de la probeta.
11. Se promedió y reportó los resultados obtenidos para cada tipo de revestimiento.

### **3.13. PREPARACIÓN Y EXAMEN METALOGRÁFICO DE LA SUPERFICIE DE LAS MUESTRAS.**

De acuerdo a la norma ASTM E3-01, se especifica que las muestras no deben tener deformaciones, rayas, arranque de material, elementos extraños, aplastamientos, bordes redondeados, y otros defectos.

Para realizar esta preparación se seleccionó probetas soldadas con electrodos con revestimiento celulósico, rutilico y bajo hidrogeno, respectivamente. Luego se obtuvo de ella tres muestras por cada tipo de electrodo utilizado y para cada tipo de acero. Las muestras se cortaron, se lijaron con papeles abrasivos de numeración 120 hasta 600, alternando perpendicularmente el sentido de desbaste para eliminar las rayas anteriores. Se pulieron las muestras con un paño de pulido con alúmina gruesa y luego con alúmina fina.

El procedimiento para realizar el ataque metalográfico fue el descrito en las normas ASTM E407-07 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys:

- La solución de ataque metalográfico, fue el Nital al 2% (2 ml de ácido nítrico y 98 ml de etanol).
- Se encendió la campana de extracción de gases.
- Se expuso la superficie de la muestra en el reactivo por un periodo de tiempo de 5 segundos.
- Se enjuagaron las muestras con abundante agua.
- Se rociaron con etanol sobre las muestras y se secaron con un flujo de aire caliente.
- Luego se observaron las muestras en un microscopio óptico con lentes de aumento de 400X, 200X y 100X, para detallar la microestructura del material, granos y bordes de grano, y la posible formación de precipitados.

### **3.14. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA ENSAYOS DE MICRODUREZA VICKERS.**

En este ensayo se realizaron penetraciones con un indentador piramidal de diamante de base cuadrada y con ángulos de caras de  $136^\circ$ . Se hicieron tres (3) indentaciones en la zona afectada por el calor, tres (3) indentaciones en el cordón de soldadura y tres (3) en el metal base de manera lineal y separada, obteniéndose un total de nueve (9) Indentaciones por cada probeta ensayada, logrando ensayar un total de 3 probetas por cada tipo electrodo utilizado para cada acero en estudio, con una carga de aplicación de 300gf por un tiempo de 5 segundos. Este ensayo se realizó según los pasos de la norma ASTM E92-82:

1. Las muestras se prepararon igual que en un proceso de inspección metalográfica.
2. Se colocaron las muestras en la máquina de microdureza y se realizó la penetración.
3. Se apuntaron los resultados obtenidos para tipo de acero soldado con cada uno de los electrodos utilizados y acero respectivamente.
4. Se promedió a registrar los datos en tablas y se realizó graficas por cada zona de estudio (ZAC, ZF, MB).



# CAPÍTULO 5

## *Conclusiones y Recomendaciones*

---

### 5.1. CONCLUSIONES

- La composición química del material adquirido corresponde con las características del material en estudio Acero 1010 es según el certificado de Equipo de Espectrometría.
- La composición química del material adquirido corresponde con las características del material en estudio Aluminio 6063 es según el certificado de Equipo de Espectrometría
- Las propiedades mecánicas de resistencia a la tracción tanto del acero da 1010 como para el aluminio 6063 se obtuvo satisfactoriamente de los ensayos tracción con la Maquina Gabaldini de 20 TON.
- Las propiedades metalúrgicas para ambos metales en función del número de pasadas en donde se observan la descomposición de la Austenita, el tamaño de los granos, sus estructuras y sus distintas fases sobre el estudio de la soldadura
- El perfil de microdureza del acero 1010 en función del número de pasada es que a medida que el número de pasadas es mayor, disminuye la dureza de las distintas zonas de la soldadura en un 25%, igualmente al ser mayor la intensidad de corriente, menor es la dureza de las zonas de la soldadura.

- Los valores de la dureza para la intensidad de corriente van en crecimiento si se disminuye la intensidad de corriente.
- El perfil de microdureza del aluminio 6063 en función del número de pasada es que a medida que el número de pasadas es mayor, disminuye la dureza de las distintas zonas de la soldadura en un 30%, igualmente al ser mayor la intensidad de corriente, menor es la dureza de las zonas de la soldadura. Los valores de la dureza para la intensidad de corriente van en crecimiento si se disminuye la intensidad de corriente.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- En próximos estudios se debería variar el voltaje durante el proceso de soldeo para determinar cómo influye en la resistencia y la deformación.
- Aplicar la Técnica de Análisis de imágenes para poder determinar el porcentaje de porosidad en la soldadura y la fracción de volumen de los precipitados MgSi, de esta forma se podría conocer como varían los mismos con los parámetros establecidos.
- Para comprobar la calidad de la soldadura debería someterse a una inspección con Rayos X o Gamma y así determinar si no se formaron grietas internas o debajo del cordón, vacíos o inclusiones.

### 5.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Barrás Gloria - Catturini Nino.** Año: (2010). EFECTO DE LA SOLDADURA GMAW-TIPO MIG EN LAS ALEACIONES AA-6063 Y AA-3003 PREVIAMENTE DEFORMADAS EN FRIO. Tesis de grado. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

**J.C. Lippold.** Año: 1982. "Mecanismos de Agrietamiento en Soldaduras de Acero Inoxidable Austenítico"

**Anderson, Tony.** Año:(1998).Técnicas de Soldadura en aluminio: ¿Cómo evitar el agrietamiento de las aleaciones de aluminio?

**Silva Edwin y Padrón Carlos.** Año:(2003). "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y METALOFRÁFICAS EN JUNTAS SOLDADAS CON ARCO DE PLASMA Y SOLDADURA CON ARCO DE TUNGSTENO". Universidad de Carabobo."

**Martínez, J y Ruiz, H.** Año: (1997).EVALUACIÓN EN LA FISURACIÓN EN CALIENTE EN EL METAL BASE SOLDADO EN ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS. UNIVERSIDAD DE CARABOBO, VALENCIA. VENEZUELA.

**Mejías, M y Guzmán, C.** Año:(2005) .INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA. PP 1-18. México.

**Lincoln Electric** Año: (1994). *THE PROCEDURE HANDBOOK OF ARC WELDING*. CLEVELAND: LINCOLN ELECTRIC. ISBN 99949-25-82-2. P 9.1-1–9.1-6

**Weman, Klas** . Año: (2003).*WELDING PROCESSES HANDBOOK*. NUEVA YORK: CRC PRESS LLC. ISBN 0-8493-1773-8 p 30

**Smith William F.** Año: 1999.*FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES* Editorial Mc Graw Hill. Tercera edición. España

**Dr. Ing. José Marías Lasheras Esteban, Prof. José María Sánchez – Marín Pizarro.** *TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES.*

**Kenneth Grant Kinsman** Año: 1993 “ALEACIONES DE ALUMINIO”. CANADÁ N2T.

**Aluminio. Normas y Datos.** Año: (1988).Editada: Asociación de Aluminio.pág 98

**Zuno J, Saavedra M.** Año:(2001).*TRATAMIENTO TERMOMECAÁNICO Y SOLDABILIDAD DE 2.UN ACERO AL CARBONO MICROALIADO CON TI PARA APLICACIONES ESTRUCTURALES.* Jornadas SAM – CONAMET AAS .Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, pp. 33 - 40.

**Bloem Carlos, Salvador María.** Año (2000). *ESTUDIO MICROESTRUCTURAL Y DE 3.RESISTENCIA DE UNIONES SOLDADAS DE LA ALEACIÓN AW7020 POR PROCEDIMIENTO MIG EN FUNCIÓN DE LA PREPARACIÓN DE BORDES.* Revista de metalurgia Madrid 36, pp. 33 – 39. .

**Franco Fernando, Sánchez Hugo,** .Año (2006).*SOLDADURA POR FRICCIÓN AGITACIÓN DE 4.ALEACIONES LIGERAS UNA ALTERNATIVA A NUESTRO ALCANCE.* Suplemento de la revista latinoamericana de metalurgia y materiales 2009, pp. 1369 – 1375

**Páginas WEB visitadas.**

- [www.electrocome.com/al6063.htm](http://www.electrocome.com/al6063.htm)
- [www.worldlingo.com/ma/enwiki/.../6063\\_aluminium](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/.../6063_aluminium)
- [www.furukawa.com.pe](http://www.furukawa.com.pe)
- [www.capalex.co.uk/spanish/6063\\_a\\_alloy\\_sp](http://www.capalex.co.uk/spanish/6063_a_alloy_sp)
- [www.novelis-painted.com/...aluminio/aleaciones/index\\_esp](http://www.novelis-painted.com/...aluminio/aleaciones/index_esp).
- [www.scribd.com](http://www.scribd.com) › Presentations › School Work
- [www.alcoa.com/adip/catalog/pdf](http://www.alcoa.com/adip/catalog/pdf)
- NAIT CoursePack 1090: Soldadura para aprendices. Primer año. 1997
- <http://www.scribd.com/doc/6164030/Defectología-de-la-SoldaduraGrupoinfra.com/.../06aluminio/aluminio>
- Web: [www.worldlingo.com/ma/enwiki/.../6063\\_aluminium](http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/.../6063_aluminium).

**M.Romero Schmidtke .MICROSCOPIO SIMPLE.**

Página web: [http://enciclopedia.us.es/index.php/Microscopio\\_simple](http://enciclopedia.us.es/index.php/Microscopio_simple).

**Lenntech. WATER TREATMENT SOLUTIONS.**

Página web: [www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm](http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm).

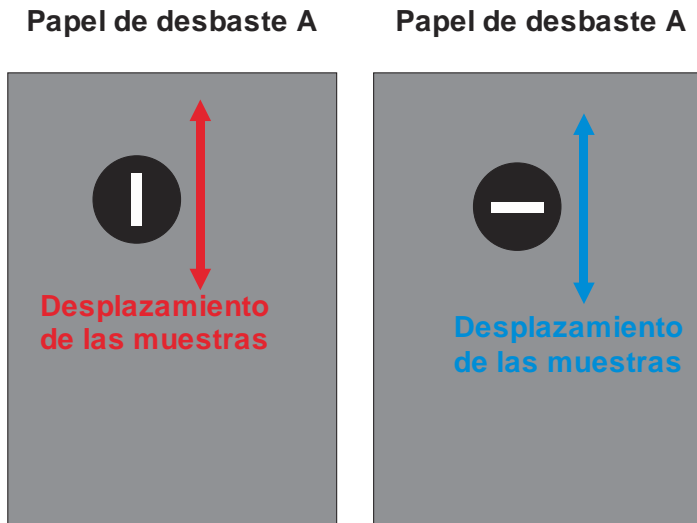
# ANEXOS.

## Anexo N° 1. Norma ASTM-E8M, en inglés.

Dimensiones en mm				
Nominal Width		Standard Specimens		Subsize Specimen 6 mm
		Plate-Type 40 mm	Sheet-Type 12.5 mm	
<b>G</b>	Gage length	200.0 + 0.2	50.0 + 0.1	25.0 + 0.1
<b>W</b>	Width	40.0 + 2.0	12.5 + 0.2	6.0 + 0.1
<b>T</b>	Thickness		Thickness of material	
<b>R</b>	Radius of fillet, min	25	12.5	6
<b>L</b>	Overall length	450	200	100
<b>A</b>	Length of reduced section, min	2252	57	32
<b>B</b>	Length of grip section, min	75	50	30
<b>C</b>	Width of grip section approximate	50	20	10

Fuente: Google.com

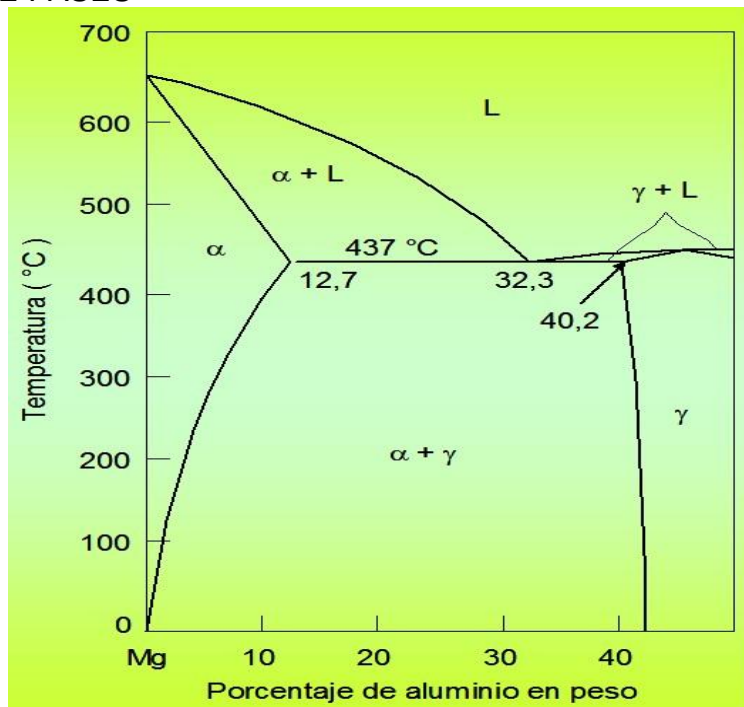
Anexo N° 2



Se gira(n) la(s) muestra(s)  
en 90°

Anexo N° 2.1

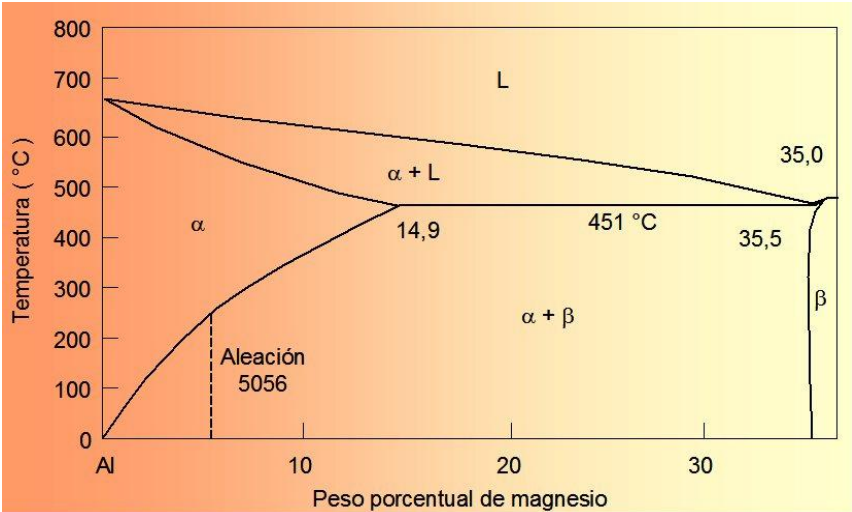
DIAGRAMA DE FASES



Fuente: [www.upv.es](http://www.upv.es)

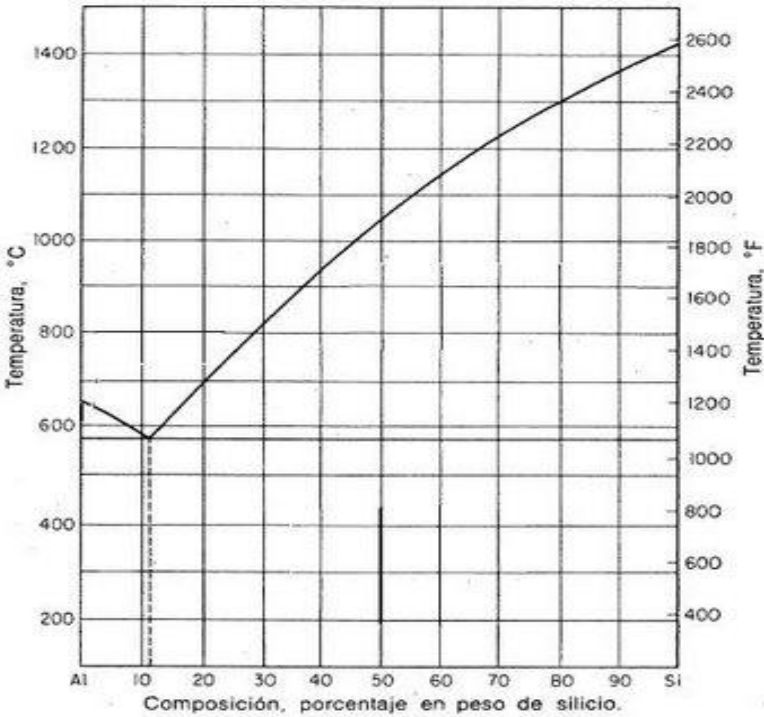


Anexo N° 2.2



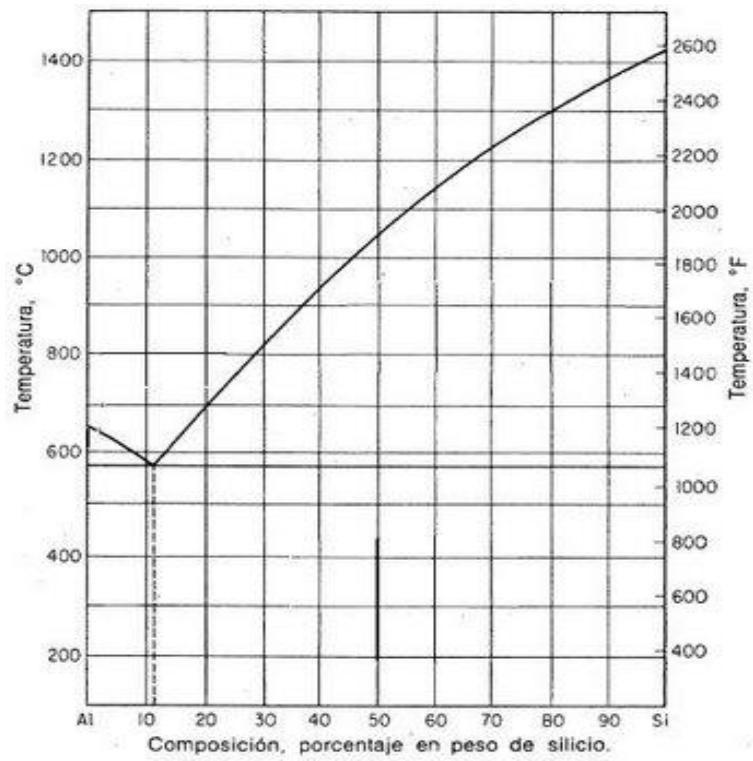
Fuente: www.upv.es

Anexo N° 3



Fuente: www.upv.es

138 Determinación de la influencia del número de pasadas en la metalurgia y la micro dureza de los materiales aluminio 6063 y acero al carbono 1010 con soldaduras por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido(SMAW)



Fuente: [www.upv.es](http://www.upv.es)

## Anexo N° 4

## CATALOGO DE ELECTRODOS DE LA LINCOLN ELECTRIC

## ALUMINIO Y ALEACIONES

**GRILUMIN 14**

## NORMA

AWS/ASME:

SFA- 5.3

## CLASIFICACIÓN

E 4043

POSICIONES:

Plana, horizontal y vertical ascendente

CORRIENTE:

Continua, Polo Positivo (+)

**DESCRIPCIÓN:** Electrodo de aluminio con revestimiento especialmente diseñado para permitir la soldadura con arco eléctrico o con llama oxiacetilénica. Los elementos activos del revestimiento, aportan las sustancias necesarias para prescindir de fundentes adicionales. Con arco eléctrico sus depósitos son densos, sin poros y de excelente aspecto. Su arco presenta transferencia en gotas finas con chisporroteo casi nulo.

**APLICACIONES:** Soldadura de aleaciones aluminio-silicio, de uso general en aleaciones que contengan menos de 5% Mg y menos de 2% Cu. Para soldar aluminio de los tipos Al puro, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si y Al-Zn entre sí y combinaciones. Construcción de tanques, estructuras, recipientes y tuberías con presión interna para usos de la industria de alimentos y de productos químicos. Construcciones marinas en general, fabricación de lanchas. Útil en la reparación de fundición de aluminio, cuerpos y componentes de bombas, carcasas de motores eléctricos, carcasas de cajas de transmisión, bloques de motores y pistones.

**OPERACIÓN:** Limpie completamente la junta o superficie a soldar. Se recomienda no ahogar el electrodo en el charco del metal y usar amperajes bajos. En materiales base hasta 3 mm no es necesario precalentar, a partir de 5 mm se requiere precalentar a 250°C. En soldadura oxiacetilénica úsese llama ligeramente carburante (exceso de acetileno).

**VALORES TÍPICOS:**

Composición química:

Al: 95,0%

Si: 5,0%

Resistencia a la tracción:

(100 - 160) N/mm<sup>2</sup>

(14 - 23) ksi

Alargamiento (L= 5d):

(15 - 25)%

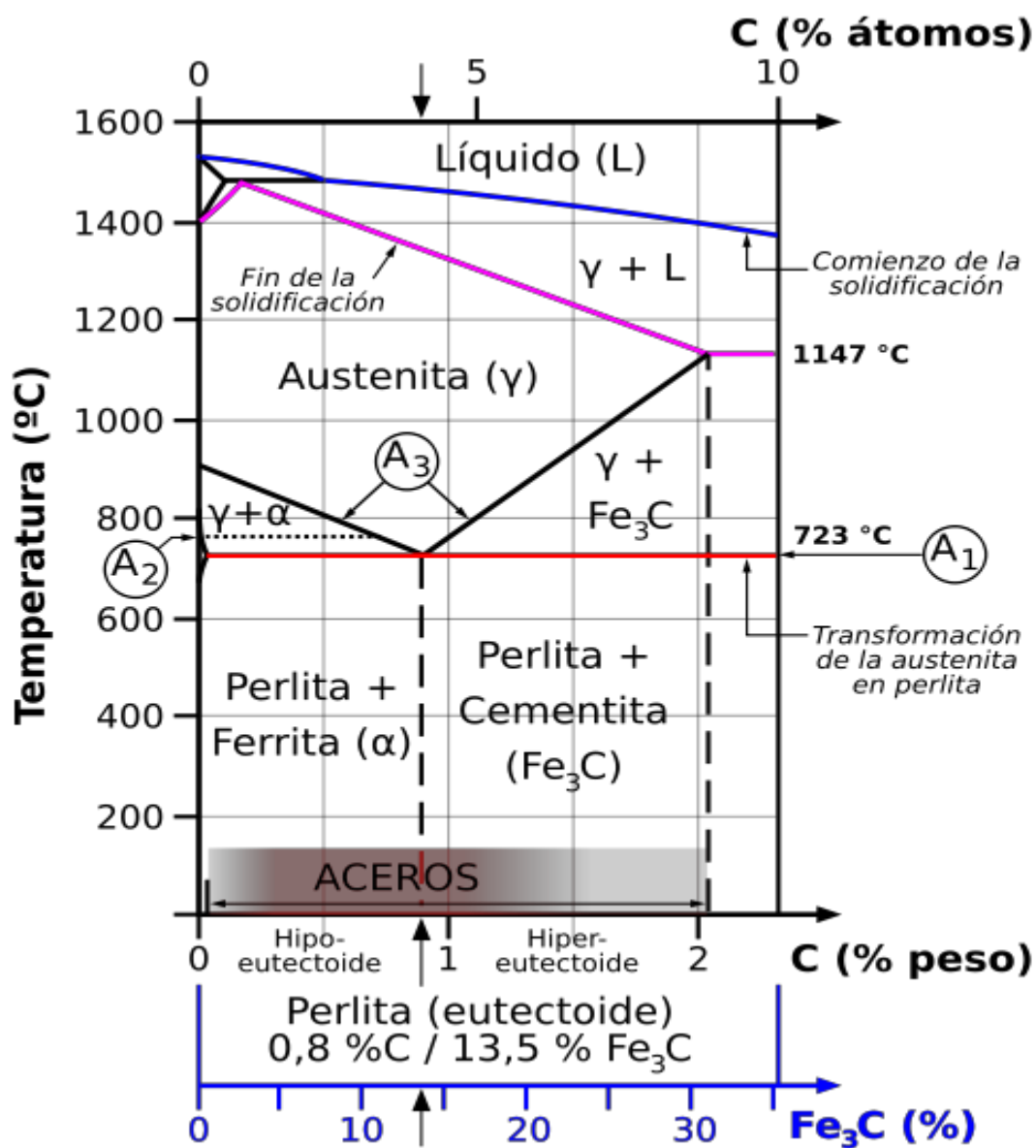
Fuente: LINCOLN ELECTRIC

**ANEXO Nº 5**



Fuente: Propia

ANEXO Nº 6



Fuente: Google.com

### Anexo N° 7

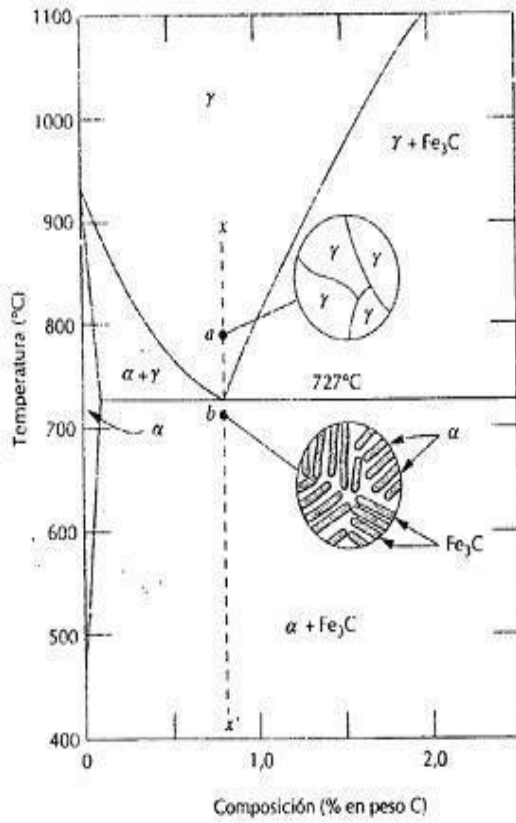


Figura 4.2. Representación esquemática de la microestructura de un acero eutectoide (0.77%)

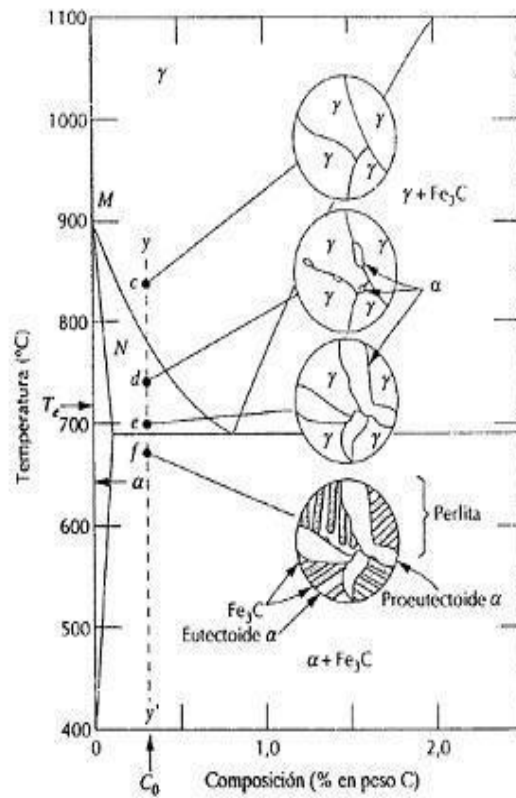
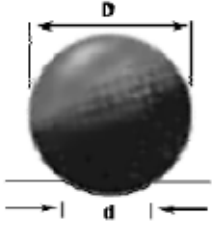
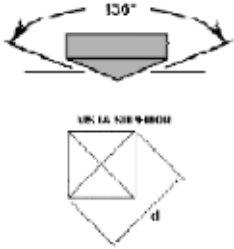
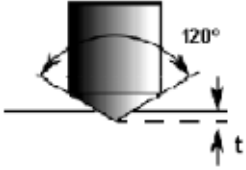
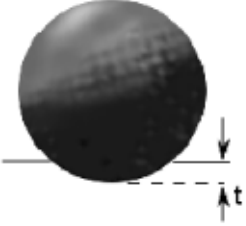


Figura 4.4. Representación esquemática de las microestructuras de un acero hipoeutectoide

Fuente: Google.com

**ANEXO N°8**

<p><b>Ensayo BRINELL.</b></p> <p>Indentador: Esfera de 10mm de acero o carburo de tungsteno.</p> <p>Carga = P</p> $\frac{2P}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$	
<p><b>Ensayo VICKERS</b></p> <p>Indentador: Pirámide de diamante</p> <p>Carga = P</p> $HV = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2}$	
<p><b>Ensayo ROCKWELL A, C, D</b></p> <p>Indentador: Cono de diamante (<math>H_{RA}</math>, <math>H_{RC}</math>, <math>H_{RD}</math>)</p> <p>Carga:</p> <p><math>P_A = 60 \text{ Kg}</math>  <math>P_C = 150 \text{ Kg}</math>  <math>P_D = 100 \text{ Kg}</math></p> <p>Formula: <math>H_{RA}, H_{RC}, H_{RD} = 100 - 500t</math></p>	
<p><b>Ensayo ROCKWELL B, F, G, E</b></p> <p>Indentador: Esfera de acero <math>f = 1/16 \text{ ''}</math> (<math>H_{RB}</math>, <math>H_{RF}</math>, <math>H_{RG}</math>)</p> <p>Esfera de acero <math>f = 1/8 \text{ ''}</math> (<math>H_{RE}</math>)</p> <p>Carga:</p> <p><math>P_B = 100 \text{ Kg}</math>  <math>P_F = 60 \text{ Kg}</math>  <math>P_G = 150 \text{ Kg}</math>  <math>P_E = 100 \text{ Kg}</math></p> <p>Formula: <math>H_{RB}, H_{RF}, H_{RG}, H_{RE} = 130 - 500t</math></p>	

Fuente: Tecnología de los materiales

Anexo N° 9. Composición Química de la Serie 6000 Al

AA DESIGNATION	SILICON	IRON	COPPER	MANGANESE	MAGNESIUM	CHROMIUM	NICKEL	ZINC	TITANIUM	OTHERS <sup>②</sup>		ALUMINIUM Min. <sup>③</sup>
										Each <sup>②</sup>	Total <sup>③</sup>	
										6003 <sup>⑦</sup>	0.35-1.0	
6005	0.6-0.9	0.35	0.10	0.10	0.40-0.6	0.10	..	0.10	0.10	0.05	0.15	Remainder
6053	⑩	0.35	0.10	..	1.1-1.4	0.15-0.35	..	0.10	..	0.05	0.15	Remainder
6061	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35	..	0.25	0.15	0.05	0.15	Remainder
6063	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	..	0.10	0.10	0.05	0.15	Remainder
6066	0.9-1.8	0.50	0.7-1.2	0.6-1.1	0.8-1.4	0.40	..	0.25	0.20	0.05	0.15	Remainder
6070	1.0-1.7	0.50	0.15-0.40	0.40-1.0	0.50-1.2	0.10	..	0.25	0.15	0.05	0.15	Remainder
6101 <sup>⑪</sup>	0.30-0.7	0.50	0.10	0.03	0.35-0.8	0.03	..	0.10	0.10	0.03 <sup>⑫</sup>	0.10	Remainder
6105	0.6-1.0	0.35	0.10	0.10	0.45-0.8	0.10	..	0.10	0.10	0.05	0.15	Remainder
6151	0.6-1.2	1.0	0.35	0.20	0.45-0.8	0.15-0.35	..	0.25	0.15	0.05	0.15	Remainder
6162	0.40-0.8	0.50	0.20	0.10	0.7-1.1	0.10	..	0.25	0.10	0.05	0.15	Remainder
6201	0.50-0.9	0.50	0.10	0.03	0.6-0.9	0.03	..	0.10	..	0.03 <sup>⑬</sup>	0.10	Remainder
6253 <sup>⑭</sup>	⑮	0.50	0.10	..	1.0-1.5	0.04-0.35	..	1.6-2.4	..	0.05	0.15	Remainder
6262	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.14	..	0.25	0.15	0.05 <sup>⑯</sup>	0.15	Remainder
6351	0.7-1.3	0.50	0.10	0.40-0.8	0.40-0.8	..	..	0.20	0.20	0.05	0.15	Remainder
6463	0.20-0.6	0.15	0.20	0.05	0.45-0.9	..	..	0.05	..	0.05	0.15	Remainder
6951	0.20-0.50	0.8	0.15-0.40	0.10	0.40-0.8	..	..	0.20	..	0.05	0.15	Remainder
7005	0.35	0.40	0.10	0.20-0.7	1.0-1.8	0.06-0.20	..	4.0-5.0	0.01-0.06	0.05 <sup>⑰</sup>	0.15	Remainder
7008 <sup>⑱</sup>	0.10	0.10	0.05	0.05	0.7-1.4	0.12-0.25	..	4.5-5.5	0.05	0.05	0.10	Remainder
7049	0.25	0.35	1.2-1.9	0.20	2.0-2.9	0.10-0.22	..	7.2-8.2	0.10	0.05	0.15	Remainder
7050	0.12	0.15	2.0-2.6	0.10	1.9-2.6	0.04	..	5.7-6.7	0.06	0.05 <sup>⑲</sup>	0.15	Remainder
7072 <sup>⑳</sup>	0.7 Si + Fe	..	0.10	0.10	0.10	..	..	0.8-1.3	..	0.05	0.15	Remainder
7075	0.40	0.50	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28	..	5.1-6.1	0.20	0.05	0.15	Remainder
7108 <sup>㉑</sup>	0.10	0.10	0.05	0.05	0.7-1.4	..	..	4.5-5.5	0.05	0.05 <sup>㉒</sup>	0.15	Remainder
7178	0.40	0.50	1.6-2.4	0.30	2.4-3.1	0.18-0.28	..	6.3-7.3	0.20	0.05	0.15	Remainder
8017	0.10	0.55-0.8	0.10-0.20	..	0.01-0.05	..	..	0.05	..	0.03 <sup>㉓</sup>	0.10	Remainder
8030	0.10	0.30-0.8	0.15-0.30	..	0.05	..	..	0.05	..	0.03 <sup>㉔</sup>	0.10	Remainder
8176	0.03-0.15	0.40-1.0	..	..	..	..	..	0.10	..	0.05 <sup>㉕</sup>	0.15	Remainder
8177	0.10	0.25-0.45	0.04	..	0.04-0.12	..	..	0.05	..	0.03 <sup>㉖</sup>	0.10	Remainder

Note: Listed herein are designations and chemical composition limits for some wrought unalloyed aluminum and for wrought aluminum alloys registered with the Aluminum Association. This list does not include all alloys registered with the Aluminum Association. A complete list of registered designations is contained in the "Registration Record of International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys." These lists are maintained by the Technical Committee on Product Standards of the Aluminum Association.

① Composition in percent by weight maximum unless shown as a range or a minimum.

② Except for "aluminum" and "others," analysis normally is made for elements for which specific limits are shown. For purposes of determining conformance to these limits, an observed value or a calculated value obtained from analysis is rounded off to the nearest unit in the last right-hand place of figures used in expressing the specified limit, in accordance with ASTM Recommended Practice E 29.

③ The sum of those "others" metallic elements 0.010 percent or more each, expressed to the second decimal before determining the sum.

④ The aluminum content for unalloyed aluminum not made by a refining process is the difference between 100.00 percent and the sum of all other metallic elements present in amounts of 0.010 percent or more each, expressed to the second decimal before determining the sum.

⑤ Also contains 0.40-0.7 percent each of lead and bismuth.

⑥ Electric conductor. Formerly designated EC.

⑦ Cladding alloy. See Table 6.1.

⑧ Foil.

⑨ Vanadium 0.05 percent maximum.

⑩ Also contains 0.20-0.6 percent each of lead and bismuth.

⑪ Brazing alloy.

⑫ Bus conductor.

⑬ Vanadium plus titanium 0.02 percent maximum; boron 0.05 percent maximum; gallium 0.03 percent maximum.

⑭ Zirconium 0.08-0.20

⑮ Silicon 45 to 65 percent of actual magnesium content.

⑯ Beryllium 0.0008 maximum for welding electrode and welding rod or

⑰ Boron 0.06 percent maximum.

⑱ Vanadium 0.05-0.15; zirconium 0.10-0.25.

⑲ Gallium 0.03 percent maximum; vanadium 0.05 percent maximum.

⑳ In addition to those alloys referencing footnote ⑱, a 0.0008 weight percent maximum beryllium is applicable to any alloy to be used as weld electrode or welding rod.

㉑ Zirconium 0.08-0.15.

㉒ Zirconium 0.12-0.25.

㉓ Boron 0.04 percent maximum; lithium 0.003 percent maximum.

㉔ Boron 0.001-0.04

㉕ Gallium 0.03 percent maximum.

㉖ Boron 0.04 percent maximum.

㉗ Includes listed elements for which no specific limit is shown.

Fuente: Laboratorio ALUCASA