

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

---

**Tema:** “ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL AMPERAJE AL REALIZAR SOLDADURAS A TOPE MEDIANTE PROCESO GMAW APLICADO A LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116 Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR”

---

Trabajo de Investigación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Diseño Mecánico

**Autor:** Ing. Fredy Estuardo Hidalgo Ortiz

**Director:** Ing. Mg. Raúl Ernesto Cabrera Funes

Ambato – Ecuador

2014

## **Al Consejo de Posgrado de la Universidad Técnica de Ambato**

El tribunal receptor de la defensa del trabajo de investigación con el tema: “ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL AMPERAJE AL REALIZAR SOLDADURAS A TOPE MEDIANTE PROCESO GMAW APLICADO A LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116 Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR”, presentado por: Ing. Fredy Estuardo Hidalgo Ortiz y conformado por: la Ing. Mg. Martha Sevilla Abarca, el Ing. Mg. Pablo Valle Velasco y el Ing. Mg. Juan Correa Jácome, Miembros del Tribunal, Ing. Mg. Raúl Cabrera Funes, Director del trabajo de investigación y presidido por: Ing. Mg. Edisson Viera Alulema Presidente del Tribunal; Ing. Mg. Juan Garcés Chávez Director de Posgrado, una vez escuchada la defensa oral el Tribunal aprueba y remite el trabajo de investigación para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

-----  
Ing. Mg. Edisson Viera Alulema  
Presidente del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Mg. Juan Garcés Chávez  
DIRECTOR DE POSGRADO

-----  
Ing. Mg. Raúl Cabrera Funes  
Director de Trabajo de investigación

-----  
Ing. Mg. Martha Sevilla Abarca  
Miembro del Tribunal

-----  
Ing. Mg. Pablo Valle Velasco  
Miembro del Tribunal

-----  
Ing. Mg. Juan Correa Jácome  
Miembro del Tribunal

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema “ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL AMPERAJE AL REALIZAR SOLDADURAS A TOPE MEDIANTE PROCESO GMAW APLICADO A LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116 Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR”, nos corresponde exclusivamente al Ing. Fredy Estuardo Hidalgo Ortiz y al Ing. Mg. Raúl Ernesto Cabrera Funes Director del Trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Fredy Estuardo Hidalgo Ortiz  
AUTOR

-----  
Ing. Mg. Raúl Ernesto Cabrera F.  
DIRECTOR

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

-----  
Ing. Fredy Estuardo Hidalgo Ortiz  
C.I. 1802931301

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo investigativo a mi querida esposa YADIRA y a mis adorados hijos DANIEL y ANDRÉS, quienes en todo momento estuvieron apoyándome incondicionalmente para lograr alcanzar este objetivo.

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS, por estar siempre a mi lado llenándome de salud, alegría e inspiración, para lograr terminar con éxito esta trabajo investigativo.

De una manera especial también a todas las autoridades y cuerpo docente de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, quienes hicieron posible la realización de este programa de maestría, y a su vez marcaron el camino para lograr terminarlo con éxito.

A mi director de tesis Ing. Mg. Raúl Cabrera, quien de una manera desinteresada guió con su experiencia y conocimiento el desarrollo del presente trabajo investigativo.

# ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

## PÁGINAS PRELIMINARES

Portada	i
Al Consejo de Posgrado de la Universidad Técnica de Ambato	ii
Autoría de la Investigación	iii
Derechos del Autor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice general de contenidos	vii
Índice de figuras	xvi
Índice de tablas	xxi
Resumen Ejecutivo	xxiii
Abstract	xxiv
Introducción	xxv

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.- Tema de Investigación	1
1.2.- Planteamiento del Problema	1
1.2.1.- Contextualización	1
1.2.2.- Análisis Crítico	4
1.2.3.- Prognosis	5
1.2.4.- Formulación del Problema	5
1.2.5.- Preguntas Directrices	5
1.2.6.- Delimitación	6
1.2.6.1.- De Contenido	6
1.2.6.2.- De Espacio	6
1.2.6.3.- De Tiempo	6
1.3.- Justificación	6
1.4.- Objetivos	7

1.4.1.- General	7
1.4.2.- Específicos	7

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.- Antecedentes de la Investigación	9
2.1.1.- Antecedentes	9
2.1.2.- Términos Básicos	10
2.1.3.- Fundamento Teórico	11
2.1.3.1.- Aluminio	11
2.1.3.2.- Aleaciones de Aluminio	12
2.1.3.3.- Aleaciones de Aluminio No Tratables Térmicamente	14
2.1.3.4.- Composición del Pozo de Soldadura en Aleaciones de Aluminio	19
2.1.3.5.- Influencia de la Temperatura en las Aleaciones de Aluminio	20
2.1.3.6.- Influencia de los Procesos de Fabricación en las Propiedades de las Aleaciones de Aluminio	20
2.1.3.7.- Soldabilidad de las Aleaciones de Aluminio	23
2.1.3.8.- Soldadura de Aleaciones de Aluminio	26
2.1.3.9.- Proceso de Soldadura GMAW	26
2.1.3.10.- Tipos de Juntas	37
2.1.3.11.- Tipos de Soldaduras	38
2.1.3.12.- Selección de la Aleación de Relleno	40
2.1.3.13.- Propiedades de la Soldadura	43
2.1.3.14.- Caracterización Interna que Requieren Procedimientos Destructivos	46
2.2.- Fundamentación Filosófica	56
2.3.- Categorías Fundamentales	57
2.4.- Hipótesis	57
2.5.- Señalamiento de Variables de la Hipótesis	58
2.5.1.- Variable Independiente	58
2.5.2.- Variable Dependiente	58



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3.1.- Enfoque	59
3.2.- Modalidad Básica de la Investigación	59
3.3.- Nivel o Tipo de Investigación	59
3.4.- Población y Muestra	59
3.4.1.- La Población	59
3.4.2.- Muestra	61
3.5.- Operacionalización de Variables	62
3.6.- Recolección de Información	64
3.7.- Procesamiento y Análisis	65
3.7.1.- Plan de Procesamiento de Información	65
3.7.2.- Análisis e Interpretación de Resultados	66

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1.- Proceso de Análisis de Resultados	67
4.2.- Presentación de Resultados	69
4.2.1.- Especificaciones del Alambre de Relleno ER5356	69
4.2.2.- Especificaciones de la Aleación de Aluminio 5086 H-116	70
4.2.2.1.- Ensayo a Tracción de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Sin Soldadura	71
4.2.2.2.- Ensayo de Dureza para la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Sin Soldadura	74
4.2.2.3.- Ensayo Metalográfico para la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Sin Soldadura	75
4.2.3.- Estudio de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 140 Amp.	77
4.2.3.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 140 Amp.	77
4.2.3.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 140 Amp.	79

4.2.3.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 140 Amp.	80
4.2.4.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 131 Amp.	82
4.2.4.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 131 Amp.	82
4.2.4.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 131 Amp.	84
4.2.4.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 131 Amp.	85
4.2.5.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 133 Amp.	87
4.2.5.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 133 Amp.	87
4.2.5.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 133 Amp.	89
4.2.5.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 133 Amp.	90
4.2.6.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 136 Amp.	92
4.2.6.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 136 Amp.	92
4.2.6.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 136 Amp.	94
4.2.6.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 136 Amp.	95
4.2.7.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 142 Amp.	97
4.2.7.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 142 Amp.	97
4.2.7.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 142 Amp.	99

4.2.7.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 142 Amp.	100
4.2.8.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 145 Amp.	102
4.2.8.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 145 Amp.	102
4.2.8.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 145 Amp.	104
4.2.8.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 145 Amp.	105
4.2.9.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 147 Amp.	107
4.2.9.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 147 Amp.	107
4.2.9.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 147 Amp.	109
4.2.9.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 147 Amp.	110
4.2.10.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 148 Amp.	112
4.2.10.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 148 Amp.	112
4.2.10.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 148 Amp.	115
4.2.10.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 148 Amp.	116
4.2.11.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 149 Amp.	118
4.2.11.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 149 Amp.	118
4.2.11.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 149 Amp.	120

4.2.11.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 149 Amp.	121
4.2.12.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 150 Amp.	123
4.2.12.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 150 Amp.	123
4.2.12.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 150 Amp.	125
4.2.12.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 150 Amp.	126
4.2.13.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 152 Amp.	128
4.2.13.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 152 Amp.	128
4.2.13.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 152 Amp.	130
4.2.13.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 152 Amp.	131
4.2.14.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 154 Amp.	133
4.2.14.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 154 Amp.	133
4.2.14.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 154 Amp.	135
4.2.14.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 154 Amp.	136
4.2.15.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 156 Amp.	138
4.2.15.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 156 Amp.	138
4.2.15.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 156 Amp.	140

4.2.15.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 156 Amp.	141
4.2.16.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 160 Amp.	143
4.2.16.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 160 Amp.	143
4.2.16.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 160 Amp.	145
4.2.16.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 160 Amp.	146
4.2.17.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 165 Amp.	148
4.2.17.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 165 Amp.	148
4.2.17.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 165 Amp.	150
4.2.17.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 165 Amp.	151
4.2.18.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje De 170 Amp.	153
4.2.18.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 170 Amp.	153
4.2.18.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 170 Amp.	155
4.2.18.3. Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 170 Amp.	156
4.2.19.- Análisis de la Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116 Ejecutada con un Amperaje de 175 Amp.	158
4.2.19.1.- Ensayo a Tracción para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 175 Amp.	158
4.2.19.2.- Ensayo de Dureza para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 175 Amp.	160

4.2.19.3.- Ensayo Metalográfico para la Soldadura de Aleación de Aluminio 5086 H-116 ejecutada con un Amperaje de 175 Amp	161
4.3.- Interpretación de Resultados	163
4.3.1.- Interpretación de los Resultados Obtenidos en el Ensayo de Tracción	163
4.3.2.- Interpretación de los Resultados Obtenidos en el Ensayo de Dureza	169
4.3.3.- Interpretación de los Resultados Obtenidos en el Ensayo de Metalografía	173
4.3.3.1.- Interpretación de Resultados Metalográficos Cordón de Soldadura	173
4.3.3.2.- Interpretación de Resultados Metalográficos en la Zona Afectada por el calor ZAC a 12mm. del centro del cordón de soldadura	176
4.3.3.3.- Interpretación de Resultados Metalográficos en el metal base a 30mm. del centro del cordón de soldadura	178
4.3.3.4.- Interpretación de Resultados Metalográficos referentes al tamaño promedio de precipitados de Mg <sub>2</sub> Si	180
4.4.- Verificación de la Hipótesis	182

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.- Conclusiones	185
5.2 .-Recomendaciones	188

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

6.1.- Datos Informativos	190
6.2.- Antecedentes de la Propuesta	191
6.3.- Justificativo	191
6.4.- Objetivos	192
6.4.1.- General	192
6.4.2.- Específicos	192

6.5.- Análisis de Factibilidad	193
6.6.- Fundamentación	193
6.6.1.- Cálculo del Aporte Térmico Suministrado a la Soldadura	193
6.6.2.- Cálculo de la Composición del Pozo de Soldadura	194
6.6.2.1.- Cálculo del porcentaje de dilución	194
6.6.2.2.- Cálculo del porcentaje de magnesio residual	195
6.6.3.- Cálculos del Ensayo de Tracción	195
6.6.3.1.- Cálculo del Esfuerzo Último a Tracción Sut	196
6.6.3.2.- Cálculo del Esfuerzo a Cedencia Sy	196
6.6.3.3.- Cálculo del Porcentaje de Elongación % Elong.	197
6.6.3.4.- Cálculo del Porcentaje de Reducción de Área % RA	197
6.6.3.5.- Cálculo del Módulo de Elasticidad E	198
6.6.4.- Cálculos del Ensayo de Dureza	199
6.6.4.1.- Determinación de fuerza a aplicar	199
6.6.4.2.- Cálculo de la dureza Brinell	200
6.6.5.- Cálculos del Ensayo Metalográfico	200
6.6.5.1.- Determinación de porcentajes de Micro constituyentes	200
6.7.- Metodología	205
6.7.1.- Soldadura de la Aleación de Aluminio 5086 H-116	205
6.7.2.- Procedimiento para Efectuar el Ensayo de Tracción	211
6.7.3.- Procedimiento para Efectuar el Ensayo de Dureza	218
6.7.4.- Procedimiento para Efectuar el Ensayo de Metalografía	223
6.8.- Administración	230
6.9.- Previsión de la Evaluación	231
Bibliografía	232
Anexos	234

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de fase aleación aluminio-magnesio	17
Figura 2.2. Diagrama de fase aleación aluminio-Mg <sub>2</sub> Si	18
Figura 2.3. Áreas para cálculo del % de dilución en soldaduras	19
Figura 2.4. Curva de Endurecimiento por trabajo de la aleación 5083	21
Figura 2.5. Curva de endurecimiento durante el recosido	22
Figura 2.6. Variación del aporte térmico con la densidad de potencia de la fuente de calor	25
Figura. 2.7. Proceso de soldadura GMAW	26
Figura. 2.8. Relación entre la velocidad de alimentación del alambre ER 5356 y la corriente de soldadura	28
Figura 2.9. Uso de la polaridad inversa en la soldadura de aluminio	30
Figura 2.10. Uso de la polaridad directa en la soldadura de aluminio	31
Figura 2.11. Efectos del arco corto	32
Figura 2.12. Efectos de la velocidad de avance en el cordón de soldadura a) velocidad demasiado baja, b) velocidad de avance correcta	33
Figura 2.13. Ángulo de trabajo, a) soldadura a tope, b) soldadura a filete	34
Figura 2.14. Características de la soldadura en función del ángulo de desplazamiento	35
Figura 2.15. Influencia del gas de protección en el cordón de soldadura	36
Figura 2.16. Tipos de juntas para soldadura	37
Figura 2.17. Preparación de juntas para soldaduras a tope	38
Figura 2.18. Dimensionamiento del respaldo en soldaduras a tope	39
Figura 2.19. Gráfico de la susceptibilidad a la rotura en caliente vs. el contenido de magnesio, pico mostrado para una aleación de aluminio magnesio 5xxx	41
Figura 2.20. Rotura central en caliente producida luego de una soldadura autógena con Haz de electrones en una aleación 5083	42
Figura 2.21. Sección típica usada en la examinación metalográfica de una junta soldada	46
Figura 2.22. Elemento de una junta soldada	46



Figura 2.23. Espécimen característico para pruebas de tensión	49
Figura 2.24. Diagrama esfuerzo-deformación de una aleación de aluminio	50
Figura 2.25. Esfuerzo de fluencia arbitrario determinado por el medio de corrimiento	51
Figura 2.26. Símbolos que describen la dureza Brinell	54
Figura 4.1. Diagrama de flujo para Proceso de análisis de resultados	69
Figura 4.2. Comparación del Esfuerzo Último $S_{ut}$ en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	164
Figura 4.3. Comparación del Esfuerzo a Cedencia $S_y$ en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	164
Figura 4.4. Comparación del porcentaje de elongación en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	165
Figura 4.5. Comparación del porcentaje de reducción de área en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	165
Figura 4.6. Comparación del Módulo de elasticidad en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	166
Figura 4.7. Comparación de la dureza medida en el centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	170
Figura 4.8. Comparación de la dureza medida a 7 mm del centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	170
Figura 4.9. Comparación de la dureza medida a 14 mm del centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	171
Figura 4.10. Comparación de la dureza medida a 35 mm del centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a	

tope de la aleación de aluminio 5086-H116	171
Figura 4.11. Comparación del Porcentaje de $Mg_2Si$ presente en el cordón de soldadura en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	174
Figura 4.12. Comparación del Porcentaje de $Al_3Mg_2$ presente en el cordón de soldadura en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	175
Figura 4.13. Comparación del Porcentaje de $Mg_2Si$ presente en la zona afectada por el calor ZAC en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	176
Figura 4.14. Comparación del Porcentaje de $Al_3Mg_2$ presente en la zona afectada por el calor (ZAC) en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	177
Figura 4.15. Comparación del Porcentaje de $Mg_2Si$ presente en el metal base en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	178
Figura 4.16. Comparación del Porcentaje de $Al_3Mg_2$ presente en el metal base en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	179
Figura 4.17. Comparación del Tamaño de precipitados de $Mg_2Si$ presente en el cordón de soldadura en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	180
Figura 4.18. Comparación del Tamaño de precipitados de $Mg_2Si$ presente en la ZAC (a 12 mm del cordón de soldadura) en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	181
Figura 4.19. Comparación del Tamaño de precipitados de $Mg_2Si$ en el metal base (30 mm del cordón de soldadura) en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116	181
Figura 6.1. Dimensiones de la probeta para ensayo de tracción	195

Figura 6.2. Determinación del límite elástico aplicando regla del corrimiento al 0,2% en probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.	197
Figura 6.3. Porcentaje de micro constituyentes presentes en el cordón de soldadura de la probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.	201
Figura 6.4. Porcentaje de micro constituyentes presentes en la ZAC de la probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.	201
Figura 6.5. Porcentaje de micro constituyentes presentes en el material base de la probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.	202
Figura 6.6. Tamaño y cantidad de precipitados de $Mg_2Si$ presentes en el cordón de soldadura de la probeta de Al. 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.	203
Figura 6.7. Tamaño y cantidad de precipitados de $Mg_2Si$ presentes en la ZAC de la probeta de Al. 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.	203
Figura 6.8. Tamaño y cantidad de precipitados de $Mg_2Si$ presentes en el material base de la probeta de Al. 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.	204
Figura 6.9. Material de aporte 5356	207
Figura 6.10. Corte de probetas	207
Figura 6.11. Preparación de bordes para soldadura	208
Figura 6.12. Preparación de la junta	209
Figura 6.13. Placas para arranque y finalización del cordón de soldadura	209
Figura 6.14. Inspección visual entre cada pase de soldadura	210
Figura 6.15. Marcado e inspección de probetas soldadas de aluminio 5086 H-116	212
Figura 6.16. Dimensiones de la Probeta para ensayo de tracción	213
Figura 6.17. Maquinado de Probetas para ensayo de tracción	213
Figura 6.18. Verificación de medidas en Probetas para ensayo de tracción	214

Figura 6.19. Máquina Universal	214
Figura 6.20. Instalación de probeta y deformímetro	215
Figura 6.21. Toma de mediciones de carga y deformación	215
Figura 6.22. Probetas fracturadas	216
Figura 6.23. Medición de probetas	216
Figura 6.24. Gráfica esfuerzo vs. Deformación	217
Figura 6.25. Corte de probetas soldadas de aluminio 5086 H-116	219
Figura 6.26. Pulido de la Probeta para ensayo de Dureza	220
Figura 6.27. Calibración de durómetro	220
Figura 6.28. Aplicación de carga en el durómetro	221
Figura 6.29. Medición de huellas dejadas por el durómetro	221
Figura 6.30. Huellas para determinar la dureza	222
Figura 6.31. Curva de dureza en función de la distancia	222
Figura 6.32. Corte de probetas para ensayo Metalográfico	224
Figura 6.33. Rectificado de superficie para ensayo Metalográfico	225
Figura 6.34. Desbaste grueso para ensayo Metalográfico	225
Figura 6.35. Desbaste fino para ensayo Metalográfico	226
Figura 6.36. Pulido de probetas para ensayo Metalográfico	226
Figura 6.37. Composición reactivo de Keller	227
Figura 6.38. Ataque químico de probetas soldadas de aluminio 5086 H-116	227
Figura 6.39. Ubicación de probetas en el microscopio	228
Figura 6.40. Determinación de micro constituyentes	228
Figura 6.41. Microestructura de la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148Amp. a) Cordón de soldadura. b) Zona afectada por el calor ZAC c) Metal base sin afectación	229

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Relación Amperaje vs. Diámetro de alambre	2
Tabla 1.2. Peso Bruto Vehicular Permitido Según Clase De Vehículo	3
Tabla 2.1 Clasificación de las aleaciones forjadas de aluminio	15
Tabla 2.2. Cambio en las propiedades mecánicas de la aleación 5086 después de mantenerse a la temperatura indicada por 10000 horas	20
Tabla 2.3 Procesos de soldadura recomendados para las aleaciones de aluminio en función al espesor	25
Tabla 2.4 Rangos de Corrientes de soldadura recomendados	29
Tabla 2.5 Aleaciones utilizadas como material de relleno para soldar aleaciones de aluminio no tratables térmicamente	40
Tabla 2.6 Directrices para selección de relleno al soldar aleaciones de aluminio no tratables térmicamente	43
Tabla 2.7. Efectos de la variación de las propiedades de las aleaciones tratables térmicamente y las no tratables luego de la soldadura	45
Tabla 2.8 Composición del Reactivo de keller 7mA para ataque de aleaciones de aluminio	47
Tabla 2.9. Tabla de selección de los grados de fuerza	55
Tabla 4.1. Resumen de los Resultados obtenidos en el ensayo de tracción efectuados en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperaje	163
Tabla 4.2. Resumen de los Resultados obtenidos en el ensayo de dureza efectuados en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes	169
Tabla 4.3. Resumen del porcentaje de $Mg_2Si$ y $Al_3Mg_2$ presentes en el centro de cordón de soldadura en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes	173
Tabla 4.4. Resumen del porcentaje de $Mg_2Si$ y $Al_3Mg_2$ presentes a 12 mm del centro de cordón de soldadura (ZAC) en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes	176

Tabla 4.5. Resumen del porcentaje de $Mg_2Si$ y $Al_3Mg_2$ presentes a 30 mm del centro de cordón de soldadura (Metal base) en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes	178
Tabla 4.6. Resumen del tamaño promedio de precipitados de $Mg_2Si$ presentes en el cordón de soldadura, en la ZAC a 12 mm del centro del cordón de soldadura y en el metal base a 30 mm del centro de cordón de soldadura en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes	180
Tabla 6.1 Porcentaje de Mg y Si en el pozo de soldadura	195
Tabla 6.2 Resultados obtenidos en el ensayo de tracción	196
Tabla 6.3 Datos registrados para el cálculo del módulo de Elasticidad	198
Tabla 6.4 Datos de dureza registrados en la soldadura de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 148 Amp.	200
Tabla 6.5. Resultados del ensayo de tracción obtenidos en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con un amperaje de 148A.	217
Tabla 6.6 Resumen de costos de la investigación	230

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO**

“ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL AMPERAJE AL REALIZAR SOLDADURAS A TOPE MEDIANTE PROCESO GMAW APLICADO A LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116 Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR”

**Autor:** Ing. Fredy Estuardo Hidalgo Ortiz

**Tutor:** Ing. Mg. Raúl Ernesto Cabrera Funes

**Fecha:** Julio 22 del 2013

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo de investigación determina la influencia que tiene el amperaje en las propiedades mecánicas, del cordón de soldadura y de la zona afectada por el calor ZAC, al realizar soldaduras a tope en aleaciones de aluminio 5086 H-116, ejecutadas mediante proceso GMAW y utilizando como material de aporte alambre ER5356.

En lo referente a la experimentación, se efectuaron 16 ensayos, en los cuales se varió el amperaje en el rango comprendido entre 131 amperios y 175 amperios, posteriormente se realizaron ensayos de tracción, de dureza y además un análisis metalográfico, de cada una de las probetas ensayadas.

Dentro de las conclusiones obtenidas, se pudo determinar que la mejor combinación de propiedades mecánicas, se obtenía al realizar las soldaduras con 148 amperios, condición en la cual uno de los componentes microestructurales de la aleación como es el  $Mg_2Si$ , se encuentra en forma de partículas pequeñas y la distribución dentro de la matriz es uniforme, lo que permite alcanzar las mejores propiedades mecánicas, en cuanto al otro componente como es el  $Mg_2Al_3$  este se encuentra distribuido en partículas finas y no forman redes continuas lo que ayuda a que además, la aleación sea resistente a la corrosión.

**Descriptor:** Aluminio 5086 H-116, Amperaje, Alambre ER5356, Propiedades Mecánicas, Análisis Metalográfico, Ensayo de Tracción, Ensayo de Dureza.

**AMBATO TECHNICAL UNIVERSITY**  
**FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING**  
**POSDEGREE STUDIES CENTER**  
**MASTER OF MECHANICAL DESIGN**

"STUDY OF CHANGES OF THE AMPERAGE WHEN BUTT WELDING  
GMAW PROCESS APPLIED THROUGH A ALUMINUM ALLOY 5086-H116  
AND ITS EFFECT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE AREA  
AFFECTED BY THE HEAT"

**Author:** Fredy Estuardo Hidalgo Ortiz, Eng.

**Tutor:** Mg. Raúl Ernesto Cabrera Funes. Eng.

**Date:** July 22<sup>th</sup>, 2013

**ABSTRACT**

The present investigation determine the influence that the amperage has in the mechanical properties, of the weld and HAZ area affected by the heat, when making butt welds in aluminum alloys 5086 H-116 made through GMAW process and utilizing wire ER5356 as a filler material.

Regarding to the experiment, 16 trials were mad, in which the amperage was varied in the range between 131 amps. and 175 amps. were made, subsequently tensile, hardness and metallographic analysis were also performed, for each of the tested specimens.

Within the conclusions, it was determined that the best combination of mechanical properties was obtained by performing welds 148 amps, a condition in which one of the component of the alloy microstructure such as  $Mg_2Si$ , is in the form of small particles and it's distribution in the matrix is uniform, which achieves the best mechanical properties, as the other component as  $Mg_2Al_3$ , it is distributed into fine particles and do not form continuous networks which helps that the alloy be resistant to corrosion.

**Key Words:** Aluminium 5086 H-116, Amps, Wire ER5356, Mechanical Properties, Metallographic analysis, Tensile Test, Hardness Test.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo investigativo tiene como temática la ejecución de varios ensayos de laboratorio tales como ensayos de tracción, dureza y metalográfico en probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas a tope mediante proceso GMAW y teniendo como única variable el amperaje, esto con el propósito de determinar de una manera clara y precisa el amperaje óptimo con el cual se debe realizar las soldaduras antes mencionadas para alcanzar las mejores propiedades mecánicas en el cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor.

Dentro de los aportes más relevantes que esta investigación ha puesto de manifiesto está el proporcionar bases confiables para poder utilizar de una manera óptima la aleación de aluminio 5086 H-116 en equipos industriales donde para su construcción se contemple procesos de soldadura. Otro punto importante que se logró alcanzar y se encuentran plasmados en el desarrollo del presente trabajo investigativo es el disponer de tablas comparativas de amperaje vs. propiedades mecánicas en elementos soldados. Ya a nivel microestructural se llegó a determinar que las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio 5086 H-116 dependen en gran medida del tamaño y distribución de las partículas de  $Mg_2Si$  dentro de la microestructura.

Cabe señalar que una de las limitaciones más grande que se ha tenido dentro de esta investigación ha sido el no poder contar con equipos de laboratorio de última tecnología.

Ya dentro de la estructura del trabajo, este se ha orientado de tal manera que las tablas y resultados del capítulo IV puedan ser observar de una manera clara y sean de fácil entendimiento.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN**

“ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL AMPERAJE AL REALIZAR SOLDADURAS A TOPE MEDIANTE PROCESO GMAW APLICADO A LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116 Y SU EFECTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR.”

### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN**

A nivel mundial la mayoría de empresas dedicadas a la construcción de tanques y equipos de transporte a granel han realizado varias investigaciones con el fin de mejorar la calidad constructiva de los mismos, llegando a la conclusión de que una de las alternativas para lograr este objetivo sería cambiar el material que se viene utilizando para la fabricación de este tipo de equipos, es decir acero por otro como el aluminio. Es así, que empresas como TIEMAN INDUSTRIES Pty. Ltda. de Australia incrementó una nueva línea de producción denominada O.ME.P.S. que tiene como objetivo principal la construcción de tanques, tanqueros y volquetes de aluminio, construyendo actualmente entre 500 y 600 unidades por año (Trailer Magazine, abril 2009, pág. 85), que representan aproximadamente el 60% de la producción total de la empresa. Pero lograr este nivel de producción solo ha sido posible con el mejoramiento continuo de sus procesos, los mismos que han llevado a mejorar la calidad de sus equipos construidos, pero el proceso que más énfasis en mejoramiento ha tenido dentro de la compañía es la soldadura.

El proceso que actualmente utilizan para la construcción es GMAW, que presenta

varias ventajas como son: alta calidad de soldadura, elevada velocidad de ejecución, permite la posibilidad de automatizar el proceso y aun más robotizarlo. Uno de los parámetros de soldadura que se controla es el amperaje regulado de acuerdo a la tabla 1.1 que a continuación se indica:

**Tabla 1.1.** Relación Amperaje vs. Diámetro de alambre

Wire Diameter	Welding Current, Amperage
.025"	85 -180
.030"	95 -200
.035"	110 -220
3/64"	130 -290
1/16"	160 -360

(Fuente: LINCOLN, James. (2000).)

Pero como se puede observar en la tabla 1.1, los rangos de amperaje son demasiado amplios y no viene la explicación correspondiente de cómo varían las propiedades mecánicas en la zona afecta por el calor (ZAC).

A nivel de América otra empresa que ha incursionado en la construcción de tanques y tanqueros de aluminio es TYTAL de México, la misma que empezó con este proceso apenas hace 5 años y actualmente debido a la gran calidad y grandes ventajas que los equipos construidos en este tipo de aleación representan, ha logrado posicionarse en el mercado de Estados Unidos y además ha empezado a exportar tanques y tanqueros a otros países como Colombia. En cuanto al amperaje de soldadura utilizado para realizar este proceso no se menciona por cuanto es una patente tecnológica de la empresa.

En nuestro país el 100% de los tanques, tanqueros y equipos de transporte a granel se los fabrica a partir de planchas de acero al carbono y acero inoxidable, y

ninguna empresa tiene dentro de sus productos ofertados equipos construidos en Aluminio.

A nivel de empresas en Cotopaxi como lo es INDUACERO, el panorama con relación al resto del país no es diferente, a pesar de conocer de todas las ventajas que se tienen al construir con aleaciones de aluminio, el poco énfasis que se ha dado a la aplicación de la ley de caminos y su reglamentos en cuanto a la máxima capacidad de carga que se puede transportar por las carreteras del Ecuador “Art. 35.- Pesos máximos permitidos.- Los pesos máximos permitidos para los vehículos autorizados a circular en carreteras de uso público, son los siguientes.”

**Tabla 1.2.** Peso Bruto Vehicular Permitido Según Clase De Vehículo

<b>Clase de vehículo</b>	<b>Peso (kg)</b>
2D-A: 5.000 a 7.000 kg de PBV	10000
2D-B: más de 7.001 kg de PBV	18000
3 A.	26.000
4 C	30.000
2 S 1	30.000
3 S 1	38.000
2 S 2	38.000
3 S 2	46.000
3 S 3	46.000
2 - 2.	41.000
2 - 3.	41.000
3 - 2.	46.000
3 - 3.	46.000
4 - 0	30.000

(Fuente: Reglamento aplicativo de la ley de caminos. Art. 35)

El incumplimiento de esta ley y sus reglamentos a desmotivado las investigaciones en cuanto al cambio de materiales para la construcción de estos equipos, pero esto está cambiando ya que hoy en día se está obligando a los

transportistas a cumplir con esta disposición (comunicado emitido por la subsecretaria de transporte y obras públicas de junio del 2009), dejando de esta manera obsoletos la mayoría de tanques y tanqueros construidos en acero al carbono. Pero del conocimiento empírico obtenido al trabajar con aleaciones de aluminio y de todas las pruebas realizadas se sabe que el mayor problema al realizar este tipo de soldaduras mediante proceso GMAW son los efectos en las propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor, los mismos que están directamente relacionados con el amperaje aplicado en el momento de realizar la soldadura.

### **1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO**

Luego de analizar todas las acciones que se han tomado a nivel mundial para mejorar la calidad constructiva de tanques y tanqueros, se ve muy claramente que el factor a resolver es determinar la influencia que el amperaje tiene en las propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor, la misma que algunas empresas lo publican, pero se presentan como rangos muy amplios, que no ayudan a visualizar en forma objetiva cual es la influencia del amperaje en la soldadura.

Cambiar este panorama es posible comenzando desde el diseño mismo de los equipos, y recurriendo a las investigaciones realizadas por empresas que se dedican a la fabricación de materiales, partiendo de esto se tiene que el material recomendado para este tipo de equipos es el aluminio y específicamente la aleación de Aluminio 5086 – H116 (European Aluminium Association AISBL, 2011; el Aluminio en vehículos comerciales.) que dentro de sus características principales esta el bajo peso y lo más importante la capacidad de no generar chispa al momento de un impacto, volviendo seguro el transporte de productos inflamables.

Ya en el ámbito constructivo dentro de las empresas como Induacero la soldadura se la lleva a cabo mediante el proceso GTAW que si bien es cierto la calidad es buena, pero la velocidad de soldadura es aproximadamente 10 veces menor que la

que se lograría si se utilizara un proceso GMAW, que no es utilizado debido a la falta de conocimiento exacto sobre la influencia del amperaje en las propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor.

### **1.2.3. PROGNOSIS**

Muchas son las consecuencias que se derivan de disponer de poca información referente al comportamiento de la soldadura de cualquier tipo de aleación y en este caso la del aluminio 5086-H116, que poco o nada se ha mencionado, por lo que al ejecutar soldaduras de este tipo de aleación a más de resultar ser difíciles y de baja calidad, no se puede garantizar el producto ante el cliente, debido a que no se conoce a ciencia cierta cuáles son las características de la soldadura en la zona afectada por el calor, obligando de esta manera a que se sigan utilizando los materiales tradicionales aunque estos den como resultado equipos pesados, que incluso están en contra de la preservación del medio ambiente porque necesitan consumir mayor cantidad de combustible para su movilización, debido a que el peso está directamente relacionado con el consumo de combustible.

### **1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿La falta de cuadros comparativos y su correlación entre las propiedades mecánicas tanto del cordón de soldadura como de la zona afectada por el calor en función del amperaje necesario para la soldadura de las aleaciones de aluminio 5086-H116, han sido la causa principal para no utilizar esta aleación como una alternativa para la construcción de equipos a nivel industrial?

### **1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Es útil realizar una evaluación previa del amperaje para identificar cuál es la influencia que tiene en la soldabilidad del aluminio?

¿Ayudaría el disponer de información microestructural referente a las zonas afectadas por el calor en una soldadura de aleación de aluminio para mejorar la calidad de la misma?

¿Es indispensable conocer las propiedades físico-mecánicas en la soldadura y en la zona afectada por el calor para mejorar el diseño de la junta soldada?

¿Es necesario evaluar las propiedades antes mencionadas en varias probetas para obtener resultados más confiables?

### **1.2.6. DELIMITACIÓN**

#### **1.2.6.1. De contenido**

La investigación se centra en los siguientes campos:

- Soldadura de metales no ferrosos.
- Análisis Metalográficos de metales no ferrosos.
- Resistencia de materiales no ferrosos sometidos a procesos de soldadura.

#### **1.2.6.2. De espacio**

➤ En cuanto a la ubicación de la investigación esta se llevará a cabo en la Universidad Técnica de Ambato ubicada en la ciudad de Ambato, y todo lo referente a construcción de probetas se realizará en la fábrica Induacero ubicada en la ciudad de Latacunga.

#### **1.2.6.3. De tiempo**

➤ El tiempo que duro la investigación es de trece meses, la fecha de inicio fue el 26 de junio del 2012 y la terminación el 22 de julio del 2013.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Gran cantidad de factores son los que contribuyen a que esta investigación se vuelva útil y necesaria, el principal es determinar el amperaje que permita obtener las mejores propiedades mecánicas en las juntas soldadas de la aleación de

aluminio 5086-H116. **La importancia** de esta investigación radica en que con los resultados obtenidos se podrá ayudar tanto al empresario como al cliente en la utilización de esta nueva alternativa para construir tanques y recipientes de esta aleación. **Los beneficiarios** directos en la ejecución de esta investigación son todas aquellas personas que se dedican directa o indirectamente a la transportación de productos secos a granel o productos líquidos ya que la utilización de esta aleación en la construcción de equipos de transporte bajarán notablemente los costos operativos puesto que al contar con un equipo que pesaría aproximadamente un 40% menos se ahorrarían ingentes recursos en combustible, requiriendo menos potencia para trasladar los productos de un lugar a otro. No se visualiza claramente, pero esta investigación tiene **un impacto** directo en la descontaminación del medio ambiente al consumir menos combustible, lo que produciría consecuentemente menos gases tóxicos. El estudio es **factible** pues todos los elementos tanto tecnológicos, bibliográficos y financieros están al alcance y pueden ser utilizados en contribución para que el mismo se lleve a cabo de una manera ágil y con resultados veraces de tal manera que los mismos puedan ser utilizados para el desarrollo del país.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. GENERAL**

➤ Determinar y evaluar el amperaje necesario para realizar la soldadura de una aleación de aluminio 5086-H116 mediante proceso GMAW que permita alcanzar las mejores propiedades mecánicas en la zona afectada por el calor.

### **1.4.2. ESPECÍFICOS**

- Investigar la influencia que podría tener el amperaje en la soldabilidad de la aleación de aluminio 5086 H-116.
- Construir y preparar probetas que permitan evaluar la influencia del amperaje en la soldabilidad de la aleación de aluminio 5086 H-116.



- Determinar las propiedades físico mecánicas en la zona afectada por el calor luego de realizada la soldadura en una aleación de aluminio 5086 H-116.
  
- Encontrar los cambios micro-estructurales que se llevan a cabo en las zonas afectadas por el calor luego del proceso de soldadura.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. ANTECEDENTES

Muchas son las investigaciones que a nivel mundial hacen referencia a la soldabilidad de aleaciones de aluminio y la relación directa del amperaje con las propiedades mecánicas, es así que entre las más importantes se tiene la efectuada por *Lars-Ola Larsson, and Niclas Palmquis* [11], que manifiestan muy claramente que la industria del automóvil esta siempre buscando maneras para disminuir el consumo de combustible y con esto disminuir la contaminación del medio ambiente, En esta búsqueda lo que más se ha profundizado es en conseguir materiales más livianos y además lograr combustiones más eficientes para ahorrar combustible. En cuanto a materiales el aluminio es un candidato natural debido a su bajo peso y a su alto nivel de reciclabilidad. En este artículo se hace referencia en su primera parte a la soldadura de partes estructurales de aluminio soldadas mediante el método de MIG pulsado, detallando de una manera clara que los parámetros a tomar en consideración al momento de realizar las pruebas son:

- Determinar el alambre de relleno y el gas de protección.
- Condiciones de la superficie y el tipo de lubricante en el material base.
- Determinar las Posiciones de soldadura y el tamaño de separación de la raíz adecuada.
- Escoger la secuencia y longitud de soldado óptimo.
- Disponer del equipo de soldadura en perfectas condiciones.

Toda esta investigación se la ha realizado considerando como material base la aleación de aluminio AA6060-T6, la misma que se utiliza en los marcos de las carrocerías de los automóviles de la volvo.

Otra de las investigaciones importantes en este ámbito es la realizada por J.F. Hinrichs, J.S. Noruk, WM. McDonald, and R.J. Heideman [9], los mismos que en su investigación indican que en respuesta a la necesidad de obtener estructuras ligeras, el uso de aleaciones de aluminio es inevitable y el punto de partida para que una aleación de aluminio sea aceptada para fabricar una cierta estructura es la facilidad con que la soldadura de la misma se llevará a cabo.

También Tony Anderson [4], en su investigación indica que sin lugar a duda, el uso del aluminio en la industria automotriz y el desarrollo de la tecnología en la soldadura de aluminio están ambas en continua expansión. El continuo desarrollo del aluminio en la industria puede ser atribuido primariamente a las características físicas que este presenta.

### 2.1.2. TÉRMINOS BÁSICOS

- **ZAC.** Zona afectada por el calor.
- **Pruebas de Dureza.** Ensayo destructivo que consiste en determinar la resistencia a la deformación elástica, plástica y destrucción de un material, en presencia de esfuerzos de contacto local.
- **Macro-estructura.** Término que identifica los grupos de estructuras presentes en una soldadura.
- **Micro-estructura.** Término que identifica los componentes presentes en cada grupo de estructuras de una soldadura.
- **Re-cristalización.** Proceso de formación de cristales que ocurre luego que la soldadura empieza a enfriarse.
- **GTAW.** Proceso de soldadura que utiliza un electrodo no consumible de

tungsteno y un gas inerte que forma una atmosfera de protección generalmente el gas utilizado es argón.

- **GMAW.** Proceso de soldadura comúnmente conocido como MIG que utiliza un alambre consumible, protegido por un gas inerte que forma una atmosfera de protección, el gas utilizado es argón para soldaduras de aluminio.
- **Estructura dendrítica.** Es una estructura arbórea del sólido que crece cuando se solidifica un líquido sub-enfriado. Ocurre cuando la nucleación es débil y el líquido se sub-enfría antes de que se forme el sólido.

### 2.1.3. FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1.3.1. Aluminio

**a. Propiedades.** Entre las características más llamativas del aluminio esta su versatilidad, la gama y propiedades mecánicas que se pueden desarrollar a partir del aluminio refinado de alta pureza. Las propiedades del aluminio que hacen de este metal y sus aleaciones, el más económico y atractivo para una amplia variedad de usos son el aspecto, peso ligero, fácil fabricación, excelentes propiedades físico-mecánicas y alta resistencia a la corrosión [15].

El aluminio tiene una densidad de sólo  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , aproximadamente un tercio de la del acero ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ), cobre ( $8,93 \text{ g/cm}^3$ ), o bronce ( $8.53 \text{ g/cm}^3$ ). Puede mostrar resistencia a la corrosión en la mayoría de entornos, incluyendo la atmósfera, el agua (incluso agua salada) y productos petroquímicos.

Las superficies de aluminio pueden ser muy reflexivas, por lo que la onda de energía radiante, la luz visible, calor radiante, y electromagnéticos son reflejadas de manera eficiente, mientras que las superficies anodizadas y oscuras pueden ser absorbentes. El coeficiente de reflexión del aluminio pulido, sobre una amplia

gama de longitudes de onda, da lugar a su selección para una variedad de objetos decorativos y funcionales.

**b. Usos.** El aluminio normalmente muestra una excelente conductividad eléctrica y térmica. Aleaciones específicas se han desarrollado para utilizarlas en aplicaciones que requieren alto grado de resistencia eléctrica, como es el caso de las utilizadas en los motores eléctricos. Los requisitos de alta conductividad y resistencia mecánica, pueden ser satisfechos mediante el uso de cables de aluminio con núcleo de acero, conocido como cable de transmisión reforzada.

El aluminio es no ferro-magnético, cuya característica es de importancia en la industria eléctrica y electrónica. Es no pirofórico, que es importante en aplicaciones que impliquen la manipulación de materiales inflamables o explosivos. El aluminio es también no tóxico y se utiliza rutinariamente en los envases para alimentos y bebidas. Tiene un aspecto atractivo en su color natural, que puede ser suave y brillante o luminoso y brillante. Puede tomar casi cualquier color o textura. Algunas aleaciones de aluminio exceden el esfuerzo de acero estructural.

#### **2.1.3.2. Aleaciones de aluminio**

Es conveniente dividir las aleaciones de aluminio en dos categorías principales: Aleaciones obtenidas por fundición y aleaciones obtenidas por forjado.

Una mejor diferenciación para cada categoría se basa en el mecanismo principal de desarrollo de la propiedad. Muchas aleaciones responden al tratamiento térmico sobre la base de solubilidad de fase. Estos tratamientos incluyen el tratamiento térmico de la solución, temple, precipitación y endurecimiento por envejecimiento.

Tanto las aleaciones obtenidas por fundición como forjadas, son descritas como tratables térmicamente. Un gran número de aleaciones forjadas logran su endurecimiento a través del trabajo en frío mediante laminación, por lo general en combinación con diversos procedimientos de recocido, estas aleaciones se llaman

endurecidas por trabajo. Algunas aleaciones de fundición son esencialmente no tratables térmicamente y se utilizan sólo en piezas en bruto o en condiciones térmicamente modificadas no vinculadas a los efectos de solución o precipitación.

La asociación del aluminio ampliamente reconocida en Estados Unidos y a nivel mundial ha desarrollado la nomenclatura de aleaciones Fundidas y forjadas. Su sistema de identificación de aleación emplea nomenclaturas diferentes para aleaciones forjadas y fundidas, pero por simplificación se divide en familias de aleaciones.

Para las aleaciones forjadas se utiliza un sistema de cuatro dígitos como se indica a continuación:

**1xxx** - Compuestos puros controlados sin alear.

**2xxx** - Aleaciones en las que el cobre es el principal elemento de aleación, aunque otros elementos, en particular magnesio pueden formar parte de la aleación.

**3xxx** - Aleaciones en las que el manganeso es el principal elemento de aleación.

**4xxx** - Aleaciones en las que el silicio es el principal elemento de aleación.

**5xxx** - Aleaciones en las que el magnesio es el principal elemento de aleación.

**6xxx** - Aleaciones en las que el magnesio y el silicio son los principales elementos de aleación.

**7xxx** - Aleaciones en las que el zinc es el elemento principal de aleación, pero otros elementos como el cobre, magnesio, cromo y zirconio se pueden especificar.

**8xxx** - Aleaciones como el estaño y algunas composiciones de litio que caracteriza las diversas composiciones.

**9xxx** - Reservado para uso futuro.

Las aleaciones obtenidas por fundición son descritas por un sistema de tres dígitos seguido de un valor decimal. El decimal 0.0 en todos los casos se refiere a los límites de fundición de la aleación. Los decimales 0.1, 0.2 son composiciones de lingote. Las composiciones de la aleación de fundición son [15]:

**1xx.x** - Compuestos controlados sin alear (puro), sobre todo para la fabricación en barras.

**2xx.x** - Aleaciones en las que el cobre es el principal elemento de aleación, pero también otros elementos de aleación puede estar especificados.

**3xx.x** - Aleaciones en el que el silicio es el elemento principal de aleación, pero también otros elementos de aleación tales como cobre y el magnesio se especifican.

**4xx.x** - Aleaciones en el que el silicio es el principal elemento de aleación.

**5xx.x** - Aleaciones en la que el magnesio es el principal elemento de aleación.

**6xx.x** - no utilizados

**7xx.x** - Aleaciones en las que el zinc es el elemento principal de aleación, pero también otros elementos de aleación como el cobre y el magnesio pueden estar especificados en porcentajes menores.

**8xx.x** - Aleaciones en las que el estaño es el principal elemento de aleación.

**9xx.x** - no utilizados.

#### **2.1.3.3. Aleaciones de aluminio no tratables térmicamente [15]**

Constituyen un grupo de aleaciones cuyas propiedades de resistencia están basadas únicamente en el trabajo en frío y el fortalecimiento de la solución sólida. Se diferencian de las aleaciones tratables térmicamente, ya que son incapaces de formar precipitados de segunda fase para mejorar la resistencia. Por lo tanto, las

aleaciones no tratables térmicamente no pueden lograr los puntos fuertes característicos de las aleaciones de alta resistencia endurecidas por precipitación.

Por ejemplo, la resistencia obtenida al realizar el endurecimiento por precipitación de la aleación 7075-T6 (505 MPa, o 73 ksi) es significativamente mayor que la resistencia obtenida por trabajado en frío de la aleación por solución reforzada 5083-H32 (230 MPa, o ksi 33).

La ausencia de elementos de formación de precipitados en estas aleaciones de baja a moderada resistencia no tratables térmicamente se convierte en un atributo positivo al considerar soldabilidad, porque muchas de las adiciones en la aleación necesarios para el endurecimiento por precipitación (Por ejemplo, cobre, así como el manganeso o el magnesio y silicio) puede conducir a la licuación o la ruptura en caliente durante la soldadura. Además, la eficiencia conjunta es mayor en las aleaciones no tratables térmicamente, debido a que la zona afectada por el calor (ZAC) no tiene como factor de disminución de propiedades la disolución de precipitados. Esto evita la necesidad de dar un tratamiento térmico posterior a la soldadura, favoreciendo el uso en estructuras soldadas [14].

**a. Clasificación de Aleaciones forjadas y aplicaciones típicas**

Las aleaciones de aluminio forjadas no tratables térmicamente se pueden colocar en uno de los tres grupos usando el estándar de la asociación de designaciones de aluminio. Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Clasificación de las aleaciones forjadas de aluminio

Número de Aleación	Elemento de adición en la aleación
<b>1XXX</b>	AL (99% Mínima pureza)
<b>3XXX</b>	AL-MN
<b>4XXX</b>	AL-SI
<b>5XXX</b>	AL-MG

(Fuente: MENESES NUNES, Rafael et al. (1993).)



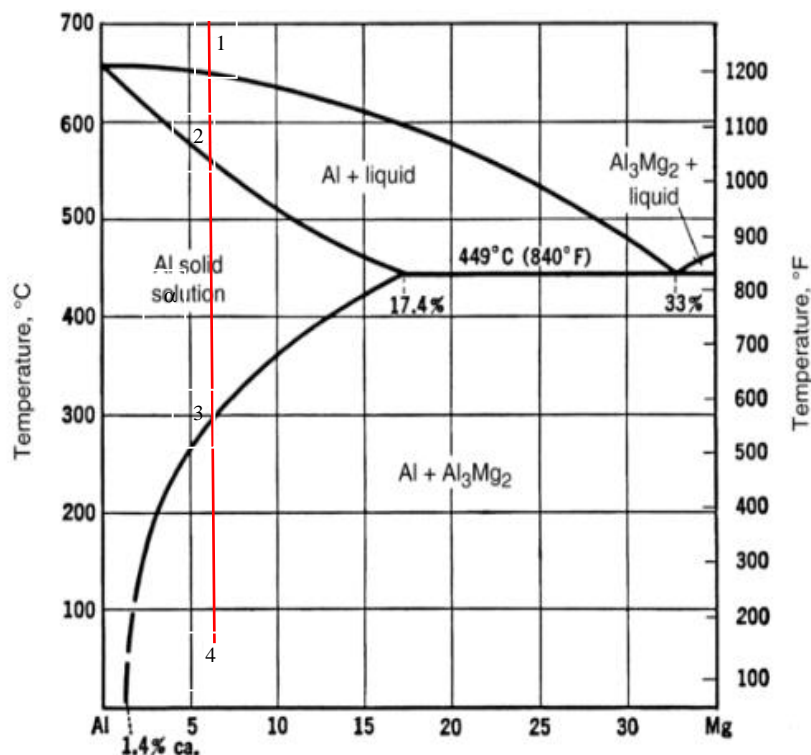
- **Aleaciones 1xxx.** Las aleaciones de la serie 1xxx son de pureza comercial (> 99% Al) y se usan generalmente donde las consideraciones de diseño indican que para conducción térmica/eléctrica o resistencia a la corrosión son más importantes que la resistencia al esfuerzo. (Por ejemplo, la aleación 1100 es utilizada como material de trabajo para las aletas y equipo químico). Las aleaciones con un nivel de pureza superior al 99,5% se utilizan para conductores eléctricos (por ejemplo, la aleación 1350).
- **Aleaciones 3xxx.** Las aleaciones de la serie 3xxx se utilizan en aplicaciones en las que son necesarias añadir resistencia y confortabilidad, además de mantener una excelente resistencia a la corrosión (por ejemplo, la aleación 3004 se utiliza para chapas, en la construcción de tanques y recipientes de bebidas). Las aplicaciones típicas incluyen utensilios de cocina, recipientes a presión, y productos de construcción.
- **Aleaciones 4xxx.** Aparte de su uso como material de soldadura de relleno, las aleaciones de la serie 4xxx han limitado su aplicación industrial en forma forjada.
- **Aleaciones 5xxx.** Las aleaciones de la serie 5xxx se utilizan en los casos en que los puntos fuertes aún más altos son necesarios, esta fuerza se consigue al añadir grandes cantidades de magnesio en solución sólida. Lo más importante de añadir magnesio es que este promueve el endurecimiento por trabajo y la reducción de la energía de falla de apilamiento, reduciendo así la tendencia de recuperación dinámica. Las aplicaciones de las aleaciones de la serie 5xxx incluyen automóviles electrodomésticos, recipientes a presión y los componentes de servicios marinos y criogénicos.

Si bien estas aleaciones muestran normalmente resistencia a la corrosión, se debe tener cuidado durante el proceso para evitar la formación continua de  $Mg_3Al_2$  precipitados  $\beta$ -en los límites de grano, que puede conducir a la corrosión inter-granular. Esto puede ocurrir en gran medida por el trabajo en

frío de las aleaciones de magnesio de alta aleación expuesta a temperaturas de 120 a 200 ° C (250 a 390 ° F) [14].

La Aleación 5454 posee el más alto contenido de magnesio propicio para soportar elevadas temperaturas por lo que se ha convertido en la aleación estándar utilizada para las carrocerías de camiones, para almacenamiento de aceite caliente o aplicaciones de asfalto y tanques de almacenamiento para productos calientes.

El sistema aluminio-magnesio fig. 2.1 es la base de las aleaciones forjadas no tratables térmicamente de la serie 5xxx que proporcionan excelentes combinaciones de resistencia mecánica y a la corrosión por fortalecimiento de solución sólida y endurecimiento por trabajo. El diagrama de fases de aluminio-magnesio tiene una inclinación positiva en la línea de solvus, lo cual es una condición necesaria para un sistema de endurecimiento por precipitación.

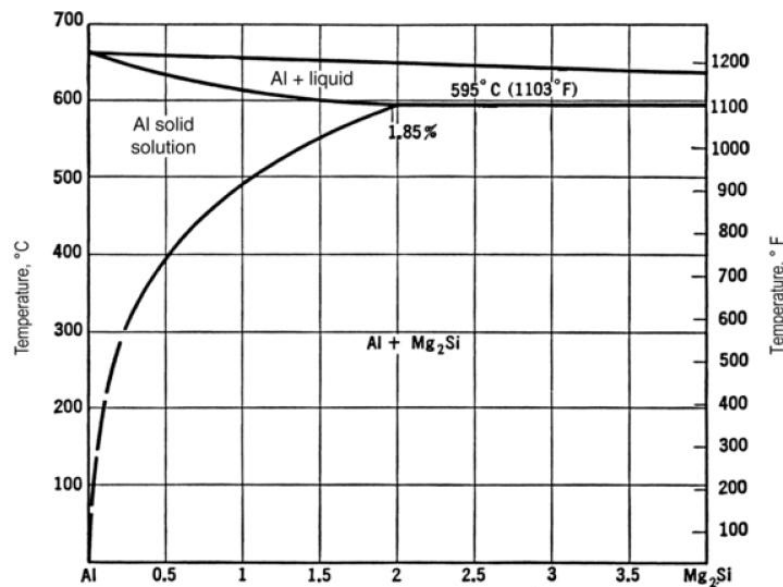


**Figura 2.1.** Diagrama de fase aleación aluminio-magnesio

(Fuente: ADAMS, Brent L. et al. (2004).)

Las aleaciones binarias de aluminio-magnesio son ampliamente utilizadas en aplicaciones que requieran un acabado de superficie brillante y resistencia a la corrosión, así como combinaciones de resistencia y ductilidad. Composiciones comunes van de 4 a 10% de Mg, y composiciones que contengan más del 7% de Mg son tratables térmicamente [1].

La solidificación de la aleación de aluminio 5086, soldada mediante proceso GMAW utilizando como material de aporte alambre ER5356, comienza cuando el material de aporte fundido empieza a solidificarse figura 2.1, llegando a la línea de liquidus en cuyo punto aparecen los primeros cristales de solución sólida  $\alpha$  (punto 1) y el resto es líquido, a medida que la temperatura desciende estos cristales van creciendo y el líquido va disminuyendo, de tal forma que el punto 2, los cristales de la fase  $\alpha$  alcanzan su máximo tamaño y ya no existe fase líquida. La aleación continúa enfriándose y partir del punto 3, empieza la precipitación de la fase  $\beta$  ( $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ ) en los límites de grano más rica en Mg y en el interior de los granos partículas más pequeñas con menos Mg y a medida que aumenta el enfriamiento va aumentando la cantidad de partículas precipitadas.



**Figura 2.2.** Diagrama de fase aleación aluminio-Mg<sub>2</sub>Si

(Fuente: ADAMS, Brent L. et al. (2004).)

Analizando el diagrama de equilibrio Al-Mg<sub>2</sub>Si figura 2.2, se puede avizorar la presencia de Mg<sub>2</sub>Si que es un componente fuertemente endurecedor dependiendo principalmente de la forma y distribución de los precipitados en la matriz de la aleación.

#### 2.1.3.4. Composición del pozo de soldadura en aleaciones de aluminio

La soldadura de las aleaciones de aluminio 5086 mediante proceso GMAW se lo realiza generalmente con alambre ER5356.

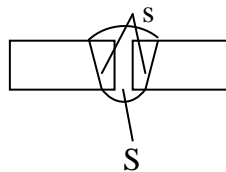
Resulta importante determinar el porcentaje de dilución en juntas a tope figura 2.3 y se lo realiza mediante la siguiente ecuación 2.1:

$$\% \text{ dilución} = \frac{s}{s+S} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

s = Área del metal base fundida

S = Área de la soldadura total



**Figura 2.3.** Áreas para cálculo del % de dilución en soldaduras

(Fuente: PASTOR, M. (2004).)

El porcentaje de dilución varía del 25 al 40% para el material de aporte y del 60 al 75% para el material base [17].

Es importante indicar que en este tipo de soldaduras a medida que se aumenta la temperatura es decir el amperaje existe un mayor porcentaje de evaporación del magnesio, el mismo que generalmente está entre 1,11% a 1,30%, mientras mayor es la evaporación del magnesio las propiedades mecánicas resultantes de la soldadura se ven disminuidas. El porcentaje de magnesio residual puede ser evaluado con ayuda de la ecuación 2.1.1

$$\% \text{ de Mg residual} = \% \text{ de Mg total} - \% \text{ de Mg perdido} \quad (2.1.1)$$

En las aleaciones de aluminio la pérdida de esfuerzo debido al crecimiento del tamaño de grano tiene un efecto marginal, sin embargo tiene un efecto marcado en el riesgo de rotura en caliente [13].

### 2.1.3.5. Influencia de la temperatura en las aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio cambian sus propiedades tanto mecánicas como de resistencia a la corrosión cuando la temperatura a la cual están expuestas varía, esta interrelación entre la temperatura de servicio y las propiedades mecánicas y de resistencia al corrosión se observa en las tabla 2.2 para una aleación 5086.

**Tabla 2.2** Cambio en las propiedades mecánicas de la aleación 5086 después de mantenerse a la temperatura indicada por 10000 horas

Temperatura °C	Propiedades Mecánicas		
	R <sub>m</sub> (MPa)	R <sub>p0,2</sub> (MPa)	A%
-196	390	140	34
-80	280	120	26
-28	270	120	24
+20	270	120	22
+100	270	120	26
+150	210	110	35
+200	155	105	45

(Fuente: ZEHNDER, Jürg et al. (2011).)

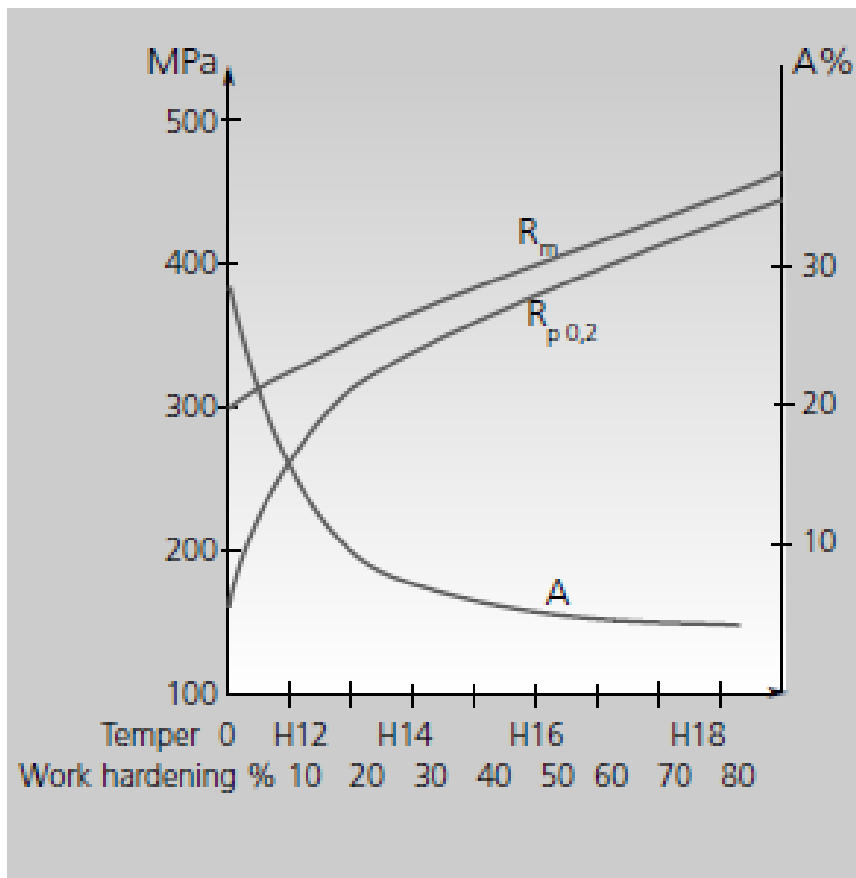
### 2.1.3.6. Influencia de los procesos de fabricación en las propiedades de las aleaciones de aluminio

#### a. Endurecimiento de las aleaciones no tratables térmicamente por trabajo en frío

El endurecimiento por deformación en frío conocido como trabajo en frío mejora

las propiedades físicas y la dureza del metal. Pero también reduce la capacidad de deformación del metal y su ductilidad fig. 2.4. Cuanto mayor es la deformación más alta es la tasa de endurecimiento, pero esto también es función del tipo de aleación.

Es así por ejemplo, la aleación 5083 que contiene entre 4 y 4,9% de magnesio adquiere una gran dureza, pero su capacidad de deformación es menor, esto en relación a una aleación 5754 que contiene 2,6 a 3,6% de magnesio. La dureza ocasionada por el fenómeno de deformación es obtenida cuando se utilizan métodos constructivos tales como rolado, plegado, martillado, prensado entre otros, los mismos que son a menudo efectuados en taller [19].



**Figura 2.4.** Curva de Endurecimiento por trabajo de la aleación 5083

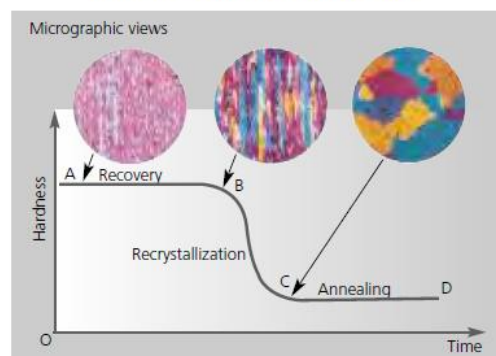
(Fuente: ZEHNDER, Jürg et al. (2011).)

## b. Reblandecimiento y recuperación de las aleaciones no tratables térmicamente por recocido

Es posible restaurar la ductilidad de una aleación no tratable térmicamente endurecida por trabajo en frío mediante un tratamiento conocido como recocido (recocido parcial o total). Este proceso se lleva cabo a temperaturas entre 150 y 350 °C, la dureza y las propiedades mecánicas lentamente empiezan a decrecer. Esta es la fase de recuperación [A-B] Figura 2.5. Temperaturas de recocido bajas logran obtener propiedades de resistencia del material medianas, temperaturas sobre los 280 °C provocan mínimos valores con respecto a las características mecánicas lo cual se conoce como un recocido total.

La restauración y recocido están acompañadas con un cambio en la textura y el tamaño de grano, luego de observar la micro estructura con una ampliación de 50x la textura puede cambiar de una estructura fibrosa a una estructura totalmente recristalizada ( Figura 2.5).

El grano puede crecer en tamaño durante la recristalización y recocido. El crecimiento es revelado durante los trabajos subsecuentes, ejemplo doblado, luego del cual se observa la superficie del metal rugosa. El crecimiento del grano sobre los 100 micrones reduce la capacidad de deformación en frío de las aleaciones de aluminio.



**Figura 2.5.** Curva de endurecimiento durante el recocido

(Fuente: ZEHNDER, Jürg et al. (2011).)

La tasa de deformación del metal, en función de la reducción relativa de la sección debe estar en valores de por lo menos el 15% considerando este como un trabajo de endurecido crítico. Si esta condición no es alcanzada entonces el tratamiento térmico de restauración debe ser restringido a una restauración sin recristalización.

El gradiente de temperatura debe estar entre 20 a 60 °C por hora, debe evitarse temperaturas superiores a 380 °C y el tiempo de mantención debe ser limitado a máximo 2 horas, para aleaciones de la serie 5000 el tratamiento de recocido es usualmente efectuado entre 320 °C y 380 °C de 30 a 120 minutos [19].

### **2.1.3.7. Soldabilidad de las aleaciones de aluminio**

La soldabilidad de los materiales metálicos es la capacidad que poseen los mismos para poder unirse entre sí por la acción del calor y formar un cuerpo único físicamente continuo y libre de defectos. Tomando en consideración el concepto anterior la soldabilidad de las aleaciones de aluminio se puede considerar como una soldabilidad intermedia, puesto que para lograr una buena unión entre estos metales se debe tomar en cuenta muchas consideraciones tales como propiedades físicas, químicas y lo más importante aquellas que dependen únicamente de las técnicas y del proceso que se utilice para la unión, es así que entre las más importantes se tiene:

#### **a. Preparación del metal base**

Para soldar el aluminio, los operarios deben limpiar cuidadosamente el material base y eliminar cualquier óxido de aluminio y contaminación por hidrocarburos procedentes de lubricantes o disolventes de corte.

El óxido de aluminio en la superficie del material funde a 2060°C mientras que el aluminio, metal base que se encuentra debajo funde a 660°C. Por ello, cualquier óxido que quede en la superficie del metal base inhibirá la penetración del metal de aporte en la pieza [13].



Para eliminar los óxidos de aluminio, utilizar un cepillo de alambre de acero inoxidable o disolventes y soluciones decapantes. Si se usa un cepillo de acero inoxidable, cepillar solo en una dirección. Tener cuidado de no cepillar demasiado energicamente, ya que pueden incrustarse los óxidos en la pieza. Usar solo el cepillo para piezas de aluminio; no limpiar aluminio con un cepillo que haya sido utilizado para acero inoxidable o acero al carbono. Cuando se usen soluciones químicas decapantes, asegurarse de que han sido eliminadas de la pieza antes de soldar.

Para minimizar el riesgo de que los hidrocarburos de aceites o soluciones de corte estén presentes en la soldadura, eliminarlos con un desengrasante, verificar que el desengrasante no contenga hidrocarburos.

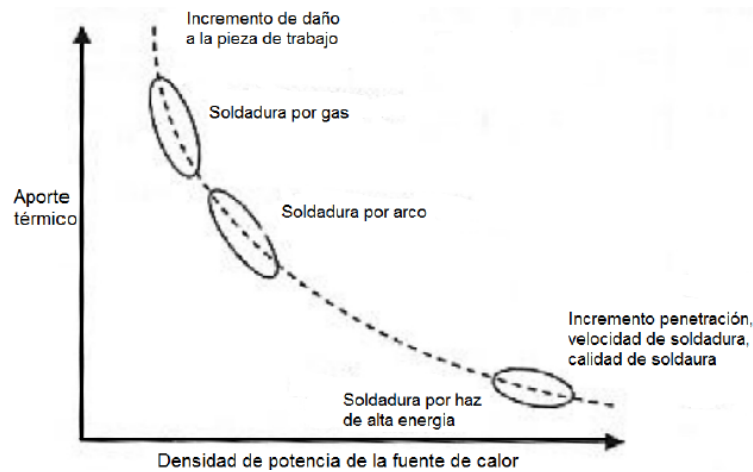
#### **b. Efecto del tipo de corriente y polaridad**

La soldabilidad de las aleaciones de aluminio está influenciada en gran medida por la selección correcta del tipo de corriente y polaridad. Como se indicó anteriormente, debido a la formación de la capa de óxido que el metal posee en su superficie, no es recomendado bajo ninguna circunstancia el uso de corriente alterna o uso de corriente directa con polaridad directa, puesto que no logra alcanzar estabilidad del arco eléctrico. Por tal motivo la soldadura del aluminio y sus aleaciones se debe realizar siempre con corriente directa inversa (CDEP), es decir, el electrodo conectado al polo positivo de la fuente y la pieza de trabajo al polo negativo. Empleando la polaridad inversa se logra eliminar la capa de óxido de aluminio y se permite de esta manera la ejecución de la soldadura.

#### **c. Efecto del proceso de soldadura**

El proceso de soldadura tiene un efecto importante en la calidad final de la unión. El tamaño del cordón de soldadura, la geometría, el tamaño de la zona afectada por el calor ZAC y el grado de distorsión de la pieza, son factores dependientes del proceso de soldadura utilizado. Debido a las propiedades físicas propias del

aluminio tales como su alta conductividad térmica y baja densidad es recomendado el uso de procesos de soldadura con una alta concentración de energía que no utilicen fundentes y con protección de un gas inerte.



**Figura 2.6** Variación del aporte térmico con la densidad de potencia de la fuente de calor.

(Fuente: ALTAMIRANO, Gerardo. (2009).)

Otro factor importante que influye en el momento de elegir el proceso de soldadura es también el espesor del material base a soldar.

La figura 2.6, indica las características de diferentes procesos de soldadura en base al aporte térmico y la densidad de potencia de la fuente de calor [3].

**Tabla 2.3** Procesos de soldadura recomendados para las aleaciones de aluminio en función al espesor.

MATERIAL	ESPEORES	GMAW	GTAW	PAW	OFW	EBW	LBW
ALEACIONES DE ALUMINIO	3 mm	X	X	X	X	X	X
	3-6 mm	X	X	X		X	X
	6 - 19 mm	X				X	
	mayores	X				X	

(Fuente: ALTAMIRANO, Gerardo. (2009).)

Una guía de selección del proceso a utilizar en función del espesor a soldar se puede observar en la tabla 2.3.

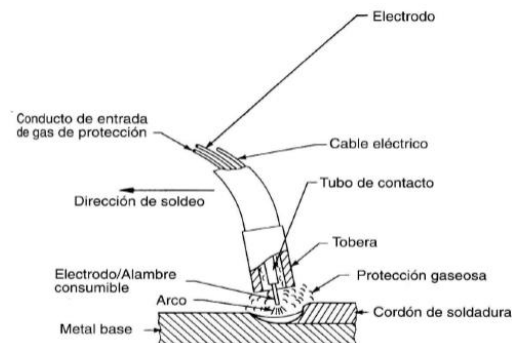
#### 2.1.3.8. Soldadura de aleaciones de aluminio

Incluso para los expertos en la soldadura de aceros, el soldeo de las aleaciones de aluminio puede presentar un verdadero desafío. La mayor conductividad térmica y el menor punto de fusión de las aleaciones de aluminio pueden fácilmente producir perforaciones a menos que los soldadores sigan los procedimientos prescritos.

También la alimentación del alambre durante el soldeo MIG (GMAW) presenta un reto debido a que el alambre es más blando que el acero, tiene una resistencia más baja y tiende a enredarse en los rodillos de arrastre. Para superar estos retos, los operarios necesitan seguir los métodos prácticos recomendados.

#### 2.1.3.9. Proceso de soldadura GMAW

El proceso de soldadura de arco metálico con protección de gas (gas metal arc welding GMAW), se basa en un arco eléctrico que surge entre un electrodo sólido que se alimenta automáticamente y el metal base. Dicho proceso se realiza bajo la protección de gas suministrado externamente, que puede ser inerte (argón y helio) activo (dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno) o una mezcla de ambos. El intenso calor del arco funde la pieza de trabajo y la punta del electrodo, el cual se transfiere al metal base en forma continua lográndose así la coalescencia.



**Figura. 2.7** Proceso de soldadura GMAW

(Fuente: MATHERS, Gene. (2002).)

En figura 2.7, se representa un esquema del proceso de soldadura GMAW.

**a. Variables operativas**

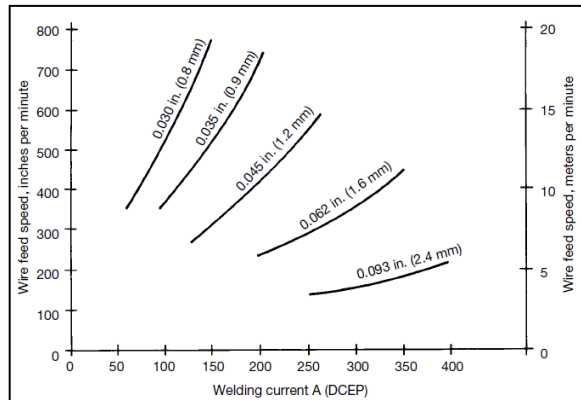
A continuación se detallan las principales variables operativas del proceso de soldadura GMAW:

- I. Intensidad
- II. Polaridad
- III. Voltaje de arco
- IV. Velocidad de soldadura
- V. Longitud de alambre (extensión de electrodo)
- VI. Orientación del electrodo
- VII. Diámetro de electrodo
- VIII. Gas de protección

**I. Intensidad de Corriente**

Si todas las otras variables se mantienen constantes, el amperaje de soldadura varía con la velocidad de alimentación del electrodo o la velocidad de fusión, el mismo se comporta como una relación no lineal. Cuando la velocidad de alimentación del electrodo se modifica, el amperaje de soldadura varía en forma similar si se está utilizando una fuente de poder constante.

En la Figura 2.8, se muestra esta relación entre la corriente de soldadura y la velocidad de alimentación del alambre para un electrodo ER5356, en la cual se puede observar que para electrodos de diámetro pequeño la relación es casi lineal, sin embargo para diámetros mayores la relación es no lineal. Esto se atribuye al incremento de resistividad por calentamiento del electrodo en la extensión libre.



**Figura. 2.8** Relación entre la velocidad de alimentación del alambre ER 5356 y la corriente de soldadura

(Fuente: SAUNDERS, H.L. (1997).)

La curva puede ser representada aproximadamente por la ecuación 2.2 [3].

$$W.P.S = ai + bLA^2 \quad (2.2)$$

Donde:

W.F.S. = Velocidad de alimentación del electrodo en mm/s

$a_i$  = Constante de proporcionalidad para el calentamiento anódico catódico. Su magnitud depende de la polaridad, la composición y otros factores. Se da en mm/s\*A.

$b$  = Constante de proporcionalidad para el calentamiento por resistencia eléctrica en  $1/(S*A^2)$ .

$L$  = Extensión libre del electrodo en mm.

$A$  = Intensidad de corriente en A.

De la figura 2.8, se aprecia que la selección del diámetro del electrodo es muy importante, ya que junto con el tipo de unión, espesor de la misma y posición de la soldadura, influyen en la calidad y el costo del material depositado.

A modo de orientación en la Tabla 2.4, se brinda los rangos de corrientes recomendados en dependencia del tipo de material de aporte y su diámetro.

**Tabla 2.4** Rangos de Corrientes de soldadura recomendados.

Base metal type	Recommended electrode		AWS filler metal specification (use latest edition)	Electrode diameter		Current range Amperes
	Material type	Electrode classification		in.	mm	
Aluminum and aluminum alloys	1100	ER1100 or ER4043	A5.10	0.030	0.8	50-175
	3003, 3004	ER1100 or ER5356		$\frac{3}{64}$	1.2	90-250
	5052, 5454	ER5554, ER5356, or ER5183		$\frac{1}{16}$	1.6	160-350
	5083, 5086, 5456	ER5556 or ER5356		$\frac{3}{32}$	2.4	225-400
	6061, 6063	ER4043 or ER5356		$\frac{1}{8}$	3.2	350-475

(Fuente: SAUNDERS, H.L. (1997).)

En términos generales, como en todos los procesos de soldadura, la intensidad se elige en base a:

- Tipo de unión.
- Espesor del material base.
- Posición de la junta a soldar.
- Tipo de material base.
- Diámetro del electrodo.

En resumen la calidad de la unión soldada es una cualidad que depende primordialmente de la intensidad de corriente.

## II. Polaridad

El término polaridad se define como la dirección del flujo de corriente. Cuando se trabaja con corriente directa se puede obtener dos tipos de polaridades: polaridad inversa y polaridad directa.

- **Polaridad Inversa.-** Cuando el cable de la pistola de soldar se conecta al terminal positivo de la máquina y la pieza de trabajo al terminal negativo se conoce como polaridad inversa o también conocida como corriente directa

electrodo positivo (DCEP). En la polaridad invertida los electrones se transportan del material base hacia el electrodo, como se observa en la figura 2.9, donde ceden su energía cinética transformándola en energía térmica. Con esta configuración, aproximadamente el 70% del calor del proceso se concentra en el electrodo, lo cual se refleja en el elevado consumo de material de aporte.

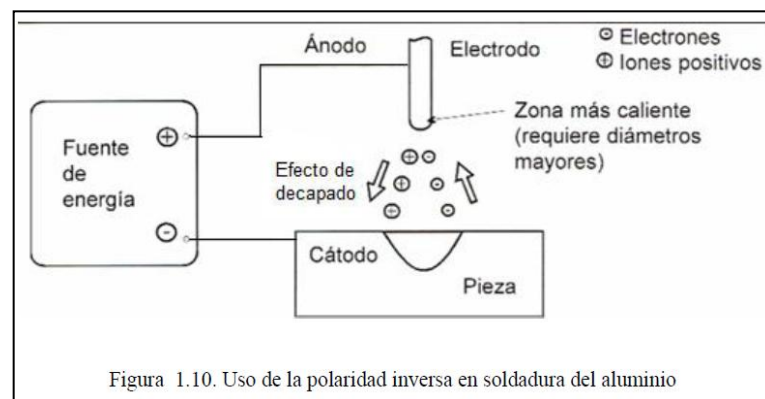


Figura 1.10. Uso de la polaridad inversa en soldadura del aluminio

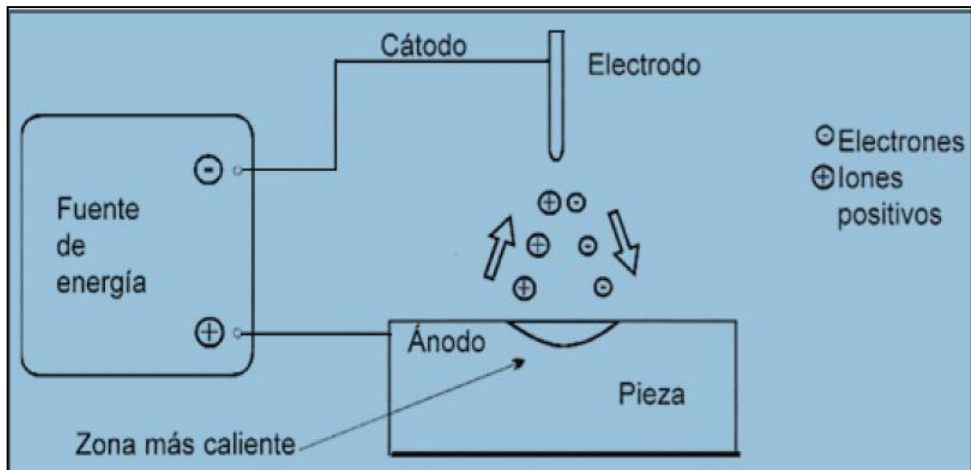
**Figura 2.9** Uso de la polaridad inversa en la soldadura de aluminio.

(Fuente: ALTAMIRANO, Gerardo. (2009).)

En la soldadura de aleaciones de aluminio al utilizar la polaridad inversa ayuda a la eliminación de la capa de óxido  $Al_2O_3$  formada naturalmente sobre la superficie del metal y permitiendo así la operación de soldadura. La gran mayoría de las aplicaciones en el proceso GMAW utilizan polaridad invertida debido a sus múltiples ventajas tales como: proporción de un arco estable, transferencia suave del metal de soldadura, salpicaduras relativamente bajas, buenas características del cordón de soldadura y una mayor profundidad de la penetración para un amplio rango de corriente de soldadura [3].

- **Polaridad Directa.-** Consiste en conectar el electrodo al terminal negativo de la máquina y la pieza de trabajo al terminal positivo se conoce como corriente directa electrodo negativo (DCEN) ver figura 2.10. Esta polaridad es raramente utilizada ya que la transferencia metálica por spray axial no es posible obtenerla, la única transferencia que se logra es globular. En la

polaridad directa los electrones van del electrodo a la pieza de trabajo y, como la capa de óxido de aluminio funde aproximadamente a 2038 °C y además es refractario, impide una estabilidad del arco eléctrico, al igual que el uso de corriente alterna normal, consiguiendo únicamente incrementar el espesor de dicha capa sin llegar a romperla y mucho menos a disociarla.



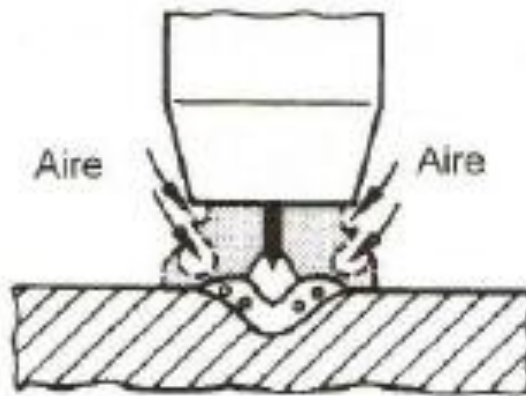
**Figura 2.10** Uso de la polaridad directa en la soldadura de aluminio.

(Fuente: ALTAMIRANO, Gerardo. (2009).)

### III. Voltaje de Arco (longitud de de arco)

Los términos voltaje de arco y longitud de arco son a menudo utilizados indistintamente. La verdad es que estos términos son diferentes aun cuando efectivamente están relacionados. En el proceso GMAW la longitud del arco es una variable crítica que debe ser cuidadosamente controlada. Por ejemplo en la soldadura por spray con argón como gas de protección un arco demasiado corto experimenta corto circuitos momentáneos los mismos que causan fluctuaciones de presión ocasionando la entrada de aire en la columna del arco, produciendo de esta manera porosidades en la soldadura del aluminio por disociación de la humedad y la incorporación de hidrógeno en el baño metálico, esto se observa claramente en la figura 2.11. Por otra parte un arco largo tiende a ser errático, afectando la penetración y el ancho del cordón de soldadura.





**Figura 2.11** Efectos del arco corto.

(Fuente: ALTAMIRANO, Gerardo. (2009).)

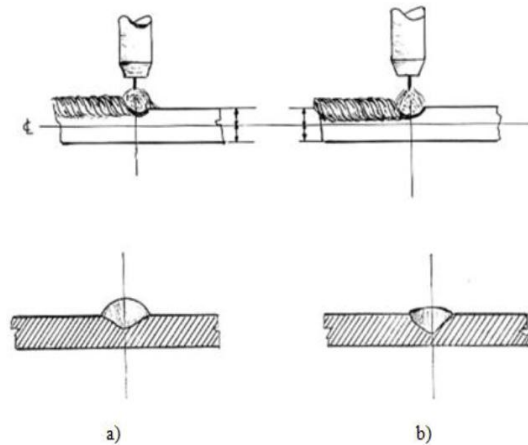
Si todas las variables se mantienen constantes, el voltaje de arco está directamente relacionado con la longitud de arco. Aunque la longitud de arco es la variable de interés y la variable que debería ser controlada, el voltaje es más fácil de monitorearlo. Por tal razón y por el requerimiento normal de que en el procedimiento de soldadura se especifique el voltaje de arco, este es el término que se utiliza con mayor frecuencia.

#### **IV. Velocidad de Avance**

La velocidad de avance de la soldadura es la velocidad lineal de desplazamiento del arco a lo largo de la unión. Un aumento o disminución de la velocidad de avance, modifica el grado de penetración, el ancho del cordón y su forma geométrica. En la figura 2.12a, 2.12b, se muestran los efectos de la velocidad de avance en una unión.

Cuando se reduce la velocidad de avance, se aumenta la depositación del metal por unidad de longitud. A velocidades muy bajas, el arco de soldadura actúa más en la pileta del metal de soldadura que sobre el metal base, con lo que se reduce la penetración efectiva, esta condición también produce un cordón de soldadura más ancho. En la medida en que se aumenta la velocidad de avance la cantidad de energía térmica por unidad de longitud de soldadura transferida desde el arco

hacia el metal base al principio aumenta, ya que el arco actúa mas directamente sobre el metal base. Con un aumento adicional en la velocidad de avance, se transferirá hacia el metal base menos energía térmica por unidad de longitud de soldadura. Por lo tanto la fusión del metal base primero se aumenta y luego se disminuye cuando se incrementa la velocidad de avance.



**Figura 2.12** Efectos de la velocidad de avance en el cordón de soldadura a) velocidad demasiado baja, b) velocidad de avance correcta.

(Fuente: LINCOLN, James. (2000).)

## V. Extensión libre del electrodo

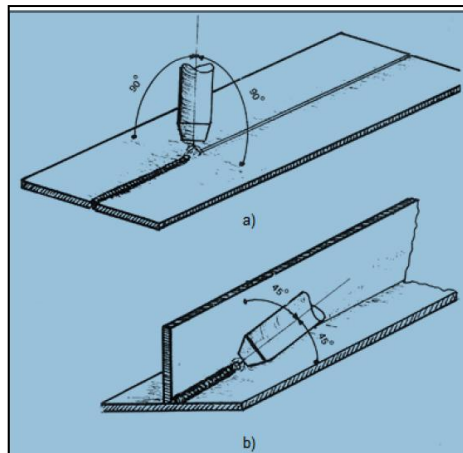
La extensión libre del electrodo es la distancia entre el extremo del tubo de contacto tobera y la punta del electrodo, cuando se incrementa la extensión libre del electrodo se produce un aumento en su resistencia eléctrica. El calentamiento por resistencia a su vez, hace que la temperatura del electrodo se eleve, lo que resulta en un pequeño incremento de la velocidad de fusión del electrodo y la pieza de trabajo. Esta situación es detectada inmediatamente por la fuente de potencia, la cual compensa este aumento con una reducción en la corriente. Esto de inmediato reduce la velocidad de fusión del electrodo y permite que se acorte la longitud física del arco, en consecuencia, a menos que haya un incremento de voltaje en la máquina de soldar, el metal de aporte depositará un cordón angosto y de corona alta.

La extensión libre del electrodo deseable esta de 6 a 13 mm para la transferencia por corto circuito.

## VI. Orientación del electrodo

La orientación del electrodo con respecto a la junta a soldar afecta la forma del cordón de soldadura y la penetración. Este efecto sobre la calidad del cordón de soldadura se considera mayor que el del voltaje de arco o el de la velocidad de avance. La orientación del electrodo se describe en dos sentidos:

- **Ángulo de trabajo.-** Denominado también ángulo transversal, es el que forma el eje del electrodo y la superficie de la pieza de trabajo. En uniones a tope en posición plana, generalmente el ángulo de trabajo es  $90^\circ$  tal como se muestra en la figura 2.13a, en cambio en uniones a filete el ángulo es de  $45^\circ$  como se muestra en la figura 2.13b



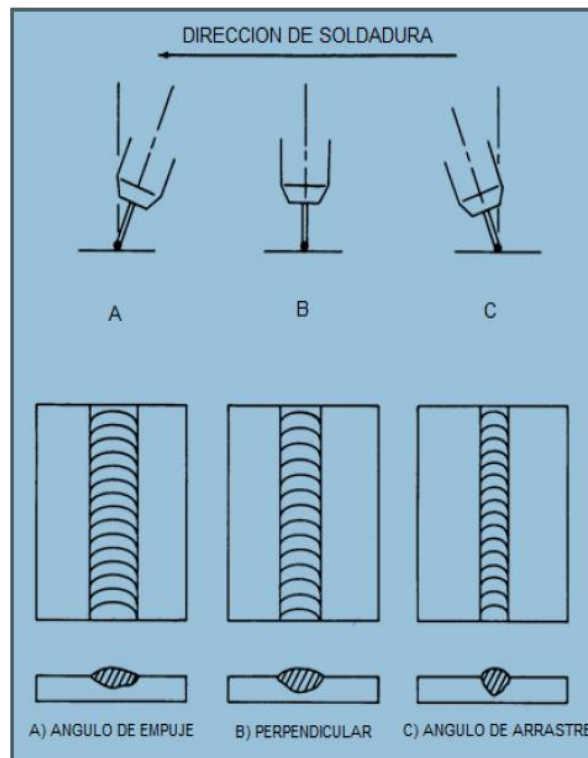
**Figura 2.13** Angulo de trabajo, a) soldadura a tope, b) soldadura a filete.

(Fuente: LINCOLN, James. (2000).)

- **Ángulo de desplazamiento.-** Es el que forma el eje del electrodo con respecto a la dirección de desplazamiento de la soldadura. Cuando el electrodo apunta en la dirección opuesta a la dirección de desplazamiento, la técnica se denomina soldadura de revés con ángulo de arrastre. Cuando el

electrodo apunta en la dirección del desplazamiento la técnica se conoce como soldadura de derecha o avance con ángulo de empuje.

Los diferentes ángulos y técnicas ocasionan soldaduras con diferentes resultados que son determinantes en las características finales de la unión. La orientación del electrodo y su efecto sobre el ancho y penetración de la soldadura se ilustra en las figura 2.14



**Figura 2.14** Características de la soldadura en función del ángulo de desplazamiento

(Fuente: LINCOLN, James. (2000).)

## VII. Tamaño del electrodo

El diámetro del electrodo influye en la configuración de la soldadura. En la soldadura del aluminio, al igual que en la mayoría de materiales se inicia con la

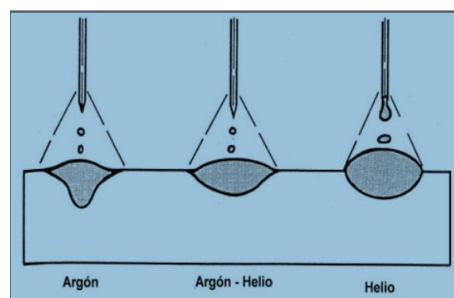
selección del material de aporte. La primera consideración es el diámetro que puede variar de 0,635 mm a 6,35 mm. Los diámetros mayores son más fáciles de alimentar, por lo que se recomienda el uso de mayores diámetros.

El segundo factor en la selección del material de aporte es el tipo de aleación de la cual se hablará más adelante.

### VIII. Gas de protección

Utilizar el gas apropiado de protección a la mezcla adecuada es otro factor determinante en la soldadura, siendo que el uso de determinado gas o una combinación de gases influyen en la penetración y geometría de un cordón de soldadura, cuando las demás condiciones se mantienen con un ajuste correcto. En soldadura de arco metálico con protección de gas para materiales no ferrosos se emplean gases inertes como protección, de los cuales los más importantes por su grado de industrialización son el helio y el argón.

El argón es aproximadamente 1,4 veces más denso que el aire, mientras que el helio es 0,14 veces la densidad del aire, de lo cual el argón es más efectivo como gas de protección en soldaduras de posición plana y horizontal de filete, ya que desplaza fácilmente el aire circundante. Debido a la baja conductividad térmica del argón el plasma del arco que arde en este gas se caracteriza por poseer un núcleo central con alta energía y una zona exterior de menor energía, lo que se refleja fuertemente en la morfología del cordón de soldadura con una penetración irregular, siendo mucho mayor en la parte central del cordón esto se observa en la figura 2.15.



**Figura 2.15** Influencia del gas de protección en el cordón de soldadura

(Fuente: LINCOLN, James. (2000).)

Otra característica a tomar en consideración es la energía de ionización la misma que para el argón es de 15,7 eV, relativamente inferior a la del helio que es de 24,5 eV, lo que provoca que para una misma longitud de arco el voltaje sea menor y para un mismo amperaje se produzca menor cantidad de calor. Por consiguiente, con helio como gas protector, el cordón de soldadura será mas ancho y con menor penetración como resultado de un voltaje de arco mucho más elevado que si se usa argón este fenómeno se observa en la figura 2.15 [3].

Un valor que involucra al menos tres de las variables operativas que se han mencionado anteriormente es el aporte térmico que el proceso suministra a la pieza y se evalúa con ayuda de la ecuación 2.3:

$$HI = \frac{A*U*\beta}{Vs} \quad (2.3)$$

A = Intensidad de corriente en A.

U = Voltaje Volts.

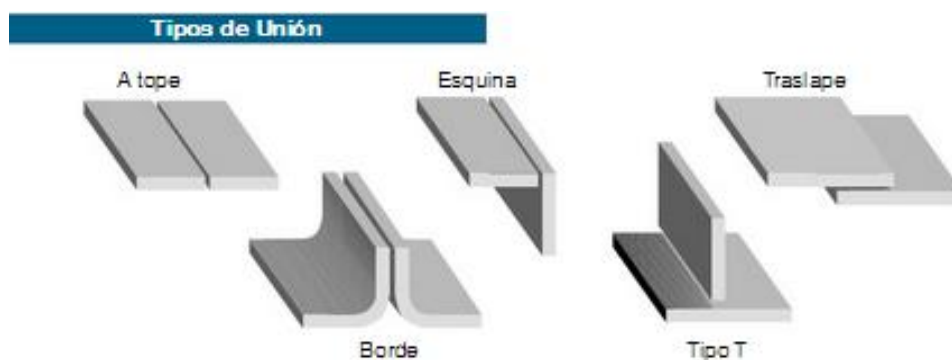
Vs = Velocidad de avance mm/seg.

$\beta$  = Factor de aprovechamiento GMAW = 0.8

HI = Aporte térmico J/mm

### 2.1.3.10. Tipos de juntas

En la figura 2.16, se puede observar lo cinco tipos básicos de juntas empleadas en soldadura.



**Figura 2.16** Tipos de juntas para soldadura

(Fuente: LINCOLN, James. (2000).)

### 2.1.3.11. Tipos de soldaduras

Los cordones de soldadura se pueden clasificar:

I. Por la posición geométrica de las piezas a unir.

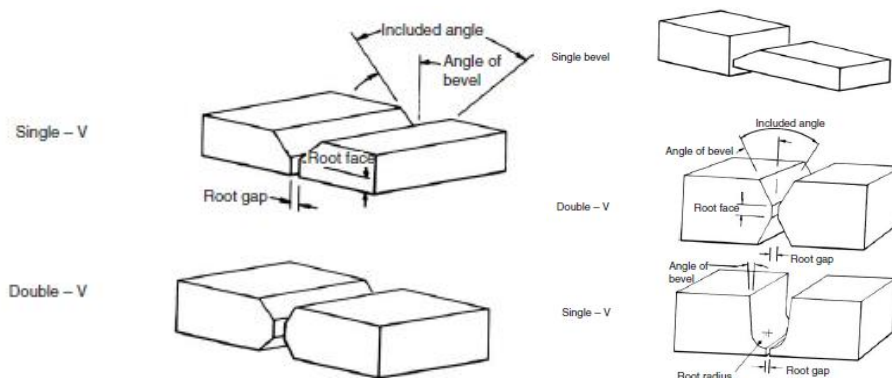
- Soldaduras a tope
- Soldaduras en ángulo

II. Por la posición del cordón de soldadura respecto al esfuerzo

- Cordón frontal
- Cordón lateral
- Cordón oblícuo

III. Por la posición del cordón de soldadura durante la operación de soldar

- Cordón plano (se designa con H)
- Cordón horizontal u horizontal en ángulo (se designa por C).
- Cordón vertical (se designa con V)
- Cordón en techo o en techo y en ángulo (se designa con T)



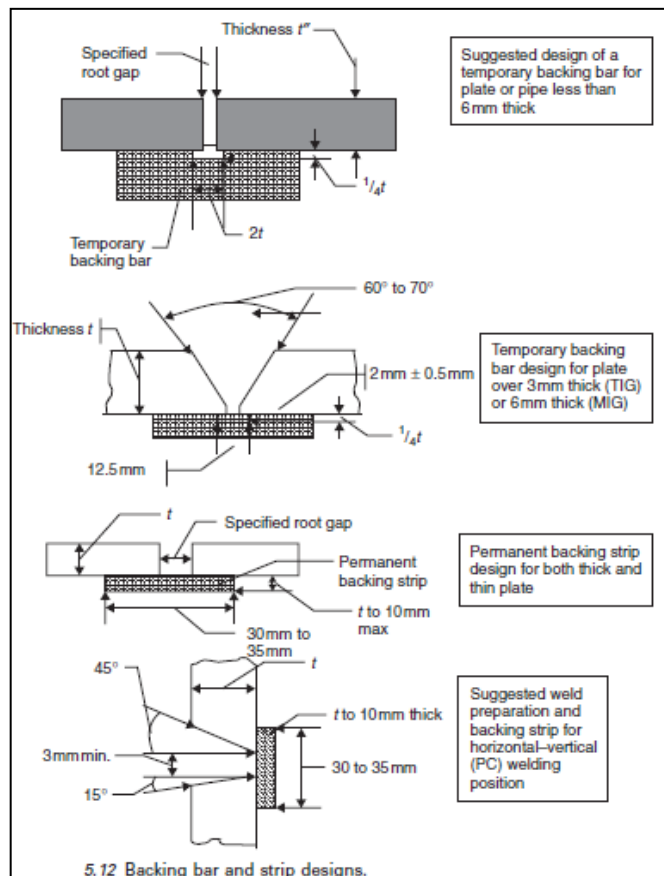
**Figura 2.17** Preparación de juntas para soldaduras a tope.

(Fuente: MATHERS, Gene. (2002).)

### a. Soldaduras a tope

Las formas típicas de preparación para las soldaduras a tope se indican en la figura 2.17, el objetivo principal de la preparación es lograr usar la menor cantidad de material.

Para espesores comprendidos entre 3 y 6 mm, no es necesario realizar la preparación de biselés para logra una penetración completa, pero si es necesario dejar una separación del al menos 1,6 mm, la soldadura en estos espesores pueden ser realizados por un solo lado o por los dos lados. En muchos de los casos se podrán utilizar respaldos, los mismos que pueden ser permanentes o removibles, el dimensionamiento de todos estos elementos se puede observar en la Figura 2.18 [7].



**Figura 2.18** Dimensionamiento del respaldo en soldaduras a tope.

(Fuente: MATHERS, Gene. (2002).)



### 2.1.3.12. Selección de la aleación de relleno

Las Aleaciones de relleno utilizadas para soldar aleaciones de aluminio no tratables térmicamente se observan en la Tabla 2.5.

Comúnmente son utilizadas como aleaciones de relleno la 1100, 1188, 4043, 4047, 5554, 5654, 5183, 5356 y 5556. Composiciones nominales de las aleaciones de relleno seleccionado se incluyen en la Tabla 2.5. La Selección de la mejor aleación de aporte para una aplicación determinada depende de los resultados deseados en relación con soldabilidad, resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión.

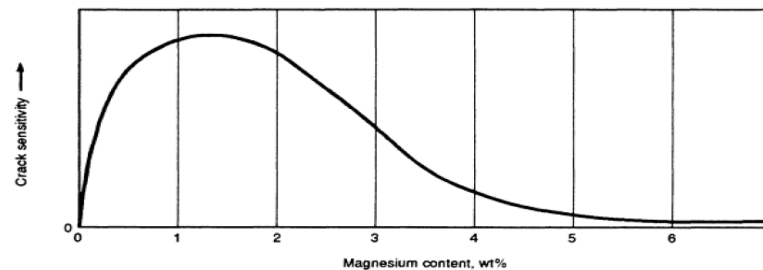
**Tabla 2.5** Aleaciones utilizadas como material de relleno para soldar aleaciones de aluminio no tratables térmicamente.

AWS	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Cr	% Zn	% Ti	% Al
ER1100	<0.95	<0.95	0.05-0.20	0.05	-	-	0.10	-	99.0
ER1188	0.06	0.06	0.005	0.01	0.01	-	0.03	0.01	99.88
ER2319	0.20	0.03	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02	-	0.10	0.10-0.20	RESTO
ER4009	4.5-5.5	0.20	1.0-1.5	0.10	0.45-0.6	-	0.10	0.10-0.20	RESTO
ER4010	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.30-0.45	-	0.10	0.20	RESTO
ER4011	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.45-0.7	-	0.10	0.04-0.20	RESTO
ER4043	4.5-6.0	0.8	0.30	0.05	0.05	-	0.10	0.20	RESTO
ER4047	11.0-13.0	0.8	0.30	0.15	0.10	-	0.20	-	RESTO
ER4145	9.3-10.7	0.8	3.3-4.7	0.15	0.15	-	0.20	-	RESTO
ER4643	3.6-4.6	0.8	0.10	0.05	0.10-0.30	-	0.10	0.15	RESTO
ER5183	0.40	0.40	0.10	0.50-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25	0.25	0.15	RESTO
ER5356	0.25	0.40	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5	0.05-0.20	0.10	0.06-0.20	RESTO
ER5554	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0	0.05-0.20	0.25	0.05-0.20	RESTO
ER5556	0.25	0.40	0.10	0.50-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	0.25	0.05-0.20	RESTO
ER5654	<0.45	<0.45	0.05	0.01	3.1-3.9	0.15-0.35	0.20	0.05-0.15	RESTO

(Fuente: ALTAMIRANO, Gerardo. (2009).)

En general, la aleación de relleno seleccionado debe ser similar en composición a la aleación de metal base. Por lo tanto, una aleación de relleno 1xxx se recomienda para la unión de las aleaciones de los metales comunes de la serie 1xxx, 3xxx. Del mismo modo, las aleaciones de 5xxx de relleno se utilizan para unir las aleaciones de metales comunes de la serie 5xxx. La Soldabilidad de las aleaciones de aluminio no tratables térmicamente se puede medir en términos de resistencia a la fisuración en caliente y la porosidad.

- **La ruptura en caliente.** Problemas con la ruptura en caliente se encuentran al soldar en condiciones muy limitadas, o cuando las aleaciones de soldadura son altamente susceptibles a la rotura.

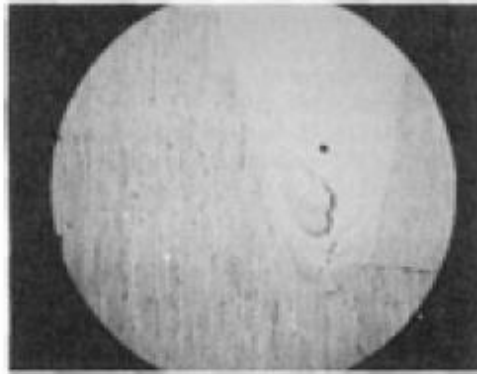


**Figura 2.19** Gráfico de la susceptibilidad a la rotura en caliente versus el contenido de magnesio, pico mostrado para una aleación de Al-Mg 5xxx

(Fuente: MENESES NUNES, Rafael et al. (1993).)

Tal es el caso de las aleaciones 5xxx que tienen un bajo rango en el contenido de magnesio (1/2 al 2 1/2% en peso de Mg), donde un pico en la curva de susceptibilidad-rotura (Fig. 2.19), ocurre. Para evitar el agrietamiento, el uso de una aleación de magnesio de alto contenido se recomienda.

Problemas similares se pueden encontrar cuando rellenos 1xxx se utilizan para unir aleaciones 5xxx (o viceversa), o cuando las aleaciones de soldadura de metales disímiles, tales como las aleaciones 1100 y 5083 son realizadas, también la dilución mutua puede resultar en niveles bajos de magnesio. Soldadura por haz de electrones o soldadura de rayo láser también puede resultar en grietas, cuando el magnesio se evapora producto de la alta presión de vapor de la aleación. El problema se agrava cuando se suelda en un ambiente de vacío. Un ejemplo de una grieta central en caliente se observa en la figura 2.20, donde la aleación de aluminio 5083 es soldada por medio de un haz de electrones, allí se midieron los niveles de magnesio resultando aproximadamente 3% en peso en las cercanías de la grieta, con base en el análisis de micro sonda. Se trataba de una soldadura autógena en un vacío difícil (0,13 mPa, o torr 10<sup>-6</sup>).



**Figura 2.20** Rotura central en caliente producida luego de una soldadura autógena con Haz de electrones en una aleación 5083

**(Fuente:** MENESES NUNES, Rafael et al. (1993).)

Otro enfoque que debe adoptarse cuando la ruptura en caliente persiste es el uso de rellenos 4xxx, estas aleaciones de aluminio-silicio tienen una excepcional resistencia a la fisuración, debido en parte a su abundancia de líquido eutéctico disponible para el regreso de llenado, sin embargo su uso debe evitarse al soldar las aleaciones de magnesio de alta (> 3% en peso) debido a la fragilidad producto de la precipitación  $Mg_2Si$ . Otras desventajas incluyen baja ductilidad conjunta y no coincidencias de color cuando es anodizado. La soldabilidad mejorará con el mayor contenido de silicio (por ejemplo, la aleación 4047 en comparación con la aleación 4043), pero los inconvenientes discutidos anteriormente también se harán más predominantes.

- **La porosidad.** Las aleaciones de aluminio no tratables térmicamente son susceptibles a la porosidad inducida por hidrógeno en el metal de soldadura, al igual que todas las aleaciones de aluminio en general, esta porosidad es formada durante la solidificación debido a la caída brusca de la solubilidad del hidrógeno al pasar de líquido a sólido.

**Tabla 2.6** Directrices para selección de relleno al soldar aleaciones de aluminio no tratables térmicamente.

<i>Metal base</i>	7005 7039 7004	6061 6063 6101 6151	5456	5454	5154 5254	5086	5083	5052 5652 a	5005 5050	3004	2219	2014 2039	1100 3003	1160 1070 1080 1350
1060, 1070 1080, 1350	4043 d,e	4043 e	5356 g	4043 e,g	5356 e,f,g	5356 g	5356 g	4043 e,g	1100 e,f	4043 e,g	4145 e,f	4145	1100 e,f	1188 e,fl
1100 3003	4043 d,e	4043 e	5356 g	4043 e,g	5356 e,f,g	5356 g	5356 g	4043 e,g	1100 e,f	4043 e,g	4145 e,f	4145	1100 e,f	-
2014 2036	-	4145	-	-	-	-	-	-	4145	4145	4145 h	4145 h	-	-
2219	4043 e	4043 d,e	-	4043 e	4043 e	-	-	4043 e,g	4043 d,e	4043 d,e	2219 d	-	-	-
3004	5356 i	4043 e,i	5356 e,i	5356 i	5356 i	5356 g	5356 g	5356 e,f,k	5356 fk	5356 fk	-	-	-	-
5005 5050	5356 i	4043 e,i	5356 g	5356 i	5356 i	5356 g	5356 g	5356 e,f,g	5356 fk	-	-	-	-	-
5052 5652	5356 i	5356 fi	5356 i	5356 i	5356 i	5356 g	5356 g	5654 fi,k	-	-	-	-	-	-
5083	5183 g	5356 g	5183 g	5356 g	5356 g	5356 g	5183 g	-	-	-	-	-	-	-
5086	5356 g	5356 g	5356 g	5356 g	5356 g	5356 g	-	-	-	-	-	-	-	-
5154 5254	5356 i	5356 i	5356 i	5356 i	5654 i,k	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5454	5356 i	5356 fi	5356 i	5554 h,i	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5456	5356 g	5356 g	5356 g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6061, 6101 6063, 6151 6201, 6351 6951	5356 e,f,i	4043 d,e,j	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7005, 7039 7004	5356 g	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Fuente: ALTAMIRANO, Gerardo. (2009).)

La mejor manera de evitar o reducir la captación de hidrógeno durante la soldadura, se puede lograr mediante la preparación adecuada de las juntas (es decir, la eliminación de hidrocarburos), el uso de alta calidad (bajo punto de rocío), gas de protección, cuidado y almacenamiento de alambre de relleno (es decir, protección contra la exposición a la humedad y el aceite). Se ha determinado que el alambre de soldadura de relleno es a menudo la fuente principal de contaminación de hidrógeno. Las aleaciones de relleno de la serie 5xxx, en particular, son susceptibles a la hidratación de los óxidos de la superficie, lo cual puede resultar en la porosidad. En resumen, las directrices para la selección de relleno de las aleaciones de soldadura cuando son no tratables térmicamente se indican en la Tabla 2.6 [14].

### 2.1.3.13. Propiedades de la soldadura

Cuando las aleaciones no tratables térmicamente se sueldan, se incurre en daño micro-estructural de la ZAC. A diferencia del caso de las aleaciones tratables

térmicamente, cuyo fortalecimiento se debe a los precipitados que pueden disolverse, el daño de la ZAC en aleaciones no tratables térmicamente es limitado por la recuperación, re-cristalización y crecimiento de grano. Por lo tanto, la pérdida de fuerza en la ZAC no es tan grave como la experimentada en las aleaciones tratables térmicamente, por esta razón, las aleaciones de la serie 5xxx son populares para su uso en recipientes a presión soldados mientras las fuerzas conjuntas sean razonable y pueden ser obtenidos en la condición de soldado, sin necesidad de tratamiento térmico post-soldadura.

El metal de soldadura de las aleaciones de aluminio no tratables térmicamente suele ser la parte más débil de la junta y es el lugar de falla cuando la junta se carga a tensión. Esto está en contraste con la mayoría de las aleaciones de aluminio tratables térmicamente, donde la zona afectada por el calor suele ser el eslabón más débil. La micro-estructura del metal de soldadura de las aleaciones no tratables térmicamente consiste en la columna de granos epitaxiales con una subestructura celular o columnares dendríticas, que tienen eutécticos interdendrítica que son constituyentes preliminares, el  $(\text{Fe, Mn}) \text{Al}_6$  de las aleaciones 1xxx y 3xxx; y el  $\text{Mg}_3\text{Al}_2$  para las aleaciones 4xxx, y para 5xxx, la eficiencia conjunta de varias aleaciones no tratables térmicamente se comparan en la Tabla 2.7, cabe señalar que la eficiencia conjunta es la más alta para la placa de recocido (cerca al 100%) y disminuye continuamente con el grado de trabajo en frío.

En la Tabla 2.7, se muestra el efecto de la composición y el trabajo en frío sobre las propiedades de la placa. Las dos aleaciones de la serie 5xxx muestran una mejora significativa en el esfuerzo en comparación con las aleaciones de la serie 1xxx, 3xxx, una reflexión sobre el fortalecimiento se debe a la cantidad de magnesio. Del mismo modo, las aleaciones de la serie 5xxx con contenido de magnesio superior tienen una mayor resistencia (por ejemplo, aleación 5083 en comparación con la aleación 5050). Esta misma tendencia se observa para la resistencia del metal de soldadura.

**Tabla 2.7.** Efectos de la variación de las propiedades de las aleaciones tratables térmicamente y las no tratables luego de la soldadura

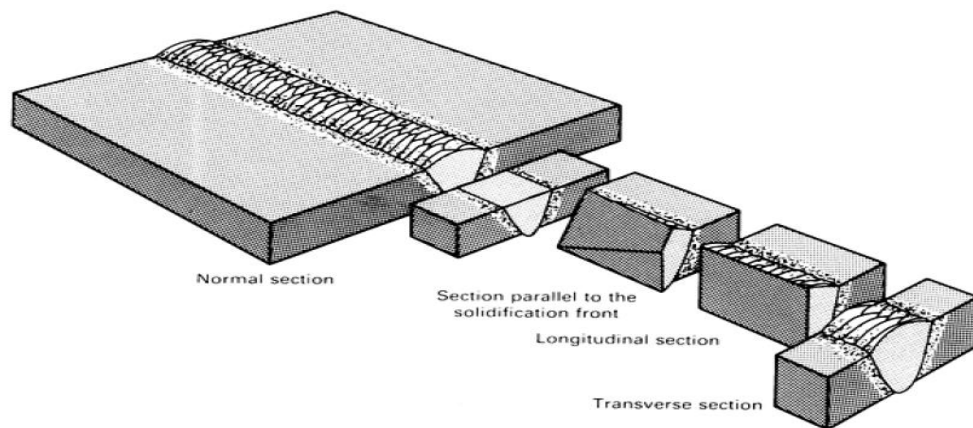
Aleación base y templado	Propiedades de la placa					Aleación de relleno	Propiedades de la soldadura					Eficiencia de la junta % (A)
	Esfuerzo a fluencia		Esfuerzo a tensión último		Elongación en 2 in, %		Esfuerzo a fluencia		Esfuerzo a tensión último		Elongación en 2 in, %	
	Mpa	Ksi	Mpa	Ksi			Mpa	Ksi	Mpa	Ksi		
1100-0	34	5	90	13	35	1100	41	6	93	13.5	23	100
						4043	41	6	90	13	21	100
3003-0	41	6	110	16	30	1100	41	6	90	13	20	81
						4043	48	7	91	13.2	17	83
3003-H18	186	27	200	29	4	1100	59	8.5	110	16	15	55
5050-0	55	8	145	21	24	5356	55	8	145	21	20	100
5050-H32	145	21	172	25	9	5356	97	14	159	23	14.5	92
						4043	90	13	152	22	15	88
5050-H38	200	29	221	32	6	5356	97	14	162	23.5	14.5	73
5083-0	145	21	290	42	22	5356	145	21	283	41	17	98
5083-H32	228	33	317	46	16	5356	145	21	276	40	16	87
						5183	152	21	300	43.5	12	95

(Fuente: MENESES NUNES, Rafael et al. (1993).)

La selección del metal de relleno tiene poco efecto sobre la resistencia de la junta como se muestra en la Tabla 2.7. Sin embargo, es evidente que el uso de un relleno 4xxx da lugar a la pérdida de ductilidad. Además, las aleaciones de relleno de silicio, manganeso (por ejemplo, la aleación de relleno 5183) tendrán una mayor cantidad de componentes eutécticos, que se traducirá en una menor ductilidad de la soldadura. Aun así las soldaduras de aleación no tratable térmicamente presentan mejor ductilidad en comparación con similares soldaduras tratables térmicamente [14]

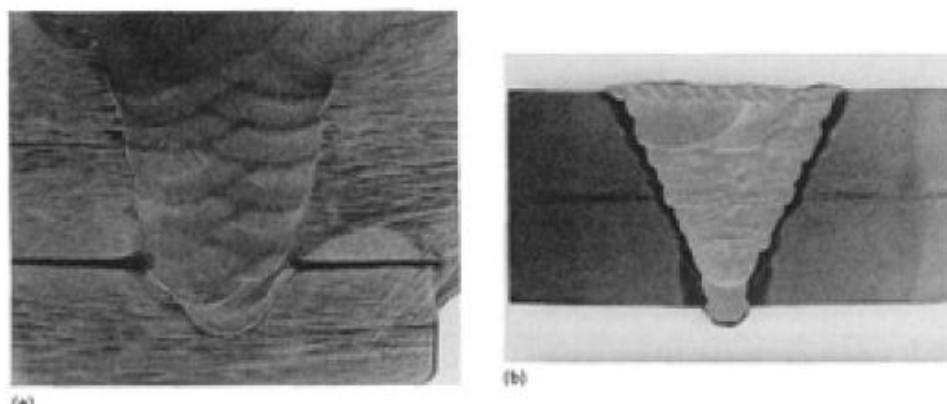
#### 2.1.3.14. Caracterización interna que requieren procedimientos destructivos

Esta sección incluye una breve caracterización macro-estructural, micro-estructural y análisis de la composición. Estos procedimientos se basan generalmente en una sección transversal de la soldadura, que puede ser complementada con la fotografía de primera vista, la sección longitudinal y la sección normal (Fig. 2.21). En particular, la fotografía de primera vista muestra el aspecto general de las irregularidades de la soldadura, como son salpicaduras o defectos macroscópicos, la ruptura en caliente o porosidad.



**Figura 2.21** Sección típica usada en la examinación metalográfica de una junta soldada

(Fuente: MENESES NUNES, Rafael et al. (1993).)



**Figura 2.22** Elemento de una junta soldada

(Fuente: MENESES NUNES, Rafael et al. (1993).)

**a. Micro-estructura de soldadura**

En muchos casos es importante analizar y caracterizar la micro estructura de la soldadura, para comprender su formación y los efectos sobre las propiedades. Este es el caso cuando los materiales y procesos no están bien caracterizados, por lo que las especificaciones no se han establecido. Otros problemas surgen cuando existe la posibilidad de la formación de micro-elemento perjudicial y/o cuando las consecuencias del fracaso de soldadura son graves. Soldadura de alta resistencia o materiales frágiles son ejemplos típicos.

**Tabla 2.8** Composición del Reactivo de keller 7mA para ataque de aleaciones de aluminio

<b>7m</b>	A) 2(4) mL HF (40%)	At ambient temperature, 10–30 s	Al and Al alloys (Al-Si cast alloys)	Ref 9, 10
	3(6) mL HCl (38%)	Prepare fresh before use		
	5(10) mL HNO <sub>3</sub> (70%)			
	190 mL distilled H <sub>2</sub> O (concentration variable)			
	Toxic!			
	20 mL reagent 7m + 80 mL H <sub>2</sub> O	5–10 s	...	Ref 7
	B) 2 mL HF (40%)	10–60 s	Form thin layer of etching products on the specimen surface	Ref 7
	3 mL HCl (38%)	Rinse in stream of warm water		
	20 mL HNO <sub>3</sub> (70%)			
	175 mL distilled H <sub>2</sub> O			
	(Modified 7m)			

(Fuente: ADAMS, Brent L. et al. (2004).)

La micro-estructura de una soldadura consta de tres regiones: una zona de fusión (material que se ha derretido); una zona afectada por el calor (material que no se fundió, pero cuya micro-estructura se ha modificado), y el metal base. Estas tres regiones se pueden ver en la sección transversal que se muestra en la figura. 2.22.



Las micro-estructuras de la soldadura se examinan mediante extracción de la pieza estándar y técnicas de preparación, con algunas concesiones hechas por su naturaleza no homogénea. Del mismo modo, los parámetros utilizados para caracterizar las micro-estructuras de soldadura, son el tamaño de grano, morfología de los granos y las distintas fases o micro-elementos presentes en las mismas.

Para realizar el ataque químico para las aleaciones de aluminio de la serie 5xxx el reactivo a utilizar es el de Keller con un tiempo de ataque comprendido entre 10 y 30 seg. La concentración del reactivo se muestra en la tabla 2.8 [1].

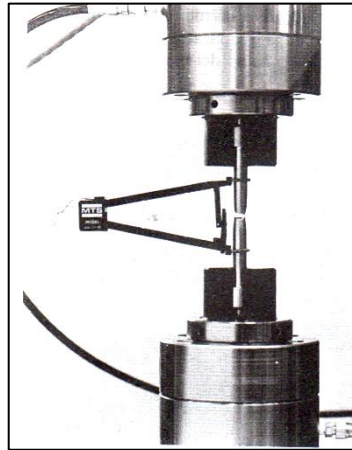
#### **b. Pruebas Mecánicas**

Un número de propiedades mecánicas se utilizan para caracterizar las soldaduras, incluyendo resistencia, ductilidad, dureza y tenacidad. En general, las mismas muestras y los procedimientos se utilizan en otras áreas de la metalurgia. Sin embargo, una preocupación importante con respecto al rendimiento mecánico de las soldaduras es la comparación directa con el material de base. El objetivo es asegurar que la soldadura no es el componente más débil de una estructura, o si lo es, para compensar esta en el diseño.

#### **c. Ensayo de tracción**

Este es uno de los ensayos más comunes para evaluar algunas propiedades mecánicas de los materiales, entre ellas está el esfuerzo a fluencia, el esfuerzo último, el porcentaje de reducción de área, el porcentaje de elongación y el módulo de elasticidad, con el afán de que estos ensayos puedan ser comparados se deben efectuar siguiendo las normas respectivas es así que para efectuar este tipo de ensayos en aleaciones de aluminio la norma a seguir es la ASTM B557, el ensayo consiste en aplicar cargas de tensión a una muestra la misma que puede ser cilíndrica o plana como se muestra en la figura 2.23, los extremos de la muestra con mayores dimensiones se la fijan en las mordazas a fin de que la rotura se

presente en la región central que tiene menor dimensión, en lugar de que se presente en los extremos, donde la distribución de esfuerzos es más complicada.



**Figura 2.23** Espécimen característico para pruebas de tensión.

(Fuente: GERE, James M. / TIMOSHENCKO, Stephen P. (1984))

La muestra estandarizada de acuerdo a ASTM B557 tiene un ancho de 19.1 mm y una longitud calibrada de 50,8 mm entre las marcas de calibración, que son los puntos donde se sujeta a la muestra el extensómetro figura 2.23. Conforme se tensiona la muestra, se mide y registra la carga de tensión  $P$ , ya sea de manera automática o mediante lectura del medidor. El alargamiento sobre la longitud calibrada se mide en forma simultánea con las lecturas de carga, en una prueba estática la carga es aplicada lentamente no así en una prueba dinámica donde la carga es aplicada rápidamente.

El esfuerzo último ( $S_{ut}$ ) del espécimen de prueba se calcula dividiendo la carga máxima de rotura ( $P_{max}$ ) entre el área transversal  $A_o$ , de acuerdo a la ecuación 2.4:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} \quad (2.4)$$

Cuando en el cálculo se utiliza el área inicial de espécimen, el esfuerzo resultante se denomina esfuerzo nominal (también conocido como esfuerzo de ingeniería).

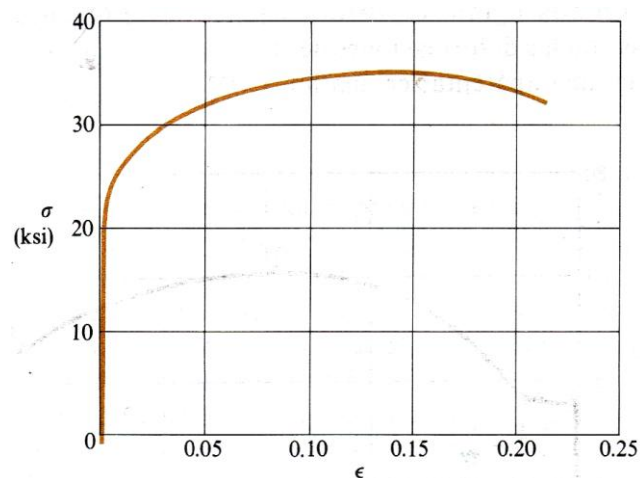
Se pueden calcular un valor más exacto del esfuerzo axial, conocido como esfuerzo real mediante el área instantánea de la barra, que puede ser mucho menor que el área inicial en algunos materiales, este esfuerzo real es el utilizado para la calificación de procedimientos de soldadura de acuerdo a AWS.

La deformación unitaria axial media se determina a partir del alargamiento ( $\delta$ ) medido entre las marcas de calibración, al dividir ( $\delta$ ) entre la longitud calibrada ( $L$ ) de acuerdo a la ecuación 2.5:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.5)$$

Si se emplea la longitud calibrada inicial entonces se obtiene la deformación unitaria nominal. Por su puesto, la distancia entre la marcas aumenta según se aplica la carga de tensión. Si se emplea la longitud instantánea para el cálculo de la deformación, se obtiene la deformación real.

Después de realizar una prueba de tensión y de establecer el esfuerzo y la deformación para varias magnitudes de la carga, se puede trazar un diagrama de esfuerzo deformación. Tal diagrama esfuerzo deformación es característico de cada material y proporciona información importante acerca de las propiedades mecánicas y el comportamiento típico del material.



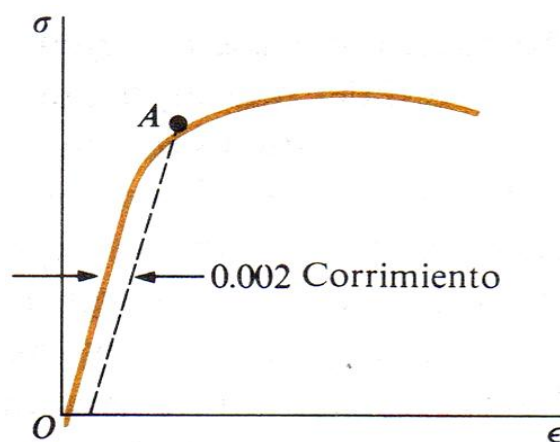
**Figura 2.24.** Diagrama esfuerzo-deformación de una aleación de aluminio

(Fuente: GERE, James M. / TIMOSHENCKO, Stephen P. (1984))

Muchas aleaciones de aluminio poseen considerable ductilidad, aunque carecen de un punto de fluencia claramente definido. En su lugar, muestran una transición gradual entre las regiones lineal y no lineal, como se indica en el diagrama esfuerzo deformación de la figura 2.24. Las aleaciones de aluminio adecuadas para propósitos estructurales están disponibles con límites de proporcionalidad en el intervalo de 10 a 60 kpsi. Y esfuerzos últimos en el intervalo de 20 a 80 kpsi.

Cuando un material como el aluminio no tiene un punto de fluencia definido y a pesar de ello soporta grandes deformaciones después de rebasarse el límite de proporcionalidad, puede determinarse un esfuerzo de fluencia arbitrario mediante el método de corrimiento, se traza una recta paralela a la porción inicial rectilínea de la curva figura 2.25. Pero se corre o desplaza en un cierto valor normalizado de deformación, como 0.002 (o 0.2%). La intersección de la línea de corrimiento y la curva esfuerzo deformación (punto A en la figura 2.25) define el esfuerzo a fluencia.

Dado que este esfuerzo se determina mediante una regla arbitraria y no constituye una propiedad física inherente del material, se le conoce como esfuerzo de fluencia aparente. Para un material como el aluminio, este esfuerzo de fluencia es ligeramente superior al límite de proporcionalidad.



**Figura 2.25** Esfuerzo de fluencia arbitrario determinado por el medio de corrimiento.

(Fuente: GERE, James M. / TIMOSHENCKO, Stephen P. (1984))

La ductilidad de un material a tensión puede caracterizarse por un alargamiento total y por la disminución de área en la sección transversal donde ocurre la fractura. La elongación (porcentual) se define de acuerdo a la ecuación 2.5:

$$\text{Elongación} = \frac{L_f - L_o}{L_o} * 100 \quad (2.5)$$

Donde ( $L_o$ ) es la longitud calibrada original y ( $L_f$ ) es la distancia entre las marcas de libración al ocurrir la fractura. Debido a que el alargamiento no es uniforme a lo largo del espécimen, sino que se concentra en la región donde se presenta la estricción, la elongación (porcentual) depende de la longitud calibrada. Por ello, cuando se establece la elongación, también debe indicarse la longitud de calibración. En el caso de las aleaciones de aluminio, la elongación varía desde el 1% hasta el 45%, dependiendo de su composición y tratamiento.

La reducción (porcentual) de área mide el valor de la estricción que se presenta y se define por la ecuación 2.6:

$$\text{Elongación} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100 \quad (2.6)$$

Donde ( $A_o$ ) es el área original de la sección transversal y ( $A_f$ ) es del área final de la sección de la fractura [7].

#### **d. La ductilidad.**

Es otra característica crítica de la soldadura. Además de los defectos, muchos procesos de soldadura pueden producir micro estructuras duras, frágiles. Las medidas estándar de la ductilidad están dadas en el porcentaje de reducción de la superficie y porcentaje de elongación, se obtienen en un ensayo de tracción uniaxial. Otra prueba que a menudo se especifican para las soldaduras es un ensayo de plegado (dobla la cara, las curvas del techo, y las curvas de lado). En esta prueba, una tira de material que contiene una soldadura se deforma alrededor de un radio determinado y su superficie es examinada. Los criterios para el éxito o

el fracaso son el número y tamaño de los defectos vistos en la superficie externa de la curva.

**e. Ensayo de Dureza Brinell.**

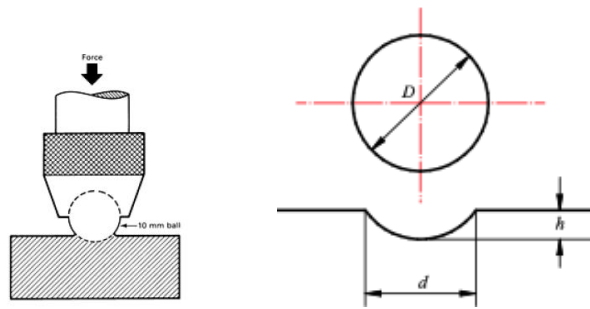
Un uso común de los valores de dureza en las especificaciones de soldadura es como un chequeo por la formación de micro-estructuras que podría haber bajado ductilidad y resistencia y por lo tanto son propensos a agrietarse. Esta cuestión se aborda mediante la especificación de los valores máximos de micro-dureza a través de varias secciones de la soldadura. Los valores de dureza se utilizan también como un indicador de la susceptibilidad a algunas formas de corrosión bajo tensión.

Para evaluar la variación de la dureza en la zona afectada por el calor ZAC el método a escoger será en función de la dureza del material base es así que para el aluminio el método ideal es la dureza brinell el mismo que establece varios parámetros a tomar en consideración los mismos que se puede ubicarlos en la norma ASTM E10

**Definición de dureza:**

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

El estándar ASTM E 10, define la dureza Brinell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza una bola endurecida, bajo condiciones específicas, contra la superficie del material a ensayar y se mide el diámetro de la impresión resultante luego de remover la carga (figura 2.26).



**Figura 2.26.** Símbolos que describen la dureza Brinell

(Fuente: LAMET. BAILEY, Jhon et al. (2000).)

En atención a la definición, el número de dureza Brinell se calcula a partir de la ecuación 2.7:

$$HBS \text{ o } HBW = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{F}{D^2} \left[ \frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right]; \quad (2.7)$$

*HBS* para los casos en que se utilice bola de acero

*HBW* para cuando se utilice bola de carburo de tungsteno

Donde (F) es la carga que efectúa el indentador esférico de diámetro (D), al área de la superficie de la huella.

En el método de dureza brinell estándar se debe utilizar una esfera de 10 mm de diámetro con una carga no mayor a 3000 kg por un tiempo comprendido entre 10 a 15 segundos.

Se debe tener sumo cuidado en que el diámetro de la huella esté entre el 24% y 60% del diámetro de la bola. Es decir, para las condiciones estándar (bola de  $d = 10$  mm), el diámetro de la huella debe estar entre 2,4 y 6 mm. En la literatura, se considera que la huella “ideal” es calculada a partir de la ecuación 2.8:

$$d = 0,375 D \quad (2.8)$$

Donde (D) es el diámetro de esfera.

Si por alguna razón no se pueden aplicar las condiciones estándares es posible aplicar cargas menores y utilizar indentadores esféricos de diámetros menores (estas mediciones no se consideran como estándar). En este caso, la obtención de resultados comparables de los ensayos exige la observación del criterio de semejanza que para el caso dado corresponde a la constante de la relación de la carga respecto al cuadrado del diámetro de la bola, de acuerdo a la ecuación 2.9:

$$\frac{P}{D^2} = k \quad (2.9)$$

Para la selección de los grados de fuerza y el tiempo de aplicación de la carga de acuerdo al material (ver tabla 2.9).

**Tabla 2.9.** Tabla de selección de los grados de fuerza.

Material	Gama de durezas HB	Grado de fuerza $\left(\frac{P}{D^2}\right)$	Tiempo de aplicación [s]
Hierro dulce, acero, acero colado, fundición maleable.	67...500	30	10...15
Metales ligeros, aleaciones fundidas y amasadas, aleaciones de fundición inyectadas, cobre, latón, bronce, níquel, aleaciones de aluminio.	22...315	10	30
Aluminio puro, magnesio, cinc, latón fundido.	11...158	5	60
Metales antifricción.	6...78	2,5	60
Plomo, estaño, soldadura blanda.	3...39	1,25	60
Metal blando con temperaturas más elevadas	1...15	0,5	60

(Fuente: CALLE, G. (2011).)

#### f. Resistencia de impacto.

Para probar la dureza del impacto, una muestra de forma geométrica determinada se somete a una carga de impacto, y la cantidad de energía absorbida durante la fractura se registra. Por lo general, la muestra está orientada de manera que el plano de la muesca se fractura longitudinalmente a través del metal de soldadura. Pruebas Charpy no miden una propiedad del material inherente, pero dan lugar a

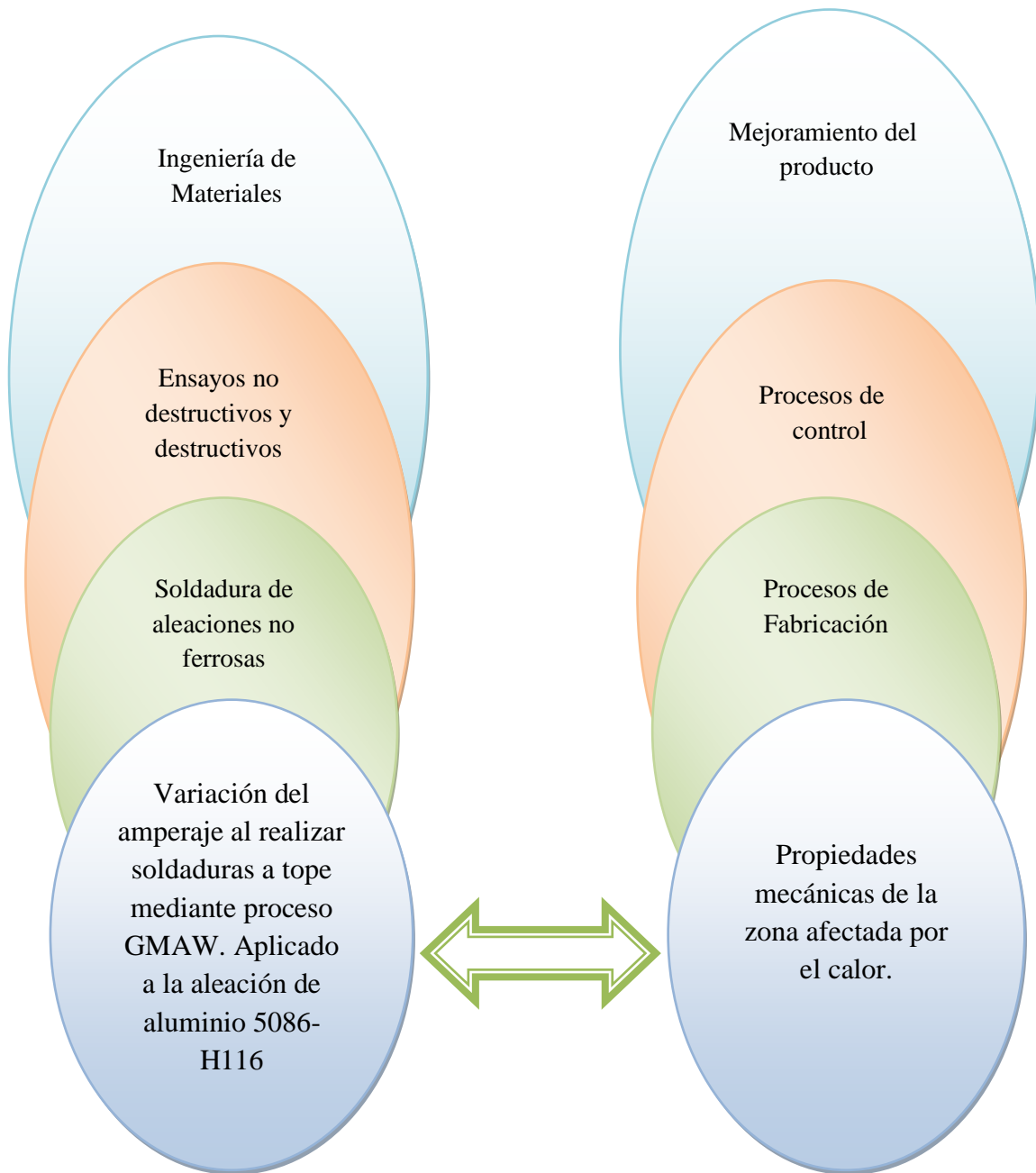


una medida relativa de la dureza del impacto entre los materiales. Un uso muy común de la prueba Charpy es determinar para un material la temperatura de transición de dúctil a frágil, realizando pruebas a diferentes temperaturas [10].

## **2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

El desarrollo de este estudio enfoca tres elementos que están íntimamente ligados y no deben perderse de vista en ningún momento de la vida, como lo son el medio ambiente, la necesidad del hombre por obtener recursos para sobrevivir y la ciencia, en un primer vistazo y sin enfocar el macro de esta investigación, se podría presumir que la misma no tiene ninguna relación con preservar el medio ambiente y menos con obtener recursos para que el hombre sobreviva, pero si se analiza en las múltiples aplicaciones que esta investigación puede ser aplicada se encuentra que uno de los medios más contaminantes que hoy en día se tiene son los medios de transporte de carga a granel tales como plataformas y tanqueros, los mismos que ya solo por el peso propio de sus estructuras contaminan al consumir grandes cantidades de combustibles fósiles para poderlos movilizar, la implementación de este estudio ayudará a que nuestro país al igual que en países industrializados se pueda realizar estructuras más livianas con iguales y en algunos casos con prestaciones superiores a las que se tiene actualmente, si las mismas se construyen en aluminio.

### 2.3. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



### 2.4. HIPÓTESIS

Utilizando el amperaje óptimo al realizar soldaduras a tope mediante proceso GMAW aplicado a la aleación de aluminio 5086 H-116 se alcanzarán las mejores propiedades mecánicas en la soldadura y en la zona afectada por el calor.

## **2.5. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Estudio de la variación del amperaje al realizar Soldaduras a tope mediante proceso GMAW aplicado a la Aleación de Aluminio 5086-H116

### **2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. ENFOQUE**

La investigación tendrá un enfoque cuali-cuantitativo, ya que se determinará como influye la variación del amperaje en las propiedades mecánicas y en las microestructuras de una soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 realizada mediante proceso GMAW, los mismos que se cuantificarán mediante mediciones controladas de la variable dependiente siguiendo estrictamente las normas ASTM, todo esto tratando de comprobar la hipótesis.

#### **3.2. MODALIDAD BÁSICA DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación tendrá una modalidad experimental, ya que para obtener datos, se procederá a realizar probetas de soldadura, las mismas que serán evaluadas posteriormente en el laboratorio, esta información estará íntimamente ligada a los objetivos que planteamos al inicio, es decir principalmente a obtener datos que justifiquen esta investigación.

#### **3.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación será del tipo de asociación de variables, puesto que mediante la misma se procederá a identificar muy claramente la tendencia del comportamiento en cuanto a las propiedades mecánicas de la soldadura de aleaciones de aluminio 5086-H116, al variar el amperaje.

#### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.4.1. LA POBLACIÓN**

La población objeto de esta investigación serán básicamente todas las probetas de la aleación de Aluminio 5086 H116, soldadas a tope mediante proceso GMAW, aplicando un amperaje comprendido entre 130 Amp. y 175Amp.[2], a las cuales

se les realizarán los ensayos de tracción, dureza y metalográficos, los mismos que de acuerdo a varias especificaciones y entre una de ellas las emitidas por la Dirección de transporte de Estados Unidos normas DOT [18], permiten evaluar las propiedades mecánicas necesarias para utilizar un nuevo material en la fabricación de equipos para transporte, la ejecución de estos ensayos se los realizará siguiendo las normas correspondientes, la cantidad de ensayos se definió de acuerdo al siguiente análisis.

**Limpieza.** En cuanto a este punto se considerará para esta investigación una limpieza previa similar para todos los casos.

**Material base.** De acuerdo a varios autores entre ellos ZEHNDER, Jürg en su obra titulada “Aluminium in commercial vehicles” editada por la European Aluminium Association. [19], indican que la aleación de aluminio 5086 H116 presenta las mejores características mecánicas para la fabricación de equipos para transporte, es por esta razón que todas las probetas tendrán como material base la aleación 5086 H116.

**Espesor.** Para efecto de esta investigación el espesor con el cual se realizarán todos los ensayos será 4,77 mm. Ya que con este valor se lograría calificar de acuerdo a la norma AWS D1.2 soldaduras con espesores de hasta 9,5 mm rango con el cual se construye la mayoría de equipos para transporte.

**Posición.** Para efectos de esta investigación la soldadura será realizada en posición plana, ya que con ayuda de los puentes grúas y debido al bajo peso que termina teniendo el equipo, se lo puede ubicar de tal manera que todas las soldadura dentro de la construcción de un tanquero pueden tener esta posición.

**Proceso de soldadura.** Debido a que el proceso tecnológico de soldadura que menor tiempo consume es el MIG, es este el que se tomará como constante para esta investigación.

**Material de aporte.** Luego de revisada la información suministrada por varios fabricantes de material de aporte, se encontró que el alambre para soldar aleaciones de aluminio 5086 H116 que mejores características presenta es el ER 5356 con un diámetro de 1.2mm, por lo que no será una variable dentro de esta investigación.

**Tipo de gas y flujo.** De investigaciones realizadas por parte de los productores de gases, se encontró que el argón es el gas que mejor rendimiento tiene, por esta razón este parámetro será constante dentro de la investigación.

**Tipo de junta.** Como ya se definió inicialmente el tipo de junta que en esta investigación se utilizará es a tope.

**Velocidad de avance.** Este valor será constante y dependerá del voltaje suministrado el mismo que será constante.

**Voltaje.** Para esta investigación se tomará como un parámetro constante.

El parámetro que variará dentro de esta investigación es:

**Amperaje.** Dentro de la investigación se realizaron 33 probetas, aplicando 16 amperajes diferentes, esto permitió comprobar la hipótesis. Por cada amperaje se realizaron dos ensayos como mínimo de acuerdo a recomendaciones realizadas por la norma DOT [18]. Los 16 casos de análisis se sometieron a los ensayos de tracción, dureza y metalográficos de acuerdo a las siguientes normas:

- Ensayo de tracción: Según Norma ASTM B557.
- Ensayo de Dureza según norma ASTM E10.
- Ensayo metalográfico según norma ASTM E407, ASTM E112, ASTM E3.

### **3.4.2. MUESTRA**

No se tiene muestra, ya que se trata de un estudio de casos.

### 3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE: ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DEL AMPERAJE AL REALIZAR SOLDADURAS A TOPE MEDIANTE PROCESO GMAW APLICADO A LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116</b>				
CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMES BÁSICOS	TÉCNICAS
<p>Es una variable regulable mediante un equipo de soldadura o un soldador, que influyen en la aceptable o inaceptable calidad de un proceso de soldadura.</p>	<p>1. Valor de la Variable que dan una calidad aceptable.</p>	<p>➤ Amperaje</p>	<p>¿Está entre 130 y 175 Amp.?</p>	<p>Pruebas de laboratorio Registro específico Lista de chequeo</p>
	<p>2. Valor de la Variable que dan una calidad inaceptable.</p>	<p>➤ Amperaje</p>	<p>¿Es mayor a 175 Amp.? ¿Es menor 130 Amp.?</p>	<p>Pruebas de laboratorio Registro específico Lista de chequeo</p>

**VARIABLE DEPENDIENTE: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR.**

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
<p>Es el conjunto de características internas y externas inherentes a la soldadura de aluminio 5086 H-116, que proporcionan satisfacción o insatisfacción al usuario final.</p>	<p>3. Propiedades que dan satisfacción</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tamaño de las partículas de Mg<sub>2</sub>Si.</li> <li>➤ Defectos de Sol.</li> <li>➤ Resistencia a la tracción S<sub>ut</sub></li> <li>➤ Dureza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Son pequeñas y uniformemente distribuidas?</li> <li>¿No existen defectos?</li> <li>¿Es mayor a 24,7 kg/mm<sup>2</sup>?</li> <li>¿Es mayor a 66 HB?</li> </ul>	<p>Pruebas de laboratorio Registro específico Lista de chequeo</p>
	<p>4. Propiedades que dan insatisfacción</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tamaño de las partículas de Mg<sub>2</sub>Si.</li> <li>➤ Defectos de Sol.</li> <li>➤ Resistencia a la tracción S<sub>ut</sub></li> <li>➤ Dureza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Son grandes y aleatoriamente distribuidas?</li> <li>¿Hay uno o mas defec.?</li> <li>¿Es menor a 24.7 kg/mm<sup>2</sup>?</li> <li>¿Es menor a 66 HB?</li> </ul>	<p>Pruebas de laboratorio Registro específico. Lista de chequeo</p>



### 3.6. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Con el afán de alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación se procedió a recolectar los datos de las probetas ensayadas para lo cual se ejecutaron los siguientes pasos:

Como primer paso dentro de la recolección de datos se procedió a la construcción de las probetas, las mismas que se efectuaron en las instalaciones de la Empresa Induacero. Para esto se tomo en consideración lo siguiente:

- Dato a registrar amperaje de ejecución de la soldadura, para este parámetro se efectuaran igual dos medidas, la primera antes de empezar la soldadura, el instrumento a utilizar fue el display digital de la máquina de soldar y un amperímetro para confirmar la medida, posteriormente se tomó una segunda medida en el momento que se estuvo ejecutando la soldadura.

Una vez que todas las probetas han sido perfectamente identificadas y se disponen de los parámetros de ejecución de las soldaduras, se procedió a la parte más importante de la investigación que es la realización de las pruebas de laboratorio, las mismas que se realizaron de acuerdo al procedimiento que se detallan a continuación:

- a. Se realizó una inspección visual enfocándose en defectos superficiales que podrían existir en las probetas y anotarlos en un formulario expresamente diseñado para este propósito.
- b. Se efectuó una micrografía a cada una de las probetas con una ampliación de 500x para determinar el tipo de micro-estructura presente en el cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor. Estos datos se registran en formatos previamente elaborados.

- c. Mediante una prueba de tensión se procedió a encontrar los valores del esfuerzo último y el esfuerzo a fluencia en el sector de la soldadura de cada una de las probetas, esto con ayuda de la máquina universal.
- d. El siguiente ensayo a realizar fue el de dureza, donde se utilizó un durómetro y todos los datos que aquí se encontraron se registraron en un formato previamente elaborado para este caso.

Toda la recolección de datos mencionada anteriormente se la llevó a cabo tomando en consideración aspectos relacionados a las matrices de Operacionalización, utilizando como herramientas cuestionarios técnicos previamente elaborados, amperímetros, termómetros, flujómetros y cronómetros, todo basado en especificaciones técnicas obtenidas en el marco teórico. Este trabajo se lo realizó de forma personal para evitar errores en la toma de datos.

### **3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

Luego de terminada la recolección de datos se procedió a organizarlos, detectar posibles errores, para de esta manera lograr evaluar de una manera efectiva y precisa el amperaje que mejores propiedades mecánicas registra en la ejecución de soldaduras de aleaciones de aluminio 5086-H116.

#### **3.7.1. PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN**

- a. Una vez reunida toda la información se procedió a elaborar las siguientes tablas:
  - Tabla de resumen de los resultados obtenidos en el ensayo de tracción efectuados en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes.
  - Tabla de resumen de los Resultados obtenidos en el ensayo de dureza efectuados en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante

proceso GMAW con varios amperajes.

- Tabla de resumen del porcentaje de  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$  y  $\text{Mg}_2\text{Si}$  presentes en el centro de cordón de soldadura, en el ZAC y en el metal base de las probetas de aluminio 5086 H-116; soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes.
- b. Dentro de las tablas se categorizaron las probetas en función al amperaje utilizado.
- c. Posteriormente se procedió a realizar todos los gráficos estadísticos que ayudaron en la interpretación apropiada de los resultados:

### **3.7.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

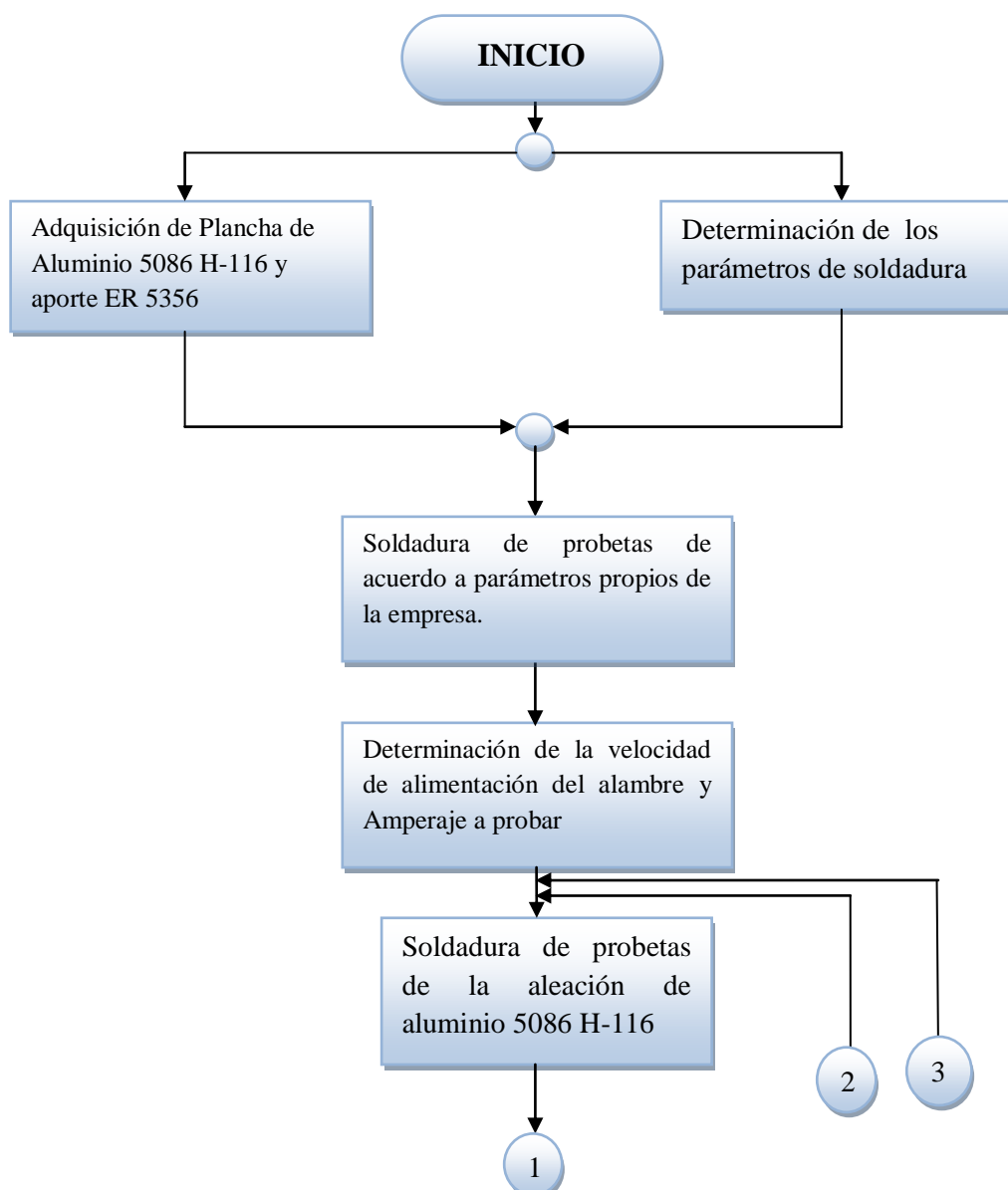
- a. Las tablas y gráficos, fueron analizados detenidamente y se procedió a determinar el amperaje óptimo que se deberían utilizar en la ejecución de la soldadura.
- b. Se tomó como base el marco teórico desarrollado previamente.
- c. Uno de los puntos fundamentales fue tratar de comprobar la hipótesis, siempre en apego a los datos obtenidos en las tablas y gráficos.

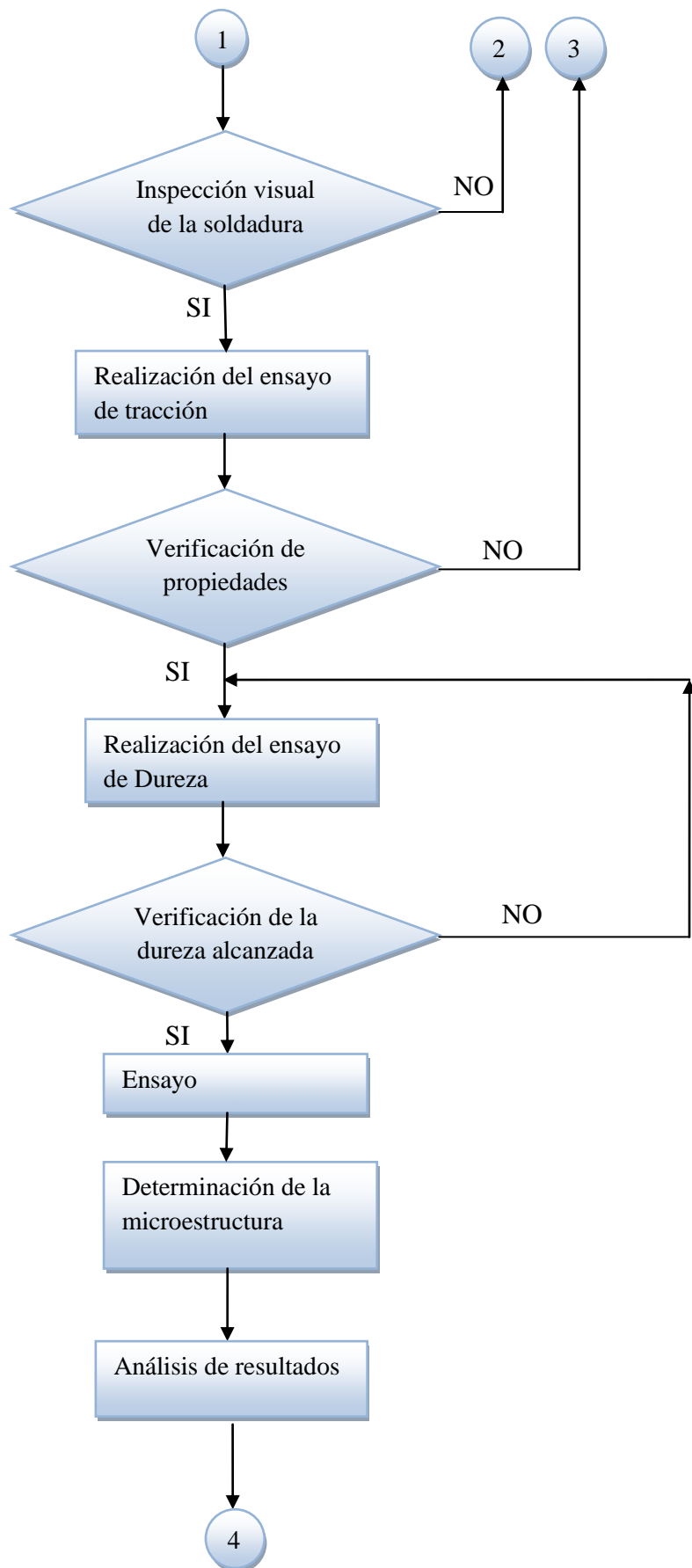
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. PROCESO DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para facilitar el análisis e interpretación de resultados en el presente estudio se tomó como base el diagrama de flujo indicado en la figura 4.1 el cual ayudó a determinar la verdadera influencia que tiene la variación del amperaje al realizar Soldaduras a tope mediante proceso GMAW aplicado a la Aleación de Aluminio 5086-H116 en las propiedades mecánicas de la zona afectada por el calor.







**Figura 4.1.** Diagrama de flujo para Proceso de análisis de resultados

(Fuente: Autor)


## 4.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Para lograr un manejo apropiado de los resultados y de la información referente a los ensayos realizados durante el desarrollo del estudio, se han establecido varios formatos que servirán para documentar e identificar claramente los datos y resultados de las propiedades de interés.


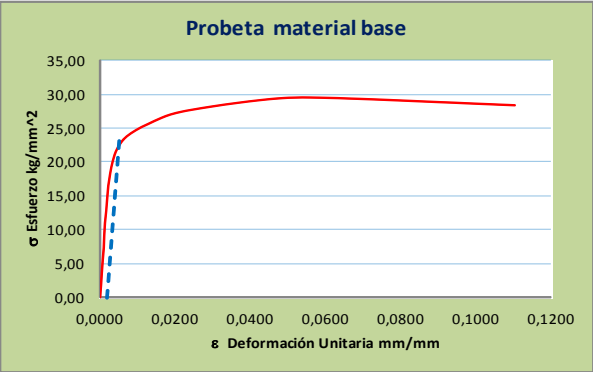
### 4.2.1. ESPECIFICACIONES DEL ALAMBRE DE RELLENO ER5356

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
TIPO DE ESTUDIO:	De Lab.	Especificación del fabricante					
TÍTULO PRUEBA:	"IDENTIFICACIÓN ALAMBRE ER5356"						
REG. No.:	CORE-ED-002-0	LOCACION:	Laboratorio de				
FECHA:	13/07/2013						
Especificaciones del Alambre de relleno							
Nombre	Wire MIG	Tipo de Aleación:	ER5356	Diámetro	1,2 mm		
Composición Química							
Aluminio	95,0393	Silicio	0,25	Hierro	0,4		
Cobre	0,1	Manganeso	0,05-0,20	Magnesio	5		
Cromo	0,05-0,2	Níquel	0,0000	Zinc	0,1		
Titanio	0,06-0,2	Berilio	0,0000	Plomo	0		
Otros	0,005						
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN							
Especificación	AWS A5.10			Long. Espécimen	50.8 mm		
Resistencia a la tracción Sut	27,42 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	13,45 kg/mm <sup>2</sup>	Elongación	17,0%		
Observaciones							
1. La información original del material se encuentra en el anexo 1							
2. Material fabricado por Oxford Alloys							

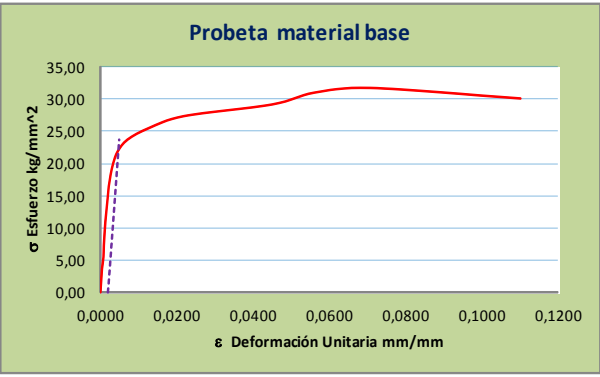

4.2.2. ESPECIFICACIONES DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086  
H-116


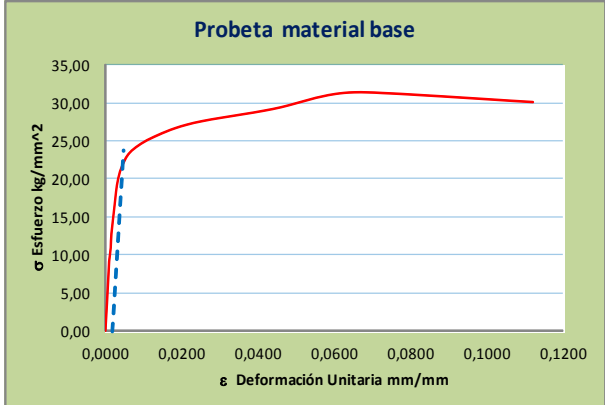

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
	TIPO DE ESTUDIO:	De Lab.	Especificación del fabricante		
	TÍTULO PRUEBA:	"IDENTIFICACIÓN MATERIAL BASE"			
	REG. No.:	CORE-ED-001-0	LOCACION: Laboratorio de		
	FECHA:	23/07/2013			
<b>Especificaciones del Material</b>					
Nombre	Aluminio	Tipo de Aleación:	5086	Trat. Térmico	H
Grado	H-116	Ancho	1500 mm	Espesor	4,77 mm
Largo	3000 mm				
<b>Composición Química</b>					
Aluminio	95,0393	Silicio	0,21	Hierro	0,23
Cobre	0,02	Manganeso	0,36	Magnesio	4,04
Cromo	0,08	Níquel	0,0000	Zinc	0,01
Titanio	0,01	Berilio	0,0001	Plomo	0,0003
Otros	0,003				
<b>CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN</b>					
Localización	Frente	Norma aplicada	ASTM B928	Long. Espécimen	50.8 mm
Resistencia a la tracción Sut	35,79 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	26,44 kg/mm <sup>2</sup>	Elongación	13,0%
		Dureza Brinell	81 HB		
Localización	Atrás	Norma aplicada	ASTM B928	Long. Espécimen	50.8 mm
Resistencia a la tracción Sut	35,09 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	25,03 kg/mm <sup>2</sup>	Elongación	15,0%
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La información original del material se encuentra en el anexo 2					
2. Material fabricado en Canada por Novellis Inc.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 15, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

#### 4.2.2.1. Ensayo a tracción de la aleación de aluminio 5086 H-116 sin soldadura



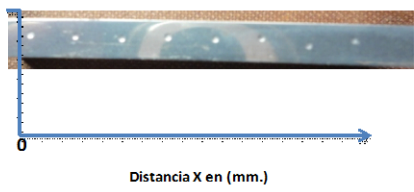
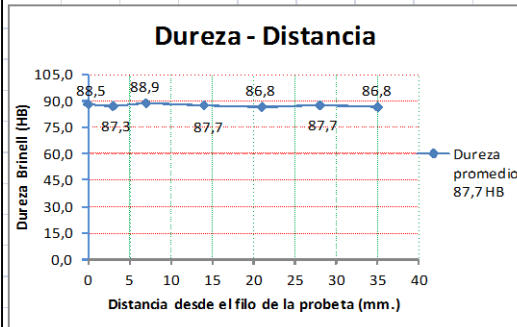
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-MB-01-1	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	15/02/2013	ENSAYO #	1	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte		Tipo de junta	
Amperaje		Voltaje		Tipo de gas	
Flujo		Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	23,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,4 mm	Máxima deformación	5,6 mm
Carga Máxima	1.778 kg	Espesor Final	4,0 mm	Ancho Final	11,1 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	29,4 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	22,6 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	11,0 %
% de Reducción de área	26,9%	Módulo de elasticidad	7.686 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es uniforme y forma un ángulo de aproximadamente 45°, lo que significa que se tiene un comportamiento dúctil y antes de la fractura se produce una intensa deformación plástica y la fisura que aparece en la zona de estricción cambia a 45° instantes antes de la fractura.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 15, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



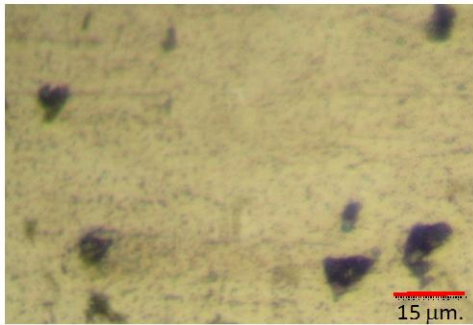
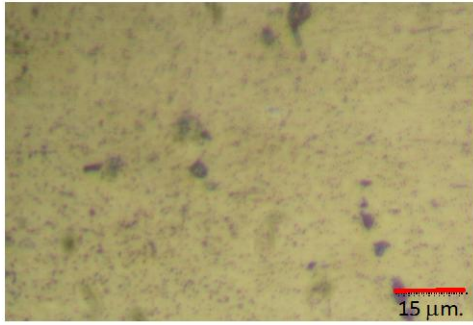
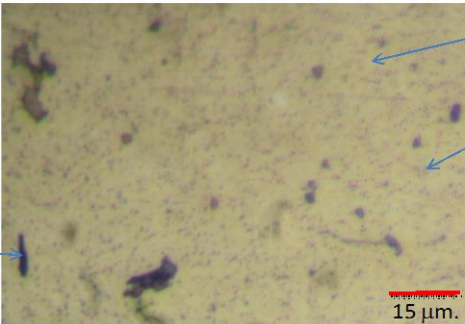
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-MB-01-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	15/02/2013	ENSAYO #	2	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte		Tipo de junta	
Amperaje		Voltaje		Tipo de gas	
Flujo		Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	24,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,4 mm	Máxima deformación	5,6 mm
Carga Máxima	1.922 kg	Espesor Final	4,0 mm	Ancho Final	11,6 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	31,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	23,0 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	11,0 %
% de Reducción de área	23,3%	Módulo de elasticidad	7.925 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. El esfuerzo último Sut es aproximadamente un 10% menor al valor entregado por el fabricante, por lo que se recomienda realizar una validación de cada uno de los valores entregados por los fabricantes y no utilizar dichos valores en el diseño de equipos sin una verificación previa.					
	REGISTER BY / Registrado por		REVIEWED BY / Revisado por		APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador		Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 15, 2013		Febrero 23, 2013		Febrero 28, 2013


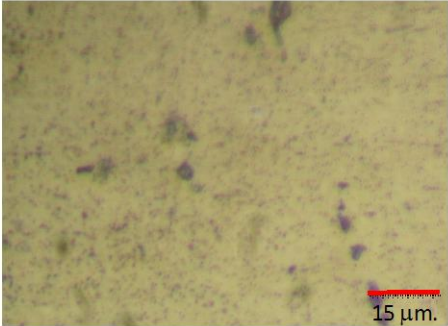
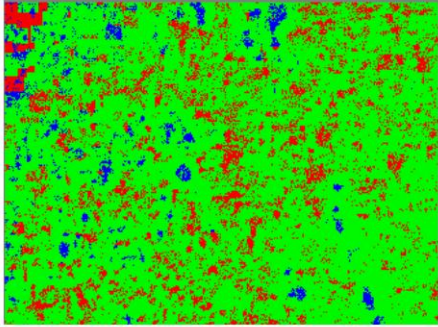
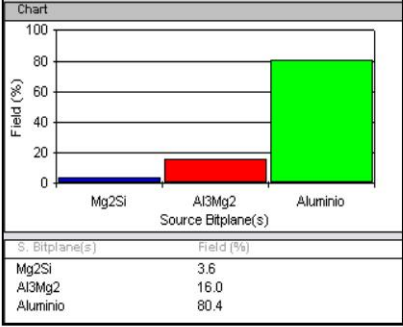
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-MB-01-3	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	15/02/2013	ENSAYO #	3	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte		Tipo de junta	
Amperaje		Voltaje		Tipo de gas	
Flujo		Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	22,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,5 mm	Máxima deformación	5,7 mm
Carga Máxima	1.899 kg	Espesor Final	4,0 mm	Ancho Final	11,2 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	31,4 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	22,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	11,2 %
% de Reducción de área	26,2%	Módulo de elasticidad	8.136 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. El esfuerzo a cedencia Sy es aproximadamente un 15% menor al valor entregado por el fabricante, pero a pesar de eso el valor no es menor que mínimo que indica la bibliografía especializada para este tipo de aleaciones.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 15, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

#### 4.2.2.2. Ensayo de dureza para la aleación de aluminio 5086 H-116 sin soldadura

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-MB-D-01
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE DUREZA MATERIAL BASE					
FECHA:		23/02/2013	ENSAYO #	39			
DATOS GENERALES							
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	Sin Soldadura		
Amperaje		Voltaje		Tipo de gas			
Flujo		Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del Identador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el filo de la probeta (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	0,93125	0,937	0,929	0,935	0,94	0,935	0,94
Dureza Brinell (HB)	88,5	87,3	88,9	87,7	86,8	87,7	86,8
PROMEDIO HB	87,7						
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La dureza Brinell obtenida para la placa de Aluminio 5086 H-116 es de 87,7 HB la misma, que es un 8% mayor a la indicada en la literatura especializada para este tipo de aleación, se tomó como punto de comparación este valor debido a que el fabricante no suministró este valor en el registro de fabricación.</p>							
Observaciones							
<p>El corte de las probetas debe ser realizado con arco de sierra en forma manual y nunca con cizalla o con corte de plasma, puesto que en el primer caso nos darán valores mas altos de los reales y en segundo caso mas bajos.</p>							
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:		Investigador	Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:		Febrero 23, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013			

4.2.2.3. Ensayo metalográfico para la aleación de aluminio 5086 H-116 sin soldadura.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM			
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-MB-M-01		
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA				
FECHA:	01/03/2013	ENSAYO #	57-1		
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	Tipo de junta		
Amperaje		Voltaje	Tipo de gas		
Flujo		Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA					
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07	T. de Duración del ensayo	30 min
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg	Temperatura	20 °C
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
 <p>Fotografía a 500x Imagen 1</p>		 <p>Fotografía a 500x Imagen 2</p>			
 <p>Fotografía a 500x Imagen 3</p> <p>Solución sólida α</p> <p>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></p> <p>Mg<sub>2</sub>Si.</p>					
Observaciones					
En las fotografías se puede distinguir muy claramente los tres tipos de componentes que se encuentran presentes en la microestructura como son la solución sólida α que es la matriz, las partículas finas dispersas de Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> y los precipitados insolubles de color oscuro (partículas grandes) de Mg <sub>2</sub> Si.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Marzo 1, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013		


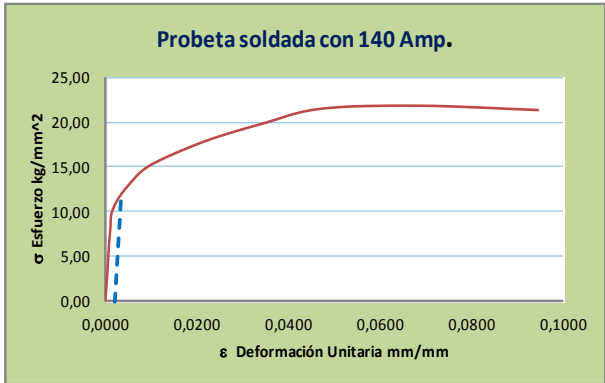

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-MB-M-01									
	TÍTULO PRUEBA:	ANÁLISIS METALOGRAFICO											
	FECHA:	15/04/2013	ENSAYO #	57-2									
<b>DATOS GENERALES</b>													
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte		Tipo de junta									
Amperaje		Voltaje		Tipo de gas									
Flujo		Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM										
<b>PARÁMETROS DEL ANÁLISIS</b>													
		MAGNIFICACIÓN	500 X										
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS</b>													
													
		 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>16.0</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.4</td> </tr> </tbody> </table>				S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.6	Al3Mg2	16.0	Aluminio	80.4
S. Bitplane(s)	Field (%)												
Mg2Si	3.6												
Al3Mg2	16.0												
Aluminio	80.4												
<p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si</math> = 45</p> <p>Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si</math> = 5.03 <math>\mu m^2</math></p> <p>Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si</math> = 2.53 <math>\mu m</math></p>													
<b>Interpretación de resultados</b>													
Cuatro son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:													
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La fase mayoritaria es la solución sólida <math>\alpha</math> con 80,4%, que es una solución sólida de magnesio en aluminio, la cual es muy suave y dúctil</li> <li>2. La fase <math>\beta</math> esta compuesta por partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> que aparecen en un porcentaje del 16,0%, debido a la disminución de la solubilidad del Mg en el Al, es una fase más dura y resistente en comparación a la fase <math>\alpha</math></li> <li>3. La fase intermetálica esta compuesta de precipitados de <math>Mg_2Si</math> en un porcentaje de 3,6% como precipitados dispersos, a pesar de la pequeña cantidad fortalecen la matriz.</li> <li>4. Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> tienen un tamaño promedio de 5.03 <math>\mu m^2</math></li> </ol>													
<b>Observaciones</b>													
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por										
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera										
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis										
DATE/Fecha:	Abril 15, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013										

#### 4.2.3. ESTUDIO DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 140 A.



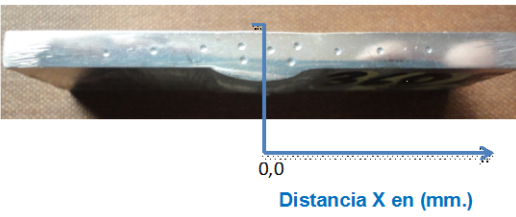
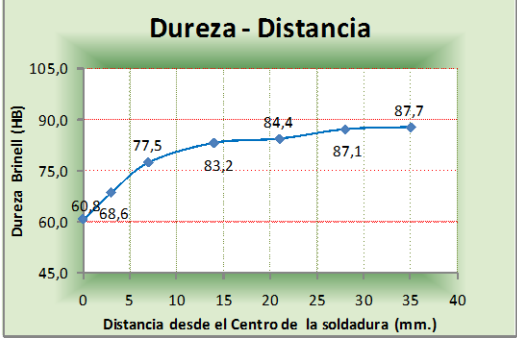
Esta soldadura fue ejecutada aplicando un amperaje de 140 Amperios que es el que actualmente se utiliza en la planta **Induacero** para ejecutar este tipo de juntas.

##### 4.2.3.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 140 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-SA-T-01-1
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	15/02/2013	ENSAYO #	4
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	140 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
T. de Duración del ensayo			22,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
Ancho de la probeta			12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,1 mm
Máxima deformación			4,3 mm
Carga Máxima	1.331 kg	Espesor Final	4,5 mm
Ancho Final			11,2 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	22,0 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	13,1 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			8,5 %
% de Reducción de área	16,6%	Módulo de elasticidad	7.759 kg/mm <sup>2</sup>
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
<p>Probeta soldada con 140 Amp.</p>			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
1. La fractura es irregular e incluso se observa un desgarramiento en la parte central de la probeta. 2. La ductilidad se ve notablemente disminuida			
REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por	
Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera	
POSITION/Cargo:	Investigador	Director de Tesis	
DATE/Fecha:	Febrero 15, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013


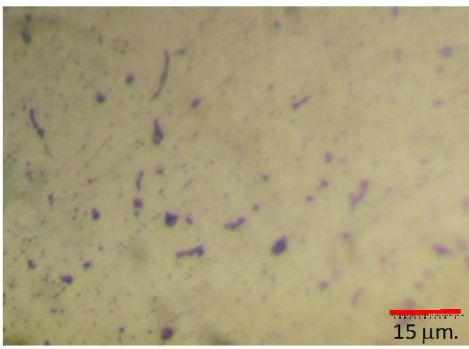
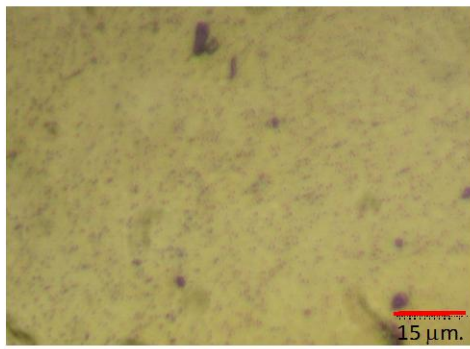
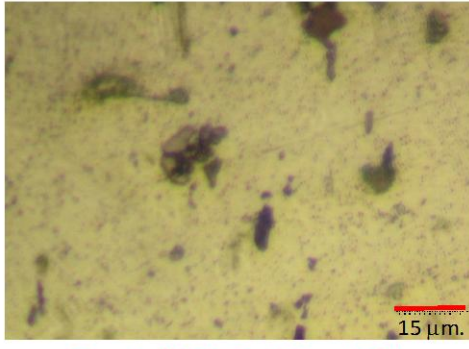
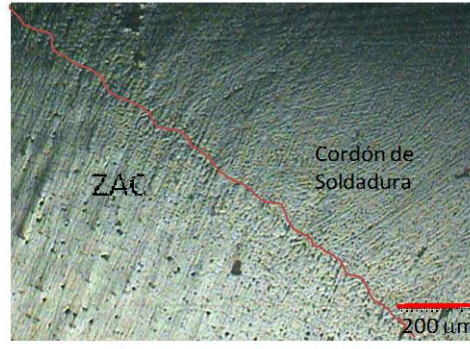
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-SA-T-01-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	15/02/2013	ENSAYO #	5	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	140 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	22,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,6 mm	Máxima deformación	4,8 mm
Carga Máxima	1.319 kg	Espesor Final	4,2 mm	Ancho Final	11,9 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	21,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,6 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	9,4 %
% de Reducción de área	17,3%	Módulo de elasticidad	7.644 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es irregular formando un ángulo de aproximadamente 60°, esto debido a la presencia de defectos de soldadura, lo cual al mismo tiempo disminuyen la resistencia y ductilidad de la soldadura.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 15, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



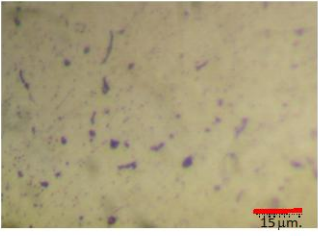
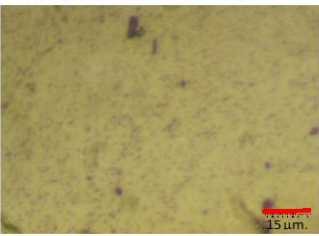
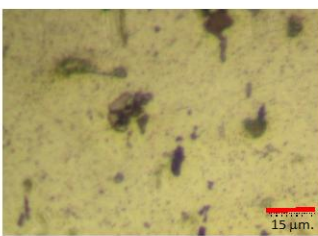
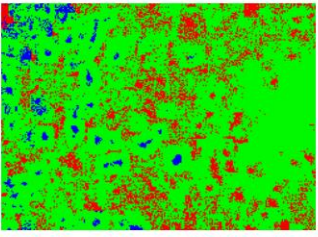
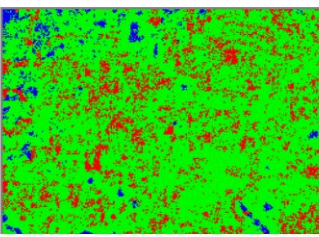
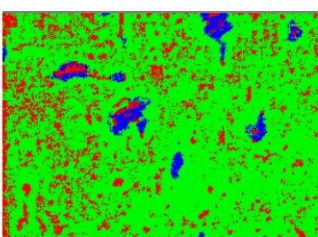
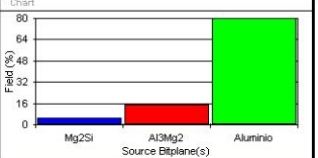
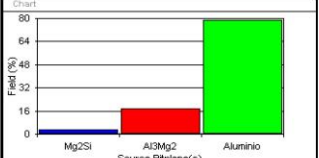
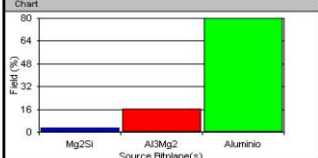
4.2.3.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 140 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FI-SA-D-01
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE DUREZA					
FECHA:		23/02/2013	ENSAYO #	40			
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	140 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,11350	1,0515	0,9925	0,95925	0,95275	0,938	0,935
Dureza Brinell (HB)	60,8	68,6	77,5	83,2	84,4	87,1	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 60,8 HB. Se observa una recuperación muy rápida, alcanzando a 7 mm del centro una dureza de 77,5 HB y a partir de allí la tendencia disminuye logrando alcanzar la dureza total solo a 35mm desde el centro de la soldadura.</p>							
Observaciones							
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:	Febrero 23, 2013		Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013			





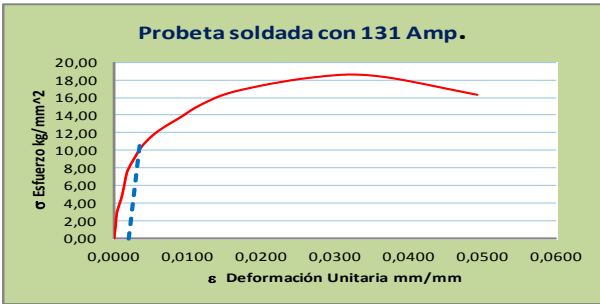

4.2.3.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 140 amp.


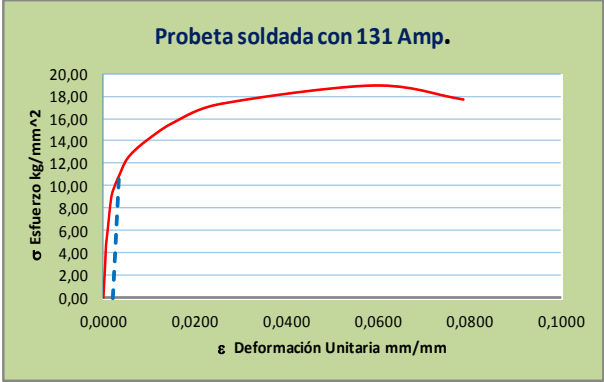

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	TIPO DE ESTUDIO: De Laboratorio	PROBETA #	FH-SA-M-01
	TÍTULO PRUEBA: METALOGRAFÍA		
	FECHA: 01/03/2013	ENSAYO #	58-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	140 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM
Tipo de junta	A Tope		
Tipo de gas	Argón		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Puñido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	T. de Duración del ensayo	30 min
		Temperatura	20 °C
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
			
Fotografía a 500x Cordón de soldadura	Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)		
			
Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)	Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC		
Observaciones			
Luego de analizadas las tres microestructuras se puede observar muy claramente que:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En el sector del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos uniformemente en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y además se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son bastante grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> </ol>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 1, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																												
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-SA-M-01																							
TÍTULO PRUEBA:		ANÁLISIS METALOGRAFICO																												
FECHA:		16/04/2013	ENSAYO #	58-2																										
DATOS GENERALES																														
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope																									
Amperaje	140 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón																									
Flujo	41 cñh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM																											
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																														
		MAGNIFICACIÓN	500 X																											
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																														
Córdon de Soldadura		Zona Afectada por el calor (ZAC)		Material Base																										
																														
																														
<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>15.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 110</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 3,07 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 1,98 \mu m</math></p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.0	Al3Mg2	15.1	Aluminio	79.9	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.2</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>18.0</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 68</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 2,87 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 1,91 \mu m</math></p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.2	Al3Mg2	18.0	Aluminio	78.8	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>16.9</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.8</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 49</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 4,79 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 2,5 \mu m</math></p>			S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.3	Al3Mg2	16.9	Aluminio	79.8
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	5.0																													
Al3Mg2	15.1																													
Aluminio	79.9																													
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	3.2																													
Al3Mg2	18.0																													
Aluminio	78.8																													
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	3.3																													
Al3Mg2	16.9																													
Aluminio	79.8																													
Interpretación de resultados																														
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																														
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> están en el orden del 15.1% en el cordón, 18.0% en la ZAC y alrededor del 16.9% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.0%, en la ZAC en un porcentaje del 3.2% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.3%.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de <math>3.07 \mu m^2</math>, en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>3.25 \mu m^2</math> y en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) es de <math>4.79 \mu m^2</math>.</li> </ol>																														
Observaciones																														
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																										
<b>NAME/Nombre:</b>		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																										
<b>POSITION/Cargo:</b>		Investigador	Investigador	Director de Tesis																										
<b>DATE/Fecha:</b>		Abril 15, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																										



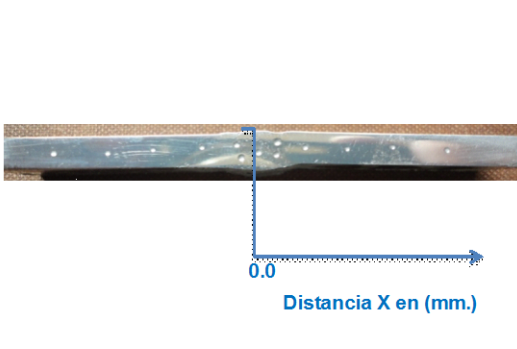
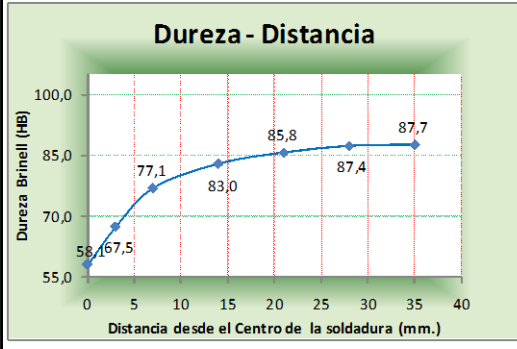
#### 4.2.4. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 131 A.

##### 4.2.4.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 131 amp.



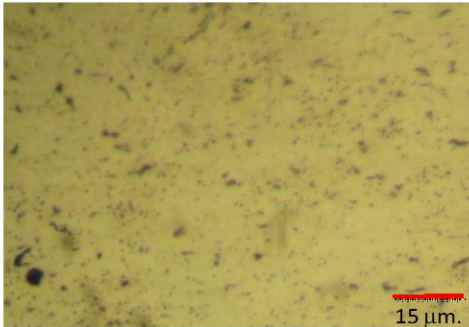
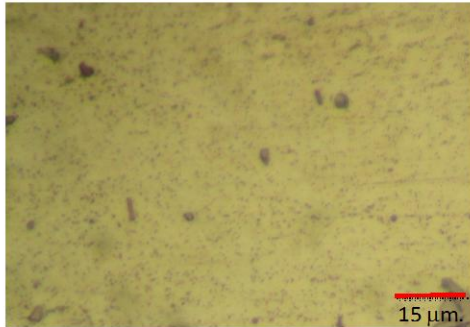
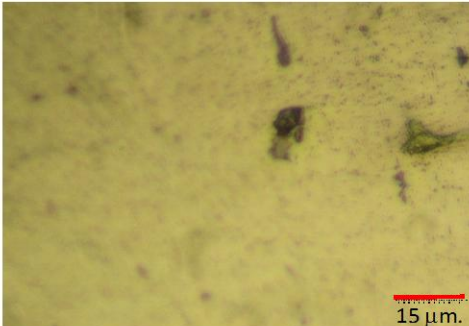
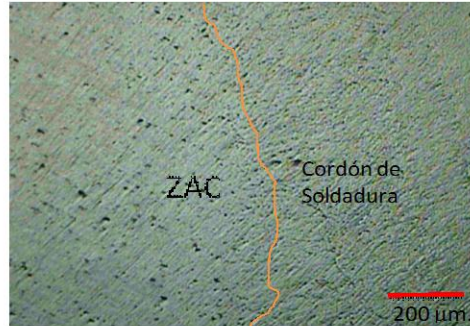
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
TIPO DE ESTUDIO:		De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-01-1		
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:		16/02/2013	ENSAYO #	6		
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	131 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM			
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN						
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	15 min	
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	53,3 mm	Máxima deformación	2,5 mm	
Carga Máxima	1.115 kg	Espesor Final	4,4 mm	Ancho Final	12,3 mm	
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO						
Resistencia a la tracción Sut	18,4 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	10,6 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	4,9 %	
% de Reducción de área	11,1%	Módulo de elasticidad	7.406 kg/mm <sup>2</sup>			
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"						
<p style="text-align: center;"><b>Probeta soldada con 131 Amp.</b></p> 						
Registro Fotográfico						
						
Observaciones						
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 90°, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.</p> <p>2. Las propiedades mecánicas son las más bajas encontradas en todos los ensayos.</p>						
REGISTER BY / Registrado por		REVIEWED BY / Revisado por		APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:		Investigador		Director de Tesis		
DATE/Fecha:		Febrero 16, 2013		Febrero 23, 2013		Febrero 28, 2013


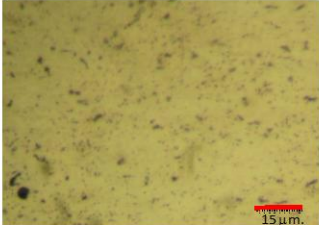
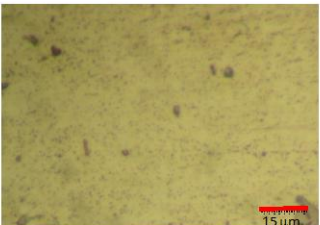
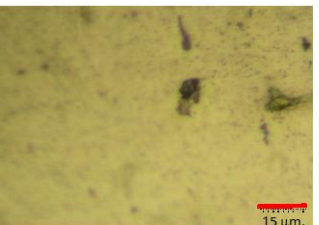
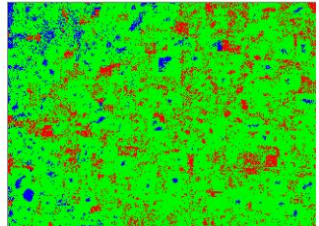
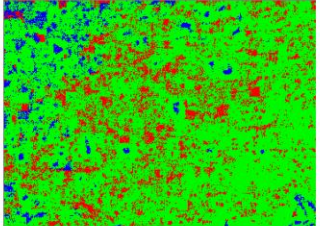
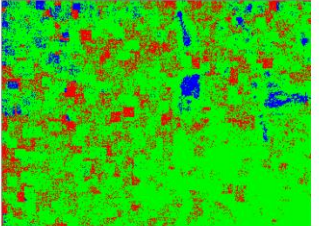
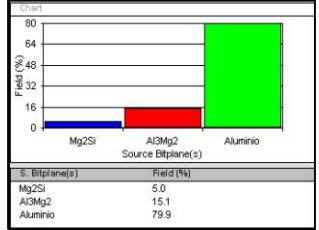
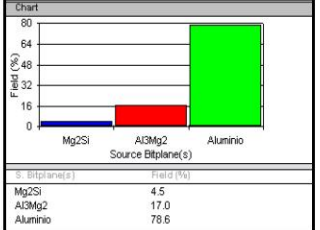
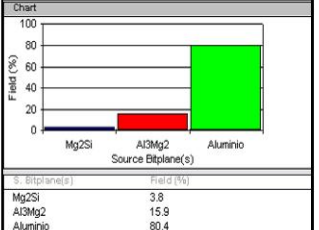
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-01-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	16/02/2013	ENSAYO #	7	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	131 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	20 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,8 mm	Máxima deformación	4,0 mm
Carga Máxima	1.144 kg	Espesor Final	4,2 mm	Ancho Final	11,7 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	18,9 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,0 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	7,9 %
% de Reducción de área	18,7%	Módulo de elasticidad	7.657 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 60°, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 16, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

4.2.4.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 131 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-YDA-D-01
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE DUREZA					
FECHA:		23/02/2013	ENSAYO #	41			
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	131 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,13750	1,06	0,995	0,96	0,945	0,9365	0,935
Dureza Brinell (HB)	58,1	67,5	77,1	83,0	85,8	87,4	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 58,1 HB. Se observa un aumento gradual de la dureza, alcanzando a 7 mm del centro una dureza de 77,1 HB y a partir de allí la tendencia disminuye logrando alcanzar la dureza total solo a 35mm desde el centro de la soldadura.</p>							
Observaciones							
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:	Febrero 23, 2013		Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013			

4.2.4.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 131 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>TIPO DE ESTUDIO:</b>	De Laboratorio	<b>PROBETA #</b>	FH-YDA-M-01			
<b>TÍTULO PRUEBA:</b>	METALOGRAFÍA					
<b>FECHA:</b>	02/03/2013	<b>ENSAYO #</b>	59-1			
DATOS GENERALES						
<b>Material base</b>	Al 5086-H116	<b>Mat. de aporte</b>	5356	<b>Tipo de junta</b>	A Tope	
<b>Amperaje</b>	131 Amp.	<b>Voltaje</b>	25 Volt.	<b>Tipo de gas</b>	Argón	
<b>Flujo</b>	41 cfh	<b>Ubicación</b>	Laboratorio de Materiales FCM			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA						
<b>Preparación de la superficie</b>	Pulido Mecánico	<b>NORMAS APLICADAS</b>	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07	<b>T. de Duración del ensayo</b>	30 min	
<b>Reactivo Utilizado</b>	Keller	<b>Tiempo de ataque</b>	20 seg	<b>Temperatura</b>	20 °C	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>				
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>				
Observaciones						
<p>Luego de analizadas las fotografías de las microestructuras en las tres zonas se tiene :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor que en el metal base pero se encuentran distribuidos aleatoriamente en toda la microestructura, mientras que el <math>Mg_2Al_3</math> se precipitan durante el enfriamiento en los límites de grano.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente y el <math>Mg_2Al_3</math> a lo largo de los límites de grano.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son bastante grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas la partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>						
	<b>REGISTER BY / Registrado por</b>	<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>	<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>			
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis			
<b>DATE/Fecha:</b>	Marzo 2, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013			


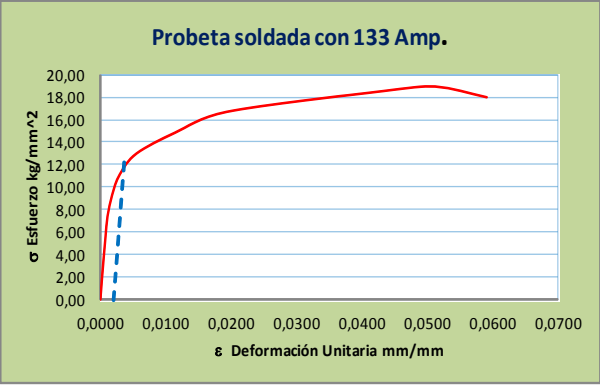

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	<b>TIPO DE ESTUDIO:</b> De Laboratorio	<b>PROBETA #</b>	<b>FH-YDA-M-01</b>
	<b>TÍTULO PRUEBA:</b> ANÁLISIS METALOGRAFICO		
	<b>FECHA:</b> 16/04/2013	<b>ENSAYO #</b>	<b>59-2</b>
DATOS GENERALES			
<b>Material base</b>	<b>Al 5086-H116</b>	<b>Mat. de aporte</b>	<b>5356</b>
<b>Amperaje</b>	<b>131 Amp.</b>	<b>Voltaje</b>	<b>25 Volt.</b>
<b>Flujo</b>	<b>41 cñh</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS			
	<b>MAGNIFICACIÓN</b>	<b>500 x</b>	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS			
<b>Córdon de Soldadura</b>	<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>	<b>Material Base</b>	
			
			
			
Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 129 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,61 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 1,82 $\mu m$	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 119 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 3,21 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,02 $\mu m$	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 64 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 5,08 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,5 $\mu m$	
Interpretación de resultados			
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:			
1. Las partículas dispersas de $Al_3Mg_2$ están en el orden del 15.1% en el cordón, 17.0% en la ZAC y alrededor del 15.9% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas. 2. Los precipitados de $Mg_2Si$ en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5,0%, en la ZAC en un porcentaje del 4,5% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3,8%. 3. Los precipitados de $Mg_2Si$ en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 2,61 $\mu m^2$ y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 3,21 $\mu m^2$ ya en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) es de 5,08 $\mu m^2$			
Observaciones			
	<b>REGISTER BY / Registrado por</b>	<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>	<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Mg. Raúl Cabrera</b>
<b>POSITION/Cargo:</b>	<b>Investigador</b>	<b>Investigador</b>	<b>Director de Tesis</b>
<b>DATE/Fecha:</b>	<b>Abril 16, 2013</b>	<b>Mayo 10, 2013</b>	<b>Mayo 25, 2013</b>

#### 4.2.5. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 133 A.

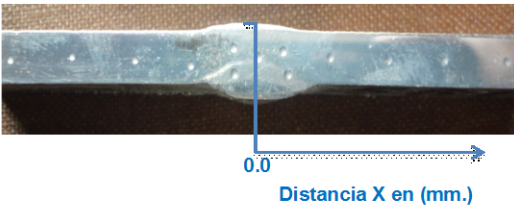
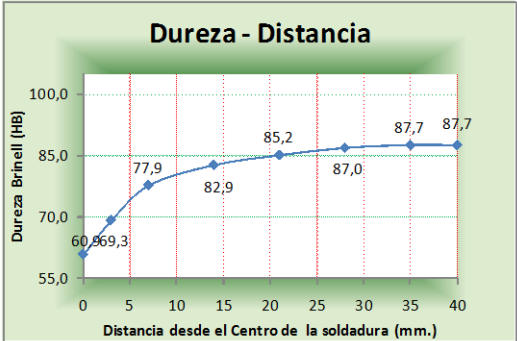
##### 4.2.5.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 133 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM			
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-02-1		
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:	16/02/2013	ENSAYO #	8		
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	133 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	21 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,3 mm	Máxima deformación	4,5 mm
Carga Máxima	1.226 kg	Espesor Final	4,2 mm	Ancho Final	11,6 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO					
Resistencia a la tracción Sut	20,3 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	9,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	8,9 %
% de Reducción de área	19,5%	Módulo de elasticidad	7.692 kg/mm <sup>2</sup>		
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"					
Registro Fotográfico					
Observaciones					
1. La fractura es irregular, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 16, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		


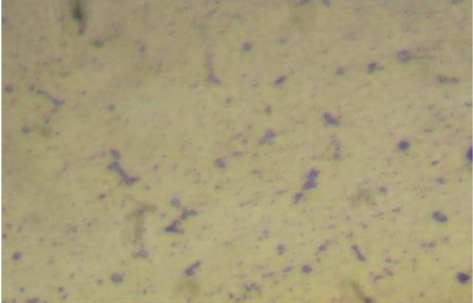
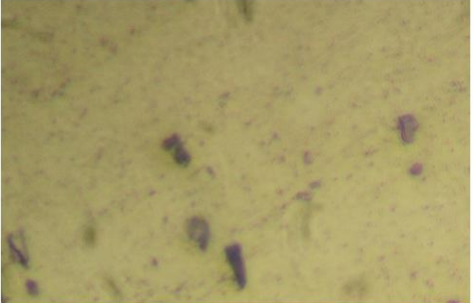
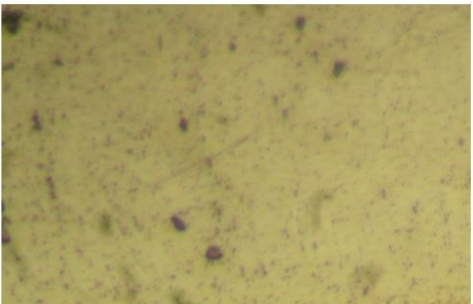





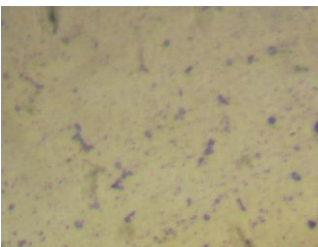
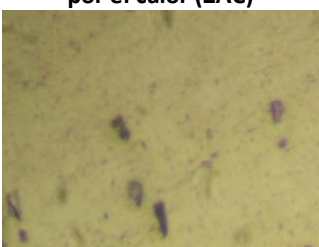
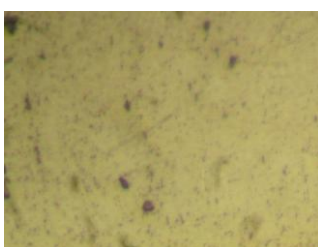
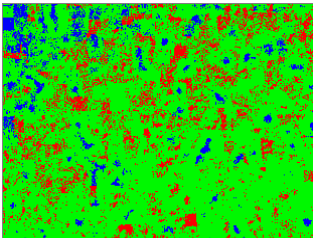
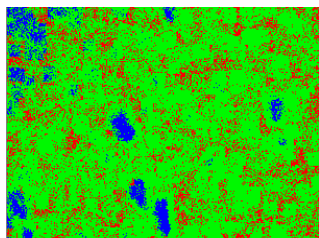
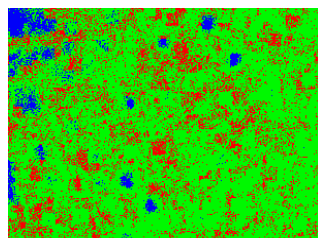
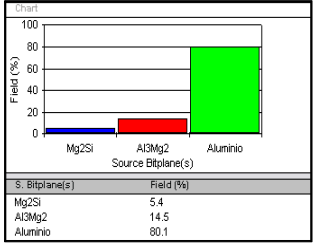
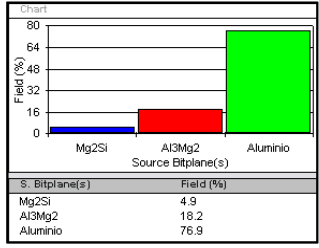
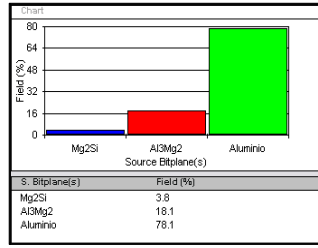
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-02-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	16/02/2013	ENSAYO #	9	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	133 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	18 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	53,8 mm	Máxima deformación	3,0 mm
Carga Máxima	1.142 kg	Espesor Final	4,5 mm	Ancho Final	12,1 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	18,9 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	12,0 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	5,9 %
% de Reducción de área	9,4%	Módulo de elasticidad	7.350 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 60°, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas en el cordón de soldadura.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 16, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

4.2.5.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 133 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-02				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	23/02/2013	ENSAYO #	42				
DATOS GENERALES							
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356				
Amperaje	133 Amp	Voltaje	25 Volt				
Flujo	40 cfn	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10				
T. de Duración del ensayo	2,5 min						
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm				
Ancho de la probeta	4,8 mm						
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,11250	1,046666667	0,99	0,961	0,948	0,9385	0,935
Dureza Brinell (HB)	60,9	69,3	77,9	82,9	85,2	87,0	87,7
Registro Fotográfico		GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"					
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 60,9 HB. Se observa un aumento gradual de la dureza, alcanzando a 7 mm del centro una dureza de 77,9 HB y a partir de allí la tendencia disminuye logrando alcanzar la dureza total solo a 35mm desde el centro de la soldadura.</p>							
Observaciones							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 23, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				

4.2.5.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 h-116 ejecutada con un amperaje de 133 amp.


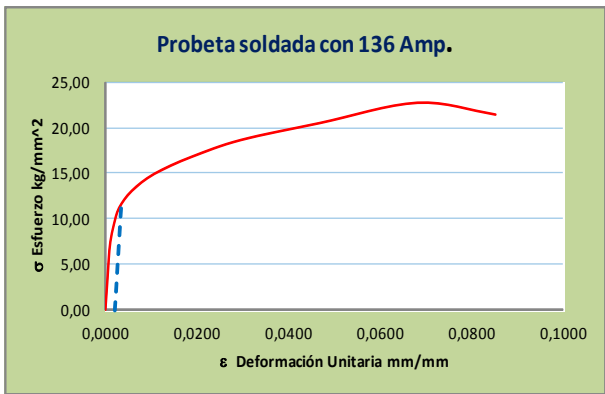

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	FH-YDA-M-02
	TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA	
	FECHA: <b>02/03/2013</b>	ENSAYO #	60-1
DATOS GENERALES			
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>
Amperaje	<b>133 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>
Flujo	<b>41 cfh</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	<b>Pulido Mecánico</b>	NORMAS APLICADAS	<b>ASIM E3-11, ASIM E340 ASIM E407-07</b>
Reactivo Utilizado	<b>Keller</b>	Tiempo de ataque	<b>20 seg</b>
		T. de Duración del ensayo	<b>30 min</b>
		Temperatura	<b>20 °C</b>
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
			
Fotografía a 500x Cordón de soldadura		Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)	
			
Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)		Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC	
Observaciones			
Luego de analizadas las fotografías de las microestructuras en las tres zonas se tiene :			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos uniformemente en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 2, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 																									
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-02																								
TÍTULO PRUEBA:	ANÁLISIS METALOGRAFICO																										
FECHA:	17/04/2013	ENSAYO #	60-2																								
DATOS GENERALES																											
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356																								
Amperaje	133 Amp.	Voltaje	25 Volt.																								
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM																								
Tipo de junta: A Tope																											
Tipo de gas: Argón																											
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																											
MAGNIFICACIÓN		500 x																									
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																											
Córdon de Soldadura	Zona Afectada por el calor (ZAC)	Material Base																									
																											
																											
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>5.4</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>14.5</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.1</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	5.4	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	14.5	Aluminio	80.1	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>18.2</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>76.9</td> </tr> </tbody> </table>	Source Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	4.9	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	18.2	Aluminio	76.9	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>3.8</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>16.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.1</td> </tr> </tbody> </table>		Source Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	3.8	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.1	Aluminio	78.1
Source Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg <sub>2</sub> Si	5.4																										
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	14.5																										
Aluminio	80.1																										
Source Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg <sub>2</sub> Si	4.9																										
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	18.2																										
Aluminio	76.9																										
Source Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg <sub>2</sub> Si	3.8																										
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.1																										
Aluminio	78.1																										
Interpretación de resultados																											
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de esta microestructura:																											
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El contenido de Mg<sub>2</sub>Si se encuentra alrededor del 5.4% distribuido uniformemente en precipitados de pequeño tamaño en toda la matriz de la microestructura del cordón de soldadura.</li> <li>2. Las partículas dispersas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> están en el orden del 14.5% y no forman una red continua.</li> <li>3. Los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si interfieren en el crecimiento del grano provocando un tamaño de grano ASTM de 14,13.</li> </ol>																											
Observaciones																											
REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																									
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																								
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																								
DATE/Fecha:	Abril 17, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																								


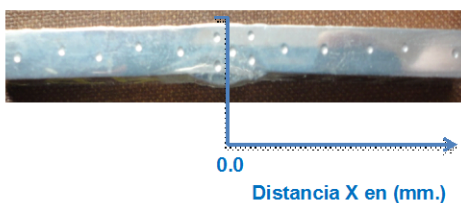
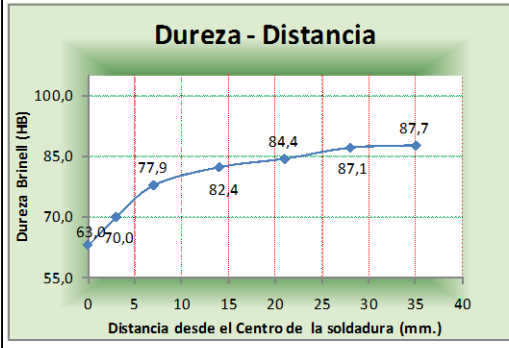
## 4.2.6. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 136 A.

### 4.2.6.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 136 amp.

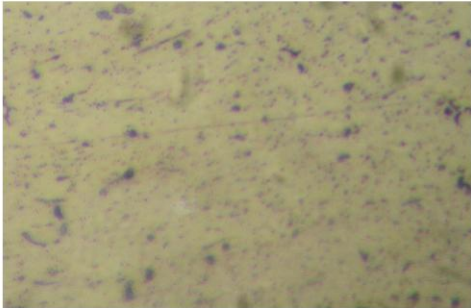
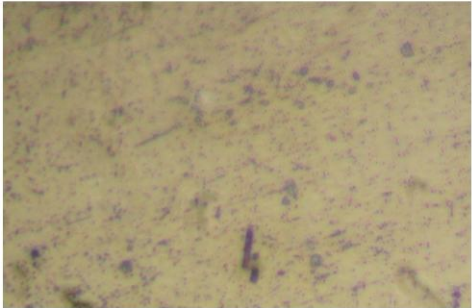
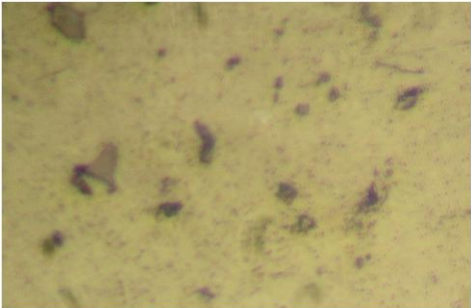
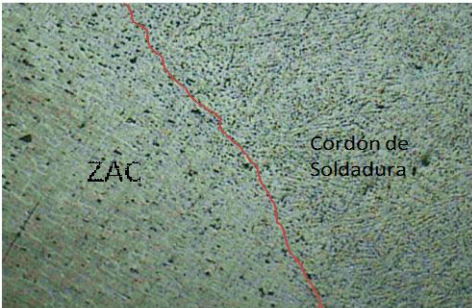
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM			
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-03-1		
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:	16/02/2013	ENSAYO #	10		
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	136 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	20 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,6 mm	Máxima deformación	3,8 mm
Carga Máxima	1.265 kg	Espesor Final	4,5 mm	Ancho Final	11,9 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO					
Resistencia a la tracción Sut	20,9 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,7 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	7,5 %
% de Reducción de área	11,5%	Módulo de elasticidad	7.583 kg/mm <sup>2</sup>		
GRAFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"					
Registro Fotográfico					
Observaciones					
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 90°, lo que indica la presencia masiva de defectos de soldadura, los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 16, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-03-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	16/02/2013	ENSAYO #	11	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	136 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	21 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,8 mm	Máxima deformación	4,0 mm
Carga Máxima	1.376 kg	Espesor Final	4,1 mm	Ancho Final	11,7 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	22,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	7,9 %
% de Reducción de área	21,9%	Módulo de elasticidad	7.427 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
 <p style="text-align: center;">Probeta soldada con 136 Amp.</p>					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es irregular, lo que indica la presencia de defectos de soldadura, ocasionando de esta manera la disminución en las propiedades mecánicas del cordón de soldadura.					
	REGISTER BY / Registrado por		REVIEWED BY / Revisado por		APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador		Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 16, 2013		Febrero 23, 2013		Febrero 28, 2013



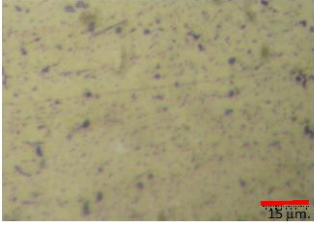
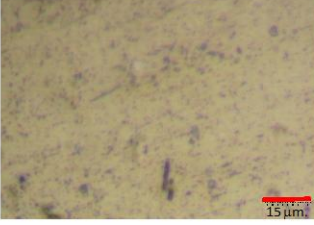
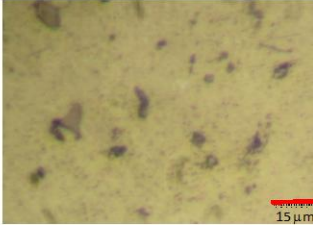
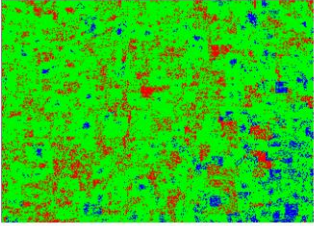
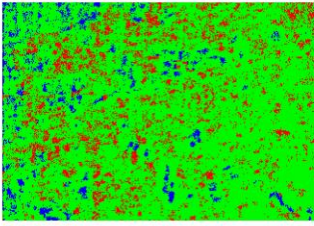
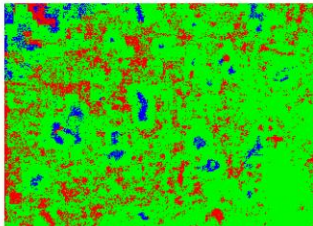
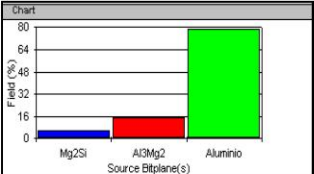
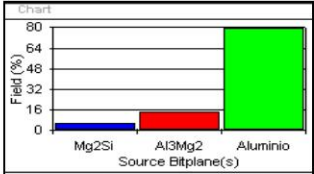
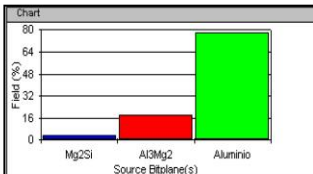
4.2.6.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 136 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-03			
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA					
	FECHA:	23/02/2013	ENSAYO #	43			
<b>DATOS GENERALES</b>							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	136 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA</b>							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,09500	1,041875	0,99	0,96375	0,9525	0,938	0,935
Dureza Brinell (HB)	63,0	70,0	77,9	82,4	84,4	87,1	87,7
<b>Registro Fotográfico</b>			<b>GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"</b>				
							
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 63 HB. Se observa un aumento gradual de la dureza, alcanzando a 7 mm del centro una dureza de 77,9 HB y a partir de allí la tendencia disminuye logrando alcanzar la dureza total solo a 35mm desde el centro de la soldadura.</p>							
<b>Observaciones</b>							
	<b>REGISTER BY / Registrado por</b>		<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>		<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador		Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 23, 2013		Marzo 04, 2013		Marzo 08, 2013		

4.2.6.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 136 amp.


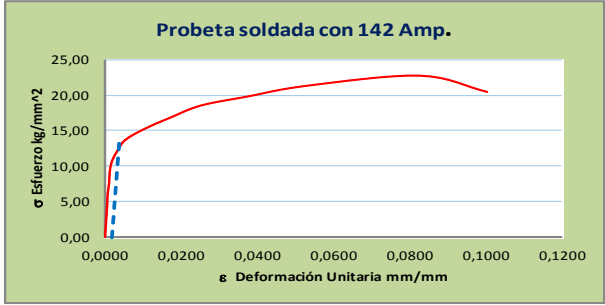
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-03
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA		
FECHA:	02/03/2013	ENSAYO #	61-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	136 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg
T. de Duración del ensayo	Temperatura		30 min 20 °C
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones			
Una vez revisadas las fotografías de las microestructuras en las tres zonas se tiene :			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos uniformemente en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por	
Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera	
Investigador	Investigador	Director de Tesis	
DATE/Fecha:	Marzo 2, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																											
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #		FH-YDA-M-03																							
	TÍTULO PRUEBA:	ANÁLISIS METALOGRAFICO																										
	FECHA:	17/04/2013	ENSAYO #		61-2																							
<b>DATOS GENERALES</b>																												
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope																							
Amperaje	136 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón																							
Flujo	41 cñh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM																									
<b>PARÁMETROS DEL ANÁLISIS</b>																												
		MAGNIFICACIÓN	500 x																									
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS</b>																												
Córdon de Soldadura	Zona Afectada por el calor (ZAC)	Material Base																										
																												
																												
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>15.2</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.0</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.8	Al3Mg2	15.2	Aluminio	79.0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.7</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>14.3</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.0</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.7	Al3Mg2	14.3	Aluminio	80.0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>18.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.3</td> </tr> </tbody> </table>			S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.5	Al3Mg2	18.1	Aluminio	78.3
S. Bitplane(s)	Field (%)																											
Mg2Si	5.8																											
Al3Mg2	15.2																											
Aluminio	79.0																											
S. Bitplane(s)	Field (%)																											
Mg2Si	5.7																											
Al3Mg2	14.3																											
Aluminio	80.0																											
S. Bitplane(s)	Field (%)																											
Mg2Si	3.5																											
Al3Mg2	18.1																											
Aluminio	78.3																											
Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 125$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 3,04 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 1,97 \mu m$	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 120$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 3,25 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 2,03 \mu m$	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 45$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 5,14 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 2,6 \mu m$																										
<b>Interpretación de resultados</b>																												
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																												
1. Las partículas dispersas de $Al_3Mg_2$ están en el orden del 15.2% en el cordón, 14.2% en la ZAC y alrededor del 18.0% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas. 2. Los precipitados de $Mg_2Si$ en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.8%, en la ZAC en un porcentaje del 5.7% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.5%. 3. Los precipitados de $Mg_2Si$ en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de $3.04 \mu m^2$ a medida que se alejan del del cordón de soldadura el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de $3.25 \mu m^2$ , a 30 mm desde el centro del cordón de soldadura el tamaño de las partículas es de $5.14 \mu m^2$																												
<b>Observaciones</b>																												
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																									
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																									
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																									
DATE/Fecha:	Abril 17, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																									



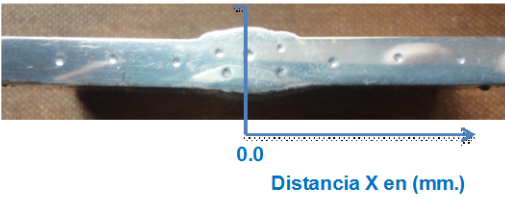
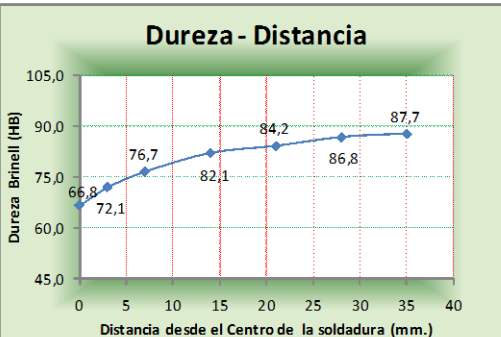
## 4.2.7. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 142 A.

### 4.2.7.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 142 amp.

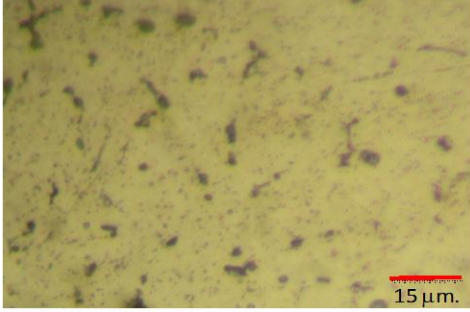
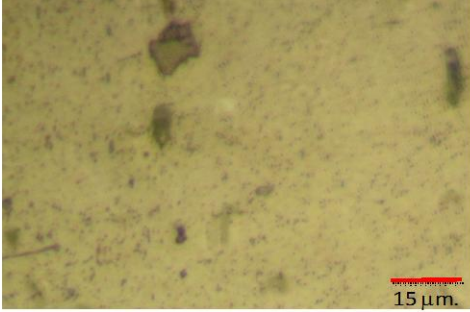
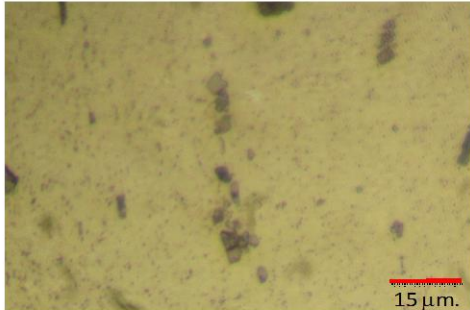
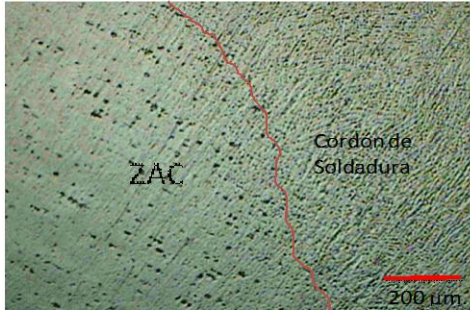
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-04-1	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	12	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	142 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	18 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,0 mm	Máxima deformación	4,2 mm
Carga Máxima	1.374 kg	Espesor Final	4,0 mm	Ancho Final	11,9 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	22,7 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	13,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	8,3 %
% de Reducción de área	21,6%	Módulo de elasticidad	7.881 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
I. La fractura es irregular y forma un ángulo de 90°, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



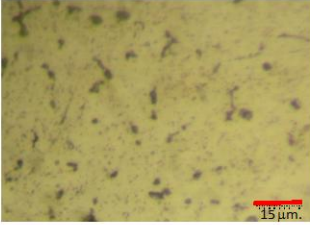
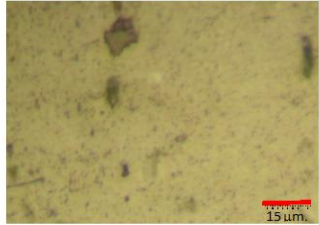
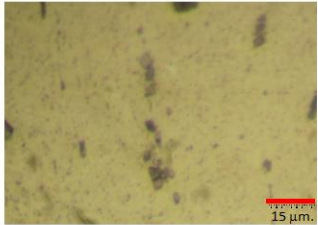
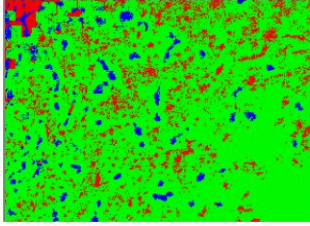
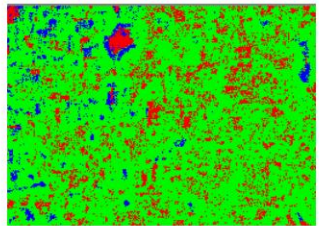
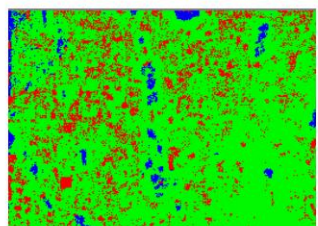
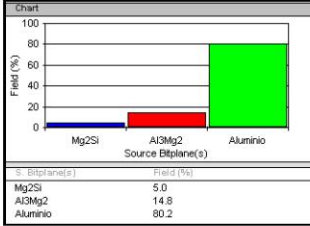
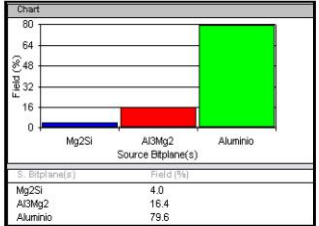
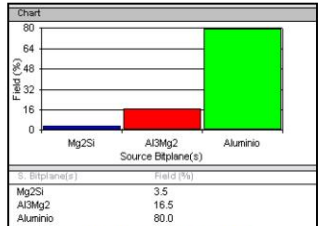
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-04-2
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	13
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	142 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
T. de Duración del ensayo			18 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
Ancho de la probeta			12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,8 mm
Máxima deformación			5,0 mm
Carga Máxima	1.289 kg	Espesor Final	4,3 mm
Ancho Final			11,5 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	21,3 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,1 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			9,8 %
% de Reducción de área	18,2%	Módulo de elasticidad	7.364 kg/mm <sup>2</sup>
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
<p>Probeta soldada con 142 Amp.</p>			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
<p>I. La fractura es irregular, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013

4.2.7.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 142 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-04				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	23/02/2013	ENSAYO #	44				
DATOS GENERALES							
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	142 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del Identador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,06500	1,027083333	0,9975	0,965	0,95375	0,94	0,935
Dureza Brinell (HB)	66,8	72,1	76,7	82,1	84,2	86,8	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 66.8 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual alto que corresponde al tramo entre 0 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 76,7 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza inferior correspondiente al tramo entre 7 y 35 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 23, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				

4.2.7.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 142 amp.



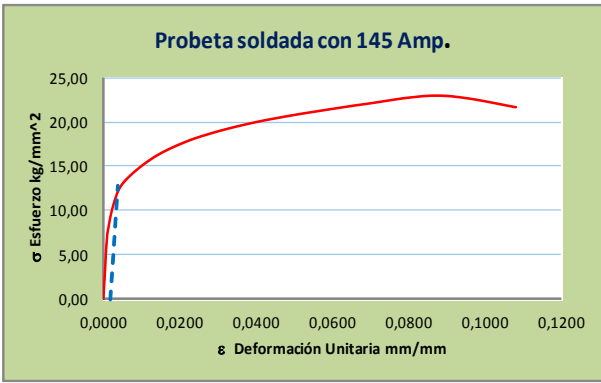

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-04
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA		
FECHA:	02/03/2013	ENSAYO #	62-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	142 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASIM E3-11, ASIM E340 ASIM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg
T. de Duración del ensayo	30 min	Temperatura	20 °C
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordon - ZAC</p>	
Observaciones			
Una vez revisadas las fotografías de las microestructuras en las tres zonas se tiene :			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 2, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																												
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-YDA-M-04																							
TÍTULO PRUEBA:		ANÁLISIS METALOGRAFICO																												
FECHA:		18/04/2013	ENSAYO #	62-2																										
DATOS GENERALES																														
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope																									
Amperaje	142 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón																									
Flujo	41 cñh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM																											
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																														
		MAGNIFICACIÓN	500 X																											
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																														
Córdon de Soldadura		Zona Afectada por el calor (ZAC)		Material Base																										
																														
																														
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Biplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>14.8</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.2</td> </tr> </tbody> </table>		S. Biplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	5.0	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	14.8	Aluminio	80.2	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Biplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>16.4</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.6</td> </tr> </tbody> </table>		S. Biplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	4.0	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.4	Aluminio	79.6	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Biplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>16.5</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.0</td> </tr> </tbody> </table>			S. Biplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	3.5	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.5	Aluminio	80.0
S. Biplane(s)	Field (%)																													
Mg <sub>2</sub> Si	5.0																													
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	14.8																													
Aluminio	80.2																													
S. Biplane(s)	Field (%)																													
Mg <sub>2</sub> Si	4.0																													
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.4																													
Aluminio	79.6																													
S. Biplane(s)	Field (%)																													
Mg <sub>2</sub> Si	3.5																													
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.5																													
Aluminio	80.0																													
Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 133		Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 87		Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 51																										
Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 3,18 μm <sup>2</sup>		Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 3,00 μm <sup>2</sup>		Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 4,81 μm <sup>2</sup>																										
Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 2,01 μm		Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 1,95 μm		Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 2,5 μm																										
Interpretación de resultados																														
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																														
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> están en el orden del 14.8% en el cordón, 16.4% en la ZAC y alrededor del 16.5% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.0%, en la ZAC en un porcentaje del 4.0% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.5%.</li> <li>Los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 3.18 μm<sup>2</sup> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 3.00 μm<sup>2</sup>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.81 μm<sup>2</sup></li> </ol>																														
Observaciones																														
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																										
<b>NAME/Nombre:</b>		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																										
<b>POSITION/Cargo:</b>		Investigador	Investigador	Director de Tesis																										
<b>DATE/Fecha:</b>		Abril 18, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																										

## 4.2.8. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 145 A.



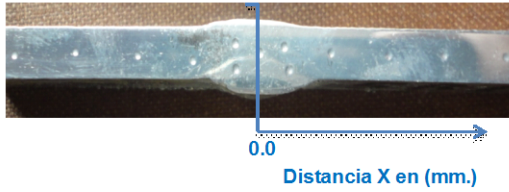
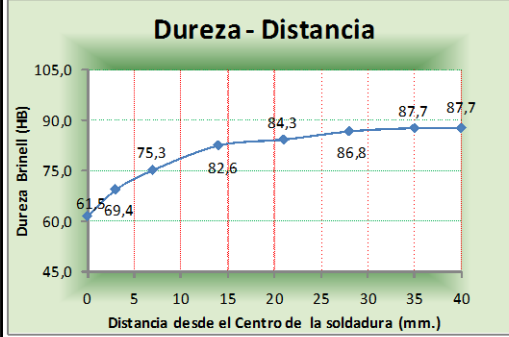
### 4.2.8.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 145 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM			
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-05-1		
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	14		
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	145 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	19 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,3 mm	Máxima deformación	5,5 mm
Carga Máxima	1.416 kg	Espesor Final	4,3 mm	Ancho Final	11,2 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO					
Resistencia a la tracción Sut	23,4 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	13,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	10,8 %
% de Reducción de área	20,2%	Módulo de elasticidad	7.763 kg/mm <sup>2</sup>		
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"					
<p>Probeta soldada con 145 Amp.</p>					
Registro Fotográfico					
Observaciones					
1. La fractura es irregular, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



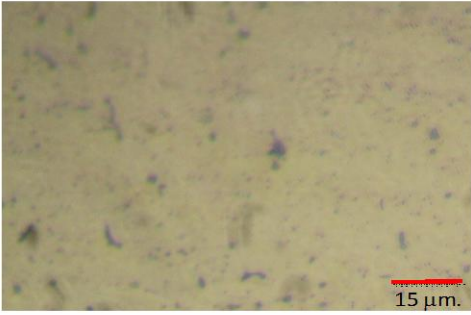
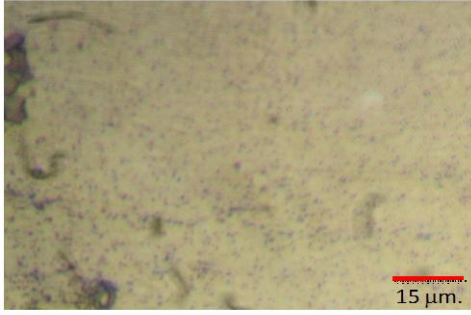
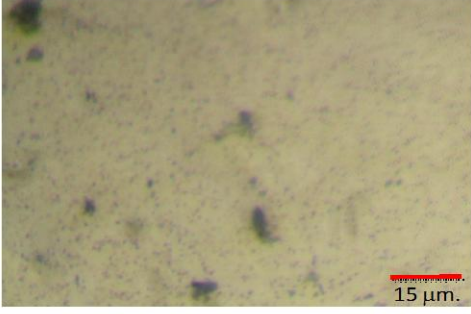
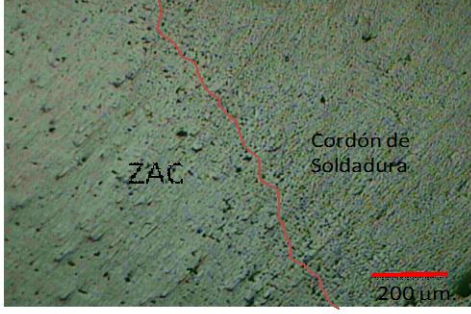
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		 	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-05-2
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	15
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	145 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
T. de Duración del ensayo		Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,3 mm
Carga Máxima	1.385 kg	Espesor Final	4,4 mm
Máxima deformación		Ancho Final	11,0 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	22,9 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	12,8 kg/mm <sup>2</sup>
% de Reducción de área	19,7%	Módulo de elasticidad	7.582 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			10,8 %
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
 <p>Probeta soldada con 145 Amp.</p>			
Registro Fotográfico			
			
Observaciones			
1. La fractura es irregular, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013


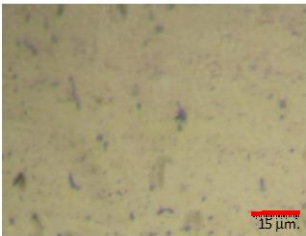
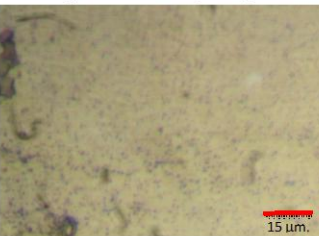
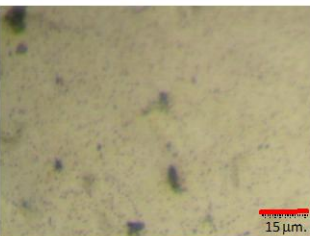
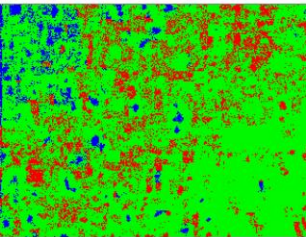
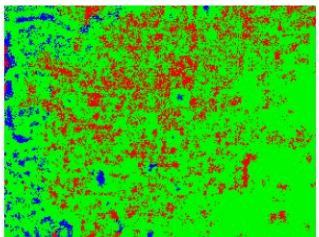
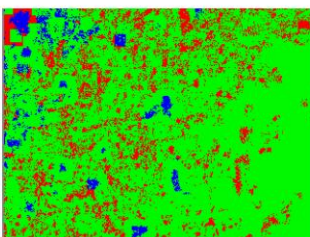
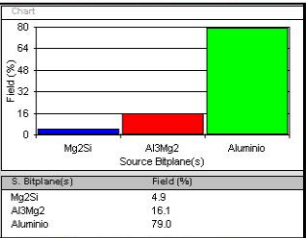
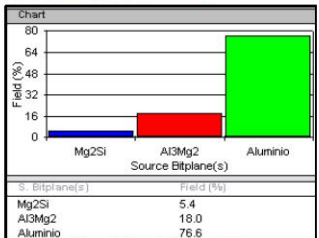
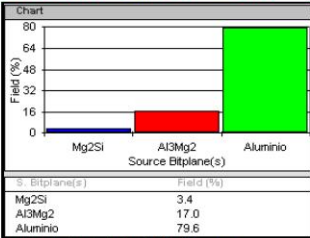


4.2.8.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 145 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-05				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	23/02/2013	ENSAYO #	45				
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	145 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,10750	1,045625	1,00625	0,9625	0,953	0,94	0,935
Dureza Brinell (HB)	61,5	69,4	75,3	82,6	84,3	86,8	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 61.5 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual alto que corresponde al tramo entre 0 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 75.3 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza inferior correspondiente al tramo entre 7 y 35 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 23, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				



4.2.8.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 145 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-05			
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA					
FECHA:	02/03/2013	ENSAYO #	63-1			
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	145 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA						
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07	T. de Duración del ensayo	30 min	
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg	Temperatura	20 °C	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>				
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>				
Observaciones						
<p>Luego de analizadas las fotografías de las microestructuras en las tres zonas se tiene :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente y la mayoría junto a la Interfase entre el cordón y el material base.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>, se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>						
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:	Marzo 2, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	FH-YDA-M-05
	TÍTULO PRUEBA: <b>ANÁLISIS METALOGRAFICO</b>		
	FECHA: <b>18/04/2013</b>	ENSAYO #	63-2
DATOS GENERALES			
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>
Amperaje	<b>145 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>
Flujo	<b>41 cfm</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS			
	MAGNIFICACIÓN	<b>500 X</b>	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS			
<b>Córdon de Soldadura</b>	<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>	<b>Material Base</b>	
			
			
			
Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 106 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,76 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 1,87 $\mu m$	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 103 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 3,06 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 1,97 $\mu m$	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 43 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 5,05 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,5 $\mu m$	
Interpretación de resultados			
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:			
1. Las partículas dispersas de $Al_3Mg_2$ están en el orden del 16.1% en el cordón, 18.0% en la ZAC y alrededor del 17% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas. 2. Los precipitados de $Mg_2Si$ en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 4.9%, en la ZAC en un porcentaje del 5.4% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.4%. 3. Los precipitados de $Mg_2Si$ en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 2.76 $\mu m^2$ y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 3.06 $\mu m^2$ , en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 5,05 $\mu m^2$ .			
Observaciones			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Abril 18, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013



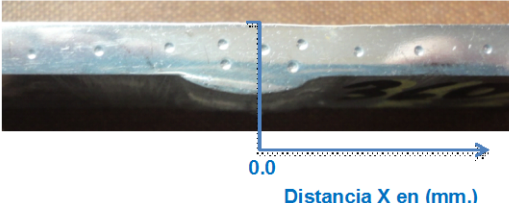
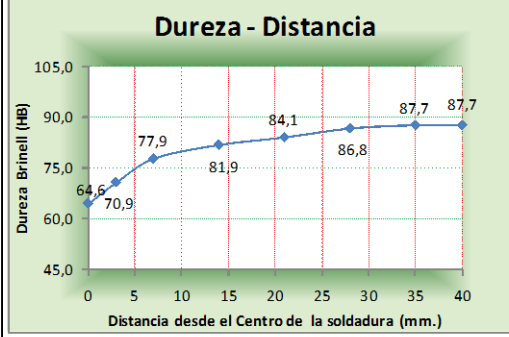
#### 4.2.9. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 147 A.

##### 4.2.9.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 147 amp.



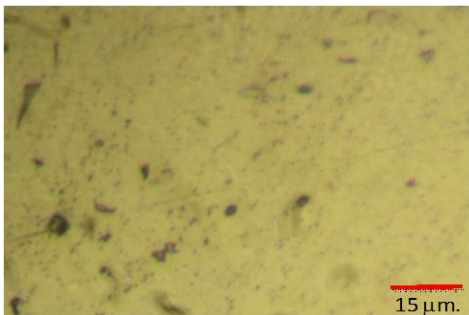
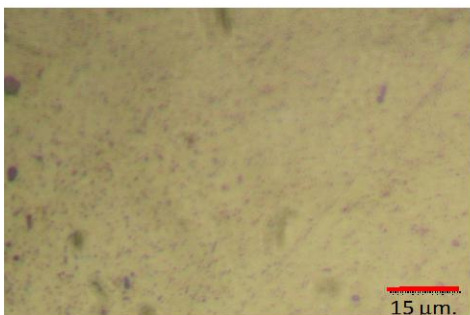
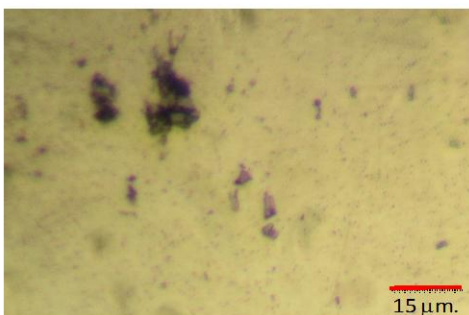

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-06-1				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN						
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	16				
DATOS GENERALES							
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	147 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	25,0 min		
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,0 mm	Máxima deformación	5,2 mm		
Carga Máxima	1.552 kg	Espesor Final	4,5 mm	Ancho Final	11,5 mm		
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO							
Resistencia a la tracción Sut	25,7 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	15,2 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	10,2 %		
% de Reducción de área	14,4%	Módulo de elasticidad	7.397 kg/mm <sup>2</sup>				
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"							
							
Registro Fotográfico							
							
Observaciones							
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 90°, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013				



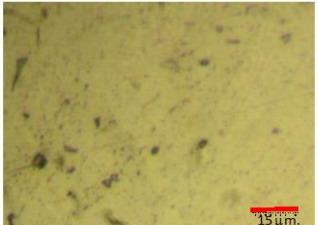
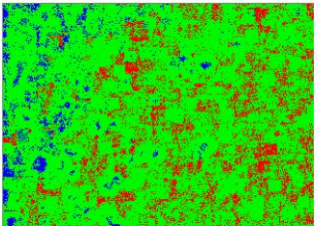
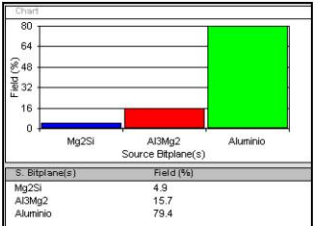
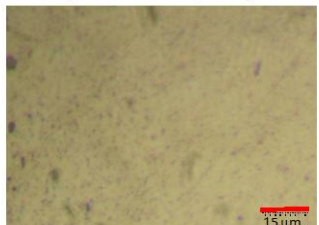
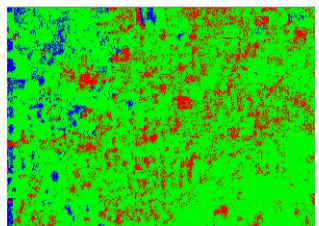
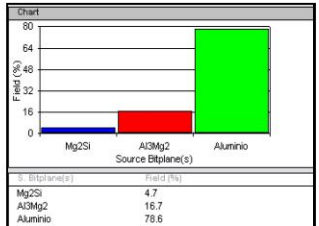
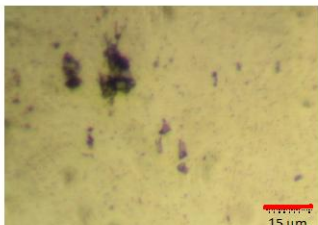
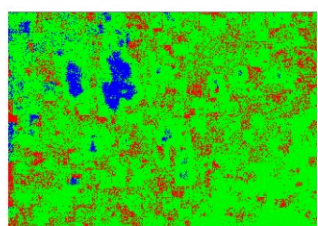
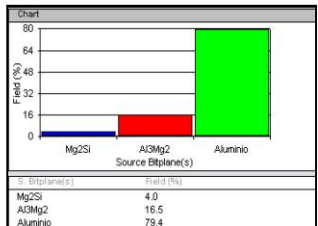
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-06-2
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	17
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	147 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
T. de Duración del ensayo			15 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
Ancho de la probeta			12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,1 mm
Máxima deformación			5,3 mm
Carga Máxima	1.348 kg	Espesor Final	4,0 mm
Ancho Final			11,4 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	22,3 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,6 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			10,4 %
% de Reducción de área	24,6%	Módulo de elasticidad	7.763 kg/mm <sup>2</sup>
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
<p style="text-align: center;"><b>Probeta soldada con 147 Amp.</b></p>			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 90°, lo que indica la presencia de defectos de soldadura los mismos que ocasionan la disminución en las propiedades mecánicas.</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013

4.2.9.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 147 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-YDA-D-06
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE DUREZA					
FECHA:		25/02/2013	ENSAYO #	46			
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	147 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cñh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,08250	1,035625	0,99	0,96625	0,954	0,94	0,935
Dureza Brinell (HB)	64,6	70,9	77,9	81,9	84,1	86,8	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 64.6 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual alto que corresponde al tramo entre 0 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 77.9 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza inferior correspondiente al tramo entre 7 y 30 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 25, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				

4.2.9.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 147 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-YDA-M-06
TÍTULO PRUEBA:		METALOGRAFÍA					
FECHA:		02/03/2013	ENSAYO #		64-1		
DATOS GENERALES							
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	147 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón		
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA							
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASIM E3-11, ASIM E340 ASIM E407-07	T. de Duración del ensayo	30 min		
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg	Temperatura	20 °C		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones							
<p>Luego de analizadas las fotografías de las microestructuras en las tres zonas se tiene :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente y la mayoría junto a la interfase entre el cordón y el material base.</li> <li>En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>							
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Marzo 2, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013				


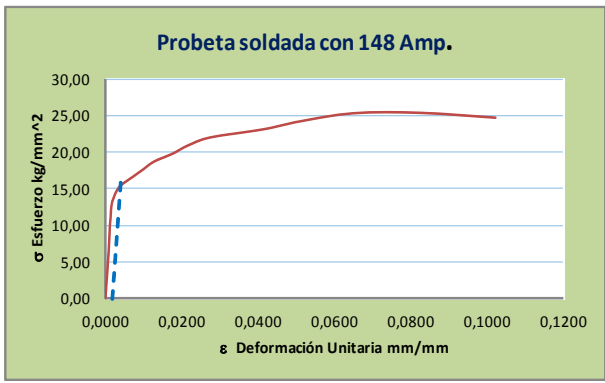

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																												
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #		FH-YDA-M-06																								
	TÍTULO PRUEBA:	ANÁLISIS METALOGRAFICO																											
	FECHA:	19/04/2013	ENSAYO #		64-2																								
<b>DATOS GENERALES</b>																													
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope																								
Amperaje	147 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón																								
Flujo	41 cñh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM																										
<b>PARÁMETROS DEL ANÁLISIS</b>																													
		MAGNIFICACIÓN	500 X																										
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS</b>																													
<b>Córdon de Soldadura</b>		<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>		<b>Material Base</b>																									
   <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>4.9</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>15.7</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.4</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	4.9	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	15.7	Aluminio	79.4	   <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>4.7</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>16.7</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.6</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	4.7	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.7	Aluminio	78.6	   <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>16.5</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.4</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	4.0	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.5	Aluminio	79.4
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg <sub>2</sub> Si	4.9																												
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	15.7																												
Aluminio	79.4																												
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg <sub>2</sub> Si	4.7																												
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.7																												
Aluminio	78.6																												
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg <sub>2</sub> Si	4.0																												
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.5																												
Aluminio	79.4																												
Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 105 Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 2,97 μm <sup>2</sup> Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 1,94 μm		Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 100 Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 3,11 μm <sup>2</sup> Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 1,99 μm		Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 59 Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 5,11 μm <sup>2</sup> Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 2,6 μm																									
<b>Interpretación de resultados</b>																													
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																													
1. Las partículas dispersas de Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> están en el orden del 15.7% en el cordón, 16.7% en la ZAC y alrededor del 16.5% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas. 2. Los precipitados de Mg <sub>2</sub> Si en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 4.9%, en la ZAC en un porcentaje del 4.7% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 4.0%. 3. Los precipitados de Mg <sub>2</sub> Si en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 2.97 μm <sup>2</sup> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 3.11 μm <sup>2</sup> , en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 5.11 μm <sup>2</sup>																													
<b>Observaciones</b>																													
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																										
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																										
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																										
DATE/Fecha:	Abril 19, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																										



#### 4.2.10. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 148 A.



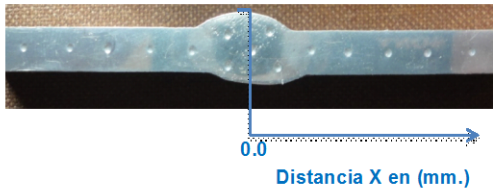
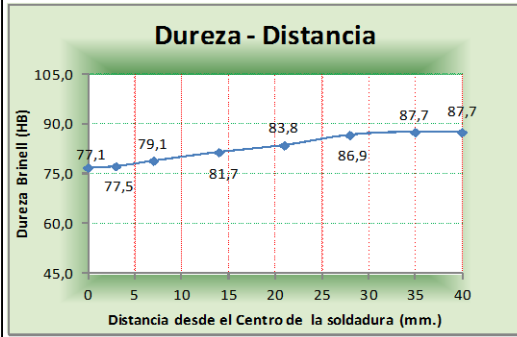
##### 4.2.10.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 148 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-07-1
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	18
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	148 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
T. de Duración del ensayo		Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,3 mm
Carga Máxima	1.557 kg	Espesor Final	4,1 mm
Máxima deformación		Ancho Final	11,5 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	25,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	15,2 kg/mm <sup>2</sup>
% de Reducción de área	22,1%	Módulo de elasticidad	7.883 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			10,7 %
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
<p>Probeta soldada con 148 Amp.</p>			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 45°.			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013

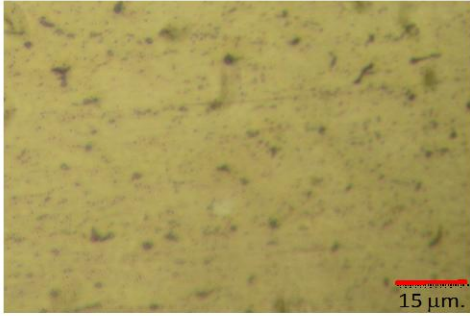
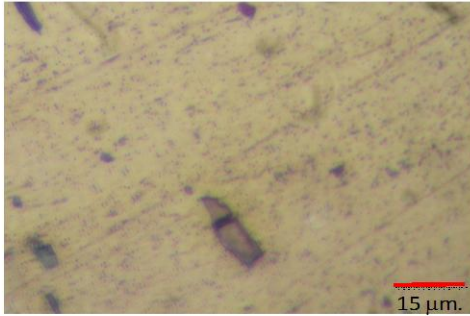
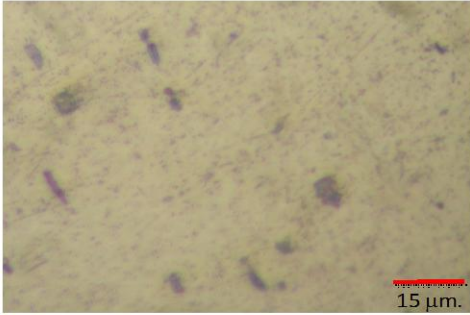
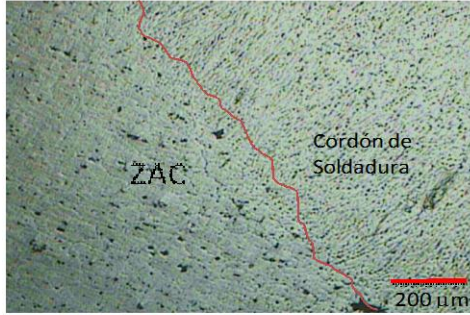
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-07-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	19	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	148 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	25
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial [l <sub>0</sub> ]	50,8 mm	longitud Final [l <sub>f</sub> ]	56,3 mm	Máxima deformación	5,5 mm
Carga Máxima [P <sub>max</sub> ]	1.537 kg	Espesor Final	4,3 mm	Ancho Final	11,0 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	25,4 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia S <sub>y</sub>	15,4 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	10,8 %
% de Reducción de área	21,9%	Módulo de elasticidad	7.823 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es uniforme y forma un ángulo de 45°, lo cual indica un comportamiento dúctil, ratificando esto con el valor de elongación obtenido que es de 10,8%					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		


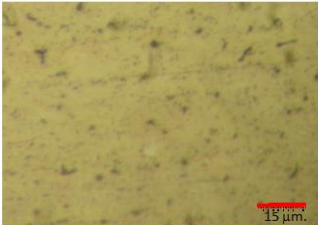

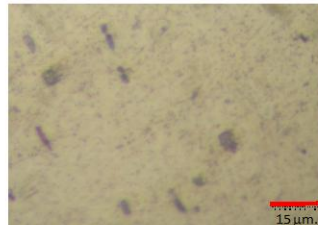
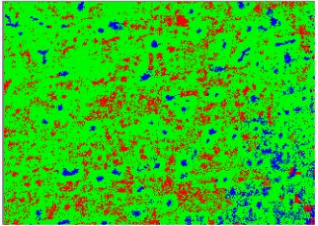
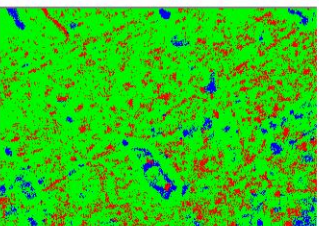
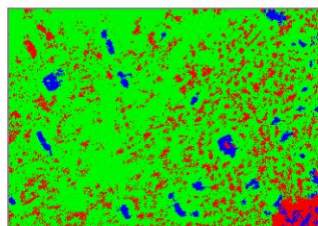
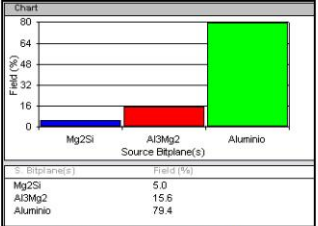
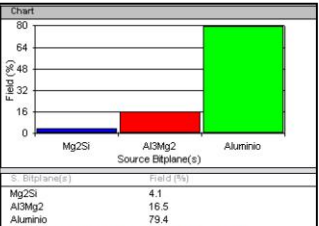
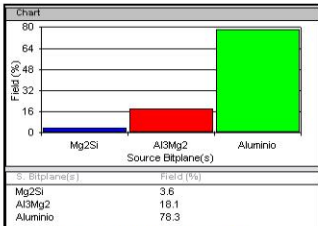
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-07-3
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	20
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	148 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
T. de Duración del ensayo			25
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
Ancho de la probeta			12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,5 mm
Máxima deformación			5,7 mm
Carga Máxima	1.494 kg	Espesor Final	4,2 mm
Ancho Final			11,6 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	24,7 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	13,2 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			11,2 %
% de Reducción de área	20,2%	Módulo de elasticidad	7.811 kg/mm <sup>2</sup>
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
<p style="text-align: center;"><b>Probeta soldada con 148 Amp.</b></p>			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
<p>1. La fractura es uniforme y forma un ángulo de 45°, lo cual indica un comportamiento dúctil, ratificando esto con el valor de elongación obtenido que es de 11,2%</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013

4.2.10.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 148 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-7				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	25/02/2013	ENSAYO #	47				
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	148 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfn	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del Identador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	0,99500	0,9925	0,9825	0,9675	0,956	0,9395	0,935
Dureza Brinell (HB)	77,1	77,5	79,1	81,7	83,8	86,9	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 77.1 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual bajo que corresponde al tramo entre 0 y 3 mm con un valor máximo de dureza de 77.5 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza superior correspondiente al tramo entre 7 y 30 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
REGISTER BY / Registrado por		REVIEWED BY / Revisado por		APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador		Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 25, 2013		Marzo 04, 2013		Marzo 08, 2013		

4.2.10.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 148 amp.


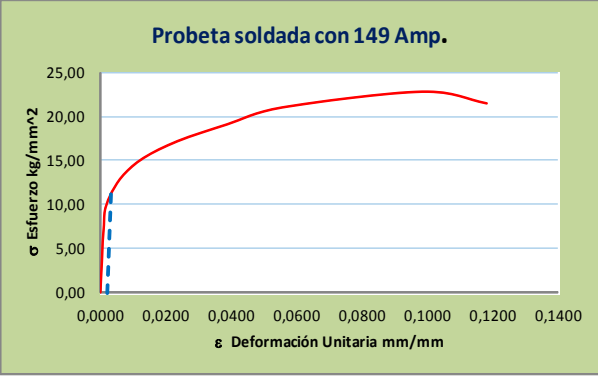

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-07
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA		
FECHA:	05/03/2013	ENSAYO #	65-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	148 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM
Tipo de junta	A Tope		
Tipo de gas	Argón		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg
T. de Duración del ensayo	30 min		
Temperatura	20 °C		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones			
<p>Luego de analizadas las fotografías de las microestructuras en las tres zonas se tiene :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura, al igual que las partículas de Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>.</li> <li>2. En la zona a afectada por el calor ZAC los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente y la mayoría junto a la interfase entre el cordón y el material base.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por	
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 5, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	<b>FH-YDA-M-07</b>
	TÍTULO PRUEBA: <b>ANÁLISIS METALOGRAFICO</b>		
	FECHA: <b>19/04/2013</b>	ENSAYO #	<b>65-2</b>
DATOS GENERALES			
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>
Amperaje	<b>148 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>
Flujo	<b>41 cñh</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS			
	MAGNIFICACIÓN	<b>500 X</b>	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS			
<b>Córdon de Soldadura</b>	<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>	<b>Material Base</b>	
			
			
			
Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = <b>111</b> Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = <b>2,72 <math>\mu m^2</math></b> Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = <b>1,86 <math>\mu m</math></b>	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = <b>102</b> Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = <b>3,02 <math>\mu m^2</math></b> Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = <b>1,96 <math>\mu m</math></b>	Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = <b>43</b> Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = <b>5,00 <math>\mu m^2</math></b> Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = <b>2,5 <math>\mu m</math></b>	
Interpretación de resultados			
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> están en el orden del 15.6% en el cordón, 16.5% en la ZAC y alrededor del 18.1% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.0%, en la ZAC en un porcentaje del 4.1% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.6%.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de <math>2.72 \mu m^2</math> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>3.02 \mu m^2</math>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>5.00 \mu m^2</math></li> </ol>			
Observaciones			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Mg. Raúl Cabrera</b>
POSITION/Cargo:	<b>Investigador</b>	<b>Investigador</b>	<b>Director de Tesis</b>
DATE/Fecha:	<b>Abril 19, 2013</b>	<b>Mayo 10, 2013</b>	<b>Mayo 25, 2013</b>

#### 4.2.11. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 149 A.



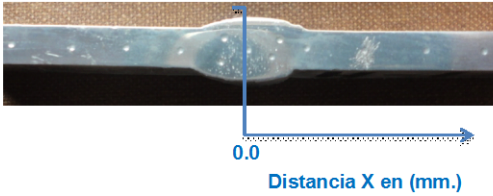
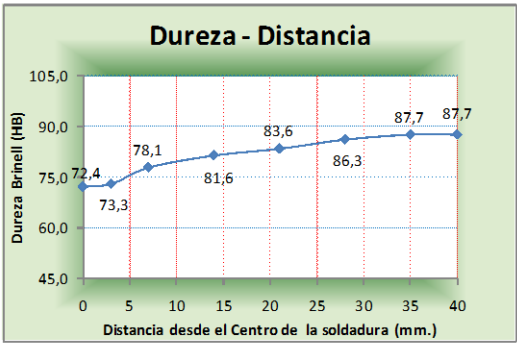
##### 4.2.11.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 149 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-08-1
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	21
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	149 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
T. de Duración del ensayo		Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,3 mm
Carga Máxima	1.349 kg	Espesor Final	4,2 mm
Máxima deformación		Ancho Final	11,6 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	22,3 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	12,5 kg/mm <sup>2</sup>
% de Reducción de área	19,1%	Módulo de elasticidad	7.772 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			10,8 %
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 45° observando de esta manera una fractura dúctil que es evidenciado con el valor de elongación obtenido que es de 10,8%			
NAME/Nombre:	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013

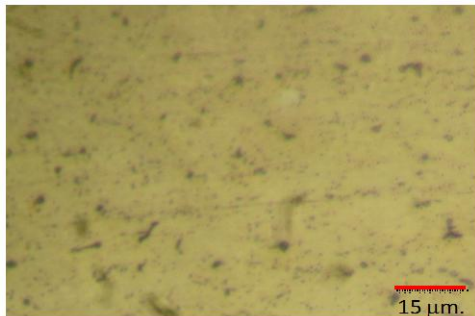
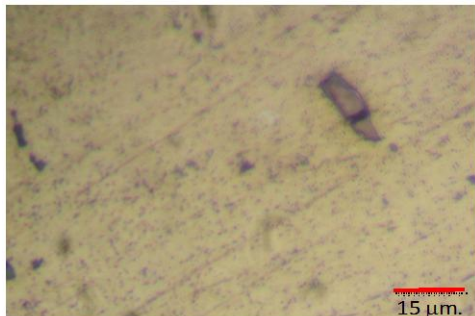
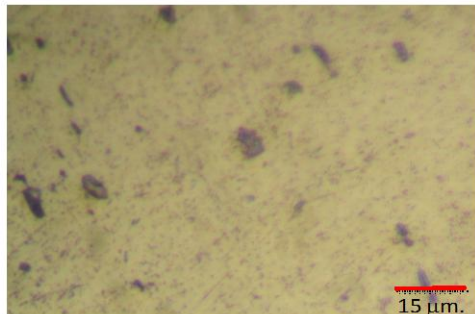

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-08-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	19/02/2013	ENSAYO #	22	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	149 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	19 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,8 mm	Máxima deformación	6,0 mm
Carga Máxima	1.376 kg	Espesor Final	4,1 mm	Ancho Final	11,5 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	22,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	12,0 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	11,8 %
% de Reducción de área	21,2%	Módulo de elasticidad	7.821 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 45° observando de esta manera una fractura dúctil que es evidenciado con el valor de elongación obtenido que es de 11,8%					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 19, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



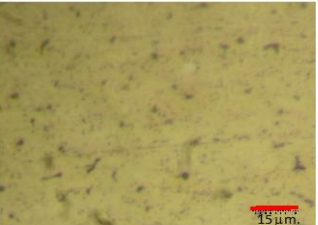
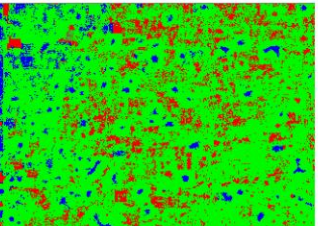
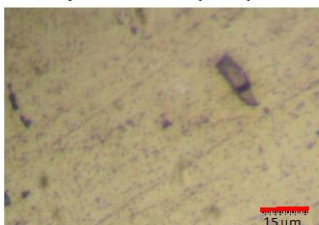
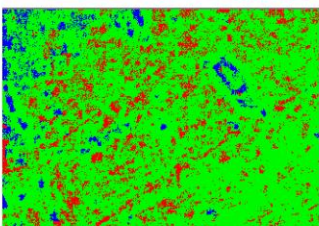
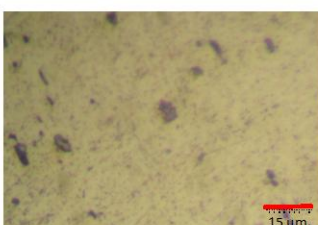
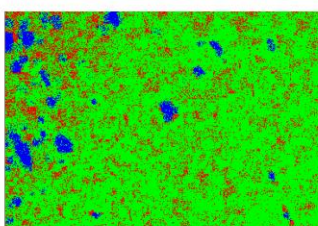
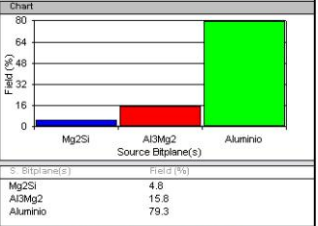
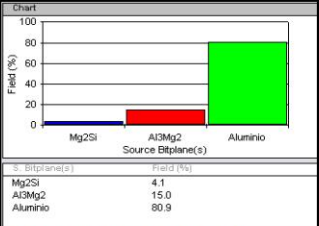
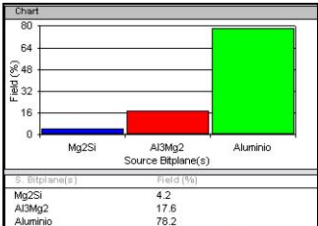


4.2.11.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 149 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FI-YDA-D-8
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE DUREZA					
FECHA:		25/02/2013	ENSAYO #		48		
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	149 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,02500	1,019375	0,98875	0,968	0,957	0,9425	0,935
Dureza Brinell (HB)	72,4	73,3	78,1	81,6	83,6	86,3	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 72.4 HB, luego en el gráfico se observa tres tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual bajo que corresponde al tramo entre 0 y 3 mm con un valor máximo de dureza de 73.3 HB, la segunda tendencia con un aumento gradual de dureza alto correspondiente al tramo entre 3 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 78.1 HB y la última tendencia con un aumento gradual de dureza bajo correspondiente al tramo entre 7 y 30 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:	Febrero 25, 2013		Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013			

4.2.11.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 149 amp.


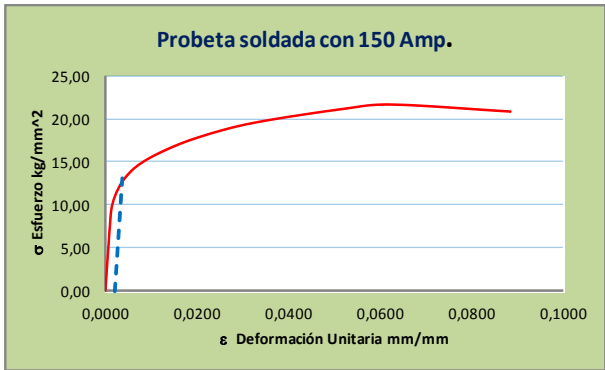


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-08
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA		
FECHA:	05/03/2013	ENSAYO #	66-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	149 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg
T. de Duración del ensayo	Temperatura		30 min 20 °C
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones			
Del análisis de las microestructuras se desprenden las siguientes observaciones:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>En el sector del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente y la mayoría junto a la interfase entre el cordón y el material base.</li> <li>En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por	
Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera	
Investigador	Investigador	Director de Tesis	
DATE/fecha:	Marzo 5, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #		
TÍTULO PRUEBA:		ANÁLISIS METALOGRAFICO				
FECHA:		20/04/2013	ENSAYO #	66-2		
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	149 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	41 cñh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM			
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS						
		MAGNIFICACIÓN	500 X			
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS						
Córdon de Soldadura		Zona Afectada por el calor (ZAC)		Material Base		
 		 		 		
						
Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 112$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 2,94 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 1,93 \mu m$		Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 100$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 2,98 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 1,95 \mu m$		Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 75$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 5,10 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 2,5 \mu m$		
Interpretación de resultados						
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:						
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> están en el orden del 15.8% en el cordón, 15.0% en la ZAC y alrededor del 17.6% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 4.8%, en la ZAC en un porcentaje del 4.1% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 4.2%.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de <math>2.94 \mu m^2</math> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>2.98 \mu m^2</math>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>5.10 \mu m^2</math></li> </ol>						
Observaciones						
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
<b>NAME/Nombre:</b>		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
<b>POSITION/Cargo:</b>		Investigador	Investigador	Director de Tesis		
<b>DATE/Fecha:</b>		Abril 20, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013		



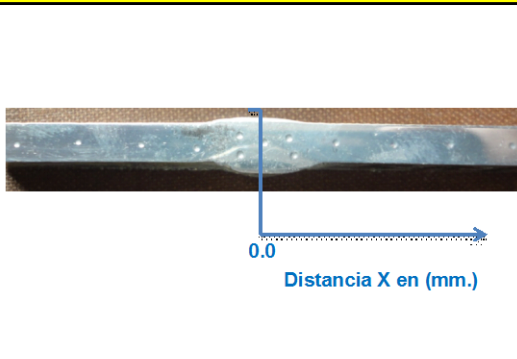
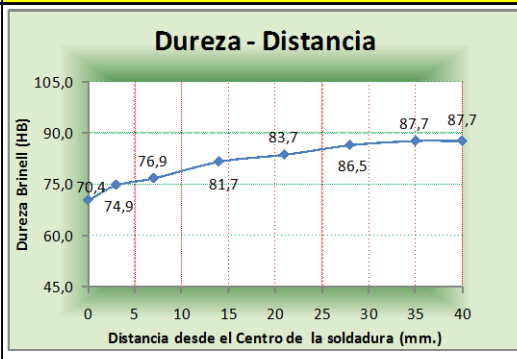
## 4.2.12. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 150 A.

### 4.2.12.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 150 amp.



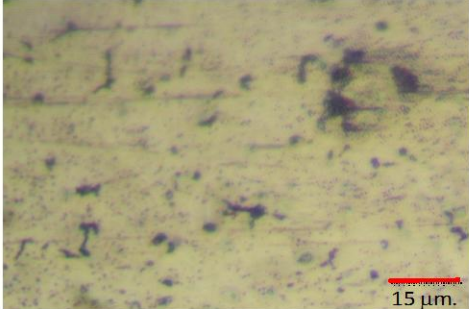

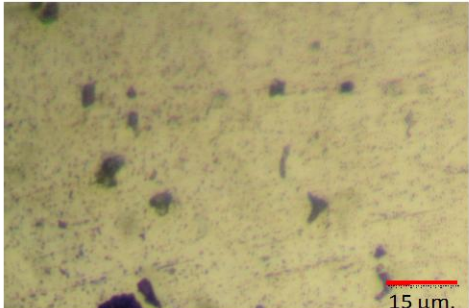
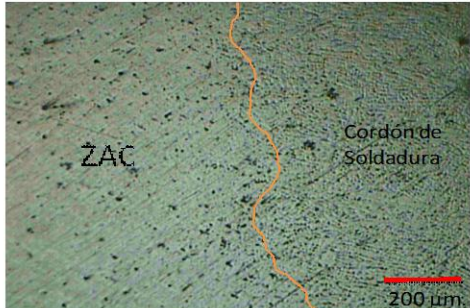
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-09-1
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	20/02/2013	ENSAYO #	23
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	150 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
T. de Duración del ensayo		Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,3 mm
Carga Máxima	1.336 kg	Espesor Final	4,2 mm
Máxima deformación		Ancho Final	11,9 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	22,1 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	12,5 kg/mm <sup>2</sup>
% de Reducción de área	17,3%	Módulo de elasticidad	7.830 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			10,8 %
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
1. La fractura es irregular y forma un ángulo en la parte superior de 65°			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 20, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013


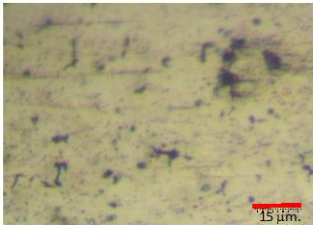
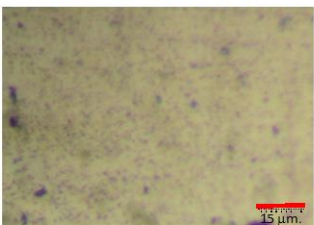
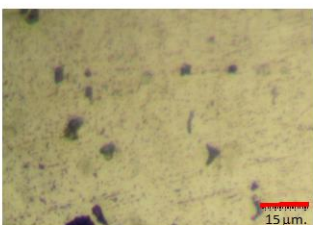
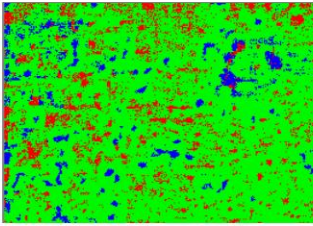
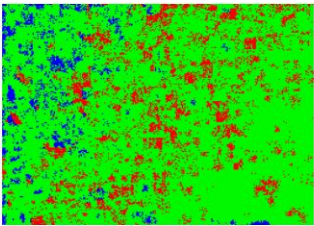
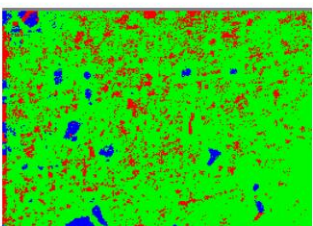
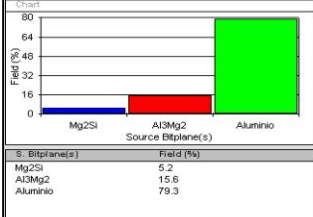
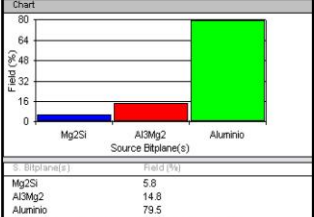
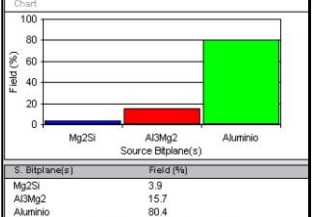
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	<b>FH-YDA-T-09-2</b>
	TÍTULO PRUEBA: <b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>		
	FECHA: <b>20/02/2013</b>	ENSAYO #	<b>24</b>
DATOS GENERALES			
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>
Amperaje	<b>150 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>
Flujo	<b>40 cfh</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>
Método Utilizado	<b>Deformación controlada</b>	Máquina	<b>Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn</b>
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	<b>FRESADA</b>	NORMA APLICADA	<b>ASTM B557</b>
Largo de calibración	<b>50,8 mm</b>	Espesor de la probeta	<b>4,8 mm</b>
		T. de Duración del ensayo	<b>21,0 min</b>
		Ancho de la probeta	<b>12,7 mm</b>
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	<b>50,8 mm</b>	longitud Final	<b>55,3 mm</b>
Carga Máxima	<b>1.309 kg</b>	Espesor Final	<b>4,3 mm</b>
		Máxima deformación	<b>4,5 mm</b>
		Ancho Final	<b>11,8 mm</b>
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	<b>21,7 kg/mm<sup>2</sup></b>	Resistencia a la cedencia Sy	<b>12,7 kg/mm<sup>2</sup></b>
% de Reducción de área	<b>16,0%</b>	Módulo de elasticidad	<b>7.846 kg/mm<sup>2</sup></b>
		% de elongación	<b>8,9 %</b>
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
			
Registro Fotográfico			
			
Observaciones			
<p>1. La fractura forma un ángulo de 45° observando de esta manera una fractura dúctil, la disminución de las propiedades mec. es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 20, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013

4.2.12.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 150 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-09		
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE DUREZA					
FECHA:		26/02/2013	ENSAYO #	49			
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	150 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,03875	1,00875	0,99625	0,9675	0,95625	0,94125	0,935
Dureza Brinell (HB)	70,4	74,9	76,9	81,7	83,7	86,5	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 70.4 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual que corresponde al tramo entre 0 y 3 mm con un valor máximo de dureza de 74.9 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza correspondiente al tramo entre 7 y 35 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
		REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:		Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:		Investigador	Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:		Febrero 26, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013			

4.2.12.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 150 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-09			
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA					
FECHA:	05/03/2013	ENSAYO #	67-1			
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	150 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA						
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07	T. de Duración del ensayo	30 min	
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg	Temperatura	20 °C	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>				
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>				
Observaciones						
Del análisis de las microestructuras se desprenden las siguientes observaciones:						
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño menor en comparación a las del metal base pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente y la mayoría junto a la interfase entre el cordón y el material base.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>						
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis			
DATE/fecha:	Marzo 5, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013			

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM																									
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA # <b>5356</b>	FH-YDA-M-09																								
	TÍTULO PRUEBA: <b>ANÁLISIS METALGRÁFICO</b>																										
	FECHA: <b>20/04/2013</b>	ENSAYO # <b>67-2</b>																									
DATOS GENERALES																											
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>																								
Amperaje	<b>150 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>																								
Flujo	<b>41 cfb</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>																								
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																											
	MAGNIFICACIÓN	<b>500 X</b>																									
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																											
<b>Córdon de Soldadura</b>	<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>	<b>Material Base</b>																									
																											
																											
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.2</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>15.6</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.3</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 131</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 2,67 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 1,84 \mu m</math></p>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.2	Al3Mg2	15.6	Aluminio	79.3	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>14.8</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 126</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 3,05 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 1,97 \mu m</math></p>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.8	Al3Mg2	14.8	Aluminio	79.5	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>15.7</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.4</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 52</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 5,16 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 2,6 \mu m</math></p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.9	Al3Mg2	15.7	Aluminio	80.4
S. Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	5.2																										
Al3Mg2	15.6																										
Aluminio	79.3																										
S. Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	5.8																										
Al3Mg2	14.8																										
Aluminio	79.5																										
S. Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	3.9																										
Al3Mg2	15.7																										
Aluminio	80.4																										
Interpretación de resultados																											
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																											
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> están en el orden del 15.6% en el cordón, 14.8% en la ZAC y alrededor del 15.7% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.2%, en la ZAC en un porcentaje del 5.8% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.9%.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de <math>2.67 \mu m^2</math> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>3.05 \mu m^2</math>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>5.16 \mu m^2</math></li> </ol>																											
Observaciones																											
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																								
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																								
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																								
DATE/Fecha:	Abril 20, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																								





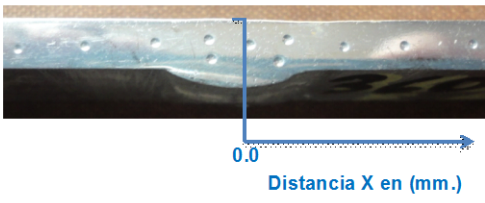
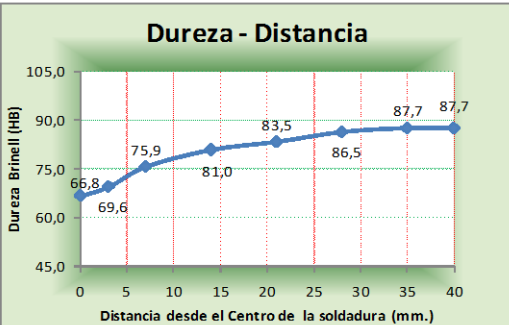
#### 4.2.13. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 152 A.

##### 4.2.13.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 152 amp.

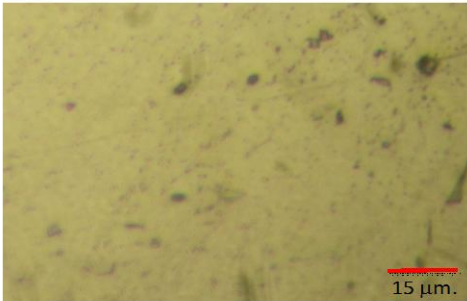
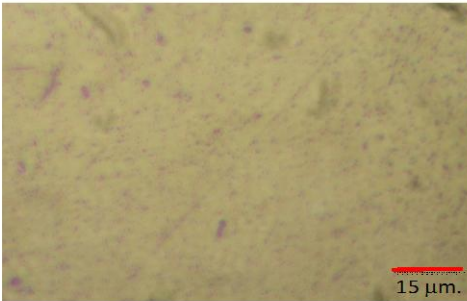
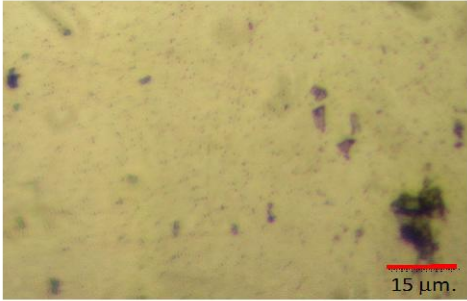
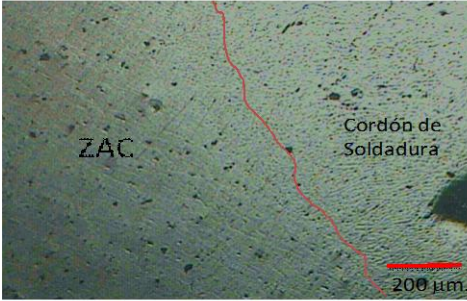
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-10-1
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	20/02/2013	ENSAYO #	25
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	152 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
T. de Duración del ensayo		Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,9 mm
Carga Máxima	1.388 kg	Espesor Final	4,3 mm
Máxima deformación		Ancho Final	11,9 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	23,0 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	13,0 kg/mm <sup>2</sup>
% de Reducción de área	15,4%	Módulo de elasticidad	7.902 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			8,1 %
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 60°, lo cual indica que se tiene una fractura dúctil. La disminución de las propiedades mec. es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 20, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013



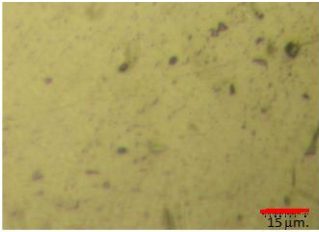
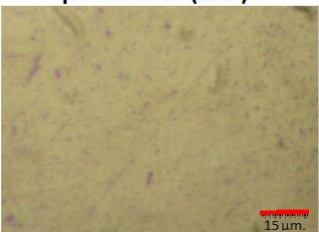
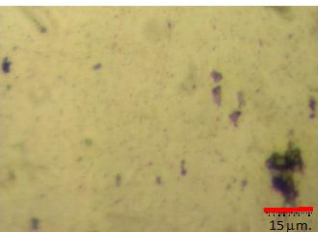
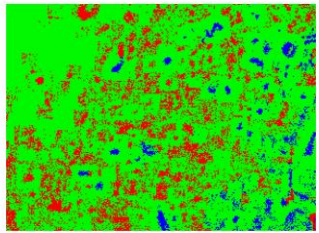
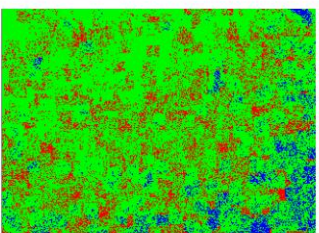
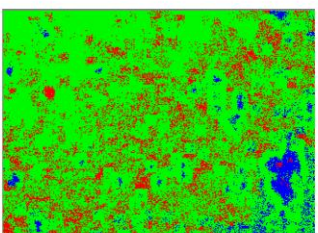
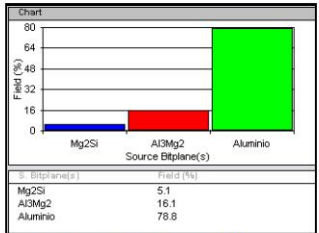
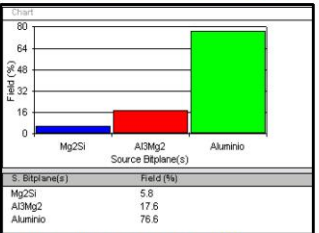
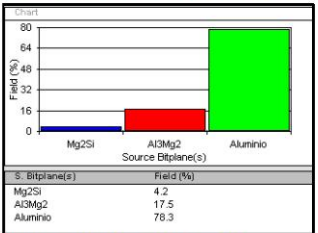
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-10-2
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	20/02/2013	ENSAYO #	26
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	152 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
T. de Duración del ensayo			15 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
Ancho de la probeta			12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,4 mm
Máxima deformación			5,6 mm
Carga Máxima	1.160 kg	Espesor Final	4,4 mm
Ancho Final			11,5 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	19,2 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	6,6 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			11,0 %
% de Reducción de área	16,3%	Módulo de elasticidad	7.680 kg/mm <sup>2</sup>
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
<p style="text-align: center;"><b>Probeta soldada con 152 Amp.</b></p>			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
<p>1. La fractura forma un ángulo de 45° observando de esta manera una fractura dúctil, la disminución de las propiedades mec. es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 20, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013

4.2.13.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 152 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-YDA-D-10
TÍTULO PRUEBA:		ENSAYO DE DUREZA					
FECHA:	26/02/2013	ENSAYO #	50				
DATOS GENERALES							
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	152 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del Identador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,06500	1,044375	1,0025	0,97125	0,9575	0,94125	0,935
Dureza Brinell (HB)	66,8	69,6	75,9	81,0	83,5	86,5	87,7
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 66.8 HB, luego en el gráfico se observa tres tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual bajo que corresponde al tramo entre 0 y 3 mm con un valor máximo de dureza de 69.6 HB, la segunda tendencia con un aumento gradual de dureza alto correspondiente al tramo entre 3 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 75.9 HB y la última tendencia con un aumento gradual de dureza bajo correspondiente al tramo entre 7 y 35 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	<b>REGISTER BY / Registrado por</b>	<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>	<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 26, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				

4.2.13.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 152 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-10
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA		
FECHA:	06/03/2013	ENSAYO #	68-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	152 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Tipo de junta	A Tope		
Tipo de gas	Argón		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASIM E3-11, ASIM E340 ASIM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg
T. de Duración del ensayo	30 min		
Temperatura	20 °C		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Cordón de Soldadura</p> <p>ZAC</p> <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones			
Del análisis de las microestructuras se desprenden las siguientes observaciones:			
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 6, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																											
<b>TIPO DE ESTUDIO:</b>	<b>De Laboratorio</b>	<b>PROBETA #</b>	<b>FH-YDA-M-10</b>																										
<b>TÍTULO PRUEBA:</b>	<b>ANÁLISIS METALOGRAFICO</b>																												
<b>FECHA:</b>	<b>22/04/2013</b>	<b>ENSAYO #</b>	<b>68-2</b>																										
DATOS GENERALES																													
<b>Material base</b>	<b>Al 5086-H116</b>	<b>Mat. de aporte</b>	<b>5356</b>	<b>Tipo de junta</b>	<b>A Tope</b>																								
<b>Amperaje</b>	<b>152 Amp.</b>	<b>Voltaje</b>	<b>25 Volt.</b>	<b>Tipo de gas</b>	<b>Argón</b>																								
<b>Flujo</b>	<b>41 cñh</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>																										
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																													
		<b>MAGNIFICACIÓN</b>	<b>500 X</b>																										
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																													
<b>Córdon de Soldadura</b>		<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>		<b>Material Base</b>																									
																													
																													
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>16.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.8</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.1	Al3Mg2	16.1	Aluminio	78.8	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.8</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>17.6</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>76.6</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.8	Al3Mg2	17.6	Aluminio	76.6	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>4.2</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>17.5</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.3</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	4.2	Al3Mg2	17.5	Aluminio	78.3
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg2Si	5.1																												
Al3Mg2	16.1																												
Aluminio	78.8																												
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg2Si	5.8																												
Al3Mg2	17.6																												
Aluminio	76.6																												
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg2Si	4.2																												
Al3Mg2	17.5																												
Aluminio	78.3																												
Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 99$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 3,11 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 1,99 \mu m$		Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 99$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 3,79 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 2,20 \mu m$		Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si = 61$ Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 5,01 \mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si = 2,5 \mu m$																									
Interpretación de resultados																													
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																													
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> están en el orden del 16.1% en el cordón, 17.6% en la ZAC y alrededor del 17.5% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.1%, en la ZAC en un porcentaje del 5.8% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 4.2%.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de <math>3.11 \mu m^2</math> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>3.79 \mu m^2</math>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>5.01 \mu m^2</math></li> </ol>																													
Observaciones																													
	<b>REGISTER BY / Registrado por</b>	<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>	<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>																										
<b>NAME/Nombre:</b>	<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Mg. Raúl Cabrera</b>																										
<b>POSITION/Cargo:</b>	<b>Investigador</b>	<b>Investigador</b>	<b>Director de Tesis</b>																										
<b>DATE/Fecha:</b>	<b>Abril 22, 2013</b>	<b>Mayo 10, 2013</b>	<b>Mayo 25, 2013</b>																										



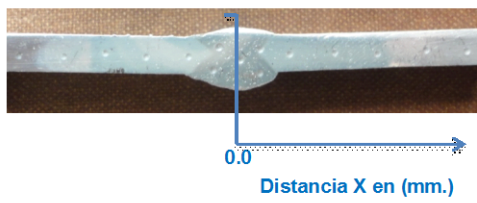
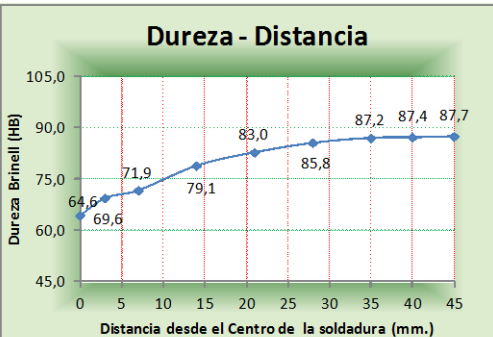
#### 4.2.14. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 154 A.

##### 4.2.14.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 154 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-11-1
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	21/02/2013	ENSAYO #	27
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	154 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Tipo de junta	A Tope
Método Utilizado	Deformación controlada	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
		Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
Largo de calibración	50,8 mm	T. de Duración del ensayo	22 min
		Espesor de la probeta	4,8 mm
		Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,8 mm
Carga Máxima	1.318 kg	Máxima deformación	6,0 mm
		Espesor Final	4,2 mm
		Ancho Final	11,5 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	21,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,2 kg/mm <sup>2</sup>
% de Reducción de área	20,1%	Módulo de elasticidad	7.721 kg/mm <sup>2</sup>
		% de elongación	11,8 %
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
<p>1. La fractura es muy irregular y forma un ángulo de 50°, lo cual indica que se tiene una fractura dúctil. La disminución de las propiedades mec. es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 21, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013


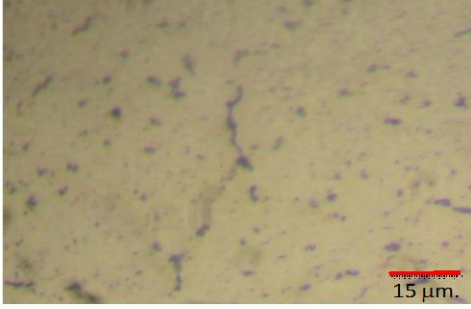
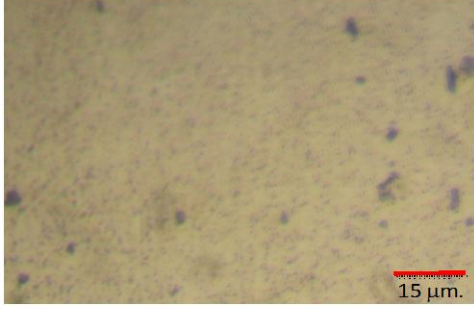
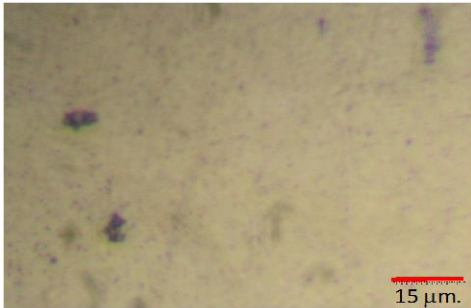
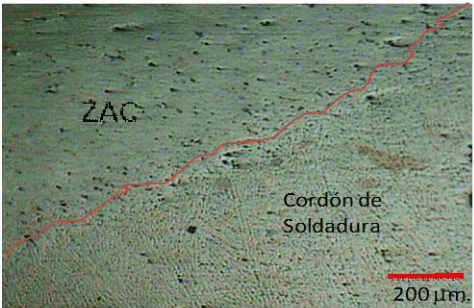
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-11-2
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN		
FECHA:	21/02/2013	ENSAYO #	28
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	154 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN			
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557
T. de Duración del ensayo			17 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm
Ancho de la probeta			12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,3 mm
Máxima deformación			3,5 mm
Carga Máxima	1.207 kg	Espesor Final	4,4 mm
Ancho Final			11,9 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO			
Resistencia a la tracción Sut	20,0 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	12,1 kg/mm <sup>2</sup>
% de elongación			6,9 %
% de Reducción de área	14,3%	Módulo de elasticidad	7.676 kg/mm <sup>2</sup>
GRAFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"			
<p>Probeta soldada con 154 Amp.</p>			
Registro Fotográfico			
Observaciones			
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 80°, La disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 21, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013


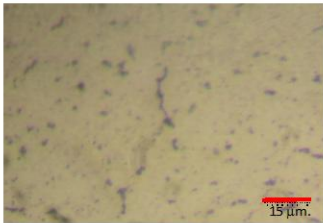
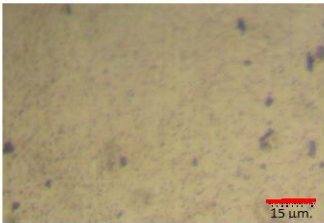
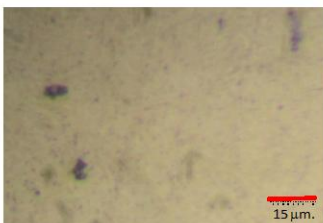
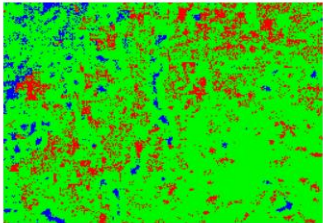
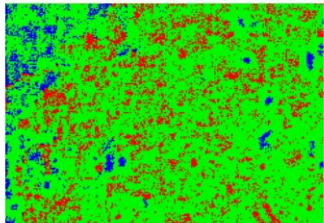
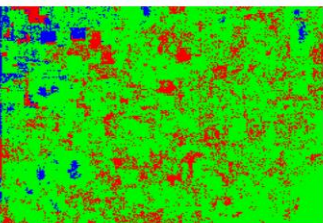
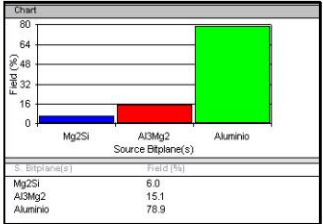
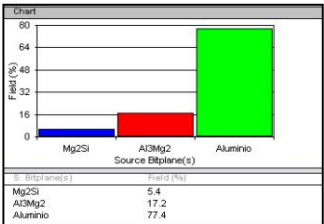
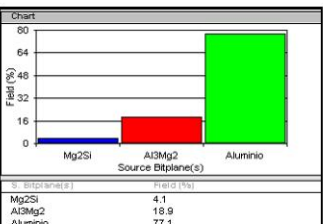
4.2.14.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 154 amp.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-11				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	26/02/2013	ENSAYO #	51				
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356				
Amperaje	154 Amp	Voltaje	25 Volt				
Flujo	40 cfn	Tipo de junta	A Tope				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM				
		Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10				
T. de Duración del ensayo			2,5 min				
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm				
Ancho de la probeta			4,8 mm				
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,08250	1,044375	1,02875	0,9825	0,96	0,945	0,9375
Dureza Brinell (HB)	64,6	69,6	71,9	79,1	83,0	85,8	87,2
Registro Fotográfico		GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"					
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 64.6 HB, luego en el gráfico se observa tres tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual alto que corresponde al tramo entre 0 y 3 mm con un valor máximo de dureza de 69.6 HB, la segunda tendencia con un aumento gradual de dureza correspondiente al tramo entre 3 y 14 mm con un valor máximo de dureza de 79.1 HB y la última tendencia con un aumento gradual de dureza bajo correspondiente al tramo entre 14 y 35 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 26, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				





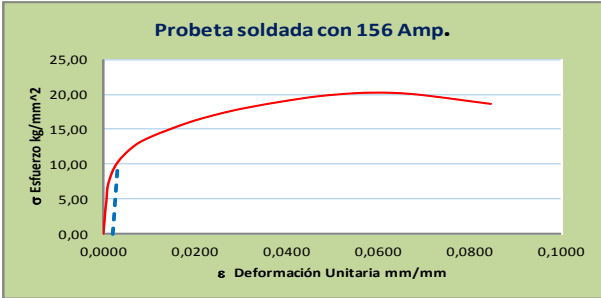

4.2.14.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 154 amp.



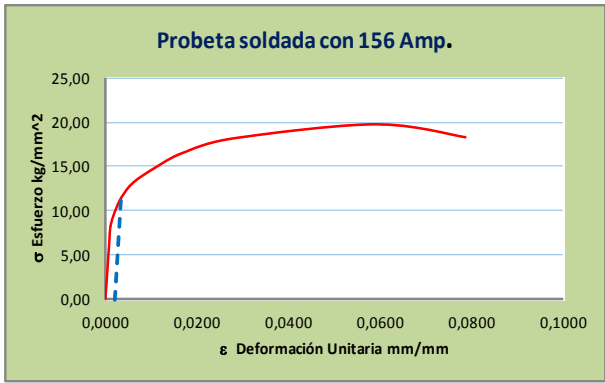

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	FH-YDA-M-11
	TÍTULO PRUEBA: <b>METALOGRAFÍA</b>		
	FECHA: <b>07/03/2013</b>	ENSAYO #	69-1
DATOS GENERALES			
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>
Amperaje	<b>154 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>
Flujo	<b>41 cfh</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	<b>Pulido Mecánico</b>	NORMAS APLICADAS	<b>ASIM E3-11, ASIM E340 ASIM E407-07</b>
Reactivo Utilizado	<b>Keller</b>	Tiempo de ataque	<b>20 seg</b>
		T. de Duración del ensayo	<b>30 min</b>
		Temperatura	<b>20 °C</b>
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones			
<p>Del análisis de las microestructuras se desprenden las siguientes observaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 7, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM																									
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	FH-YDA-M-11																								
	TÍTULO PRUEBA: <b>ANÁLISIS METALOGRAFICO</b>																										
	FECHA: <b>22/04/2013</b>	ENSAYO #	69-2																								
DATOS GENERALES																											
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>																								
Amperaje	<b>154 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>																								
Flujo	<b>41 cfh</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>																								
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																											
	MAGNIFICACIÓN	<b>500 x</b>																									
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																											
Córdon de Soldadura	Zona Afectada por el calor (ZAC)	Material Base																									
																											
																											
<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>6.0</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>15.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = <b>129</b>  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>2,91</b> μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>1,92</b> μm</p>	Source Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	6.0	Al3Mg2	15.1	Aluminio	78.9	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.4</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>17.2</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>77.4</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = <b>73</b>  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>4,22</b> μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>2,32</b> μm</p>	Source Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.4	Al3Mg2	17.2	Aluminio	77.4	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Source Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>4.1</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>18.9</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>77.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = <b>50</b>  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>5,21</b> μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>2,6</b> μm</p>	Source Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	4.1	Al3Mg2	18.9	Aluminio	77.1	
Source Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	6.0																										
Al3Mg2	15.1																										
Aluminio	78.9																										
Source Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	5.4																										
Al3Mg2	17.2																										
Aluminio	77.4																										
Source Bitplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	4.1																										
Al3Mg2	18.9																										
Aluminio	77.1																										
Interpretación de resultados																											
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																											
1. Las partículas dispersas de Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> están en el orden del 15.1% en el cordón, 17.2% en la ZAC y alrededor del 18.9% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.																											
2. Los precipitados de Mg <sub>2</sub> Si en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 6.0%, en la ZAC en un porcentaje del 5.4% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 4.1%.																											
3. Los precipitados de Mg <sub>2</sub> Si en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 2.91 μm <sup>2</sup> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.22 μm <sup>2</sup> , en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 5.21 μm <sup>2</sup>																											
Observaciones																											
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																								
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																								
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																								
DATE/Fecha:	Abril 22, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																								



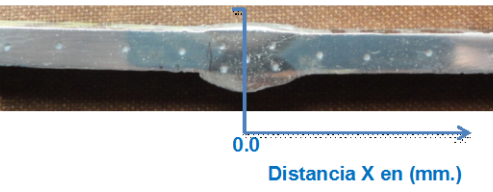
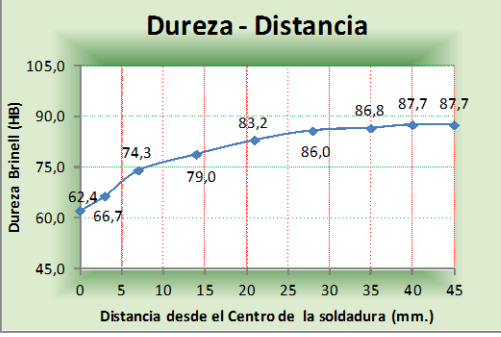
## 4.2.15. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 156 A.

### 4.2.15.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 156 amp.



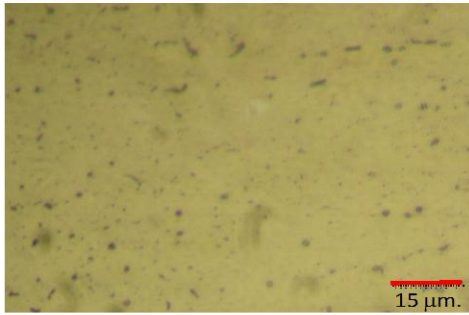
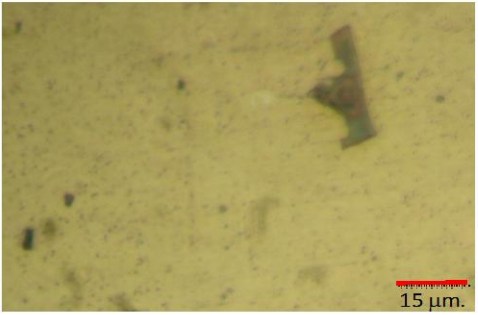
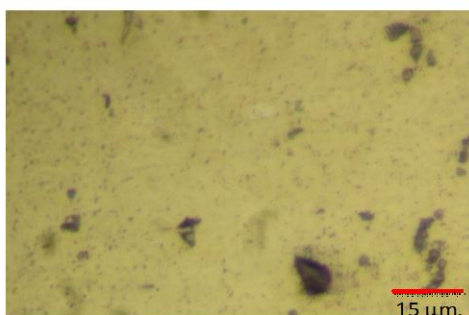
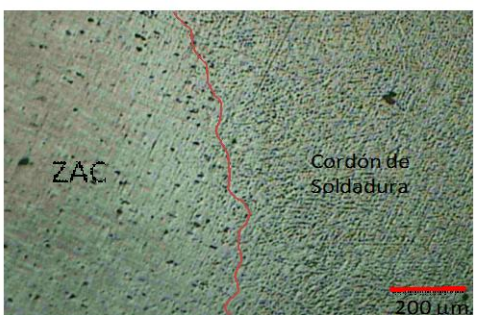
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-12-1	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	21/02/2013	ENSAYO #	29	
					
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	156 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	15 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,1 mm	Máxima deformación	4,3 mm
Carga Máxima	1.217 kg	Espesor Final	4,2 mm	Ancho Final	11,8 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO					
Resistencia a la tracción Sut	20,1 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	10,0 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	8,5 %
% de Reducción de área	18,0%	Módulo de elasticidad	7.670 kg/mm <sup>2</sup>		
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"					
					
Registro Fotográfico					
					
Observaciones					
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 75°, La disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 21, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



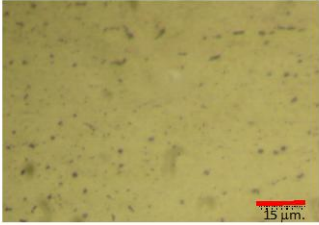

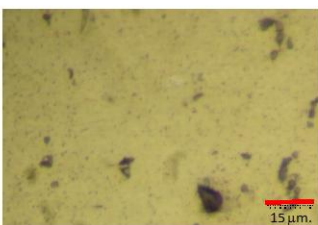
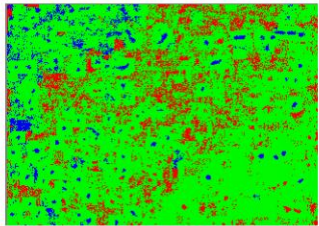
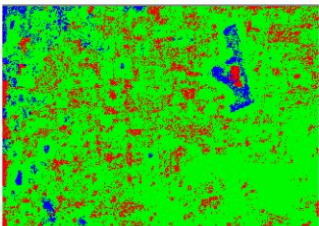
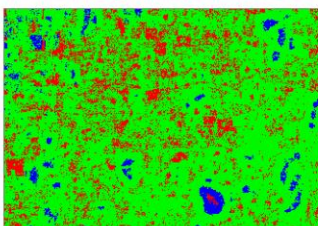
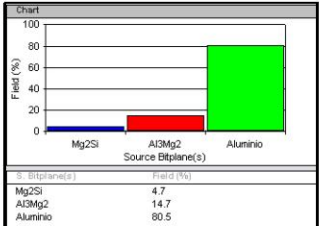
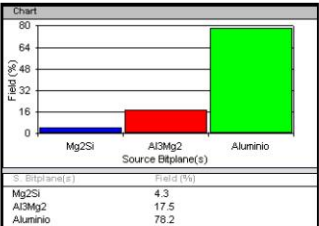
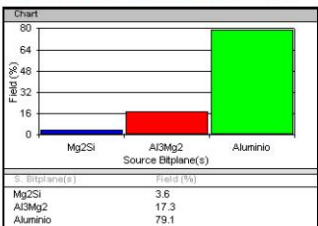
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-12-2			
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN					
FECHA:	21/02/2013	ENSAYO #	30			
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	156 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM			
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN						
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	15 min	
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,8 mm	Máxima deformación	4,0 mm	
Carga Máxima	1.198 kg	Espesor Final	4,3 mm	Ancho Final	11,8 mm	
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO						
Resistencia a la tracción Sut	19,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	11,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	7,9 %	
% de Reducción de área	17,0%	Módulo de elasticidad	7.639 kg/mm <sup>2</sup>			
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"						
<p style="text-align: center;"><b>Probeta soldada con 156 Amp.</b></p> 						
Registro Fotográfico						
						
Observaciones						
<p>I. La fractura es irregular y forma un ángulo de 60°, La disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>						
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:	Febrero 21, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013			

4.2.15.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 156 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-12				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	26/02/2013	ENSAYO #	52				
DATOS GENERALES							
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	156 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,10000	1,065625	1,0125	0,983	0,959	0,944	0,94
Dureza Brinell (HB)	62,4	66,7	74,3	79,0	83,2	86,0	86,8
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 62.4 HB, luego en el gráfico se observa tres tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual alto que corresponde al tramo entre 0 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 74.3 HB, la segunda tendencia con un aumento gradual de dureza correspondiente al tramo entre 7 y 21 mm con un valor máximo de dureza de 83.2 HB y la última tendencia con un aumento gradual de dureza correspondiente al tramo entre 21 y 40 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
REGISTER BY / Registrado por		REVIEWED BY / Revisado por		APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador		Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 26, 2013		Marzo 04, 2013		Marzo 08, 2013		

4.2.15.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 156 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #		
TÍTULO PRUEBA:		METALOGRAFÍA				
FECHA:		07/03/2013	ENSAYO #	70-1		
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	156 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA						
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07	T. de Duración del ensayo	30 min	
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg	Temperatura	20 °C	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
						
Fotografía a 500x Cordón de soldadura		Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)				
						
Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)		Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC				
Observaciones						
Luego de analizadas las microestructuras se tiene las siguientes observaciones:						
<ol style="list-style-type: none"> <li>En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>						
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:	Marzo 7, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013			


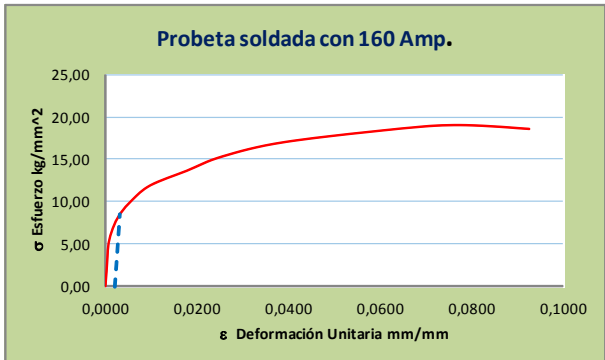

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																												
<b>TIPO DE ESTUDIO:</b>		<b>De Laboratorio</b>	<b>PROBETA #</b>	<b>FH-YDA-M-12</b>																										
<b>TÍTULO PRUEBA:</b>		<b>ANÁLISIS METALOGRAFICO</b>																												
<b>FECHA:</b>		<b>23/04/2013</b>	<b>ENSAYO #</b>	<b>70-2</b>																										
DATOS GENERALES																														
<b>Material base</b>	<b>Al 5086-H116</b>	<b>Mat. de aporte</b>	<b>5356</b>	<b>Tipo de junta</b>	<b>A Tope</b>																									
<b>Amperaje</b>	<b>156 Amp.</b>	<b>Voltaje</b>	<b>25 Volt.</b>	<b>Tipo de gas</b>	<b>Argón</b>																									
<b>Flujo</b>	<b>41 cfh</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>																											
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																														
		<b>MAGNIFICACIÓN</b>	<b>500 X</b>																											
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																														
<b>Córdon de Soldadura</b>		<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>		<b>Material Base</b>																										
																														
																														
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>4.7</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>14.7</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = 109  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = 2,88 μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = 1,91 μm</p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	4.7	Al3Mg2	14.7	Aluminio	80.5	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>4.3</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>17.5</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = 67  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = 4,24 μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = 2,32 μm</p>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	4.3	Al3Mg2	17.5	Aluminio	78.2	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>17.3</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = 55  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = 4,93 μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = 2,5 μm</p>			S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.6	Al3Mg2	17.3	Aluminio	79.1
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	4.7																													
Al3Mg2	14.7																													
Aluminio	80.5																													
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	4.3																													
Al3Mg2	17.5																													
Aluminio	78.2																													
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	3.6																													
Al3Mg2	17.3																													
Aluminio	79.1																													
Interpretación de resultados																														
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																														
1. Las partículas dispersas de Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> están en el orden del 14.7% en el cordón, 17.5% en la ZAC y alrededor del 17.3% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.																														
2. Los precipitados de Mg <sub>2</sub> Si en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 4.7%, en la ZAC en un porcentaje del 4.3% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.6%.																														
3. Los precipitados de Mg <sub>2</sub> Si en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 2.88 μm <sup>2</sup> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.24 μm <sup>2</sup> , en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.93 μm <sup>2</sup>																														
Observaciones																														
		<b>REGISTER BY / Registrado por</b>	<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>	<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>																										
<b>NAME/Nombre:</b>		<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Fredy Hidalgo</b>	<b>Ing. Mg. Raúl Cabrera</b>																										
<b>POSITION/Cargo:</b>		<b>Investigador</b>	<b>Investigador</b>	<b>Director de Tesis</b>																										
<b>DATE/Fecha:</b>		<b>Abril 23, 2013</b>	<b>Mayo 10, 2013</b>	<b>Mayo 25, 2013</b>																										

## 4.2.16. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 160 A.



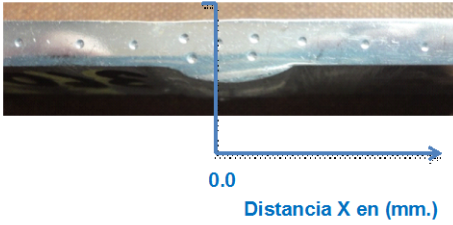
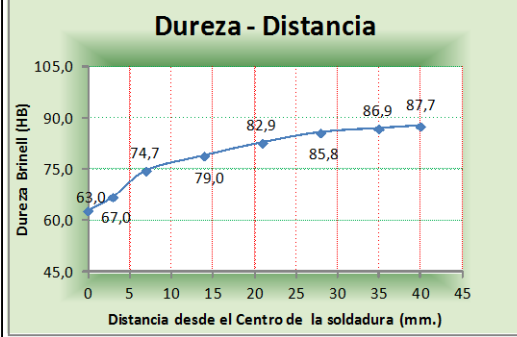
### 4.2.16.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 160 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM			
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-13-1		
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:	21/02/2013	ENSAYO #	31		
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	160 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	17,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,9 mm	Máxima deformación	4,1 mm
Carga Máxima	1.223 kg	Espesor Final	4,4 mm	Ancho Final	11,6 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO					
Resistencia a la tracción Sut	20,2 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	9,8 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	8,1 %
% de Reducción de área	15,7%	Módulo de elasticidad	7.875 kg/mm <sup>2</sup>		
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"					
<p>Probeta soldada con 160 Amp.</p>					
Registro Fotográfico					
Observaciones					
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 70°, la disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 21, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



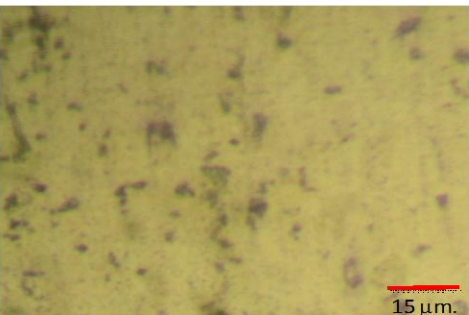
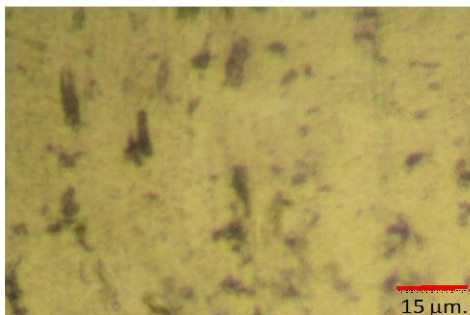
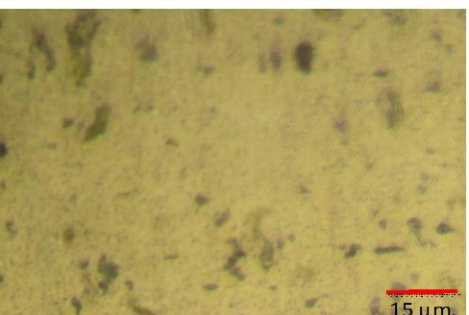
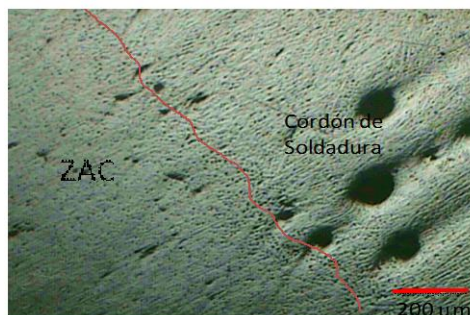




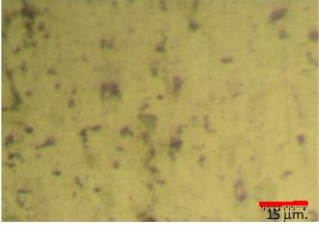
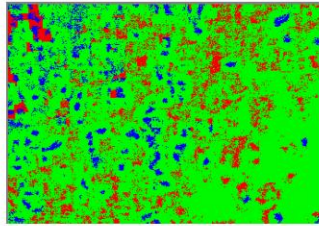
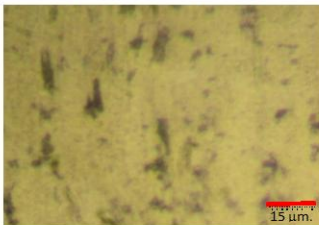
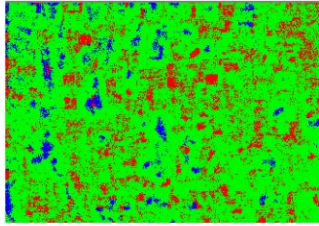
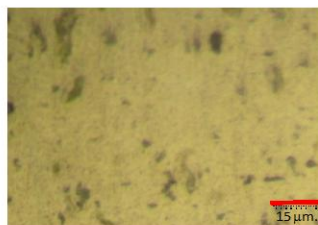
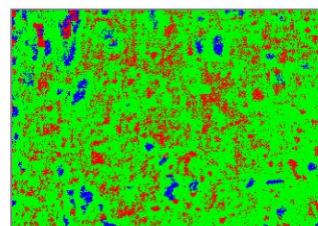
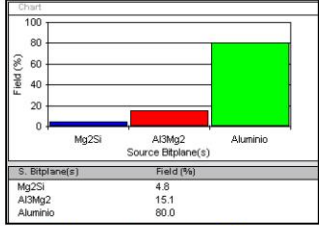
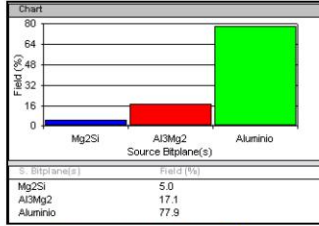
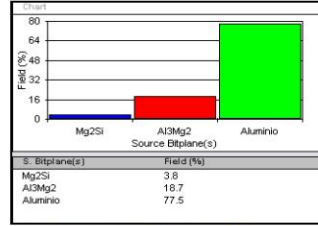
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-13-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	21/02/2013	ENSAYO #	32	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	160 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	17,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,5 mm	Máxima deformación	4,7 mm
Carga Máxima	1.152 kg	Espesor Final	4,3 mm	Ancho Final	11,7 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	19,1 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	8,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	9,3 %
% de Reducción de área	17,0%	Módulo de elasticidad	7.507 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
 <p style="text-align: center;">Probeta soldada con 160 Amp.</p>					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 90°, la disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>					
	<b>REGISTER BY / Registrado por</b>	<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>	<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>		
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
<b>DATE/Fecha:</b>	Febrero 21, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

4.2.16.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 160 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>TIPO DE ESTUDIO:</b>		<b>De Laboratorio</b>	<b>PROBETA #</b>		<b>FH-YDA-D-13</b>		
<b>TÍTULO PRUEBA:</b>		<b>ENSAYO DE DUREZA</b>					
<b>FECHA:</b>		<b>26/02/2013</b>	<b>ENSAYO #</b>		<b>53</b>		
DATOS GENERALES							
<b>Material base</b>	<b>AI 5086-H116</b>	<b>Mat. de aporte</b>	<b>5356</b>	<b>Tipo de junta</b>	<b>A Tope</b>		
<b>Amperaje</b>	<b>160 Amp</b>	<b>Voltaje</b>	<b>25 Volt</b>	<b>Tipo de gas</b>	<b>Argón</b>		
<b>Flujo</b>	<b>40 cfn</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Laboratorio de Materiales FCM</b>				
<b>Método Utilizado</b>	<b>DUREZA BRINELL</b>	<b>Máquina</b>	<b>Máquina para Dureza</b>				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
<b>Preparación de la superficie</b>	<b>FRESADA</b>	<b>NORMA APLICADA</b>	<b>ASTM E10</b>	<b>T. de Duración del ensayo</b>	<b>2,5 min</b>		
<b>Diámetro del Identador</b>	<b>2,5 mm</b>	<b>Carga Aplicada</b>	<b>62,5 kgf</b>				
<b>Largo de la probeta</b>	<b>50,8 mm</b>	<b>Espesor de la probeta</b>	<b>12,7 mm</b>	<b>Ancho de la probeta</b>	<b>4,8 mm</b>		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
<b>Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>35</b>
<b>Diam. de Identación (mm.)</b>	<b>1,09500</b>	<b>1,063333333</b>	<b>1,01</b>	<b>0,983</b>	<b>0,961</b>	<b>0,945</b>	<b>0,939</b>
<b>Dureza Brinell (HB)</b>	<b>63,0</b>	<b>67,0</b>	<b>74,7</b>	<b>79,0</b>	<b>82,9</b>	<b>85,8</b>	<b>86,9</b>
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 63 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual que corresponde al tramo entre 0 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 74.7 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza correspondiente al tramo entre 7 y 40 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	<b>REGISTER BY / Registrado por</b>	<b>REVIEWED BY / Revisado por</b>	<b>APPROVED BY / Aprobado por</b>				
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
<b>DATE/Fecha:</b>	Febrero 26, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				



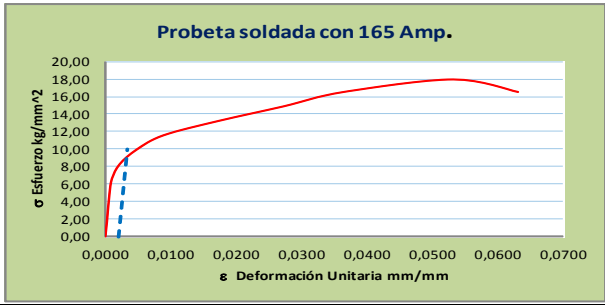

4.2.16.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 160 amp.


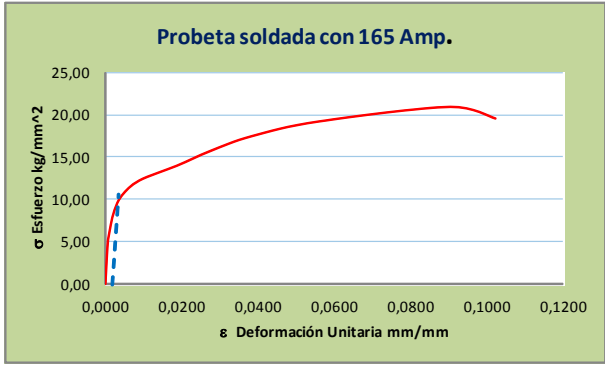

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #		
TÍTULO PRUEBA:		METALOGRAFÍA				
FECHA:		08/03/2013	ENSAYO #	71-1		
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	160 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA						
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07	T. de Duración del ensayo	30 min	
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg	Temperatura	20 °C	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>				
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>				
Observaciones						
<p>Luego de analizadas las microestructuras se tiene las siguientes observaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>						
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por			
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera			
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis			
DATE/Fecha:	Marzo 8, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013			

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																											
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #		FH-YDA-M-13																							
TÍTULO PRUEBA:		ANÁLISIS METALGRÁFICO																											
FECHA:		24/04/2013	ENSAYO #	71-2																									
DATOS GENERALES																													
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope																								
Amperaje	160 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón																								
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM																										
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																													
		MAGNIFICACIÓN	500 X																										
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																													
Córdon de Soldadura		Zona Afectada por el calor (ZAC)		Material Base																									
 		 		 																									
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>4.8</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>15.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.0</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	4.8	Al3Mg2	15.1	Aluminio	80.0	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.0</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>17.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>77.9</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.0	Al3Mg2	17.1	Aluminio	77.9	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.8</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>18.7</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>77.5</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.8	Al3Mg2	18.7	Aluminio	77.5
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg2Si	4.8																												
Al3Mg2	15.1																												
Aluminio	80.0																												
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg2Si	5.0																												
Al3Mg2	17.1																												
Aluminio	77.9																												
S. Bitplane(s)	Field (%)																												
Mg2Si	3.8																												
Al3Mg2	18.7																												
Aluminio	77.5																												
Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 118 Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 3,22 μm <sup>2</sup> Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 2,02 μm		Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 91 Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 3,99 μm <sup>2</sup> Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 2,25 μm		Cantidad de Precipitados de Mg <sub>2</sub> Si = 59 Tamaño Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 5,10 μm <sup>2</sup> Diámetro Prom. de Precip. de Mg <sub>2</sub> Si = 2,5 μm																									
Interpretación de resultados																													
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																													
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> están en el orden del 15.1% en el cordón, 17.1% en la ZAC y alrededor del 18.7% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 4.8%, en la ZAC en un porcentaje del 5.0% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.8%.</li> <li>Los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 3.22 μm<sup>2</sup> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 3.99 μm<sup>2</sup>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 5.10 μm<sup>2</sup></li> </ol>																													
Observaciones																													
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																										
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																										
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																										
DATE/Fecha:	Abril 24, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																										


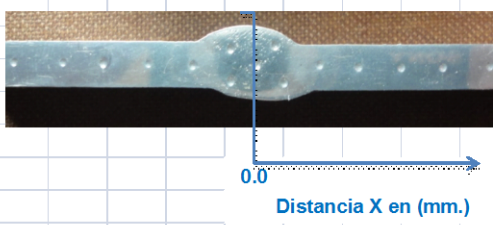
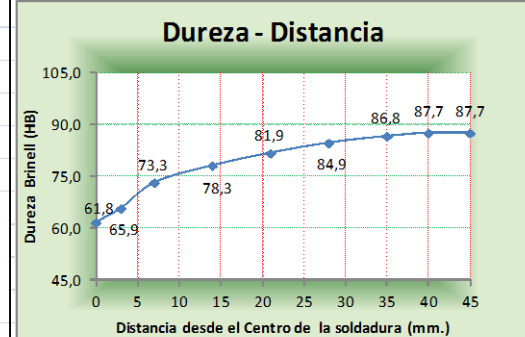
## 4.2.17. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 165 A.

### 4.2.17.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 165 amp.


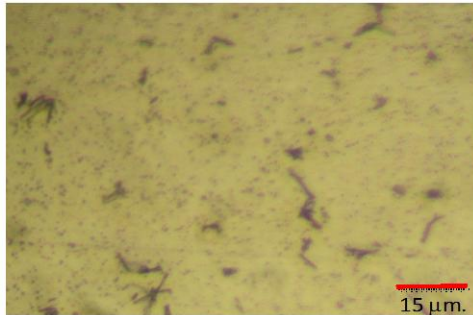
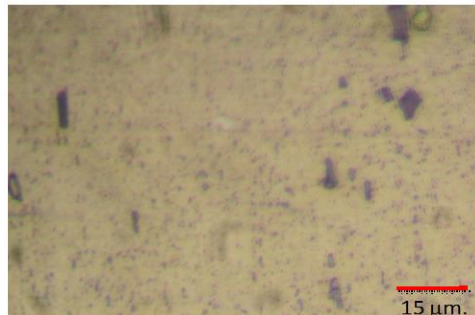
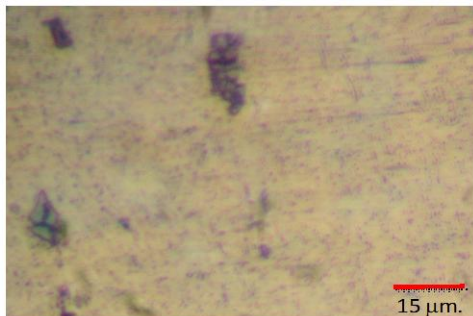
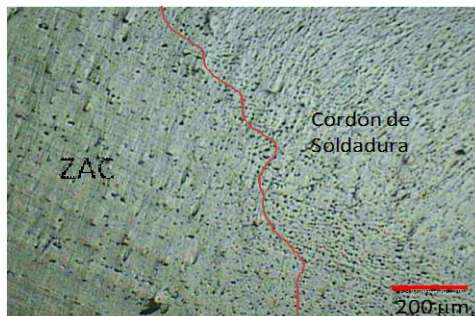
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-14-1			
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN					
FECHA:	22/02/2013	ENSAYO #	33			
DATOS GENERALES						
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope	
Amperaje	165 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón	
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM			
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn			
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN						
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	18,0 min	
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm	
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO						
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,0 mm	Máxima deformación	3,2 mm	
Carga Máxima	1.086 kg	Espesor Final	4,6 mm	Ancho Final	11,6 mm	
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO						
Resistencia a la tracción Sut	18,0 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	9,7 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	6,3 %	
% de Reducción de área	11,7%	Módulo de elasticidad	7.561 kg/mm <sup>2</sup>			
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"						
<p style="text-align: center;"><b>Probeta soldada con 165 Amp.</b></p> 						
Registro Fotográfico						
						
Observaciones						
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 80°, la disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>						
NAME/Nombre:	REGISTER BY / Registrado por		REVIEWED BY / Revisado por		APPROVED BY / Aprobado por	
POSITION/Cargo:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera	
DATE/Fecha:	Investigador		Investigador		Director de Tesis	
	Febrero 22, 2013		Febrero 23, 2013		Febrero 28, 2013	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-14-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	22/02/2013	ENSAYO #	34	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	165 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	18,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	56,0 mm	Máxima deformación	5,2 mm
Carga Máxima	1.268 kg	Espesor Final	4,5 mm	Ancho Final	11,7 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	21,0 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	9,0 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	10,2 %
% de Reducción de área	13,3%	Módulo de elasticidad	7.623 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
<p>I. La fractura es irregular y forma un ángulo de 80°, la disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 22, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		


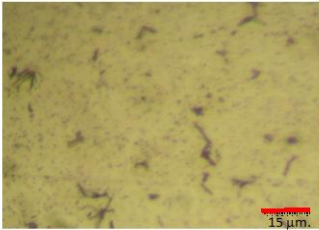
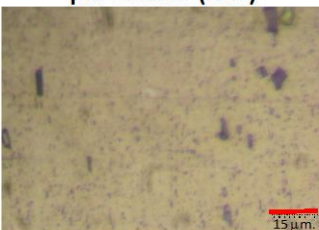
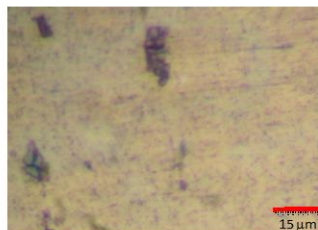
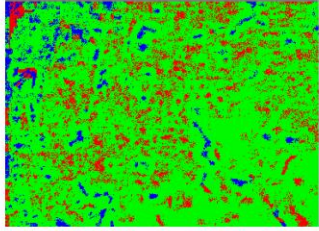
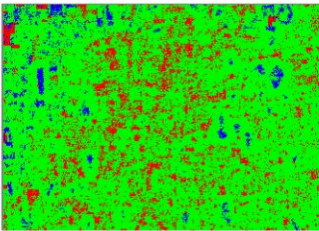
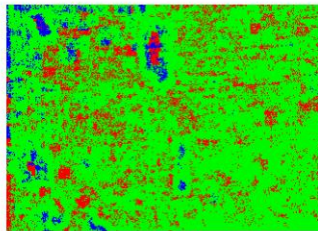
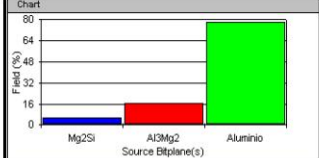
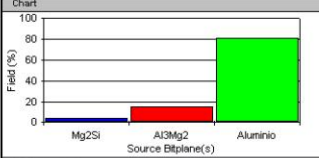
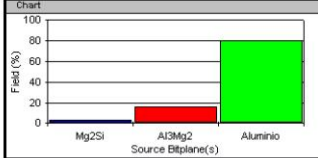
4.2.17.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 165 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA # <b>5356</b>	FH-YDA-D-14
	TÍTULO PRUEBA: <b>ENSAYO DE DUREZA</b>		
	FECHA: <b>26/02/2013</b>	ENSAYO # <b>54</b>	
DATOS GENERALES			
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>
Amperaje	<b>165 Amp</b>	Voltaje	<b>25 Volt</b>
Flujo	<b>40 cfn</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>
Método Utilizado	<b>DUREZA BRINELL</b>	Máquina	<b>Máquina para Dureza</b>
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA			
Preparación de la superficie	<b>FRESADA</b>	NORMA APLICADA	<b>ASTM E10</b>
T. de Duración del ensayo	<b>2,5 min</b>		
Diámetro del indentador	<b>2,5 mm</b>	Carga Aplicada	<b>62,5 kgf</b>
Largo de la probeta	<b>50,8 mm</b>	Espesor de la probeta	<b>12,7 mm</b>
Ancho de la probeta	<b>4,8 mm</b>		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
	<b>35</b>		
Diam. de Identación (mm.)	<b>1,10500</b>	<b>1,071875</b>	<b>1,01875</b>
	<b>0,9875</b>	<b>0,96625</b>	<b>0,95</b>
	<b>0,94</b>		
Dureza Brinell (HB)	<b>61,8</b>	<b>65,9</b>	<b>73,3</b>
	<b>78,3</b>	<b>81,9</b>	<b>84,9</b>
	<b>86,8</b>	<b>87,7</b>	<b>86,8</b>
Registro Fotográfico		GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"	
			
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS			
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 61.8 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual que corresponde al tramo entre 0 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 73.3 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza bajo correspondiente al tramo entre 7 y 40 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>			
Observaciones			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Febrero 26, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013

4.2.17.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 165 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-14	
	TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA			
	FECHA:	08/03/2013	ENSAYO #	72-1	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	165 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FCM		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA</b>					
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07	T. de Duración del ensayo	30 min
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg	Temperatura	20 °C
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>			
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>			
<b>Observaciones</b>					
Luego de analizadas las microestructuras se tiene las siguientes observaciones:					
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Marzo 8, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013		


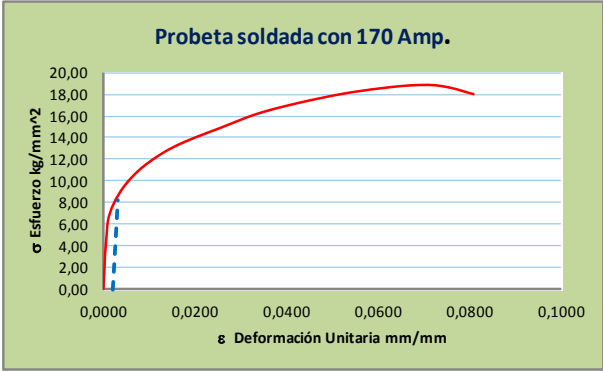



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FH-YDA-M-14																									
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	FH-YDA-M-14																								
	TÍTULO PRUEBA: <b>ANÁLISIS METALOGRAFICO</b>																										
	FECHA: <b>25/04/2013</b>	ENSAYO #	<b>72-2</b>																								
<b>DATOS GENERALES</b>																											
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>																								
Amperaje	<b>165 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>																								
Flujo	<b>41 cñ</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FCM</b>																								
<b>PARÁMETROS DEL ANÁLISIS</b>																											
	MAGNIFICACIÓN	<b>500 X</b>																									
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS</b>																											
<b>Córdon de Soldadura</b>	<b>Zona Afectada por el calor (ZAC)</b>	<b>Material Base</b>																									
																											
																											
<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Biplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.5</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>16.5</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 136</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 3,69 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 2,17 \mu m</math></p>	S. Biplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.5	Al3Mg2	16.5	Aluminio	78.0	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Biplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>14.9</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>81.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 71</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 3,99 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 2,25 \mu m</math></p>	S. Biplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.9	Al3Mg2	14.9	Aluminio	81.2	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Biplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>16.2</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de <math>Mg_2Si = 52</math>  Tamaño Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 5,08 \mu m^2</math>  Diámetro Prom. de Precip. de <math>Mg_2Si = 2,5 \mu m</math></p>		S. Biplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.3	Al3Mg2	16.2	Aluminio	80.5
S. Biplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	5.5																										
Al3Mg2	16.5																										
Aluminio	78.0																										
S. Biplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	3.9																										
Al3Mg2	14.9																										
Aluminio	81.2																										
S. Biplane(s)	Field (%)																										
Mg2Si	3.3																										
Al3Mg2	16.2																										
Aluminio	80.5																										
<b>Interpretación de resultados</b>																											
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																											
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> están en el orden del 16.5% en el cordón, 14.9% en la ZAC y alrededor del 16.2% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.5%, en la ZAC en un porcentaje del 3.9% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.3%.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de <math>3.69 \mu m^2</math> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>3.99 \mu m^2</math>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de <math>5.08 \mu m^2</math></li> </ol>																											
<b>Observaciones</b>																											
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																								
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																								
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																								
DATE/Fecha:	Abril 25, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																								



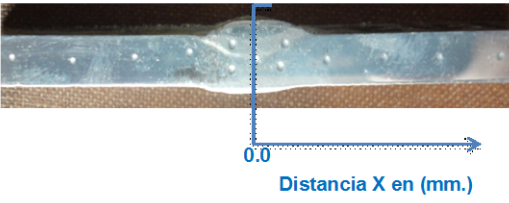
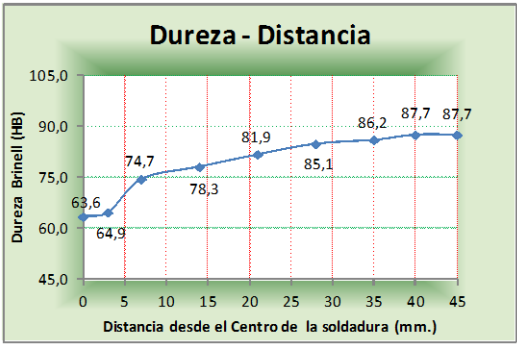
## 4.2.18. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 170 A.

### 4.2.18.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 170 amp.

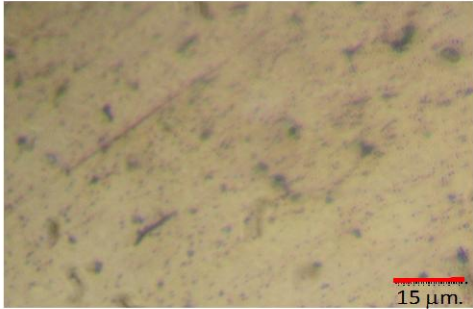
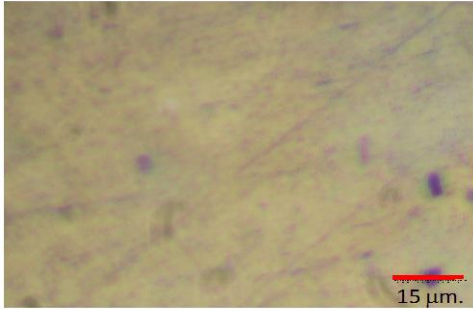
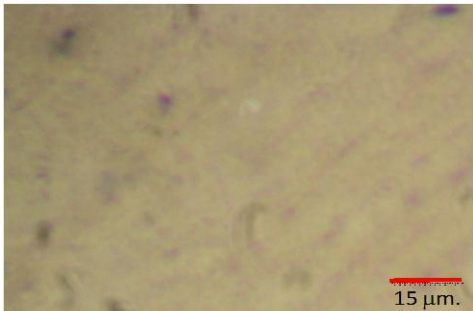
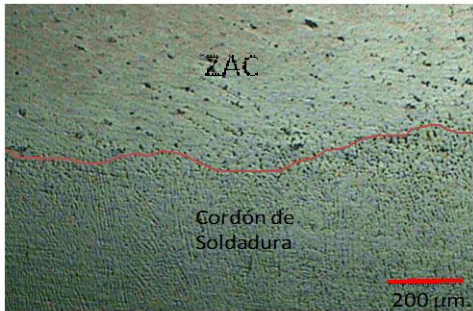
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM			
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-15-1		
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:	22/02/2013	ENSAYO #	35		
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	170 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	17,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,7 mm	Máxima deformación	3,9 mm
Carga Máxima	1.077 kg	Espesor Final	4,3 mm	Ancho Final	11,8 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO					
Resistencia a la tracción Sut	17,8 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	8,3 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	7,7 %
% de Reducción de área	16,1%	Módulo de elasticidad	7.448 kg/mm <sup>2</sup>		
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"					
Registro Fotográfico					
Observaciones					
<p>I. La fractura es irregular y forma un ángulo de 75°, la disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 22, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		


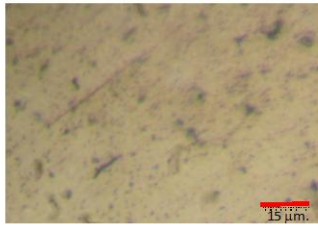
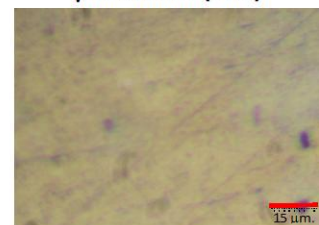
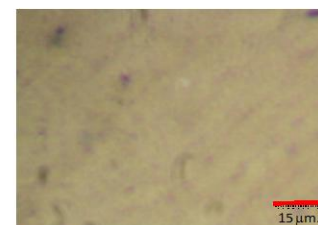
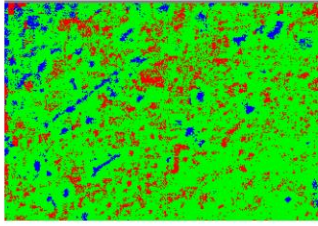
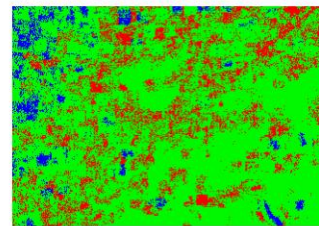
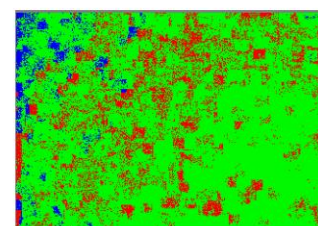
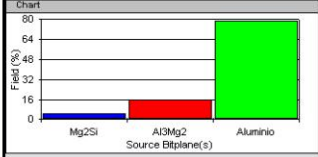
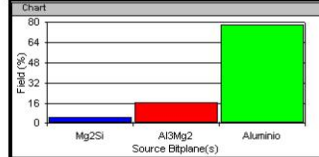
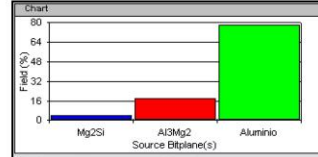
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-15-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	22/02/2013	ENSAYO #	36	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	170 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	18,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	54,9 mm	Máxima deformación	4,1 mm
Carga Máxima	1.141 kg	Espesor Final	4,5 mm	Ancho Final	11,3 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	18,9 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	8,3 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	8,1 %
% de Reducción de área	15,9%	Módulo de elasticidad	7.587 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 80°, la disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 22, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

4.2.18.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 170 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-15				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	27/02/2013	ENSAYO #	55				
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	170 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,09000	1,08	1,01	0,9875	0,96625	0,949	0,943
Dureza Brinell (HB)	63,6	64,9	74,7	78,3	81,9	85,1	86,2
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 63.6 HB, luego en el gráfico se observa tres tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual bajo que corresponde al tramo entre 0 y 3 mm con un valor máximo de dureza de 64.9HB, la segunda tendencia con un aumento gradual de dureza alto correspondiente al tramo entre 3 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 74.7 HB y la última tendencia con un aumento gradual de dureza bajo correspondiente al tramo entre 7 y 40 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 27, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				

4.2.18.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 170 amp.


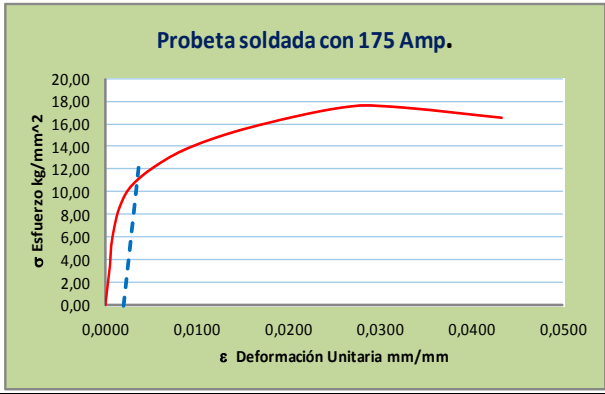

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-15
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA		
FECHA:	09/03/2013	ENSAYO #	73-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	170 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
Tipo de junta	A Tope		
Tipo de gas	Argón		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASIM E3-11, ASIM E340 ASIM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg
T. de Duración del ensayo	30 min		
Temperatura	20 °C		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones			
<p>Luego de analizadas las microestructuras se tiene las siguientes observaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por	
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 9, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM																								
	TIPO DE ESTUDIO: <b>De Laboratorio</b>	PROBETA #	FH-YDA-M-15																							
	TÍTULO PRUEBA: <b>ANÁLISIS METALGRÁFICO</b>																									
	FECHA: <b>27/04/2013</b>	ENSAYO #	73-2																							
DATOS GENERALES																										
Material base	<b>Al 5086-H116</b>	Mat. de aporte	<b>5356</b>																							
Amperaje	<b>170 Amp.</b>	Voltaje	<b>25 Volt.</b>																							
Flujo	<b>41 cfb</b>	Ubicación	<b>Laboratorio de Materiales FICM</b>																							
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																										
	MAGNIFICACIÓN	<b>500 X</b>																								
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																										
Córdon de Soldadura	Zona Afectada por el calor (ZAC)	Material Base																								
																										
																										
<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>15.7</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = <b>90</b>  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>3,82</b> μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>2,21</b> μm</p>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	5.1	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	15.7	Aluminio	79.2	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>16.8</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>78.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = <b>86</b>  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>4,11</b> μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>2,29</b> μm</p>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	5.1	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.8	Aluminio	78.1	<p>Chart</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg<sub>2</sub>Si</td> <td>3.8</td> </tr> <tr> <td>Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub></td> <td>18.3</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>77.9</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cantidad de Precipitados de Mg<sub>2</sub>Si = <b>54</b>  Tamaño Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>4,94</b> μm<sup>2</sup>  Diámetro Prom. de Precip. de Mg<sub>2</sub>Si = <b>2,5</b> μm</p>	S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg <sub>2</sub> Si	3.8	Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	18.3	Aluminio	77.9
S. Bitplane(s)	Field (%)																									
Mg <sub>2</sub> Si	5.1																									
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	15.7																									
Aluminio	79.2																									
S. Bitplane(s)	Field (%)																									
Mg <sub>2</sub> Si	5.1																									
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	16.8																									
Aluminio	78.1																									
S. Bitplane(s)	Field (%)																									
Mg <sub>2</sub> Si	3.8																									
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	18.3																									
Aluminio	77.9																									
Interpretación de resultados																										
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																										
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> están en el orden del 15.7% en el cordón, 16.8% en la ZAC y alrededor del 18.3% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.1%, en la ZAC en un porcentaje del 5.1% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.8%.</li> <li>Los precipitados de Mg<sub>2</sub>Si en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 3.82 μm<sup>2</sup> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.11 μm<sup>2</sup>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.94 μm<sup>2</sup></li> </ol>																										
Observaciones																										
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por																							
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera																							
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis																							
DATE/fecha:	Abril 27, 2013	Mayo 10, 2013	Mayo 25, 2013																							

## 4.2.19. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116 EJECUTADA CON UN AMPERAJE DE 175 A.



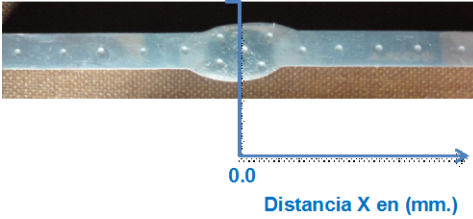
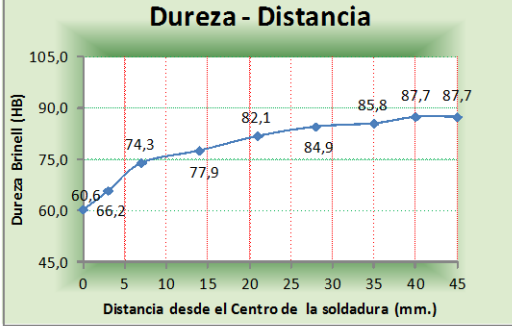
### 4.2.19.1. Ensayo a tracción para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 175 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM			
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-16-1		
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:	22/02/2013	ENSAYO #	37		
DATOS GENERALES					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	175 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinius Olsen cap. 30 tn		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	18,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	55,5 mm	Máxima deformación	4,7 mm
Carga Máxima	1.113 kg	Espesor Final	4,4 mm	Ancho Final	11,5 mm
RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO					
Resistencia a la tracción Sut	18,4 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	8,5 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	9,3 %
% de Reducción de área	16,0%	Módulo de elasticidad	7.573 kg/mm <sup>2</sup>		
GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"					
<p>Probeta soldada con 175 Amp.</p>					
Registro Fotográfico					
Observaciones					
<p>1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 85°, la disminución de las propiedades mecánicas es atribuido directamente a la pérdida de magnesio por evaporación que sufre la zona de la soldadura, producto de la alta temperatura suministrada al elevar el amperaje por encima del óptimo.</p>					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 22, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		

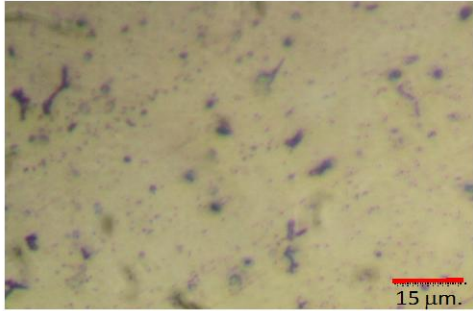
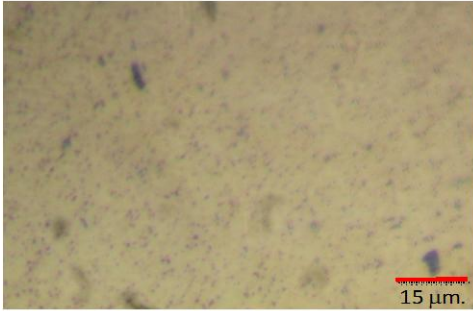
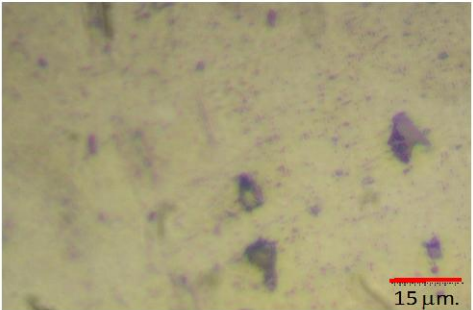
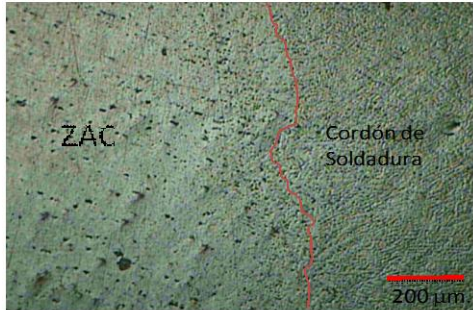
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-T-16-2	
	TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE TRACCIÓN			
	FECHA:	22/02/2013	ENSAYO #	38	
<b>DATOS GENERALES</b>					
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope
Amperaje	175 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM		
Método Utilizado	Deformación controlada	Máquina	Máquina Universal Tinuis Olsen cap. 30 tn		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN</b>					
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM B557	T. de Duración del ensayo	17,0 min
Largo de calibración	50,8 mm	Espesor de la probeta	4,8 mm	Ancho de la probeta	12,7 mm
<b>RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO</b>					
Longitud Inicial	50,8 mm	longitud Final	53,0 mm	Máxima deformación	2,2 mm
Carga Máxima	1.054 kg	Espesor Final	4,4 mm	Ancho Final	12,2 mm
<b>RESULTADOS CALCULADOS DEL ENSAYO</b>					
Resistencia a la tracción Sut	17,4 kg/mm <sup>2</sup>	Resistencia a la cedencia Sy	10,4 kg/mm <sup>2</sup>	% de elongación	4,3 %
% de Reducción de área	11,4%	Módulo de elasticidad	7.558 kg/mm <sup>2</sup>		
<b>GRÁFICO RESULTANTE "Esfuerzo - Deformación"</b>					
					
<b>Registro Fotográfico</b>					
					
<b>Observaciones</b>					
1. La fractura es irregular y forma un ángulo de 90°, lo cual indica una fractura frágil con muy poca elongación (4,3%).					
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por		
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera		
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis		
DATE/Fecha:	Febrero 22, 2013	Febrero 23, 2013	Febrero 28, 2013		



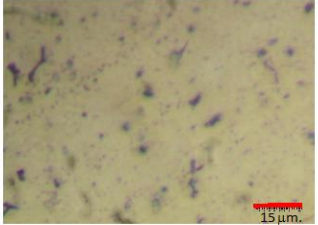
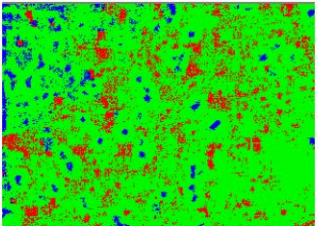
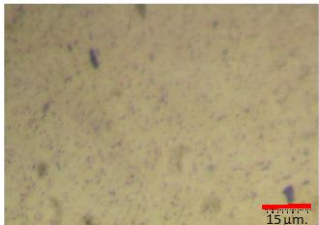
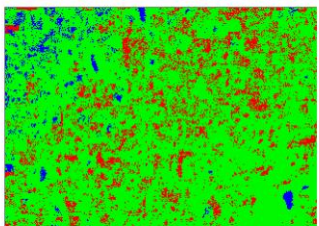
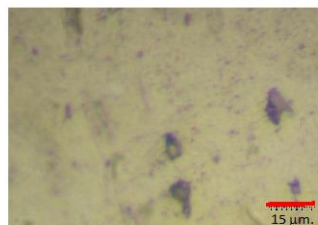
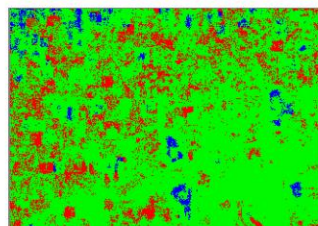
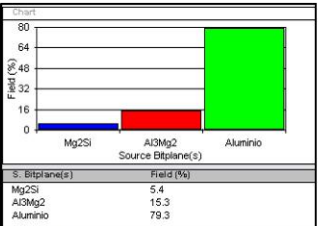
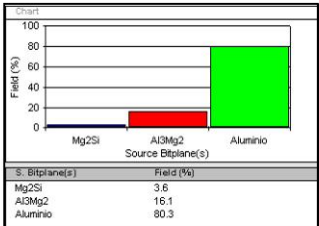
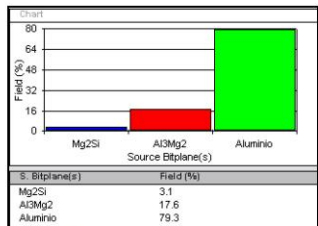


4.2.19.2. Ensayo de dureza para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 175 amp.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-D-16				
TÍTULO PRUEBA:	ENSAYO DE DUREZA						
FECHA:	27/02/2013	ENSAYO #	56				
DATOS GENERALES							
Material base	AI 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope		
Amperaje	175 Amp	Voltaje	25 Volt	Tipo de gas	Argón		
Flujo	40 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM				
Método Utilizado	DUREZA BRINELL	Máquina	Máquina para Dureza				
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA							
Preparación de la superficie	FRESADA	NORMA APLICADA	ASTM E10	T. de Duración del ensayo	2,5 min		
Diámetro del indentador	2,5 mm	Carga Aplicada	62,5 kgf				
Largo de la probeta	50,8 mm	Espesor de la probeta	12,7 mm	Ancho de la probeta	4,8 mm		
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	1,11500	1,07	1,0125	0,99	0,965	0,95	0,945
Dureza Brinell (HB)	60,6	66,2	74,3	77,9	82,1	84,9	85,8
Registro Fotográfico				GRÁFICO RESULTANTE "Dureza - Distancia"			
							
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS							
<p>La menor dureza se obtiene en el centro de la soldadura 60.6 HB, luego en el gráfico se observa dos tendencias diferentes, la primera con un crecimiento gradual que corresponde al tramo entre 0 y 7 mm con un valor máximo de dureza de 74.3 HB y la otra tendencia con un aumento gradual de dureza bajo correspondiente al tramo entre 7 y 40 mm con un valor máximo de dureza de 87.7 HB.</p>							
Observaciones							
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por				
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera				
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis				
DATE/Fecha:	Febrero 27, 2013	Marzo 04, 2013	Marzo 08, 2013				

4.2.19.3. Ensayo metalográfico para la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 175 amp.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		FICM	
TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #	FH-YDA-M-16
TÍTULO PRUEBA:	METALOGRAFÍA		
FECHA:	09/03/2013	ENSAYO #	74-1
DATOS GENERALES			
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356
Amperaje	175 Amp.	Voltaje	25 Volt.
Flujo	41 cfh	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA			
Preparación de la superficie	Pulido Mecánico	NORMAS APLICADAS	ASTM E3-11, ASTM E340 ASTM E407-07
Reactivo Utilizado	Keller	Tiempo de ataque	20 seg
T. de Duración del ensayo	Temperatura		30 min 20 °C
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO			
 <p>Fotografía a 500x Cordón de soldadura</p>		 <p>Fotografía a 500x Zona afectada por el calor (a 12 mm del C.S.)</p>	
 <p>Fotografía a 500x Metal Base (a 30 mm del C.S.)</p>		 <p>Fotografía a 40x Interfase Cordón - ZAC</p>	
Observaciones			
<p>Luego de analizadas las microestructuras se tiene las siguientes observaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. En la zona del cordón de soldadura los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño menor pero se encuentran distribuidos en toda la microestructura.</li> <li>2. En la zona afectada por el calor ZAC los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son de un tamaño mediano y se encuentran distribuidos aleatoriamente.</li> <li>3. En la parte del material base sin afectación el tamaño de los precipitados de <math>Mg_2Si</math> son grandes y distribuidos aleatoriamente.</li> <li>4. En las tres zonas las partículas finas de <math>Al_3Mg_2</math> se encuentran distribuidas en toda la matriz pero no forman redes continuas.</li> </ol>			
	REGISTER BY / Registrado por	REVIEWED BY / Revisado por	APPROVED BY / Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Marzo 9, 2013	Marzo 16, 2013	Marzo 23, 2013

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																												
		TIPO DE ESTUDIO:	De Laboratorio	PROBETA #			FH-YDA-M-16																							
TÍTULO PRUEBA:		ANÁLISIS METALOGRAFICO																												
FECHA:		02/05/2013	ENSAYO #	74-2																										
DATOS GENERALES																														
Material base	Al 5086-H116	Mat. de aporte	5356	Tipo de junta	A Tope																									
Amperaje	175 Amp.	Voltaje	25 Volt.	Tipo de gas	Argón																									
Flujo	41 cñ	Ubicación	Laboratorio de Materiales FICM																											
PARÁMETROS DEL ANÁLISIS																														
		MAGNIFICACIÓN	500 X																											
RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS																														
Córdon de Soldadura		Zona Afectada por el calor (ZAC)		Material Base																										
 		 		 																										
 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>5.4</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>15.3</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.3</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	5.4	Al3Mg2	15.3	Aluminio	79.3	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>16.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>80.3</td> </tr> </tbody> </table>		S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.6	Al3Mg2	16.1	Aluminio	80.3	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mg2Si</td> <td>3.1</td> </tr> <tr> <td>Al3Mg2</td> <td>17.6</td> </tr> <tr> <td>Aluminio</td> <td>79.3</td> </tr> </tbody> </table>			S. Bitplane(s)	Field (%)	Mg2Si	3.1	Al3Mg2	17.6	Aluminio	79.3
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	5.4																													
Al3Mg2	15.3																													
Aluminio	79.3																													
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	3.6																													
Al3Mg2	16.1																													
Aluminio	80.3																													
S. Bitplane(s)	Field (%)																													
Mg2Si	3.1																													
Al3Mg2	17.6																													
Aluminio	79.3																													
Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 83 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 3,96 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,25 $\mu m$		Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 55 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 4,08 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,28 $\mu m$		Cantidad de Precipitados de $Mg_2Si$ = 44 Tamaño Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 4,89 $\mu m^2$ Diámetro Prom. de Precip. de $Mg_2Si$ = 2,5 $\mu m$																										
Interpretación de resultados																														
Tres son los puntos a resaltar en el análisis de estas microestructuras:																														
<ol style="list-style-type: none"> <li>Las partículas dispersas de <math>Al_3Mg_2</math> están en el orden del 15.3% en el cordón, 16.1% en la ZAC y alrededor del 17.6% en la zona del metal base sin afectación, en los tres casos son partículas finas que no forman redes continuas.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura están presentes en un porcentaje de 5.4%, en la ZAC en un porcentaje del 3.6% y en la zona del metal base sin afectación en el orden del 3.1%.</li> <li>Los precipitados de <math>Mg_2Si</math> en el cordón de soldadura tienen un tamaño promedio de 3.96 <math>\mu m^2</math> y a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.08 <math>\mu m^2</math>, en el metal base sin afectación (30 mm desde el centro del cordón de soldadura) el tamaño es de 4.89 <math>\mu m^2</math></li> </ol>																														
Observaciones																														
	REGISTER BY / Registrado por		REVIEWED BY / Revisado por		APPROVED BY / Aprobado por																									
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Fredy Hidalgo		Ing. Mg. Raúl Cabrera																									
POSITION/Cargo:	Investigador		Investigador		Director de Tesis																									
DATE/Fecha:	Mayo 02, 2013		Mayo 10, 2013		Mayo 25, 2013																									

### 4.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.3.1. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN

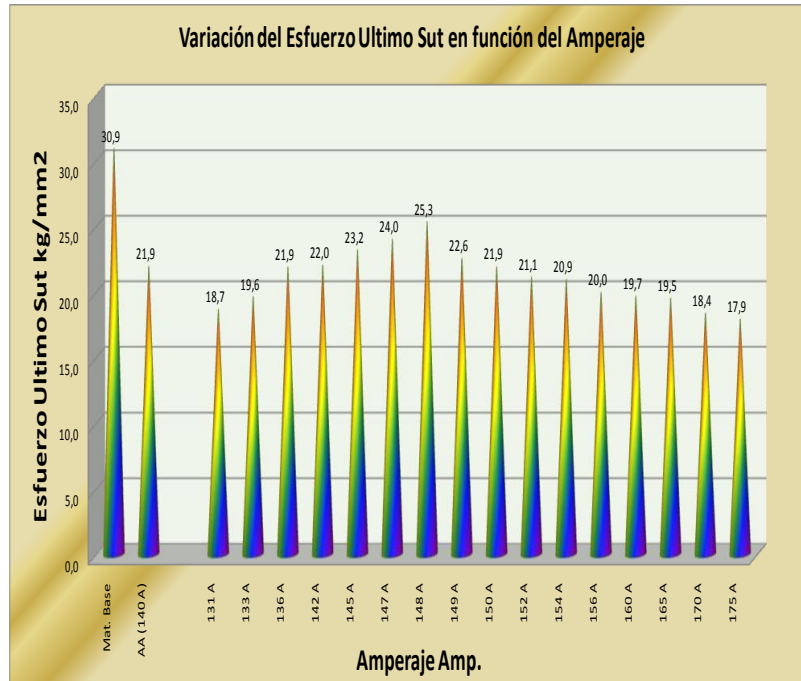
**Tabla 4.1.** Resumen de los Resultados obtenidos en el ensayo de tracción efectuados en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes.

Denominación	Amperaje	Sut (Kg/mm <sup>2</sup> )	Sy (Kg/mm <sup>2</sup> )	% de Elong.	% de red Area	Mod. Elast. (Kg/mm <sup>2</sup> )
FH-MB-01	Mat. Base	30,9	22,7	11,1	25,5	7915,7
FH-SA-T-01	AA (140 A)	21,9	12,4	9,0	17,0	7701,5
FH-YDA-T-01	131 A	18,7	10,8	6,4	14,9	7531,5
FH-YDA-T-02	133 A	19,6	10,8	7,4	14,5	7521,0
FH-YDA-T-03	136 A	21,9	11,6	7,7	16,7	7505,0
FH-YDA-T-04	142 A	22,0	12,3	9,1	19,9	7622,5
FH-YDA-T-05	145 A	23,2	13,2	10,8	20,0	7672,5
FH-YDA-T-06	147 A	24,0	13,4	10,3	19,5	7703,5
FH-YDA-T-07	148 A	25,3	14,6	10,9	21,4	7839,0
FH-YDA-T-08	149 A	22,6	12,3	11,3	20,2	7796,5
FH-YDA-T-09	150 A	21,9	12,6	9,9	16,7	7838,0
FH-YDA-T-10	152 A	21,1	10,8	9,6	15,9	7791,0
FH-YDA-T-11	154 A	20,9	11,7	9,4	17,2	7698,5
FH-YDA-T-12	156 A	20,0	10,8	8,2	17,5	7654,5
FH-YDA-T-13	160 A	19,7	9,2	8,7	16,4	7691,0
FH-YDA-T-14	165 A	19,5	9,4	8,3	12,5	7592,0
FH-YDA-T-15	170 A	18,4	8,3	7,9	16,0	7517,5
FH-YDA-T-16	175 A	17,9	9,5	6,8	13,7	7565,5

Nota: Los datos de las propiedades son valores promedios.

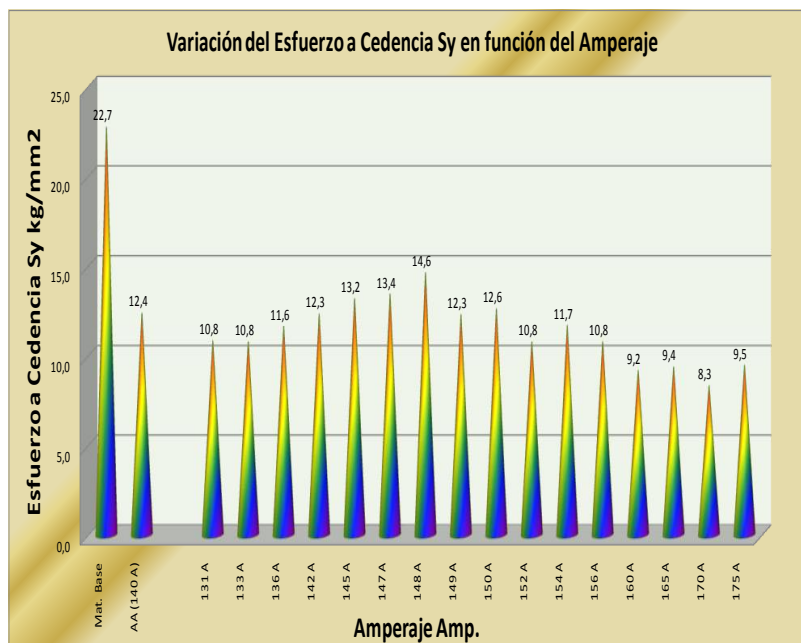
(Fuente: Autor)

A partir de la tabla 4.1 se ha procedido a realizar un análisis de cada una de las propiedades mecánicas allí indicadas, tomando como punto de comparación las propiedades mecánicas obtenidos al efectuar la soldadura en las condiciones que actualmente se las realiza en la empresa INDUACERO. Además para tener un efecto más claro de la incidencia que tiene el amperaje al realizar la soldadura de aleaciones de aluminio 5086 H-116 mediante proceso GMAW, se ha puesto los valores que se obtuvieron al efectuar los ensayos en una probeta sin soldar.



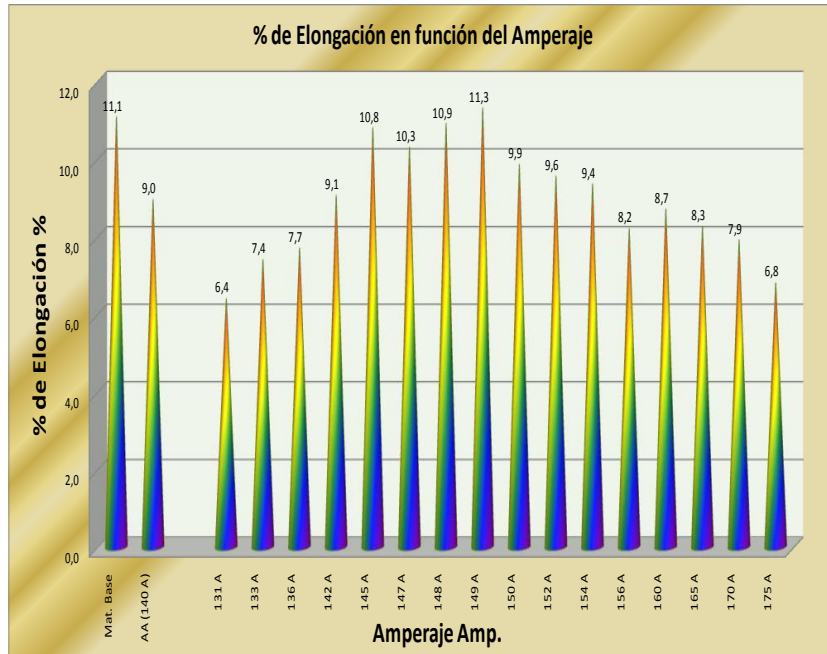
**Figura 4.2** Comparación del Esfuerzo Último Sut en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



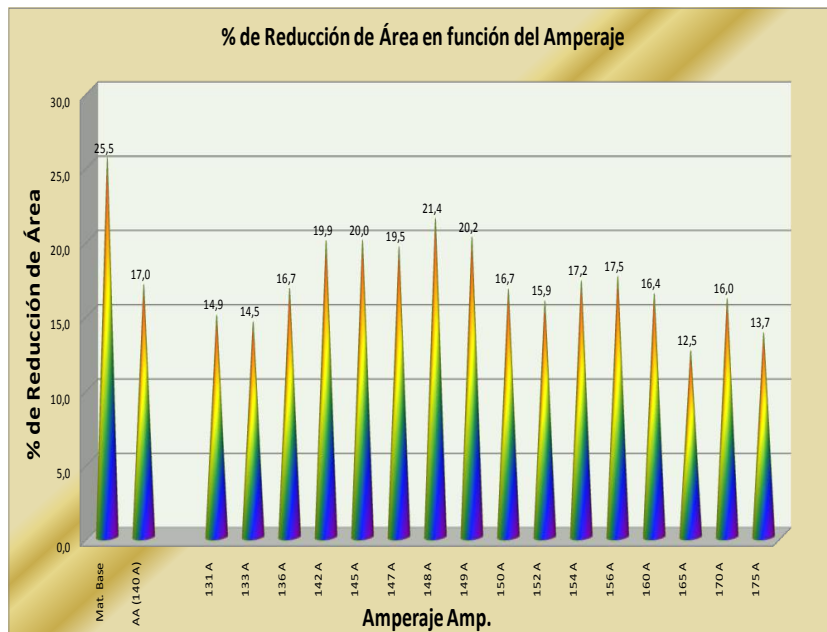
**Figura 4.3** Comparación del Esfuerzo a Cedencia Sy en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



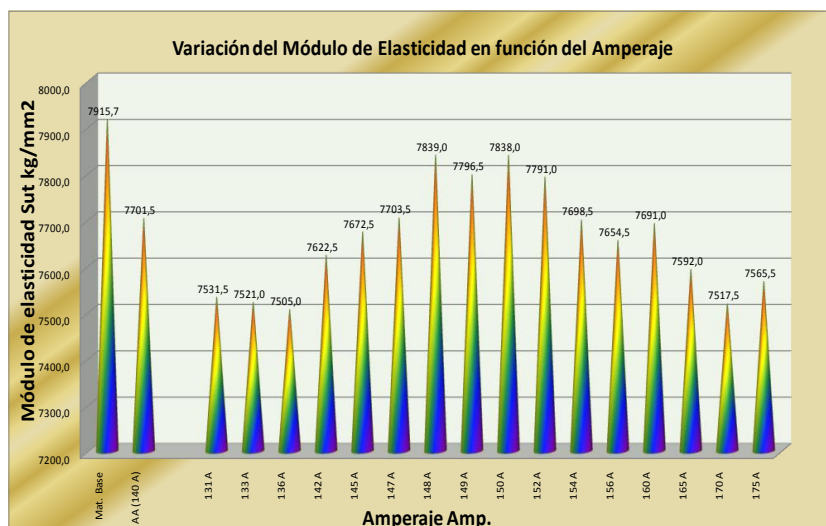
**Figura 4.4** Comparación del porcentaje de elongación en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.5** Comparación del porcentaje de reducción de área en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.6** Comparación del Módulo de elasticidad en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)

En la figura 4.2, se puede observar muy claramente como la soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW alcanza el esfuerzo último Sut máximo de  $25.3 \text{ kg/mm}^2$  al ser ejecutada con un amperaje de 148 amperios, a partir de este punto el esfuerzo empieza a decrecer tanto al disminuir como al aumentar el amperaje, obteniendo un valor de  $\text{Sut}=18.7 \text{ kg/mm}^2$  al soldar con un amperaje de 131 amperios y un valor de  $\text{Sut}=17.9 \text{ kg/mm}^2$  al efectuar la soldadura con un amperaje de 175 Amp, estos valores se justifican puesto que a bajos amperajes la temperatura no es suficiente para la disolución de las partículas de  $\text{Mg}_2\text{Si}$  en partículas más pequeñas y para que se produzca la precipitación de partículas de  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ . A 148 amperios, la temperatura es óptima y las partículas de  $\text{Mg}_2\text{Si}$  se fraccionan en partículas más pequeñas y se produce una precipitación mayor de  $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ . A amperajes mayores se mantiene esta distribución pero empieza a producirse la evaporación del magnesio lo que disminuye las propiedades mecánicas de la unión.

Ya en comparación con el amperaje que actualmente se viene ejecutando este tipo de soldaduras en la empresa INDUACERO, el esfuerzo último Sut es de  $21.9 \text{ kg/mm}^2$  lo que implicaría que soldar con un amperaje óptimo se lograría incrementar esta propiedad en el orden del 14%.

En la figura 4.3, se visualiza con claridad como la soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW alcanza el esfuerzo a Cedencia  $S_y$  máximo de  $14.6 \text{ kg/mm}^2$  al ser ejecutada con un amperaje de 148 amperios, a partir de este punto el esfuerzo empieza a decrecer tanto al disminuir como al aumentar el amperaje, obteniendo un valor de  $S_y = 10.9 \text{ kg/mm}^2$  al soldar con un amperaje de 131 amperios y un valor de  $S_y = 8.3 \text{ kg/mm}^2$  al efectuar la soldadura con un amperaje de 170 Amp., esto por las razones expuestas anteriormente.

Ya en comparación con el amperaje que actualmente se viene ejecutando este tipo de soldaduras en la empresa INDUACERO, el esfuerzo a Cedencia  $S_y$  es de  $12.4 \text{ kg/mm}^2$ , lo que implicaría que soldar con un amperaje óptimo se lograría incrementar esta propiedad en el orden del 17%.

Al mismo tiempo, no hay que dejar de lado otro factor que aparece a la vista y es fundamental al momento de efectuar el diseño de un equipo, esto es como la soldadura influye directamente en esta propiedad, puesto que la probeta original sin soldadura tiene un esfuerzo a cedencia  $S_y$  de  $22.7 \text{ kg/mm}^2$ , lo que implica que al efectuar una soldadura incluso con el amperaje óptimo el valor de diseño  $S_y$  a tomar en consideración deberá ser alrededor del 36% menor que el suministrado por el fabricante de la aleación de aluminio.

En la figura 4.4, se observa que el porcentaje de elongación de la soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW tiene un valor de 11.3% al ser ejecutada con un amperaje de 149 amperios y un valor de 10.9% al ser ejecutada con un amperaje de 148 amperios, a partir de estos puntos el porcentaje de elongación empieza a decrecer tanto al disminuir como al aumentar el amperaje, obteniendo un valor de 6.4% al soldar con un amperaje de 131 amperios y un valor de 6.8% al efectuar la soldadura con un amperaje de 175 Amp.

Ya en comparación con el amperaje que actualmente se viene ejecutando este tipo de soldaduras en la empresa INDUACERO, el porcentaje de elongación es del 9% lo que implicaría que soldar con un amperaje óptimo se lograría incrementar



esta propiedad en el orden del 21%.

Es importante indicar que el porcentaje de elongación al efectuar la soldadura con el amperaje óptimo presenta una variación mínima en comparación con la aleación de aluminio que no ha sido soldada.

En la figura 4.5, se verifica que el porcentaje de reducción de área de la soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW, tiene un valor de 21.4% al ser ejecutada con un amperaje de 148 amperios, a partir de este punto el porcentaje de reducción empieza a decrecer tanto al disminuir como al aumentar el amperaje, obteniendo un valor de 15.5% al soldar con un amperaje de 133 amperios y un valor de 12.5% al efectuar la soldadura con un amperaje de 165 Amp.

Ya en comparación con el amperaje que actualmente se viene ejecutando este tipo de soldaduras en la empresa INDUACERO, el porcentaje de elongación es del 17% lo que implicaría que soldar con un amperaje óptimo se lograría incrementar esta propiedad en el orden del 25%.

Es importante indicar que el porcentaje de elongación al efectuar la soldadura con el amperaje óptimo presenta una disminución en el orden del 16% en comparación con la aleación de aluminio que no ha sido soldada.

En la figura 4.6, se observa que el módulo de elasticidad de la soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW, tiene un valor de  $7839 \text{ kg/mm}^2$  al ser ejecutada con un amperaje de 148, a partir de este punto el módulo de elasticidad empieza a decrecer tanto al disminuir como al aumentar el amperaje, obteniendo un valor de  $7505 \text{ kg/mm}^2$  al soldar con un amperaje de 136 amperios y un valor de  $7517 \text{ kg/mm}^2$  al efectuar la soldadura con un amperaje de 170 Amp.

Ya en comparación con el amperaje que actualmente se viene ejecutando este tipo de soldaduras en la empresa INDUACERO, módulo de elasticidad es de  $7701 \text{ kg/mm}^2$  lo que implicaría que soldar con un amperaje óptimo se lograría

incrementar esta propiedad en el orden del 1.5%.

Es importante indicar que el porcentaje de elongación al efectuar la soldadura con el amperaje óptimo presenta una disminución en el orden del 1% en comparación con la aleación de aluminio que no ha sido soldada.

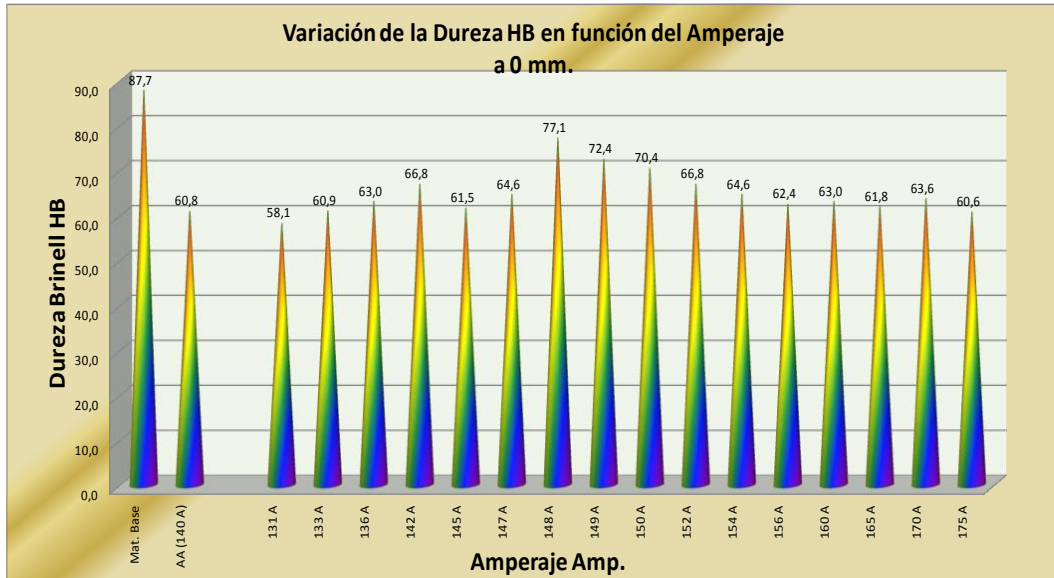
#### 4.3.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE DUREZA BRINELL

La zona afectada por el calor en las aleaciones de aluminio y en particular en la aleación 5086 H-116, está comprendida entre 30 y 35 mm medidos desde el centro de la soldadura, pero la mayor influencia en las propiedades se encuentra en el tramo comprendido entre 0 y 14mm

**Tabla 4.2.** Resumen de los Resultados obtenidos en el ensayo de dureza Brinell efectuados en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes.

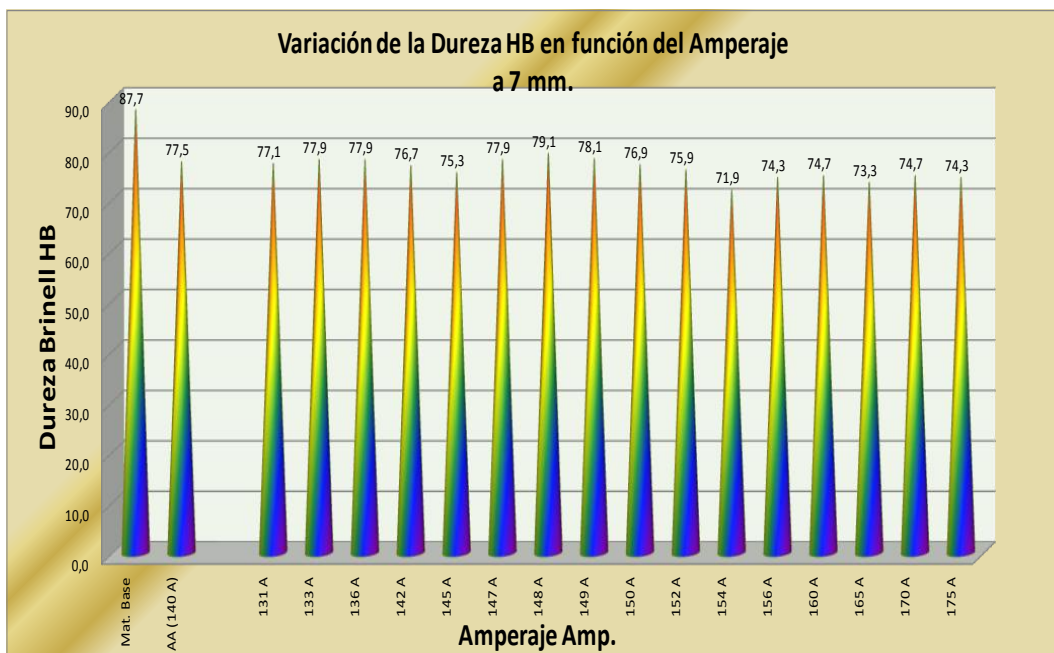
Denominación	Amperaje	0 mm.	3 mm.	7 mm.	14 mm.	21 mm.	28 mm.	35 mm.
FH-MB-D-01	Mat. Base	87,7	87,7	87,7	87,7	87,7	87,7	87,7
FH-SA-D-01	AA (140 A)	60,8	68,6	77,5	83,2	84,4	87,1	87,7
FH-YDA-D-01	131 A	58,1	67,5	77,1	83,0	85,8	87,4	87,7
FH-YDA-D-02	133 A	60,9	69,3	77,9	82,9	85,2	87,0	87,7
FH-YDA-D-03	136 A	63,0	70,0	77,9	82,4	84,4	87,1	87,7
FH-YDA-D-04	142 A	66,8	72,1	76,7	82,1	84,2	86,8	87,7
FH-YDA-D-05	145 A	61,5	69,4	75,3	82,6	84,3	86,8	87,7
FH-YDA-D-06	147 A	64,6	70,9	77,9	81,9	84,1	86,8	87,7
FH-YDA-D-07	148 A	77,1	77,5	79,1	81,7	83,8	86,9	87,7
FH-YDA-D-08	149 A	72,4	73,3	78,1	81,6	83,6	86,3	87,7
FH-YDA-D-09	150 A	70,4	74,9	76,9	81,7	83,7	86,5	87,7
FH-YDA-D-10	152 A	66,8	69,6	75,9	81,0	83,5	86,5	87,7
FH-YDA-D-11	154 A	64,6	69,6	71,9	79,1	83,0	85,8	87,2
FH-YDA-D-12	156 A	62,4	66,7	74,3	79,0	83,2	86,0	86,8
FH-YDA-D-13	160 A	63,0	67,0	74,7	79,0	82,9	85,8	86,9
FH-YDA-D-14	165 A	61,8	65,9	73,3	78,3	81,9	84,9	86,8
FH-YDA-D-15	170 A	63,6	64,9	74,7	78,3	81,9	85,1	86,2
FH-YDA-D-16	175 A	60,6	66,2	74,3	77,9	82,1	84,9	85,8

(Fuente: Autor)



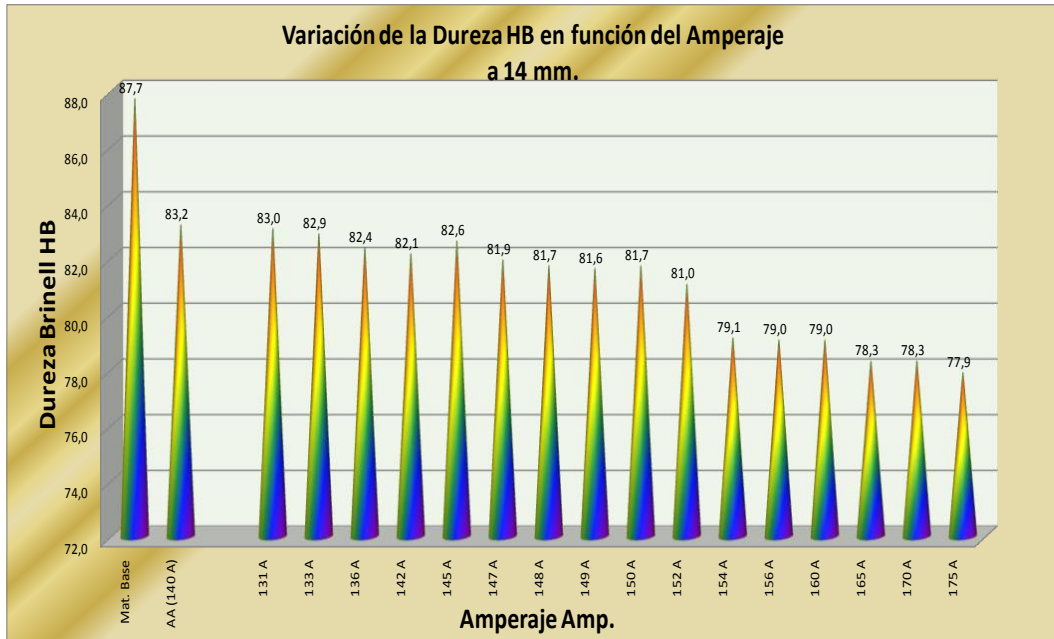
**Figura 4.7** Comparación de la dureza medida en el centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



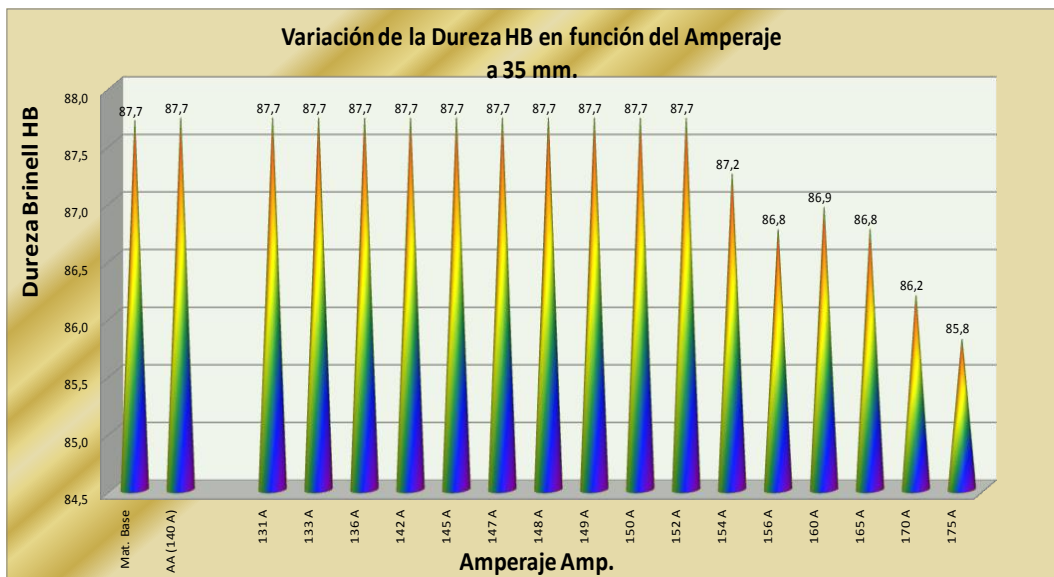
**Figura 4.8** Comparación de la dureza medida a 7 mm del centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.9** Comparación de la dureza medida a 14 mm del centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.10** Comparación de la dureza medida a 35 mm del centro del cordón en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)

En la figura 4.7, se aprecia como la dureza en el centro del cordón de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW tiene un valor de 77,1 Brinell al ser ejecutada con un amperaje de 148 amperios, a partir de este punto la dureza empieza a decrecer tanto al disminuir como al aumentar el amperaje, obteniendo un valor de 58,1 Brinell al soldar con un amperaje de 131 amperios y un valor de 60,6 Brinell al efectuar la soldadura con un amperaje de 175 Amp.

Ya en comparación con el amperaje que actualmente se viene ejecutando este tipo de soldaduras en la empresa INDUACERO, la dureza es de 60,8 Brinell lo que implicaría que soldar con un amperaje óptimo aumentaría la dureza en alrededor del 26%.

Es importante indicar que la dureza al efectuar la soldadura con el amperaje óptimo presenta solo una disminución de casi el 13% en comparación con la aleación de aluminio que no ha sido soldada (metal base).

En la figura 4.8, se observa como la dureza medida a 7 mm del centro del cordón de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW tiene un valor de 79,1 Brinell al ser ejecutada con un amperaje de 148 amperios, a partir de este punto la dureza empieza a decrecer, tanto al disminuir como al aumentar el amperaje, obteniendo un valor de 77,1 Brinell al soldar con un amperaje de 131 amperios y un valor de 74,3 Brinell al efectuar la soldadura con un amperaje de 175 Amp.

Comparando con el amperaje que actualmente se viene ejecutando este tipo de soldaduras en la empresa INDUACERO, la dureza es de 75,5HB lo que implicaría que soldar con un amperaje óptimo aumentaría la dureza en alrededor del 2%.

En la figura 4.9, se visualiza como la dureza medida a 14 mm del centro del cordón de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW tiene un valor de 83,2 Brinell al ser ejecutada con un amperaje de 140 amperios, a partir de este punto la dureza empieza a decrecer, al

aumentar el amperaje, obteniendo un valor de 81,7 Brinell al soldar con un amperaje de 148 amperios y un valor de 77,9 Brinell al efectuar la soldadura con un amperaje de 175 Amp.

En la figura 4.10, se visualiza como la dureza medida a 35 mm del centro del cordón de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuada mediante proceso GMAW alcanza su valor máximo de 87,7 Brinell con todos los amperaje menores a 150 amperios y para amperajes mayores a este, la dureza es inferior, es así que a 175 amperios se tiene un valor de 85,8 Brinell, lo que implica que la zona afectada por el calor es mucho mayor a 35 mm para esta soldadura ejecutada con amperaje mayores a 150 Amperios.

### 4.3.3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE METALOGRAFÍA

La zona afectada por el calor ZAC en las aleaciones de aluminio y en particular en la aleación 5086 H-116 está comprendida entre 0 y 35 mm medidos desde el centro de la soldadura, pero la mayor influencia en las propiedades se encuentra en el tramo comprendido entre 0 y 14mm, la evaluación de micro constituyentes se ha procedido a realizar en tres zonas la primera en el cordón de soldadura, la segunda a 12mm medidos desde el centro de la soldadura y la tercera a 30 mm desde el centro de la soldadura.

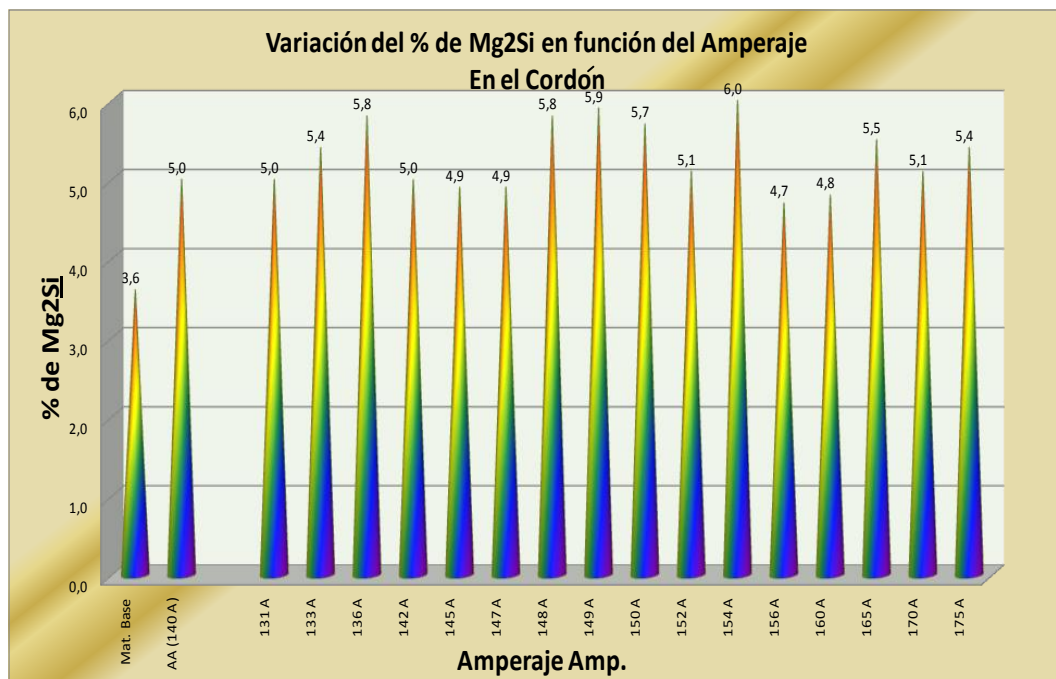
#### 4.3.3.1. Interpretación de resultados metalográficos en el cordón de soldadura

**Tabla 4.3.** Resumen del porcentaje de  $Mg_2Si$  y  $Al_3Mg_2$  presentes en el centro de cordón de soldadura en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes

Denominación	Amperaje	% de $Mg_2Si$	% de $Al_3Mg_2$
FH-MB-M-01	Mat. Base	3,6	16,0
FH-SA-M-01	AA (140 A)	5,0	15,1
FH-YDA-M-01	131 A	5,0	15,1
FH-YDA-M-02	133 A	5,4	14,5

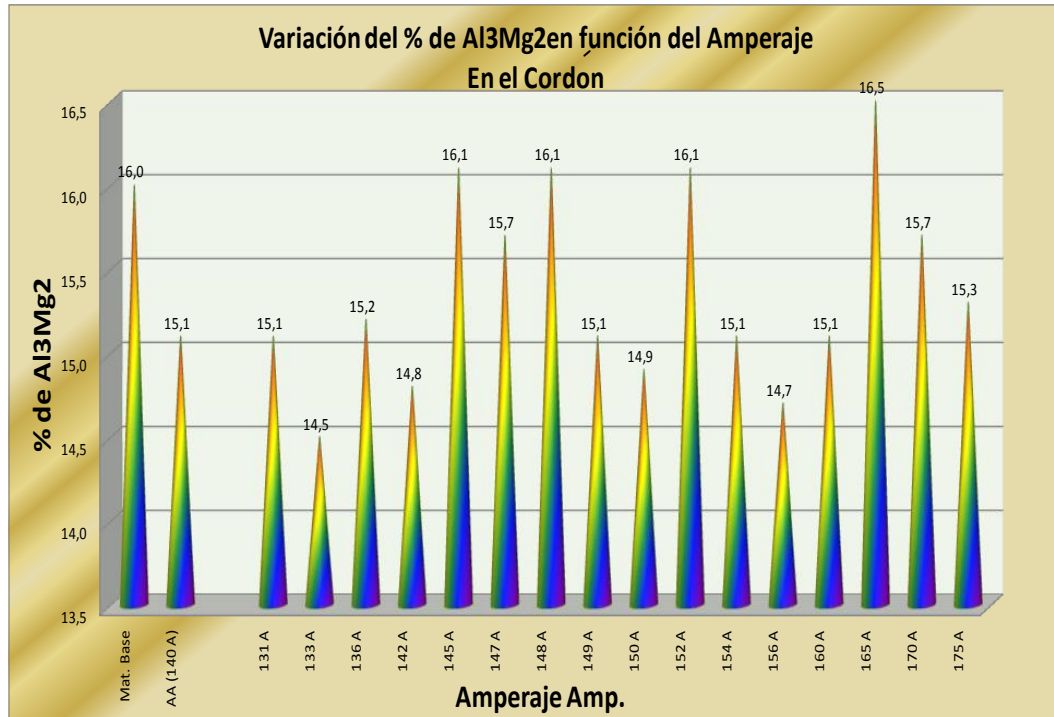
FH-YDA-M-03	136 A	5,8	15,2
FH-YDA-M-04	142 A	5,0	14,8
FH-YDA-M-05	145 A	4,9	16,1
FH-YDA-M-06	147 A	4,9	15,7
FH-YDA-M-07	148 A	5,8	16,1
FH-YDA-M-08	149 A	5,9	15,1
FH-YDA-M-09	150 A	5,7	14,9
FH-YDA-M-10	152 A	5,1	16,1
FH-YDA-M-11	154 A	6,0	15,1
FH-YDA-M-12	156 A	4,7	14,7
FH-YDA-M-13	160 A	4,8	15,1
FH-YDA-M-14	165 A	5,5	16,5
FH-YDA-M-15	170 A	5,1	15,7
FH-YDA-M-16	175 A	5,4	15,3

(Fuente: Autor)



**Figura 4.11** Comparación del Porcentaje de Mg<sub>2</sub>Si presente en el cordón de soldadura en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.12** Comparación del Porcentaje de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> presente en el cordón de soldadura en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)

En la figura 4.11, se observa la relación que existe entre el amperaje y el porcentaje de partículas de Mg<sub>2</sub>Si presentes en el cordón de soldadura, obteniendo un valor promedio de 5,3%, alcanzando su valor máximo del 6% al realizar la soldadura con un amperaje de 154 Amp.

En la figura 4.12, se observa como las partículas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> en el cordón de las soldaduras efectuadas con varios amperajes se encuentran presentes en un porcentaje promedio de aproximadamente 15,4%, alcanzando un valor máximo de 16.5 % al efectuarse la soldadura con un amperaje de 165 Amperios y alcanzaron un valor mínimo de 14.5% al efectuarse la soldadura con un amperaje de 133Amp. En lo referente al material base sin soldadura el porcentaje de este componente es de 16 %. La influencia que tiene este componente se da principalmente en la distribución y la ubicación de cómo estas partículas se encuentran presentes en la aleación.

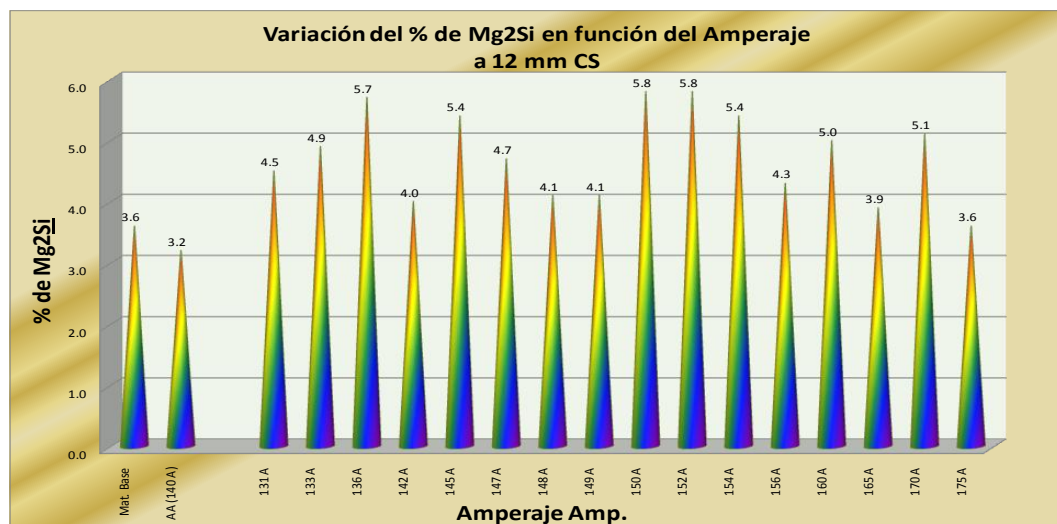


#### 4.3.3.2. Interpretación de resultados Metalográficos en la Zona afectada por el calor ZAC a 12 mm. del centro del cordón de soldadura

**Tabla 4.4.** Resumen del porcentaje de  $Mg_2Si$  y  $Al_3Mg_2$  presentes a 12 mm del centro de cordón de soldadura (ZAC) en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes

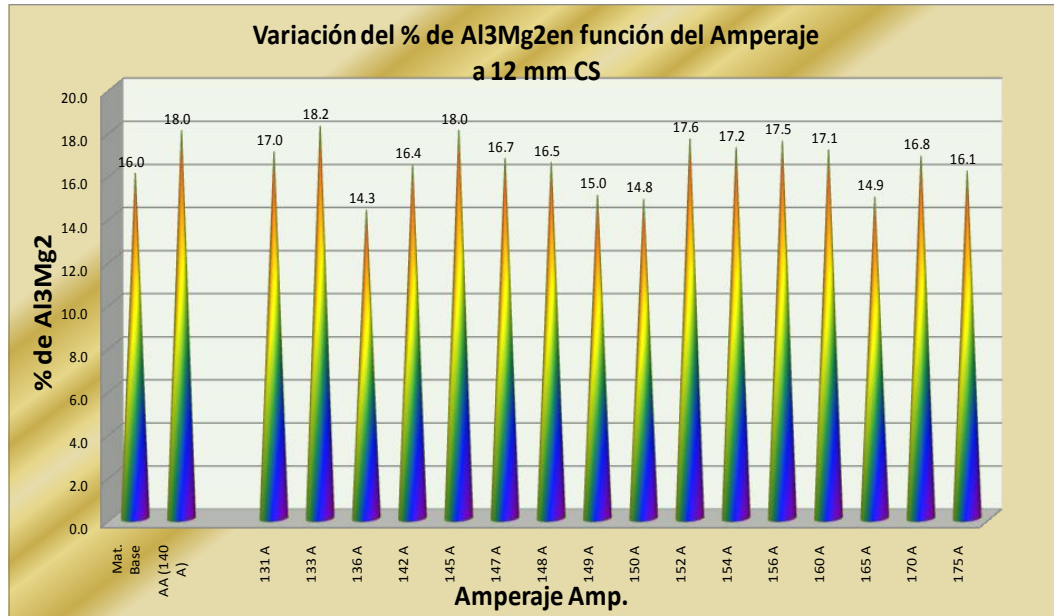
Denominación	Amperaje	% de $Mg_2Si$	% de $Al_3Mg_2$
FH-MB-M-01	Mat. Base	3,6	16,0
FH-SA-M-01	AA (140 A)	3,2	18,0
FH-YDA-M-01	131 A	4,5	17,0
FH-YDA-M-02	133 A	4,9	18,2
FH-YDA-M-03	136 A	5,7	14,3
FH-YDA-M-04	142 A	4,0	16,4
FH-YDA-M-05	145 A	5,4	18,0
FH-YDA-M-06	147 A	4,7	16,7
FH-YDA-M-07	148 A	4,1	16,5
FH-YDA-M-08	149 A	4,1	15,0
FH-YDA-M-09	150 A	5,8	14,8
FH-YDA-M-10	152 A	5,8	17,6
FH-YDA-M-11	154 A	5,4	17,2
FH-YDA-M-12	156 A	4,3	17,5
FH-YDA-M-13	160 A	5,0	17,1
FH-YDA-M-14	165 A	3,9	14,9
FH-YDA-M-15	170 A	5,1	16,8
FH-YDA-M-16	175 A	3,6	16,1

(Fuente: Autor)



**Figura 4.13** Comparación del Porcentaje de  $Mg_2Si$  presente en la zona afectada por el calor ZAC en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.14** Comparación del Porcentaje de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> presente en la zona afectada por el calor (ZAC) en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)

En la figura 4.13, se observa como el porcentaje de Siliciuro de Magnesio Mg<sub>2</sub>Si en la zona afectada por el calor ZAC de las soldaduras ejecutadas a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuadas mediante proceso GMAW al variar el amperaje se tiene un valor promedio de aproximadamente 4,7%, alcanzando un valor máximo de 5.8% al efectuarse la soldadura con un amperaje de 152 Amperios y un valor mínimo de 3.2% al efectuarse la soldadura con un amperaje de 140 Amperios. En lo referente al material base sin soldadura el porcentaje de este componente es de 3,6%.

En la figura 4.14, se observa como las partículas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> en el cordón de las soldaduras efectuadas con varios amperajes se encuentran presentes en un porcentaje promedio de aproximadamente 16,6%, alcanzando un valor máximo de 18.2 % al efectuarse la soldadura con un amperaje de 133 Amperios y alcanzó un valor mínimo de 14.3% al efectuase la soldadura con un amperaje de 133Amp. En lo referente al material base sin soldadura el porcentaje de este componente es de 16 %. La influencia que tiene este componente se da principalmente en la

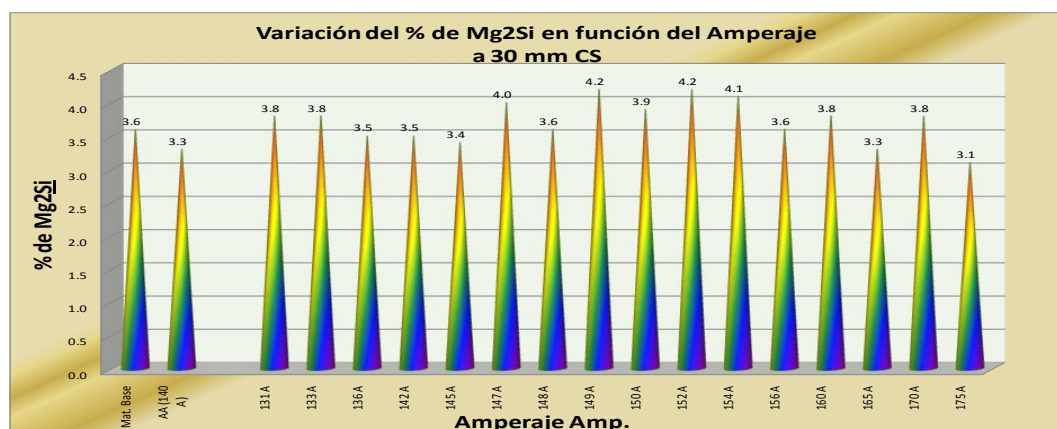
distribución y la ubicación de cómo estas partículas se encuentran presentes en la aleación.

#### 4.3.3.3. Interpretación de resultados Metalográficos en el metal base a 30 mm del centro del cordón de soldadura

**Tabla 4.5.** Resumen del porcentaje de  $Mg_2Si$  y  $Al_3Mg_2$  presentes a 30 mm del centro de cordón de soldadura (Metal base) en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes

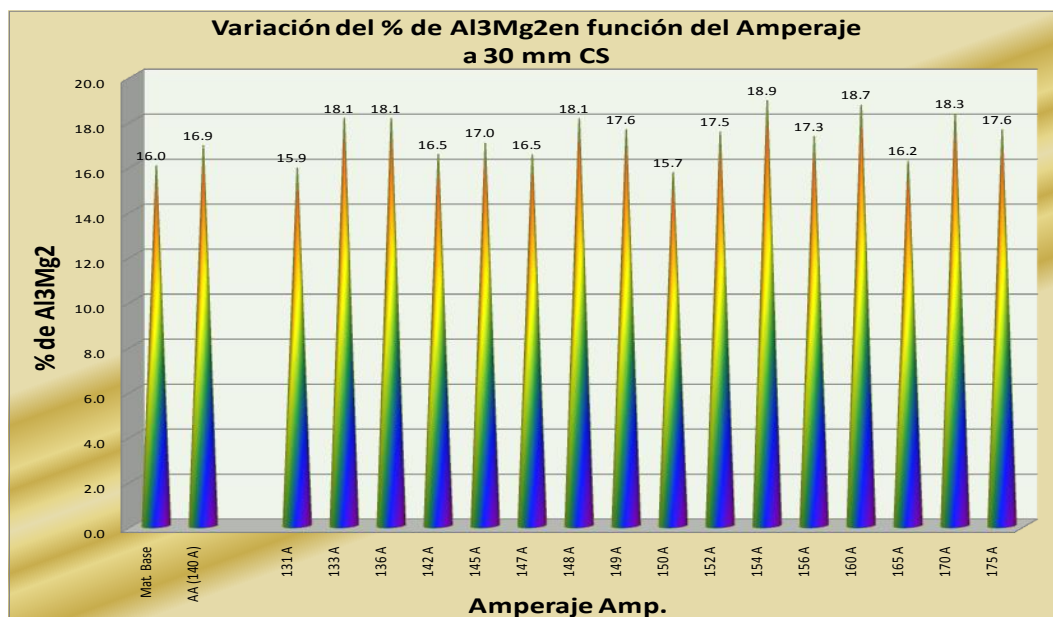
Denominación	Amperaje	% de $Mg_2Si$	% de $Al_3Mg_2$
FH-MB-M-01	Mat. Base	3,6	16,0
FH-SA-M-01	AA (140 A)	3,3	16,9
FH-YDA-M-01	131 A	3,8	15,9
FH-YDA-M-02	133 A	3,8	18,1
FH-YDA-M-03	136 A	3,5	18,1
FH-YDA-M-04	142 A	3,5	16,5
FH-YDA-M-05	145 A	3,4	17,0
FH-YDA-M-06	147 A	4,0	16,5
FH-YDA-M-07	148 A	3,6	18,1
FH-YDA-M-08	149 A	4,2	17,6
FH-YDA-M-09	150 A	3,9	15,7
FH-YDA-M-10	152 A	4,2	17,5
FH-YDA-M-11	154 A	4,1	18,9
FH-YDA-M-12	156 A	3,6	17,3
FH-YDA-M-13	160 A	3,8	18,7
FH-YDA-M-14	165 A	3,3	16,2
FH-YDA-M-15	170 A	3,8	18,3
FH-YDA-M-16	175 A	3,1	17,6

(Fuente: Autor)



**Figura 4.15** Comparación del Porcentaje de  $Mg_2Si$  presente en el metal base en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.16** Comparación del Porcentaje de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> presente en el metal base en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)

En la figura 4.15, se observa como el porcentaje de Siliciuro de Magnesio Mg<sub>2</sub>Si en el metal base que no ha sido afectado térmicamente de las soldaduras efectuadas a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 efectuadas mediante proceso GMAW con varios amperajes se tiene un porcentaje promedio de aproximadamente 3,7%, alcanzando un valor máximo de 4.2% al efectuarse la soldadura con un amperaje de 149 Amperios y un valor mínimo de 3.1% al efectuarse la soldadura con un amperaje de 175 Amperios. La influencia que tiene este componente se da principalmente en la distribución y el tamaño que estas partículas se encuentran presentes en la aleación.

En la figura 4.16, se observa como la partículas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> en el metal base de las soldaduras efectuadas con varios amperajes se encuentran presentes en un porcentaje promedio de aproximadamente 17,3%, alcanzando un valor máximo de 18.9 % al efectuarse la soldadura con un amperaje de 154 Amperios y alcanzó un valor mínimo de 15.7% al efectuase la soldadura con un amperaje de 150Amp. La influencia que tiene este componente se da principalmente la

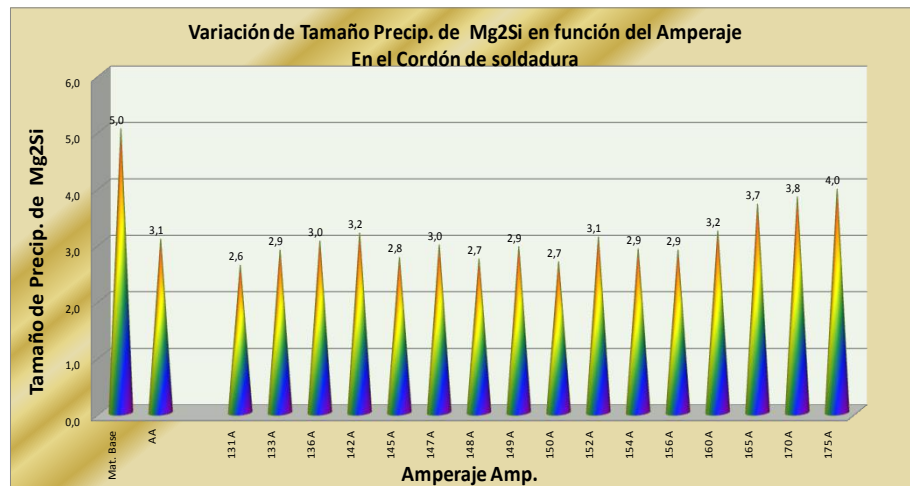
distribución de estas partículas dentro de la aleación.

#### 4.3.3.4. Interpretación de resultados Metalográficos referentes al tamaño promedio de precipitados de $Mg_2Si$

**Tabla 4.6.** Resumen del tamaño promedio de precipitados de  $Mg_2Si$  presentes en el cordón de soldadura, en la ZAC a 12 mm del centro del cordón de soldadura y en el metal base a 30 mm del centro de cordón de soldadura en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con varios amperajes.

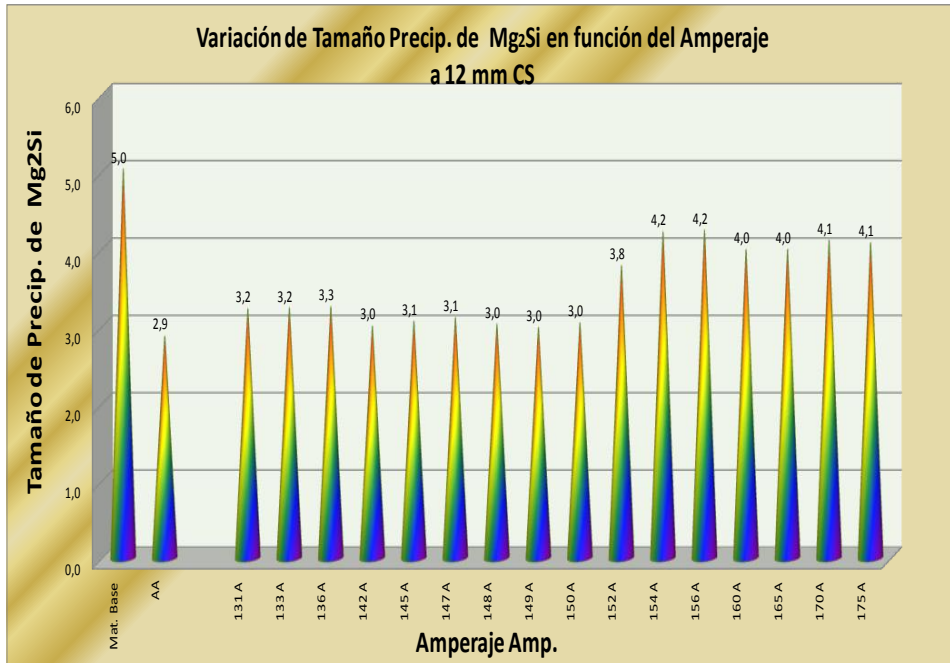
Denominación	Amperaje	Cordón	ZAC (12mm)	M. Base (30 mm)
		Tamaño Prec. $Mg_2Si$ $\mu m^2$	Tamaño Prec. $Mg_2Si$ $\mu m^2$	Tamaño Prec. $Mg_2Si$ $\mu m^2$
FH-MB-M-01	Mat. Base	5,03	5,03	5,03
FH-SA-M-01	AA (140A.)	3,07	2,87	4,79
FH-YDA-M-01	131 A.	2,61	3,22	5,08
FH-YDA-M-02	133 A.	2,88	3,23	4,88
FH-YDA-M-03	136 A.	3,04	3,25	5,15
FH-YDA-M-04	142 A.	3,18	3	4,81
FH-YDA-M-05	145 A.	2,75	3,06	5,05
FH-YDA-M-06	147 A.	2,97	3,11	5,11
FH-YDA-M-07	148 A.	2,72	3,02	5
FH-YDA-M-08	149 A.	2,94	2,98	5,09
FH-YDA-M-09	150 A.	2,67	3,04	5,16
FH-YDA-M-10	152 A.	3,11	3,78	5,01
FH-YDA-M-11	154 A.	2,9	4,22	5,21
FH-YDA-M-12	156 A.	2,88	4,24	4,93
FH-YDA-M-13	160 A.	3,22	3,99	5,1
FH-YDA-M-14	165 A.	3,69	3,99	5,08
FH-YDA-M-15	170 A.	3,82	4,11	4,94
FH-YDA-M-16	175 A.	3,96	4,08	4,89

(Fuente: Autor)



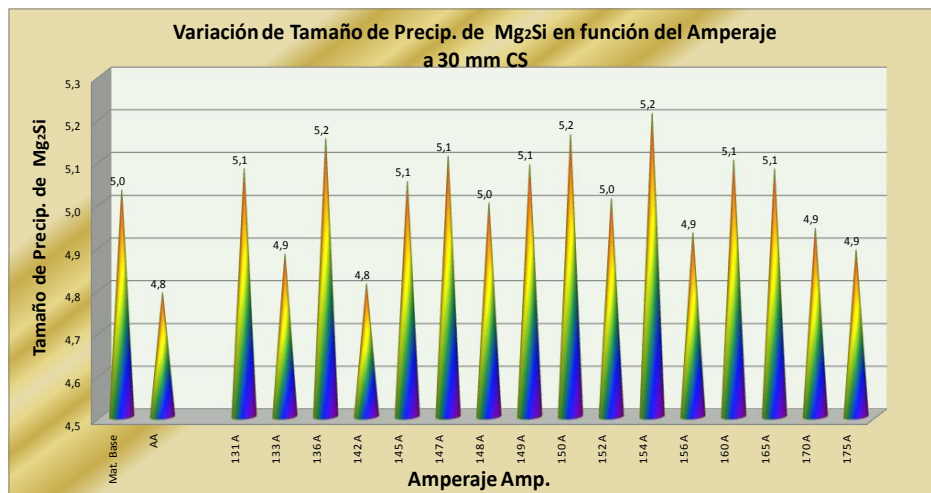
**Figura 4.17** Comparación del Tamaño de precipitados de  $Mg_2Si$  presente en el cordón de soldadura en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.18** Comparación del Tamaño de precipitados de Mg<sub>2</sub>Si presente en la ZAC (a 12 mm del cordón de soldadura) en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)



**Figura 4.19** Comparación del Tamaño de precipitados de Mg<sub>2</sub>Si en el metal base (30 mm del cordón de soldadura) en función de la variación del amperaje al realizar soldaduras a tope de la aleación de aluminio 5086-H116

(Fuente: Autor)

En la figura 4.17, se puede apreciar como el tamaño de los precipitados de siliciuro de magnesio Mg<sub>2</sub>Si en el cordón de soldadura tienen un valor promedio

de  $2,7 \text{ um}^2$  cuando se ejecutan con amperajes menores a 150 amperios, para amperajes mayores a este, el tamaño de los precipitados empieza a crecer alcanzando un valor de  $4,0 \text{ um}^2$  al ejecutar la soldadura a 175Amp., este fenómeno de crecimiento de los precipitados, conjuntamente con la evaporación del magnesio por efecto de las altas temperaturas producto del amperaje alto, son las causas principales en la disminución de las propiedades mecánicas de la soldadura de la aleación de aluminio 5086 H-116.

En la figura 4.18, se puede apreciar como el tamaño de los precipitados de siliciuro de magnesio  $\text{Mg}_2\text{Si}$  en la zona afectada por el calor ZAC empiezan a crecer alcanzando un valor promedio de  $3,0 \text{ um}^2$  cuando se ejecutan con amperajes menores a 150 amperios, pero para amperajes mayores a este, el tamaño de los precipitados empieza a crecer alcanzando valores de hasta  $4,2 \text{ um}^2$ .

En la figura 4.19, se puede apreciar como el tamaño de los precipitados de siliciuro de magnesio  $\text{Mg}_2\text{Si}$  alcanza un valor promedio de  $5,0 \text{ um}^2$  en la mayoría de amperajes probados, lo que indica que en este punto la microestructura se ha estabilizado y ya no existe afectación de la temperatura producto de la soldadura.

#### **4.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

**HIPÓTESIS:** Utilizando el amperaje óptimo al realizar soldaduras a tope mediante proceso GMAW aplicado a la aleación de aluminio 5086 H-116 se alcanzarán las mejores propiedades mecánicas en la soldadura y en la zona afectada por el calor.

- Luego de terminados los ensayos de tracción, dureza y metalográficos en las probetas de aleación de aluminio 5086 H-116, soldadas mediante proceso GMAW aplicando varios amperajes, se procedió a comparar estos resultados con los obtenidos en las probetas soldadas aplicando todos los parámetros con los cuales actualmente se viene ejecutando este tipo de soldadura en la empresa Inducero, una vez realizada esta comparación, se logró determinar que al realizar este tipo de soldaduras aplicando un amperaje de 148

Amperios, se logra mejorar las propiedades mecánicas tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada por el calor, cabe recalcar que en la soldadura de este tipo de aleación la zona más crítica resulta ser el cordón de soldadura.

- Dentro de los ensayos de tracción como primer punto de análisis, se tomó el esfuerzo último a tensión  $S_{ut}$  para lo cual se determinó que esta propiedad alcanza su punto más alto al ejecutar la soldadura con un amperaje de 148 Amperios, esta propiedad en comparación a la obtenida con el amperaje que actualmente se vienen ejecutando en la empresa Induacero (140 Amp.) tiene un incremento de alrededor del 14 %, esto se observa en la figura 4.2, en esta misma figura, se puede visualizar como a partir de este punto un incremento o disminución del amperaje provoca una disminución en esta propiedad.
- El esfuerzo a cedencia  $S_y$  tiene una tendencia similar al  $S_{ut}$ , logrando su punto más alto al ejecutar la soldadura con un amperaje de 148 Amperios, esta propiedad en comparación a la obtenida con el amperaje que actualmente se vienen ejecutando en la empresa Induacero (140 Amp.) tiene un incremento de alrededor del 17 % esto se observa en la figura 4.3, en esta misma figura, se puede visualizar como a partir de este punto un incremento o disminución del amperaje provoca una disminución en esta propiedad.
- El porcentaje de elongación alcanza su punto más alto al ejecutar la soldadura con un amperaje de 149 Amperios, y se mantiene con una variación mínima hasta la soldadura ejecutada con 145 Amperios, bajo este amperaje (145 Amp.), esta propiedad tiende a disminuir notablemente, una tendencia similar de disminución en el porcentaje de elongación se tiene con amperajes mayores a 150 Amp., en comparación a la obtenida con el amperaje que actualmente se vienen ejecutando en la empresa Induacero (140 Amp.) se tiene un incremento de alrededor del 20 %, esto se observa en la figura 4.4.
- El porcentaje de reducción de área alcanza su punto más alto al ejecutar la soldadura con un amperaje de 148 Amperios, y se mantiene con una variación mínima hasta la soldadura ejecutada con 142 Amperios, bajo este amperaje



(142 Amp.) esta propiedad tiende a disminuir notablemente, una tendencia similar de disminución en el porcentaje de reducción de área se tiene con amperajes mayores a 149 Amp., en comparación a la obtenida con el amperaje que actualmente se vienen ejecutando en la empresa Induacero (140 Amp.) se tiene un incremento de alrededor del 25% esto se observa en la figura 4.5.

- En referencia al módulo de Young, esta propiedad alcanza su punto más alto al ejecutar la soldadura con un amperaje de 148 Amperios y tiende a ser menor tanto al aumentar como disminuir el amperaje, en comparación a la obtenida con el amperaje que actualmente se vienen ejecutando en la empresa Induacero (140 Amp.) se tiene un incremento de alrededor del 1.5 % esto se observa en la figura 4.6.
- La dureza obtenida a diferentes distancia del centro del cordón de soldadura, luego de realizada la soldadura de la aleación de aluminio 5086 H-116 para diferentes amperajes se visualiza en las figuras 4,7; 4,8; 4,9 y 4,10, de allí se tiene que en el centro del cordón de soldadura y hasta aproximadamente 14 mm. medidos desde el centro del cordón, la mayor dureza se tiene a 148 amperios, luego de este amperaje la dureza empieza a disminuir tanto al aumentar como al disminuir el amperaje, a partir de 14mm en adelante la mayor dureza se obtiene para amperajes menores, esto se debe principalmente a la relación directamente proporcional que tiene el amperaje en el incremento de la cantidad de energía suministrada a la soldadura, produciendo por esta razón una zona afectada por el calor menor y por ende una mayor dureza.
- La soldadura de aleaciones de aluminio 5086 H-116 efectuadas con un amperaje de 148 amperios, proporcionan las mejores propiedades mecánicas, con incrementos muy significativos en cada una de ellas en comparación a las soldaduras que actualmente se vienen realizando en la empresa INDUACERO (140 Amp.).

**Por todo lo indicado anteriormente se verifica la hipótesis.**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Luego de realizado el estudio de la variación del amperaje al realizar Soldaduras a tope mediante proceso GMAW aplicado a la Aleación de Aluminio 5086-H116 se puede concluir que:

- Una vez construidas y posteriormente evaluadas 32 probetas de Aleación de Aluminio 5086-H116 soldadas a tope mediante proceso GMAW utilizando varios amperajes, se logró determinar que el amperaje óptimo para efectuar este tipo de soldadura es 148 amperios, ya que con este amperaje se alcanzó las mejores propiedades mecánicas tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada por el calor.
- La soldabilidad de las aleaciones de aluminio 5086 H116, está directamente relacionada con la variación del amperaje es así que cuando se realiza la soldadura de este tipo de aleaciones con amperajes inferiores al óptimo, se observa la aparición de varios defectos de soldadura como son poros, falta de penetración e incluso fisuras, al realizar la soldadura con amperajes superiores al óptimo la soldabilidad también es afectada obteniendo en este caso otros defectos tales como penetración excesiva, mordeduras e incluso perforaciones.
- Las menores propiedades mecánicas al realizar una soldadura de este tipo de aleaciones se obtienen en el cordón de soldadura y no en la zona afectada por el calor, esto puesto que las propiedades mecánicas del aporte que se utiliza para este tipo de soldaduras son inferiores a las del metal base.
- El esfuerzo último  $S_{ut}$  de una soldadura de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje óptimo de 148 Amp. alcanza un valor de  $25,3 \text{ kg/mm}^2$  y

disminuye por cada amperio que se aumente o disminuya a partir del amperaje óptimo.

- El esfuerzo a cedencia  $S_y$  de una soldadura de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje óptimo de 148 Amp. alcanza un valor de 14,6 kg/mm<sup>2</sup> y llega a disminuir por cada amperio que se aumente o disminuya a partir del amperaje óptimo.
- El porcentaje de elongación de una soldadura de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje óptimo de 148 Amp. alcanza un valor del 10,9% y disminuye por cada amperio que se aumente o disminuya a partir del amperaje óptimo.
- El porcentaje de reducción de área de una soldadura de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje óptimo de 148 Amp. alcanza un valor del 25% y disminuye por cada amperio que se aumente o disminuya a partir del amperaje óptimo.
- La dureza en el cordón de una soldadura de aluminio 5086 H-116, ejecutada con un amperaje óptimo de 148 Amp. alcanza un valor de 77,1 HB y tiende a disminuir a medida que el amperaje aumenta o disminuya a partir del amperaje óptimo.
- La dureza medida a 12 mm desde del centro del cordón de soldadura es decir en el material base, tiende a disminuir para amperajes mayores al óptimo y aumentar para amperajes menores al óptimo.
- En lo referente a la zona afectada por el calor al realizar soldaduras de aleaciones de aluminio 5086 H-116 ejecutadas mediante proceso GMAW esta aproximadamente a 28 mm medidos desde el centro de la soldadura, esta zona se incrementa a medida que el amperaje es más alto.
- Del análisis metalográfico se concluye que en términos generales una soldadura de aleación de aluminio no tratable térmicamente 5086 H-116,

entre los componentes microestructurales están el siliciuro de magnesio  $Mg_2Si$  y partículas finas de  $Mg_2Al_3$  las mismas que se encuentran dispersas en una matriz de magnesio en aluminio

- Al determinar, evaluar y analizar los cambios microestructurales en la zona afectada por el calor, se observa que la presencia del micro constituyente  $Mg_2Si$  es importante ya que este actúa como un endurecedor, sin desestimar también la influencia que tiene el  $Al_3Mg_2$  cuya distribución uniforme aporta también al mejoramiento de las propiedades mecánicas de la soldadura.
- La distribución y tamaño del siliciuro de magnesio  $Mg_2Si$  se ven afectados directamente por la variación del amperaje, es así que el tamaño de este micro constituyente crece y su distribución es aleatoria dentro de la matriz, al efectuarse la soldadura con amperajes mayores al óptimo, lo cual sumado a la evaporación de magnesio por efecto de las elevadas temperaturas, da como resultado una baja en las propiedades mecánicas, en cambio al efectuar la soldadura con el amperaje óptimo (148 amp.) el tamaño de este micro constituyente tiende a decrecer y la distribución dentro de la microestructura es uniforme. La disminución en las propiedades mecánicas en los amperajes menores a 148 Amp. es atribuida a la gran cantidad de defectos de soldadura que empiezan a aparecer tal es el caso de poros, falta de fusión entre otros.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Previa a la ejecución de la soldadura revisar que todas probetas a ser soldadas se encuentren totalmente libres de todo tipo de impurezas tales como grasas, aceites y lo más importante retirar la capa de óxido de aluminio que se encuentra presente en los bordes a soldar, esto se lo puede realizar por medio mecánicos tales como cepillos de alambre de acero inoxidable. Otro factor a tomar en consideración es que los elementos utilizados como respaldo deben ser en acero inoxidable.
- Para realizar este tipo de soldaduras siempre comprobar las variables operativas, las mismas que en este caso fueron: gas de protección Argón puro, flujo de gas 40 cfh, voltaje 25 Volt, tipo de junta a tope con separación de 1 mm sin refuerzo permanente, material de aporte ER5356, amperaje 148 amp.
- Al momento de efectuar la soldadura, el inicio del cordón debe ser el mismo en cada pase, esto para evitar el agrietamiento en caliente, o la otra posibilidad es de realizar doble cordón al final del primer paso.
- Para obtener valores confiables de los ensayos posteriores, se deben ejecutar las soldaduras verificando continuamente los parámetros que dependen de la habilidad del soldador tales como velocidad de avance y altura de la antorcha con respecto al metal base.
- El corte de las probetas debe ser realizado siempre eliminando tanto el inicio como el final del cordón de soldadura, esto con el afán de eliminar todos los defectos que se presentan al inicio y al final de le cordón de soldadura.
- Otro aspecto a tomar en consideración al momento de realizar el corte de las probetas es la no utilización de cizallas y equipos de plasma con el fin de no alterar las propiedades mecánicas. Todo corte deberá ser efectuado con sierra a mano y siempre con enfriamiento constante.

- Al efectuar el ensayo de tracción verificar el correcto ajuste de las mordazas con las probetas a fin de no obtener lecturas erróneas. De manera similar se debe confirmar que el deformímetro este ubicado correctamente y de acuerdo a las medidas solicitadas.
- Al momento de realizar el ensayo de dureza siempre confirmar la calibración del durómetro con ayuda de los patrones de calibración de la máquina de acuerdo al diámetro del indentador y la carga a suministrar.
- Por ser una aleación que tiene una alta conductividad térmica al momento de efectuar la preparación de las probetas para el ensayo metalográfico se debe realizar con suficiente lubricación para evitar el sobre calentamiento y por ende la obtención de resultados erróneos,
- En lo referente al ataque químico, se debe verificar que los reactivos y el tiempo de ataque sean los adecuados, y que además no hayan perdido su concentración para lo cual se recomienda efectuar una comparación con microestructuras similares.
- Otra consideración importante a tomar en cuenta es que esta investigación servirá como base, para poder efectuar otras investigaciones tales como por ejemplo obtener los parámetros óptimos, de velocidad de avance para automatizar el proceso de soldadura de aleaciones de aluminio 5086 H-116.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

**“ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS PARA UNA SOLDADURA A TOPE DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086-H116 EJECUTADA MEDIANTE PROCESO GMAW USANDO UN AMPERAJE DE 148 AMP.”**

#### **6.1. DATOS INFORMATIVOS**

Luego de ejecutado el presente estudio relacionado con la variación del amperaje al realizar Soldaduras a tope mediante proceso GMAW para Aleaciones de Aluminio 5086-H116, se logró determinar que las mejores propiedades mecánicas en el cordón y en la zona afectada por el calor se obtienen al trabajar con un amperaje de 148 Amp.

Toda la ejecución de las probetas soldadas se las realizaron en la planta INDUACERO, ya en lo referente a los ensayos una parte se los realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA y otra parte fue ejecutado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPOCH.

El desarrollar un procedimiento adecuado para el análisis de las soldaduras de las aleaciones de aluminio, que permita obtener excelentes resultados, será un aporte importante para el desarrollo del país, en el uso y aplicación de estas aleaciones en tanques, tanqueros y partes de equipos de transporte. Además será una contribución que se hace a varias áreas, una de ellas el área de materiales que dispondrá de una base referencial para poder realizar futuras investigaciones, en las cuáles se ponga de manifiesto la utilización de este tipo de aleación, ya en el ámbito industrial el obtener una junta soldada con las mejores propiedades mecánicas permitirá aprovechar de las ventajas constructivas que esta aleación presenta, la misma que actualmente no es utilizada porque al efectuar la soldadura de esta aleación las propiedades mecánicas que se obtienen son bajas, desmotivando la utilización de la misma para la construcción de diferentes

equipos tales como tanques y tanqueros, equipos que al construirlos de este material llegarían a reducir su peso en hasta el 50%. factor que lograría reducir costos de operación y además generar una menor contaminación.

## **6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Son varios los trabajos investigativos que se han llevado a cabo con respecto a la soldadura de aleaciones de aluminio, tal es el caso del trabajo de postgrado realizado en la UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS HIDALGO titulado “OPTIMIZACIÓN DEL CORDÓN DE UNA SOLDADURA DE FILETE DE UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES” realizada por el Ing. Gerardo Altamirano quien centro su investigación en la soldadura a filete de una aleación de aluminio para uso estructural 6061-T6.

En lo referente a la soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 los datos que se han logrado conseguir en cuanto a parámetros de soldadura siempre daban rangos de amperaje extremadamente grandes, razón por la cual las propiedades mecánicas no siempre eran las mejores, en este trabajo de investigación se logró determinar el amperaje óptimo que fue de 148 Amp. con el cual se logra alcanzar una combinación de las mejores de propiedades mecánicas en las juntas soldadas.

## **6.3. JUSTIFICATIVO**

Es importante disponer de un procedimiento de análisis para una soldadura de la aleación de aluminio 5086-H116 mediante proceso GMAW aplicando un amperaje de 148 Amp. puesto que con esto se logra alcanzar las mejores propiedades mecánicas en la zona afectada por el calor, contribuyendo de esa manera para que esta aleación pueda ser tomada en consideración en nuestro medio para la construcción de equipos tales como tanques y tanqueros, donde se necesita que la relación esfuerzo peso sea lo más alta posible.



Esta investigación se convertirá en el primer gran paso para la solución de uno de los problemas que se tiene hoy en día como lo es la contaminación del medio ambiente, es cierto que todas estas medidas ya las han venido ejecutando en otros países pero a nivel del Ecuador no se ha llevado a cabo, en muchas ocasiones por la mala información que se dispone ya que en muchos estudios manifiestan que la mejor manera de realizar una soldadura de este tipo de aleación es mediante laser, lo cual desmotiva al empresario del sector metal mecánico ya que la inversión como es de suponerse es altísima, pero esto no es cierto ya que al disponer de procedimientos de análisis de soldadura bien establecidos logrará identificar de una manera rápida donde están los problemas y con ello se podrán tomar las acciones correctivas necesarias.

## **6.4. OBJETIVOS**

### **6.4.1. GENERAL**

- Elaborar un procedimiento de análisis de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086-H116 ejecutada mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp.

### **6.4.2. ESPECÍFICOS**

- Analizar y evaluar la dureza y resistencia a la tracción del cordón y la zona afectada por el calor en las soldaduras a tope de la aluminio 5086-H116 ejecutadas mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp.
- Encontrar los cambios micro-estructurales que se llevan a cabo en las zonas afectadas por el calor luego de realizada la soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086-H116 mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp.
- Elaborar el procedimiento de soldadura, ensayo de tracción, dureza y metalográfico de la aleación de aluminio 5086-H116, soldada mediante proceso GMAW.

## **6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

La presente propuesta es factible puesto que todos los materiales necesarios para la ejecución de la misma, a pesar de ser de importación en este momento se disponen en la cantidad suficiente para la ejecución de todos los ensayos, en lo referente a las máquinas para efectuar las soldaduras, estas están disponibles y serán facilitadas por la empresa Induacero, en lo referente a los equipos necesarios para realizar los ensayos tanto de tensión, dureza y metalográficos estos serán ejecutados en los laboratorios tanto de la UTA como la ESPOCH, otro de los parámetros fundamentales para determinar que la propuesta es factible es la información bibliográfica y el conocimiento con que ahora se cuenta para la ejecución de las soldaduras de esta aleación.

## **6.6. FUNDAMENTACIÓN**

Todos los soportes técnicos científicos que hacen relación a esta investigación se encuentran desarrollados en el capítulo II, en el mismo que se indica las ecuaciones y cálculos necesarios para encontrar la energía disipada en la ejecución de la soldadura, además de los procedimientos para las pruebas de dureza, tensión y metalográficos.

En las líneas siguientes, se realizará el desarrollo de todos los cálculos ejecutados para evaluar la soldadura de aluminio 5086-H116 ejecutada a tope mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp. y sus efectos en la zona afectada por el calor además de los cambios micro-estructurales que se llevan a cabo en la misma.

### **6.6.1. CÁLCULO DEL APORTE TÉRMICO SUMINISTRADO A LA SOLDADURA**

Datos:

Probeta #: \_\_\_\_\_ FH-YDA-T-07-2

Ensayo #: \_\_\_\_\_ 19.

Material Base: \_\_\_\_\_ Al 5086-H-116  
 Material de Aporte: \_\_\_\_\_ ER5356  
 Intensidad de corriente: \_\_\_\_\_ A = 148 Amp.  
 Voltaje: \_\_\_\_\_ U = 25 Volt.  
 Avance de la sold. \_\_\_\_\_ Vs = 6.5 mm/seg.  
 Factor de aprovechamiento GMAW \_\_\_  $\beta = 0.8$

Utilizando la ecuación (2.3) se tiene:

$$HI = \frac{A * U * \beta}{V_s}$$

$$HI = \frac{148 * 25 * 0.8}{6.5}$$

$$HI = 440 \frac{J}{mm}$$

## 6.6.2. CÁLCULO DE LA COMPOSICIÓN DEL POZO DE SOLDADURA

Datos:

Probeta #: \_\_\_\_\_ FH-YDA-T-07-2  
 Ensayo #: \_\_\_\_\_ 19.  
 Material Base: \_\_\_\_\_ Al 5086-H-116  
 Material de Aporte: \_\_\_\_\_ ER5356  
 Intensidad de corriente: \_\_\_\_\_ A = 148 Amp.  
 Área del metal base fundido \_\_\_\_\_ s = 35,75 mm<sup>2</sup>  
 Área del metal de soldadura total \_\_\_\_\_ S = 55,75 mm<sup>2</sup>  
 % de Evaporación de magnesio \_\_\_\_\_ % Ev, Mg = 1.11% [17].

### 6.6.2.1. Cálculo del porcentaje de dilución

Utilizando la ecuación (2.1) se tiene:

$$\% \text{ de dilución} = \frac{s}{s + S} * 100$$

$$\% \text{ de dilución} = \frac{35.75}{35.75 + 55.75} * 100$$

$$\% \text{ de dilución} = 39.1\%$$

**Tabla 6.1** Porcentajes de Mg y Si en el pozo de soldadura

	Composición Antes de la Soldadura			Composición en el Pozo de soldadura		
	Al	Mg	Si	Al	Mg	Si
Metal Base	95,03	4,04	0,21	57,87327	2,46036	0,12789
Metal de Aporte	95,03	4,5	0,25	37,15673	1,7595	0,09775
			Total	95,03	4,21986	0,22564

(Fuente: Autor)

### 6.6.2.2. Cálculo del porcentaje de magnesio residual

Utilizando la ecuación (2.1.1) se tiene:

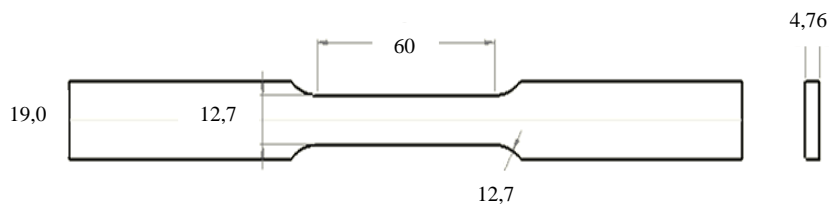
$$\% \text{ de Mg residual} = \% \text{ de Mg total} - \% \text{ de Mg perdido}$$

$$\% \text{ de Mg residual} = 4.21986\% - 1.11\%$$

$$\% \text{ de Mg residual} = 3.11\%$$

### 6.6.3. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Datos:



**Figura 6.1** Dimensiones de la Probeta para ensayo de tracción.

(Fuente: Autor)

Probeta #: \_\_\_\_\_ FH-YDA-T-07-2

Ensayo #: \_\_\_\_\_ 19.

Intensidad de corriente: \_\_\_\_\_ A = 148 Amp.

Longitud inicial. \_\_\_\_\_  $l_0 = 50.8 \text{ mm}$

Ancho inicial \_\_\_\_\_  $a_o = 12.7 \text{ mm}$

Espesor inicial \_\_\_\_\_  $t_o = 4.76 \text{ mm}$

**Tabla 6.2** Resultados obtenidos en el ensayo de tracción

RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
Longitud Inicial [l <sub>o</sub> ]	50.8 mm	longitud Final [l <sub>f</sub> ]	56.3 mm	Máxima deformación	5.5 mm
Espesor Inicial [t <sub>o</sub> ]	4.8 mm	Espesor Final [t <sub>f</sub> ]	4.29 mm	Carga Máxima [P <sub>max</sub> ]	1.537 kg
Ancho Final [a <sub>o</sub> ]	12.7 mm	Ancho Final [a <sub>f</sub> ]	11.0 mm		

(Fuente: Autor)

### 6.6.3.1. Cálculo del Esfuerzo Último a Tracción $S_{ut}$

*Área Inicial*

*Área Final*

$$A_o = a_o * t_o$$

$$A_f = a_f * t_f$$

$$A_o = 12.7 * 4.76$$

$$A_f = 11.0 * 4.29$$

$$A_o = 60.45 \text{ mm}^2$$

$$A_f = 47.19 \text{ mm}^2$$

Utilizando la ecuación (2.4) se tiene:

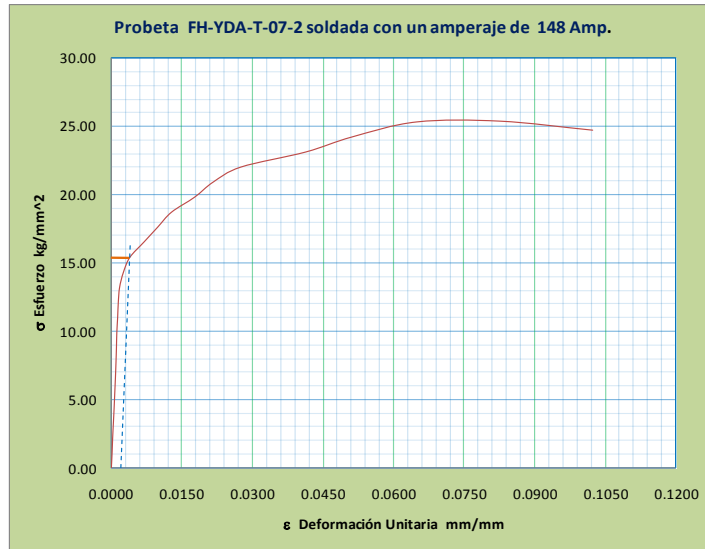
$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o}$$

$$S_{ut} = \frac{1537}{60.45}$$

$$S_{ut} = 25.42 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

### 6.6.3.2. Cálculo del Esfuerzo a Cedencia $S_y$

Para este cálculo se aplicó el método de corrimiento, en el que se traza una paralela a la porción recta inicial del diagrama esfuerzo deformación corrido 0.002 (o 0.2%), la intersección de la línea de corrimiento con la curva esfuerzo deformación define el esfuerzo a Cedencia [9].



**Figura 6.2** Determinación del límite elástico aplicando regla del corrimiento al 0,2% en probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.

(Fuente: Autor)

De la figura 6.2 se puede determinar que el esfuerzo a cedencia  $S_y$  es de aproximadamente  $15.4 \text{ kg/mm}^2$ .

#### 6.6.3.3. Cálculo del Porcentaje de Elongación % Elong.

Utilizando la ecuación (2.5) se tiene:

$$\% \text{ Elong.} = \left( \frac{l_f - l_o}{l_o} \right) * 100$$

$$\% \text{ Elong.} = \left( \frac{56.3 - 50.8}{50.8} \right) * 100$$

$$\% \text{ Elong.} = 10.82 \%$$

#### 6.6.3.4. Cálculo del Porcentaje de Reducción de Área % RA

Utilizando la ecuación (2.6) se tiene:

$$\% \text{ RA.} = \left( \frac{A_f - A_o}{A_o} \right) * 100$$

$$\% RA. = \left( \frac{60.45 - 47.19}{60.45} \right) * 100$$

$$\% RA. = 21.9 \%$$

### 6.6.3.5. Cálculo del Módulo de Elasticidad E

Para la determinación del módulo de Elasticidad se utilizó la norma ASTM E 111-04 (Anexo A.3)

$$E = \frac{(\sum[XY] - K\bar{X}\bar{Y})}{(\sum X^2 - K\bar{X}^2)} \quad (6.1)$$

Donde:

X = Deformación unitaria mm/mm

Y = Esfuerzo axial aplicado.

En términos de la medida de la carga Pi y medidas de la sección transversal A<sub>o</sub> y la longitud inicial lo.

$$X = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (6.2)$$

$$Y = \frac{\Delta p}{A_0} \quad (6.3)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{K} \text{ Promedio de los valores X} \quad (6.4)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{K} \text{ Promedio de los valores Y} \quad (6.5)$$

$$K = \text{Número de pares de datos X,Y.} \quad (6.6)$$

**Tabla 6.3** Datos registrados para el cálculo del módulo de Elasticidad

<b>X</b> <i>mm/mm</i>	<b>Y</b> <i>kg/mm<sup>2</sup></i>	<b>XY</b>	<b>X<sup>2</sup></b>
0.0000	0.00	0	0
0.0002	1.10	0.00017367	2.48E-08
0.0003	2.21	0.0006035	7.4869E-08
0.0004	3.31	0.00143278	1.8755E-07
0.0006	4.41	0.00260505	3.48751E-07
0.0007	5.51	0.00401611	5.30489E-07

0.0009	6.62	0.0057311	7.50202E-07
0.0010	7.72	0.00759805	9.68752E-07
0.0011	8.82	0.00989918	1.25899E-06
0.0013	9.93	0.01269961	1.63719E-06
0.0014	11.03	0.01497902	1.84489E-06
0.0015	12.13	0.01862609	2.35755E-06
0.0018	13.23	0.02318492	3.06939E-06
$\Sigma X = 0.011081$	$\Sigma Y = 86.01866$	$\Sigma XY = 0.10154908$	$\Sigma X^2 = 1.30534E-05$
K = 13	K = 13	K = 13	K = 13
$\bar{X} = 0.000852$	$\bar{Y} = 6.61682$		

(Fuente: Autor)

$$E = \left( \frac{0.10154908 - 13 * 0.000852 * 6.61682}{0.0000130534 - 13 * (0.000852)^2} \right)$$

$$E = 7823 \frac{kg}{mm^2}$$

#### 6.6.4. CÁLCULOS DEL ENSAYO DE DUREZA

Datos:

Probeta #: \_\_\_\_\_ FH-YDA-D-07

Ensayo #: \_\_\_\_\_ 47.

Intensidad de corriente: \_\_\_\_\_ A = 148 Amp.

Diámetro del Identador. \_\_\_\_\_ D = 2.5 mm

##### 6.6.4.1. Determinación de fuerza a aplicar

Utilizando la ecuación (2.9) se tiene:

$$P = k * D^2$$

Donde la constante k para aleaciones de aluminio es 10

$$P = 10 * 2.5^2$$

$$P = 62.5 \text{ kgf}$$



### 6.6.4.2. Cálculo de la dureza Brinell

Utilizando la ecuación (2.7) se tiene:

$$HB = \frac{P}{D^2} \left[ \frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right]$$

Donde d es el diámetro de la huella en mm.

$$HB = \frac{62.5}{2.5^2} \left[ \frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{0.995}{2.5}\right)^2}} \right]$$

$$HB = 77.1$$

**Tabla 6.4** Datos de dureza registrados en la soldadura de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada con un amperaje de 148 Amp.

RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO							
Ubicación desde el Centro de la Soldadura (mm)	0	3	7	14	21	28	35
Diam. de Identación (mm.)	0.99500	0.9925	0.9825	0.9675	0.956	0.9395	0.935
Dureza Brinell (HB)	77.1	77.5	79.1	81.7	83.8	86.9	87.7

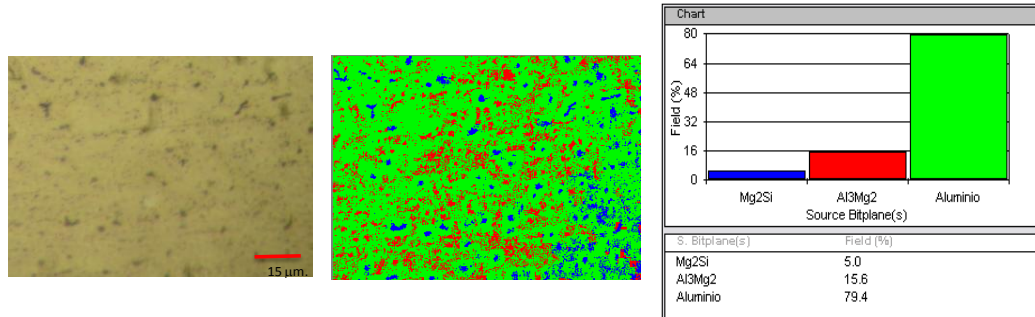
(Fuente: Autor).

### 6.6.5. CÁLCULOS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

#### 6.6.5.1. Determinación de porcentajes de Micro constituyentes

Para determinar el porcentaje de los micro constituyentes se utilizó un software especializado para este tipo de análisis, cabe señalar que la magnificación de las micrografías fue de 500x.

**a. Porcentaje de micro constituyentes presentes en el cordón de soldadura**



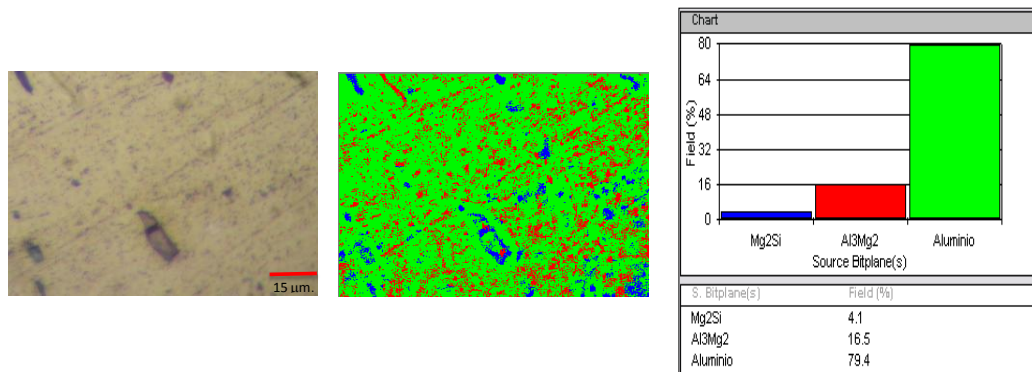
**Figura 6.3** Porcentaje de micro constituyentes presentes en el cordón de soldadura de la probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.

(Fuente: Autor)

Los puntos a resaltar en el análisis de esta microestructura, figura 6.3 son:

- El contenido de Mg<sub>2</sub>Si se encuentra alrededor del 5.0% distribuido uniformemente en precipitados de pequeño tamaño en toda la matriz de la microestructura del cordón de soldadura.
- Las partículas dispersas de Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub> están en el orden del 15.6% y no forman una red continua.

**b. Porcentaje de microconstituyentes presente en la ZAC**



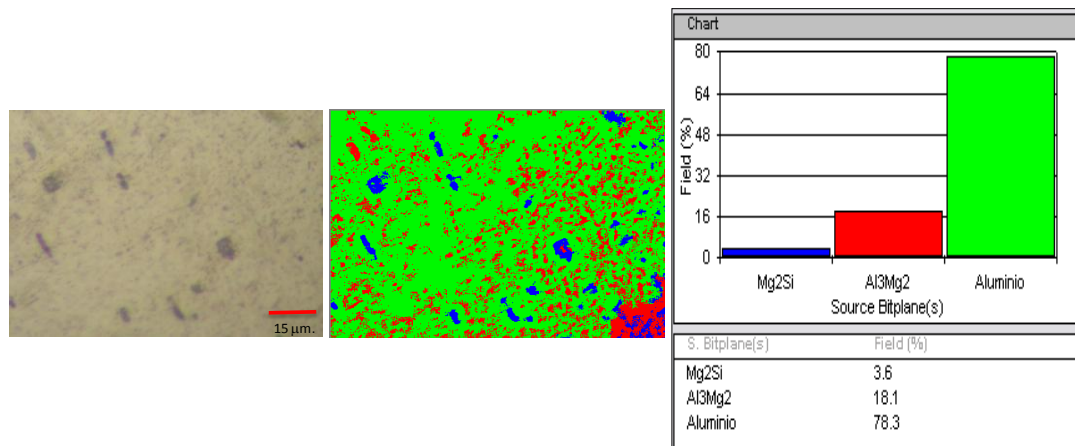
**Figura 6.4** Porcentaje de micro constituyentes presentes en la ZAC de la probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.

(Fuente: Autor)

Los puntos a resaltar en el análisis de esta microestructura, figura 6.4 son:

- El contenido de  $Mg_2Si$  se encuentra alrededor del 4.1% distribuido aleatoriamente en precipitados de tamaño mediano en toda la matriz de la microestructura de la zona afectada por el calor ZAC
- Las partículas dispersas de  $Al_3Mg_2$  están en el orden del 16.5% y no forman una red continua.

**c. Porcentaje de micro constituyentes presentes en el material base**



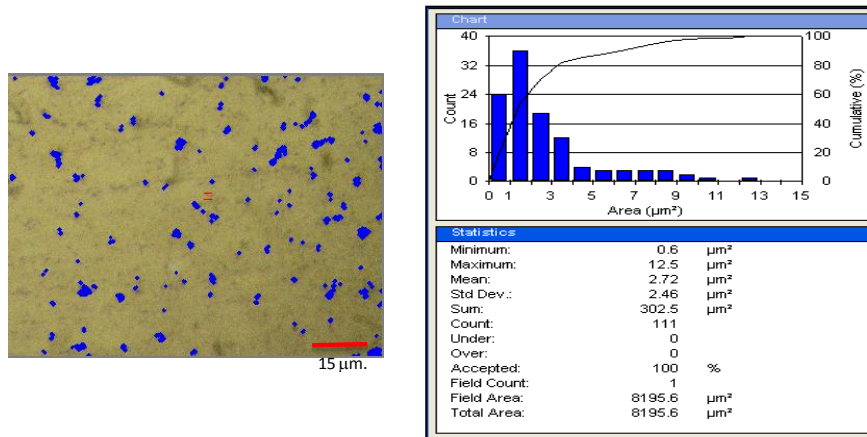
**Figura 6.5** Porcentaje de micro constituyentes presentes en el material base de la probeta de aluminio 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.

(Fuente: Autor)

Los puntos a resaltar en el análisis de esta microestructura, figura 6.5 son:

- El contenido de  $Mg_2Si$  se encuentra alrededor del 3.6% distribuido aleatoriamente en precipitados de tamaño grande en toda la matriz de la microestructura del material base.
- Las partículas dispersas de  $Al_3Mg_2$  están en el orden del 18.1% y no forman una red continua.

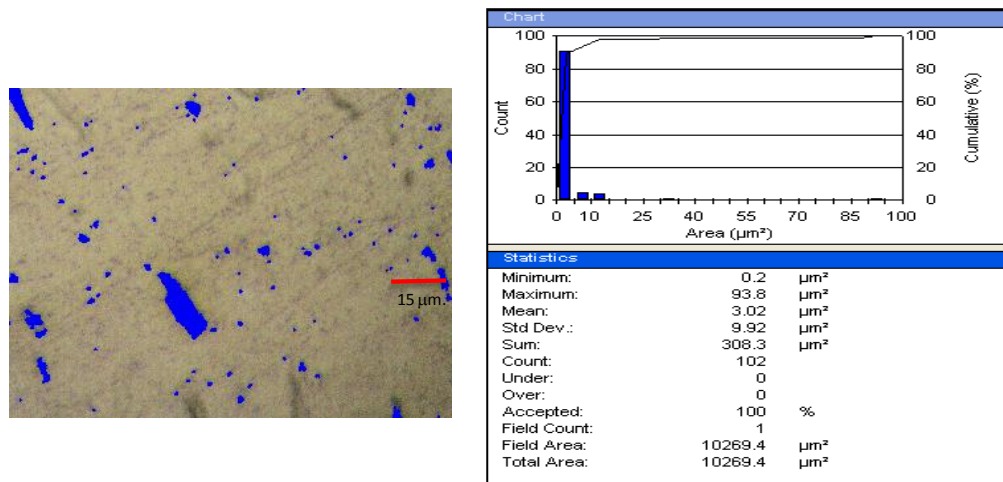
d. Cálculo del tamaño de precipitados de  $Mg_2Si$  presentes en el cordón de soldadura



**Figura 6.6** Tamaño y cantidad de Precipitados de  $Mg_2Si$  presentes en el cordón de soldadura de la probeta de Al. 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.

(Fuente: Autor)

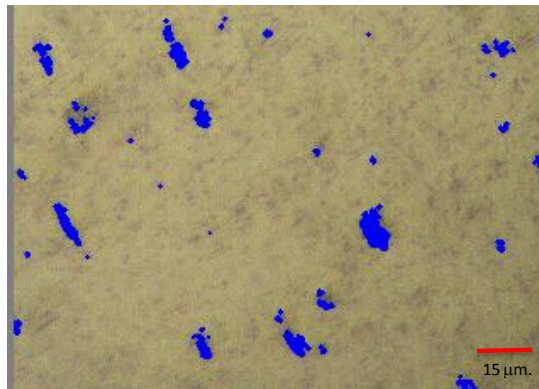
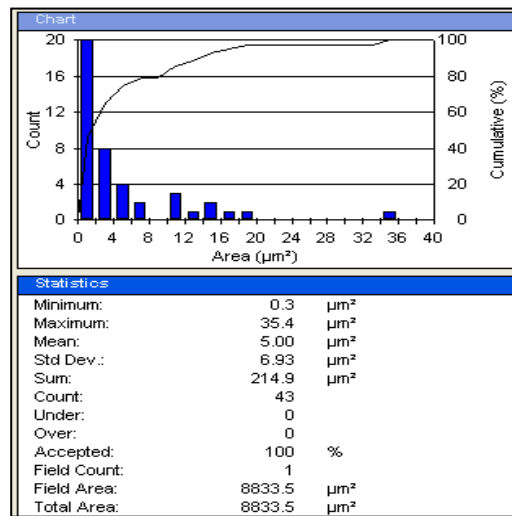
e. Cálculo del tamaño de precipitados de  $Mg_2Si$  presentes en la ZAC



**Figura 6.7** Tamaño y cantidad de Precipitados de  $Mg_2Si$  presentes en la ZAC de la probeta de Al. 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.

(Fuente: Autor)

f. Cálculo del tamaño de precipitados de  $Mg_2Si$  presentes en el metal base





**Figura 6.8** Tamaño y cantidad de Precipitados de  $Mg_2Si$  presentes en el material base de la probeta de Al. 5086 H-116 soldada con un amperaje de 148 Amp.

(Fuente: Autor)

En la figura 6.6, se observa que los precipitados de  $Mg_2Si$  en el cordón de soldadura, tienen un tamaño promedio de  $2.72 \mu m^2$  y se encuentran en una cantidad de 111 partículas, a medida que se alejan del mismo el tamaño empieza a crecer es así que en la ZAC figura 6.7 (12 mm. desde el centro del cordón de soldadura), el tamaño es de  $3.02 \mu m^2$  y se tiene una cantidad de 102 partículas, ya en el metal base sin afectación figura 6.8 (30 mm desde el centro del cordón de soldadura), el tamaño es de  $5.00 \mu m^2$  y se tiene una cantidad de 43 partículas.

## 6.7. METODOLOGÍA

### 6.7.1. SOLDADURA DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116

	<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Procedimiento de soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 soldada mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp.</b></p>		
<p><b>1. OBJETIVO</b></p> <p>Establecer todas las acciones necesarias a seguir para realizar una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp.</p> <p><b>2. ALCANCE</b></p> <p>Este procedimiento esta desarrollado para la obtención de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 que será realizada por un soldador calificado y bajo la supervisión de un inspector de soldadura.</p> <p><b>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</b></p> <p>El desarrollo del presente procedimiento tiene como base lo investigado en el marco teórico del capítulo II y por otra parte la norma AWS D 1.2 (Anexo A.4) que hace referencia a la calificación de procedimientos de soldadura en aleaciones de aluminio.</p> <p><b>4. GENERALIZACIÓN</b></p> <p>El aluminio y sus aleaciones a nivel industrial se han convertido en el candidato ideal para sustituir al acero, esto en gran medida por su baja densidad, pero muchos son los inconvenientes que este cambio conlleva, uno de ellos y quizá el más importante es que a pesar de existir aleaciones que tienen muy buena</p>			
	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento de soldadura a tope de la  
aleación de aluminio 5086 H-116 soldada  
mediante proceso GMAW usando un  
amperaje de 148 Amp.**

soldabilidad como es el caso de la 5086 H-116, sino se sigue un procedimiento de soldadura adecuado y aplicando un amperaje óptimo, los resultados al momento de realizar la respectiva calificación de la soldadura son sin lugar a dudas decepcionantes.

Por tal motivo este procedimiento describirá los pasos a seguir al realizar soldaduras a tope de aleaciones de aluminio 5086 H-116, mediante proceso GMAW aplicando un amperaje de 148 Amp. y así lograr las mejores propiedades mecánicas, en el cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor.

## **5. REALIZACIÓN**

Para la ejecución de este tipo de soldaduras es de vital importancia no omitir ninguno de los siguientes pasos:

- Identificar los parámetros de diseño y ejecución de la junta.
- Corte de los especímenes de prueba
- Preparación y limpieza de los bordes
- Ensamble de la junta y evaluación.

### **5.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y EJECUCIÓN DE LA JUNTA**

Dentro de los parámetros a revisar antes de ejecutar la soldadura están:

- a. Material de aporte ER 5356
- b. Voltaje que para este caso es de 25 Volt.

	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013

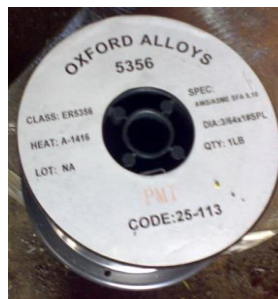


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento de soldadura a tope de la  
aleación de aluminio 5086 H-116 soldada  
mediante proceso GMAW usando un  
amperaje de 148 Amp.**

- c. Gas de Protección será Argón
- d. Flujo de argón comprobar que sea 40 cfh.
- e. Velocidad de alimentación del alambre 360ipm (pulgadas por minuto)
- f. Amperaje es 148 Amp.



**Figura 6.9** Material de aporte 5356

(Fuente: Autor)

## 5.2. CORTE DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA

Después de identificar el material, y analizar sus características, se debe trazar el material acorde a las dimensiones que va a poseer la probeta, para así proseguir al corte, en este caso fue mediante cizalla.



**Figura 6.10** Corte de probetas

(Fuente: Autor)

	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento de soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 soldada mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp.**

### 5.3. PREPARACIÓN Y LIMPIEZA DE LOS BORDES

Es clave en el procedimiento de la soldadura, preparar los bordes de la pieza acorde al diseño y tipo de junta, además se debe retirar o remover impurezas o contaminantes tales como grasas, aceites entre otros. Es importante realizar esta limpieza con gratas de acero inoxidable.



**Figura 6.11** Preparación de bordes para soldadura

(Fuente: Autor)

### 5.4. ENSAMBLE DE LA JUNTA

Para el ensamble de juntas a tope se debe tener en cuenta que ésta debe estar alineada para que la unión sea uniforme, por lo que se recomienda la utilización de elementos de separación como se indica en la figura 6.12.

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento de soldadura a tope de la  
aleación de aluminio 5086 H-116 soldada  
mediante proceso GMAW usando un  
amperaje de 148 Amp.**



**Figura 6.12** Preparación de la junta

(Fuente: Autor)

Para obtener una soldadura de mejor calidad es aconsejable puntear placas de inicio y final como se indica en la figura 6.13



**Figura 6.13** Placas para arranque y finalización del cordón de soldadura

(Fuente: Autor)

	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento de soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 soldada mediante proceso GMAW usando un amperaje de 148 Amp.**

Es indispensable realizar inspecciones visuales entre cada pase de soldadura como se indica en la figura 6.14.



**Figura 6.14** Inspección visual entre cada pase de soldadura

(Fuente: Autor)



### 5.5. EVALUACIÓN DE LA JUNTA

Una vez soldada la junta se procede a seleccionar los ensayos acordes al tipo de junta. Estas pruebas son diseñadas para evaluar el efecto de las técnicas de soldadura y la compatibilidad de los metales base y metales de aporte.

Como primer paso dentro de esta evaluación, se tiene la determinación de todos los ensayos requeridos los cuales están acorde a AWS D 1.2, los mismos que se desarrollarán en procedimientos individuales.

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013

## 6.7.2. PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR EL ENSAYO DE TRACCIÓN

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p style="text-align: center;"><b>Procedimiento para efectuar el ensayo a tracción de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.</b></p>		
<p><b>1. OBJETIVO</b></p> <p>Establecer todas las Propiedades Mecánicas relacionadas con el ensayo de tracción, en una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW.</p> <p><b>2. ALCANCE</b></p> <p>Este procedimiento aplica para realizar el ensayo de Tracción en probetas soldadas de aleación de aluminio 5086 H-116, realizadas mediante proceso GMAW utilizando como material de aporte alambre ER 5356 aplicando un amperaje de 148 Amp.</p> <p><b>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</b></p> <p>El desarrollo del presente procedimiento tiene como base lo investigado en el marco teórico del capítulo II y por otra parte las normas AWS D 1.2, ASTM E 111:04 y ASTM B557 (anexo A.5) que hace referencia a la calificación de procedimientos de soldadura en aleaciones de aluminio, Determinación de Módulo Elasticidad o de Young y Ensayo de Tracción respectivamente.</p> <p><b>4. GENERALIZACIÓN</b></p> <p>Mediante este ensayo se logra determinar de un manera rápida y eficaz las principales propiedades mecánicas de una soldadura de aleación de aluminio,</p>			
	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para efectuar el ensayo a tracción de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

entre las propiedades a encontrarse se tiene: Esfuerzo último a la tracción (Sut), Esfuerzo a cedencia (Sy), porcentaje de elongación (%Elong), porcentaje de reducción de área (%RA) y Módulo de Elasticidad (E).

**5. REALIZACIÓN.**

Para realizar el ensayo de tracción de la probeta se procede a realizar los siguientes pasos:

- Preparación de probetas.
- Ensayo Mecánico de Tracción.
- Evaluación de Resultado.

**5.1 PREPARACIÓN DE PROBETAS**

**5.5.1. INSPECCIÓN DE PROBETAS**

Las probetas que fueron previamente soldadas siguiendo el WPS correspondiente (anexo A.6) deben ser inspeccionadas, marcadas e identificadas.



**Figura 6.15** Marcado e inspección de probetas soldadas de aluminio 5086 H-116.

(Fuente: Autor)

	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



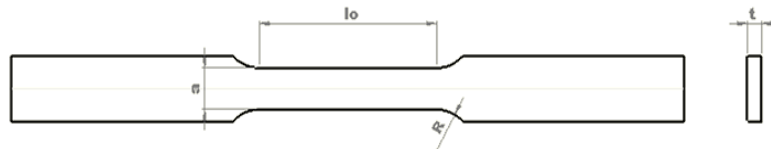
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
 CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo a tracción de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

### 5.5.2. MAQUINADO DE PROBETAS

Como siguiente paso se tiene el maquinado de las probetas soldadas para lo cual se debe seguir lo que indica la norma ASTM B557 (anexo A.5) y AWS D 1.2 (anexo A.4).



**Figura 6.16** Dimensiones de la Probeta para ensayo de tracción

(Fuente: Autor)

El maquinado de las probetas se lleva a cabo mediante la ayuda de una fresadora en la que se debe tener refrigeración constante.



**Figura 6.17** Maquinado de Probetas para ensayo de tracción

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para efectuar el ensayo a tracción de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

Como último paso se tiene la verificación de medidas de cada una de las probetas maquinadas.



**Figura 6.18** Verificación de medidas en Probetas para ensayo de tracción  
(Fuente: Autor)

## 5.2 ENSAYO MECÁNICO DE TRACCIÓN

Para la realización de este ensayo se utilizará la máquina universal que se indica a continuación



**Figura 6.19** Máquina Universal  
(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo a tracción de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

Sujetar perfectamente la probeta con las mordazas.

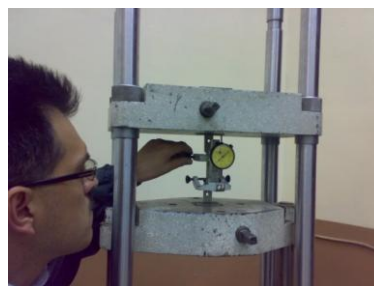
Instalar correctamente el deformímetro (longitud 50,8 mm) y proceder simultáneamente a encerarlo.



**Figura 6.20** Instalación de probeta y deformímetro

(Fuente: Autor)

Aplicar la carga a las probetas y tomar las deformaciones correspondientes.



**Figura 6.21** Toma de mediciones de carga y deformación

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



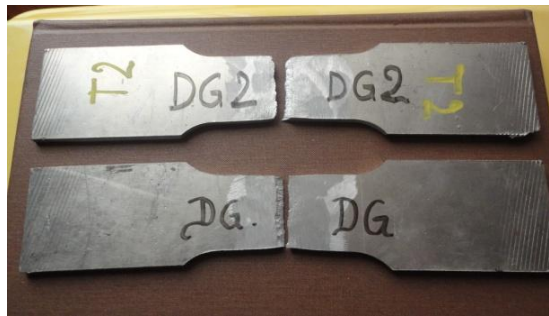


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
 CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo a tracción de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

Descargar la máquina y retirar la probeta ya fracturada.



**Figura 6.22** Probetas fracturadas

(Fuente: Autor)

### 5.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Tomar medidas de ancho largo y espesor de la probeta ensayada.



**Figura 6.23** Medición de probetas

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



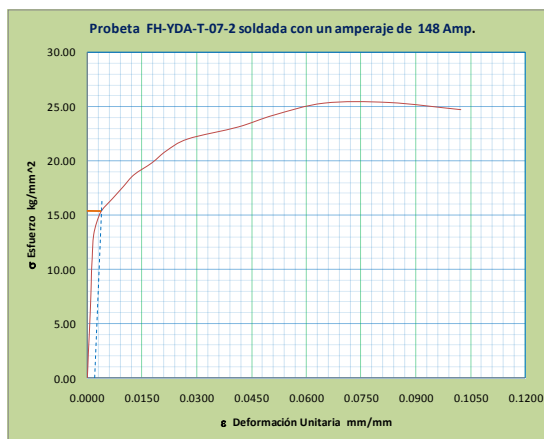
**Procedimiento para efectuar el ensayo a tracción de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

Todas las medias y valores obtenidos en el ensayo se tabulan en la tabla 6.5

Tabla 6.5. Resultados del ensayo de tracción obtenidos en las probetas de aluminio 5086 H-116 soldadas mediante proceso GMAW con un amperaje de 148A.

Prop. Mec. Denominación	Sut (Kg/mm <sup>2</sup> )	Sy (Kg/mm <sup>2</sup> )	% de Elong.	% de red Área	Mod. Elast. (Kg/mm <sup>2</sup> )
FH-YDA-T-07-1	25,8	15,2	10,7	22,1	7883
FH-YDA-T-07-2	25,4	15,4	10,8	21,9	7823
FH-YDA-T-07-3	24,7	13,2	11,2	20,2	7811
<b>Promedio</b>	<b>25,3</b>	<b>14,6</b>	<b>10,9</b>	<b>21,4</b>	<b>7839,0</b>

(Fuente: Autor)





**Figura 6.24** Gráfica esfuerzo vs. Deformación.

(Fuente: Autor)

	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013

### 6.7.3. PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR EL ENSAYO DE DUREZA

	<p style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </p> <p style="text-align: center;"> <b>Procedimiento para efectuar el ensayo de Dureza de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.</b> </p>		
<p><b>1. OBJETIVO</b></p> <p>Determinar la dureza en el cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor ZAC de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW.</p> <p><b>2. ALCANCE</b></p> <p>Este procedimiento aplica para realizar el ensayo de dureza en probetas soldadas de aleación de aluminio 5086 H-116, realizadas mediante proceso GMAW utilizando como material de aporte alambre ER 5356, aplicando un amperaje de 148 Amp.</p> <p><b>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</b></p> <p>El desarrollo del presente procedimiento tiene como base lo investigado en el marco teórico y por otra parte la norma ASTM E 10-01 (anexo A.7) que hace referencia a la Determinación la dureza Brinell en materiales metálicos.</p> <p><b>4. GENERALIZACIÓN</b></p> <p>Este ensayo consiste en medir la penetración que tiene un indentador de diámetro 2,5 mm al aplicar una carga de 62,5 kgf, en el cordón de soldadura y en la ZAC de una soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116, este valor de penetración luego de los cálculos correspondientes entrega el valor de dureza.</p>			
	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para efectuar el ensayo de Dureza de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.

## 5. REALIZACIÓN

Para realizar el ensayo de dureza de la probeta se procede a realizar los siguientes pasos:

- Preparación de probetas.
- Realización de Ensayo de Dureza
- Evaluación de Resultado.

### 5.1 PREPARACIÓN DE PROBETAS

#### 5.1.1 CORTE DE PROBETAS

Las probetas que fueron previamente soldadas siguiendo el WPS correspondiente (anexo A.6) deben ser inspeccionadas, marcadas, cortadas e identificadas.



**Figura 6.25** Corte de probetas soldadas de aluminio 5086 H-116.

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo de Dureza de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

### 5.1.2 PULIDO DE PROBETAS

Pulir la probeta por los dos lados hasta obtener una superficie plana libre de rayas y siempre con lubricación constante.



**Figura 6.26** Pulido de la Probeta para ensayo de Dureza

(Fuente: Autor)

### 5.2 REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE DUREZA

Realizar la calibración del equipo utilizar bloque de calibración para carga de 62,5 kgf y diámetro de indentación 2,5 mm.



**Figura 6.27** Calibración de durómetro.

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo de Dureza de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

Ubicar la probeta en el centro del durómetro y aplicar la carga (62,5 kgf).



**Figura 6.28** Aplicación de carga en el durómetro

(Fuente: Autor)

Medir el tamaño de la huella dejada luego de la aplicación de la carga



**Figura 6.29** Medición de huellas dejadas por el durómetro

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
 CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo de Dureza de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

Realizar las medidas de dureza en 0mm, 3mm, 7mm, 14mm, 21 mm, 28 mm y 35 mm (medidas tomadas desde el centro del cordón de soldadura.)



**Figura 6.30** Huellas para determinar la dureza.

(Fuente: Autor)

### 5.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Luego de realizada la tabulación de resultados se obtiene la gráfica que se indica en la figura 6.31 en la misma se puede observar como la mínima dureza se tiene en el centro del cordón de soldadura y empieza a aumentar a medida que se aleja del centro.





**Figura 6.31** Curva de dureza en función de la distancia

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013

## 6.7.4. PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR EL ENSAYO DE METALOGRAFÍA

	<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Procedimiento para efectuar el ensayo de Metalografía de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.</b></p>		
<p><b>1. OBJETIVO</b></p> <p>Determinar los cambios microestructurales en el cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor (ZAC), de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW.</p> <p><b>2. ALCANCE</b></p> <p>Este procedimiento aplica para determinar los cambios microestructurales en probetas soldadas de aleación de aluminio 5086 H-116, realizadas mediante proceso GMAW utilizando como material de aporte alambre ER 5356 aplicando un amperaje de 148 Amp.</p> <p><b>3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</b></p> <p>El desarrollo del presente procedimiento tiene como base lo investigado en el marco teórico del capítulo II y por otra parte las normas ASTM E3-11 (Anexo A.8) y ASTM E407-07 (Anexo A.9), que hace referencia a la preparación de muestras para análisis metalográfico y análisis metalográfico para aleaciones de aluminio respectivamente.</p> <p><b>4. GENERALIZACIÓN</b></p> <p>Mediante este ensayo se logra determinar la variación de las microestructuras en el cordón de soldadura y la zona afectada por el calor y la influencia de las mismas en las propiedades mecánicas.</p>			
	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para efectuar el ensayo de Metalografía de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

## 5. REALIZACIÓN

Para realizar el ensayo metalográfico de la probeta se procede a realizar los siguientes pasos:

- Preparación de probeta.
- Realización del Ensayo metalográfico.
- Evaluación de Resultados.

### 5.1 PREPARACIÓN DE PROBETAS

#### 5.1.1 CORTE DE PROBETAS

Las probetas que fueron previamente soldadas siguiendo el WPS correspondiente (anexo A.6) deben ser inspeccionadas, marcadas, cortadas e identificadas.



**Figura 6.32** Corte de probetas para ensayo Metalográfico.

(Fuente: Autor)

	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para efectuar el ensayo de Metalografía de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.

### 5.1.2 RECTIFICADO SUPERFICIAL DE PROBETAS

Rectificar la superficie de análisis y la cara contraria a esta superficie, esto se lo realizó con ayuda de una fresadora, con abundante lubricación.



**Figura 6.33** Rectificado de superficie para ensayo Metalográfico  
(Fuente: Autor)

### 5.1.3 DESBASTE GRUESO PROBETAS

Desbastar las probetas mediante uso de lijas gruesas #60, 80 y 100



**Figura 6.34** Desbaste grueso para ensayo Metalográfico  
(Fuente: Autor)

### 5.1.4 DESBASTE FINO PROBETAS

Desbastar las probetas mediante uso de lijas finas #240, 400 y 600, evitar en todo momento elevar temperatura de las mismas.

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo de Metalografía de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**



**Figura 6.35** Desbaste fino para ensayo Metalográfico

(Fuente: Autor)

### 5.1.5 PULIDO FINAL DE PROBETAS

Pulir las probetas con ayuda de una pulidora de discos con paños, la misma debe girar a 170 rpm para optimizar la operación, utilizar como abrasivo alúmina de 0,05 – 0,3 micras de tamaño promedio en suspensión en agua.



**Figura 6.36** Pulido de probetas para ensayo Metalográfico

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



Procedimiento para efectuar el ensayo de Metalografía de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.

## 5.2 REALIZACIÓN DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

### 5.2.1 ATAQUE QUÍMICO

Una vez obtenida la superficie totalmente pulida se procede a realizar el ataque químico para lo cual se utiliza el reactivo de KELLER.



5 ml  $\text{HNO}_3$   
2 ml HF  
3 ml HCl  
190 ml agua destilada

Figura 6.37 Composición reactivo de Keller

(Fuente: Autor)

El ataque se realiza por un tiempo de 20 segundos luego de lo cual se enjuaga la probeta con agua.



Figura 6.38 Ataque químico de probetas soldadas de aluminio 5086 H-116

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
 CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**Procedimiento para efectuar el ensayo de Metalografía de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

### 5.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Ubicar las probetas atacadas químicamente bajo el microscopio y proceder a visualizar las microestructuras



**Figura 6.39** Ubicación de probetas en el microscopio

(Fuente: Autor)

Determinar el porcentaje de cada elemento constituyente de la microestructura y se procede a calcular el tamaño de las partículas de  $Mg_2Si$ .



**Figura 6.40** Determinación de micro-constituyentes

(Fuente: Autor)

	Registrado por	Revisado por	Aprobado por
NAME/Nombre:	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
POSITION/Cargo:	Investigador	Investigador	Director de Tesis
DATE/Fecha:	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013

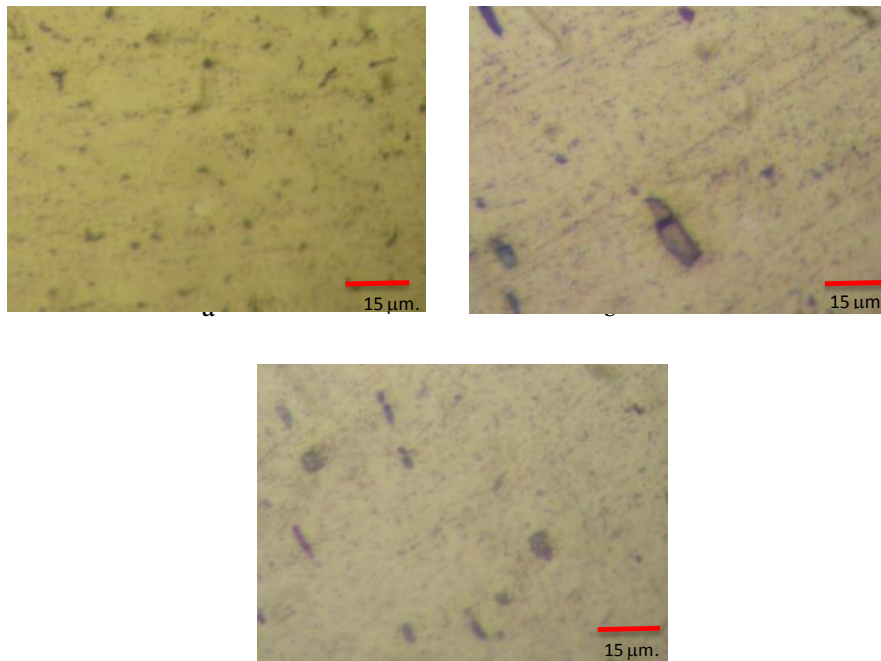


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**Procedimiento para efectuar el ensayo de Metalografía de una soldadura a tope de la aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148 Amp.**

Las imágenes obtenidas para el cordón de soldadura, la zona afectada por el calor y la zona sin afectación se indican a continuación.



**Figura 6.41** Microestructura de la soldadura de aleación de aluminio 5086 H-116 ejecutada mediante proceso GMAW a un amperaje de 148Amp. a) Cordón de soldadura. b) Zona afectada por el calor ZAC. c) Metal base sin afectación.

(Fuente: Autor)

	<b>Registrado por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
<b>NAME/Nombre:</b>	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Fredy Hidalgo	Ing. Mg. Raúl Cabrera
<b>POSITION/Cargo:</b>	Investigador	Investigador	Director de Tesis
<b>DATE/Fecha:</b>	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013	Junio 30, 2013

## 6.8. ADMINISTRACIÓN

En la tabla 6,6 se visualiza el análisis económico de la propuesta, en donde se detallan los costos de los materiales y recursos utilizados.

**Tabla 6.6** Resumen de costos de la investigación

Item	Rubro	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
<b>1</b>	<b>Materiales</b>				
1.1	Plancha de Aluminio 5086 H-116	kg	58	\$ 14	\$ 812
				Subtotal 1	\$ 812
<b>2</b>	<b>Consumibles</b>				
2.1	Alambre ER5356	kg	4	\$ 14	\$ 56
2.2	Argón	m <sup>3</sup>	10	\$ 25	\$ 250
2.3	Gratas de Inoxidable	u	2	\$ 30	\$ 60
2.4	Sierra	u	4	\$ 10	\$ 40
2.5	Reactivo de Keller (frasco)	u	1	\$ 40	\$ 40
2.6	Pliegos de lija #80 a #600	u	15	\$ 0,6	\$ 9
2.7	Alúmina	kg	0,25	\$ 400,0	\$ 100
2.8	Tapones Auditivos	u	1	\$ 4,0	\$ 4
2.9	Mascarillas	u	1,5	\$ 10,0	\$ 15
				Subtotal 2	\$ 574
<b>3</b>	<b>Maquinaria</b>				
3.1	Fresadora	h	50	\$ 8,0	\$ 400
3.2	Soldadora	h	25	\$ 5,0	\$ 125
3.3	Maquinaria para Ensayos	h	90	\$ 10,0	\$ 900
3.4	Cizalla	h	2	\$ 25,0	\$ 50
3.5	Amoladora	h	25	\$ 1,0	\$ 25
				Subtotal 3	\$ 1.500
<b>4</b>	<b>Recurso Humano</b>				
4.1	Investigador	u	1	\$ 500,0	\$ 500
4.2	Tutor	u	1	\$ 300,0	\$ 300
4.3	Soldador 3G	h	25	\$ 12,0	\$ 300
4.4	Fresador	h	50	\$ 5,0	\$ 250
				Subtotal 4	\$ 1.350
<b>5</b>	<b>Varios</b>				
5.1	Materiales de oficina	u	1	\$ 300	\$ 300
5.2	Internet	u	1	\$ 120	\$ 120
5.3	Transcripciones	u	3	\$ 50	\$ 150
5.4	Viáticos	u	1	\$ 400	\$ 400
				Subtotal 5	\$ 970
				<b>Total</b>	<b>\$ 5.206,00</b>

(Fuente: Autor)

## **6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

Luego de concluido el presente trabajo de investigación se ha podido determinar que al realizar la soldadura a tope de la aleación de Aluminio 5086 H-116 mediante proceso GMAW con un amperaje de 148 Amp. se logra alcanzar las mejores propiedades mecánicas tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada por el calor ZAC.

Es importante destacar que esta investigación se convierte en una contribución directa al área de materiales, ya que al poder visualizar de una forma clara como varían las propiedades mecánicas en el cordón de soldadura y en la zona afectada por el calor ZAC al efectuar la soldadura en una aleación de este tipo, ayudará a todas aquellas industrias que se dedican a la construcción de equipos a utilizar la misma pero ya con un conociendo de las ventajas y limitaciones que la misma presenta.

Otra consideración importante a tomar en cuenta es que esta investigación servirá como base para poder efectuar otras investigaciones como por ejemplo obtener los parámetros óptimos para automatizar el proceso de soldadura de aleaciones de aluminio.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1].- ADAMS, Brent L. et al. (2004). Metallography and microstructures 2004. ASM International.
- [2].- ALSHULLER, Alcan. et al. (1997). Welding Aluminum Theory and Practice. Third Edition. The Aluminum Association, Inc.
- [3].- ALTAMIRANO, Gerardo. (2009). Optimización del cordón en una soldadura de filete de una aleación de aluminio para aplicaciones automotrices. UMSNH. México.
- [4].- ANDERSON, Tony. (2001). Soldadura de aluminio en la industria del automóvil. AlcoTec Wire Corporation. USA
- [5].- CALLISTER, William. (2005). Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales. Editorial Reverte.
- [6].- CAMINO, Jeaqueline. (2005). Manual de elaboración del perfil del proyecto y estructura del informe final de investigación. Biblioteca FICM aprobado por HCU.
- [7].- GERE, James M. / TIMOSHENCKO, Stephen P. (1984). 2<sup>da</sup> Edición. Mecánica de materiales. Grupo Editorial Iberoamérica.
- [8].- HERRERA, Luis. MEDINA, Arnaldo. NARANJO, Galo. (2008). Tutoría de la Investigación Científica. Empresdame gráficas Cía Ltda. Quito.
- [9].- HINRICHS, J.F. NORUK, J.S. MCDONALD, WM. HEIDEMAN, R.J. (1995). Desafíos de soldaduras en aleaciones de aluminio para estructuras de automóviles.

[10].- LAMET. BAILEY, Jhon et al. (2000). Mechanical Testing and Evaluation. ASM International.

[11].- LARSSON, Lars-Ola. PALMQUIST, Niclas. (2000). Soldadura de aluminio de alta calidad una factor clave en el futuro de la producción de cuerpos de automóviles. Volvo Car.

[12].- LINCOLN, James. (2000). The Procedure Handbook of arc welding. Fourteenth edition.

[13].- MATHERS, Gene. (2002). The Welding of Aluminium and its alloys. 1<sup>th</sup> edition. Woodhead Publishing limited.

[14].- MENESES NUNES, Rafael et al. (1993). Welding Brazing and soldering. 10<sup>th</sup> edition. ASM International.

[15].- NUNES, Rafael et al. (1992). Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. 10th edition. ASM International.

[16].- SHIGLEY, Joseph & Mischke, Charles R. (2006). Mechanical Engineering Desing. Eighth edition. Budynas-Nisbett. Mc. Graw-Hill.

[17].- PASTOR, Mario. (2004). Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

[18].- ZARGHAM, Stephen et al. (1995). Specifications for Containers for Motor Vehicle Transportation. DOT. e-CRF editorial.

[19].- ZEHNDER, Jürg. PRITZLAFF, Reinhard. LUNDBERG, Steinar. y GILMONT, Bernard. (2011). Aluminium in commercial vehicles. European Aluminium Association.

# **ANEXOS**

## ANEXO A.1

### HOJA DE DATOS MATERIAL DE APORTE ER 5356



### Aluminum TIG & MIG Wire

---

---

#### Oxford Alloy® 5356

**SPECIFICATIONS**

AWS A5.10  
ASME SFA 5.10

**CLASSIFICATIONS**

AWS ER5356  
UNS A95356

**DESCRIPTION / APPLICATION**

Oxford Alloy 5356 is a 5% magnesium aluminum filler metal. The weld deposit of this filler metal offers good corrosion resistance when exposed to salt water. This alloy is commonly used on base metals 5050, 5052, 5083, 5356, 5454 and 5456. The post-anodizing color tint of the weld area is white.

AWS Chemical Composition						
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
0.25 max	0.40 max	0.10 max	0.05- 0.20	4.5- 5.5	0.05- 0.20	0.10 max
Ti	Al	OEE	OET			
0.06- 0.20	Bal	0.05 max	0.15 max			

**TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES**

Tensile strength: 39,005 psi 269 MPa  
Yield strength: 19,140 psi 132 MPa  
Elongation: 17%

---

---

Please contact our sales department for more information at 800-562-3355 or 225-273-4800.

(Fuente: Catálogo para selección de alambres de aporte oxfordalloys, ER5356)

## ANEXO A.2

### HOJA DE DATOS ALEACIÓN DE ALUMINIO 5086 H-116

Novelis Inc.

**CERTIFICATION OF PROPERTIES AND  
CHEMICAL ANALYSIS**

KINGSTON, ONTORIO, CANADA K7L4Z5

**SOLD TO**

INRIOCH S.A.

**SHIP TO**

INRIOCH S.A.

**GASTON**

SC

**PRINT DATE**

29053

2012/03/06

**CUST PO:**

1763-ATL

**CUST PART #**

**SALES ORDER:** 86600312-0010

**LOAD:**

GB39

**PACK:** 524130

**COIL:**

L30398

**NET WT:**

17659 Lbs

**ALLOY:**

5086

**TEMPER:** H116

**GAUGE:**

0,1900 in

**WIDTH:**

60,000 in

**MECHANICAL SPECIFICATIONS:**

ASTM B928

**GAUGE LENGTH = 2 in.**

<u>Location: FRONT END</u>		<u>UOM</u>	<u>TEMPER</u>	<u>TEST DATE</u>
UTS	L=50,9	ksi	H116	24-FEB-2012
YTS	L=37,6	ksi	H116	24-FEB-2012
Elongation	L=13	%	H116	24-FEB-2012
Tensile Thickness	L=0,1840	in	H116	24-FEB-2012
NALMT	2,4	mg/cm <sup>2</sup>	H116	02-MAR-2012

<u>Location: BACK END</u>		<u>UOM</u>	<u>TEMPER</u>	<u>TEST DATE</u>
UTS	L=49,9	ksi	H116	24-FEB-2012
YTS	L=35,6	ksi	H116	24-FEB-2012
Elongation	L=15	%	H116	24-FEB-2012
Tensile Thickness	L=0,1836	in	H116	24-FEB-2012
NALMT	2,3	mg/cm <sup>2</sup>	H116	02-MAR-2012

**SPECIAL NOTES**

This product meets the chemical composition and the mechanical properties requirements of 5083 H116 as well as 5086 H116.

**Chemistry**

\*\*\*\*\*LAYER : 01 \*\*\*\*\*

Al 95.0393 Si 0.2100 Cu 0.0200 Mn 0.3600 Mg 4.0400 Cr 0.0800 Ni 0.0000 Zn 0.0100

Ti 0.0100 Be 0.0001 Pb 0.0003

EACH: 0.0003 TOTAL: 0.0007

Country of melt: CANADA

**This certificate was created electronically and is valid without signature**

(Fuente: Certificado de calidad Novelis Inc. Kinstong, Ontorio Canada.)

## ANEXO A.3

### RESUMEN DE LA NORMA ASTM E 111-04 Standard test Method for Young Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus 1



Designation: E111 – 04 (Reapproved 2010)

#### Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E111; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope

1.1 This test method<sup>2</sup> covers the determination of Young's modulus, tangent modulus, and chord modulus of structural materials. This test method is limited to materials in which and to temperatures and stresses at which creep is negligible compared to the strain produced immediately upon loading and to elastic behavior.

1.2 Because of experimental problems associated with the establishment of the origin of the stress-strain curve described in 8.1, the determination of the initial tangent modulus (that is, the slope of the stress-strain curve at the origin) and the secant modulus are outside the scope of this test method.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory requirements prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>3</sup>

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

E9 Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature

E21 Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E231 Method for Static Determination of Young's Modulus of Metals at Low and Elevated Temperatures<sup>4</sup>

E1012 Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application

2.2 *General Considerations*—While certain portions of the standards and practices listed are applicable and should be referred to, the precision required in this test method is higher than that required in general testing.

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions:

3.1.1 *accuracy*—the degree of agreement between an accepted standard value of Young's modulus (the average of many observations made according to this method, preferably by many observers) and the value determined.

3.1.1.1 Increased accuracy is associated with decreased bias relative to the accepted standard value; two methods with equal bias relative to the accepted standard value have equal accuracy even if one method is more precise than the other. See also *bias* and *precision*.

3.1.1.2 The accepted standard value is the value of Young's modulus for the statistical universe being sampled using this method. When an accepted standard value is not available, accuracy cannot be established.

3.1.2 *bias, statistical*—a constant or systematic error in test results.

3.1.2.1 Bias can exist between the accepted standard value and a test result obtained from this test method, or between two test results obtained from this test method, for example, between operators or between laboratories.

3.1.3 *precision*—the degree of mutual agreement among individual measurements made under prescribed like conditions.

<sup>4</sup> Withdrawn. Last approved version of this historical standard is referenced on [www.astm.org](http://www.astm.org).

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved Sept. 15, 2010. Published January 2011. Originally approved in 1955. Last previous edition approved in 2004 as E111 – 04. DOI: 10.1520/E0111-04R10

<sup>2</sup> This test method is a revision of E111 – 61 (1978), "Young's Modulus at Room Temperature" and includes appropriate requirements of E231 – 69 (1975), "Static Determination of Young's Modulus of Metals at Low and Elevated Temperatures," to permit the eventual withdrawal of the latter method. Method E231 is under the jurisdiction of ASTM-ASME Joint Committee on Effect of Temperature on the Properties of Metals.

<sup>3</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

can be used to determine the modulus, before straining the specimen into the plastic range to determine yield and tensile strengths.

**8.6 Temperature Control**—The average temperature over the specimen gage length shall not deviate from the indicated nominal test temperature by more than  $\pm 2^\circ\text{C}$ . In elevated-temperature tests, indicated temperature variations along the gage length of the specimen shall not exceed the following limits: up to and including  $900 \pm 1.5^\circ\text{C}$ , above  $900 \pm 3.0^\circ\text{C}$ . (See 6.5.) The test must be performed with the same setup and under similar conditions as those of the instrumented test described in 6.5.

**NOTE 9**—The terms “indicated nominal temperature” or “indicated temperature” mean the temperature that is indicated by the temperature-measuring device using good pyrometric practice.<sup>5</sup>

**NOTE 10**—It is recognized that actual temperatures may vary more than the indicated temperatures. The use of “indicated temperatures” for the limits of permissible variation in temperature are not to be construed as minimizing the importance of good practice and precise temperature control. All laboratories are obligated to keep the variation of indicated temperature from the actual temperature as small as is practical. Temperature changes during the test, within the allowable limits, can cause significant strain errors due to differences in thermal expansion of the test specimen and extensometer parts. Temperature changes should be minimized while making strain measurements.

**8.7** In low-temperature testing in which the bath is cooled with dry ice or in which a refrigeration system is used, the temperature of the medium around the specimen shall be maintained at temperatures within  $1.5^\circ\text{C}$  of the specified temperature. Bath temperatures or the temperature of circulating air from a refrigeration system may be done with a copper-constantan thermocouple or a suitable thermometer. If the specimen is submerged in a bath at the boiling point of the bath, sufficient soaking time (see Note 6) must be allowed to provide equilibrium conditions. Specimens tested in boiling liquids must meet the temperature control requirements specified in 8.6.

**8.7.1 Caution**—The boiling point of a commercial liquid gas may not be the same as the published temperature for the pure liquid gas.

**8.8 Temperature Measurement**—The method of temperature measurement must be sufficiently sensitive and reliable to ensure that the temperature of the specimen is within the limits specified in 8.6 and 8.7. Thermocouples in conjunction with potentiometers or millivolt meters are generally used to measure temperatures. A discussion of temperature measurement and the use of thermocouples is given in Test Methods E21.

**9. Interpretation of Data**

**9.1** If a plot of load-versus-extension (force versus elongation) is obtained by means of an autographic recorder, the value for Young’s modulus is obtained by determining the slope of the line for forces less than the force corresponding to the proportional limit. Choice of the lower force point depends on the limitations set forth in 8.1. Young’s modulus is calculated from the force increment and corresponding extension incre-

ment, between two points on the line as far apart as possible, by use of the following equation:

$$E = \left(\frac{\Delta_p}{\Delta_c}\right) / \left(\frac{A_o}{L_o}\right) \tag{1}$$

where:

- $\Delta_p$  = force increment,
- $A_o$  = original cross-sectional area,
- $\Delta_c$  = extension increment, and
- $L_o$  = original gage length.

The precision of the value obtained for Young’s modulus will depend upon the precision of each of the values used in the calculation. It is suggested that the report include an estimate of the precision of the reported value of Young’s modulus based on the summation of the precisions of the respective values. When the modulus determination is made at strains in excess of 0.25 %, corrections shall be made for changes in cross-sectional area and gage length by substituting the instantaneous cross section and instantaneous gage length for the original values.

**9.2** If the load-versus-extension data are obtained in numerical form, the errors introduced by plotting the data and fitting graphically a straight line to the experimental points are reduced by determining Young’s modulus as the slope of the straight line fitted to the appropriate data by the method of least squares. This method also permits statistical study of the data and therefore an evaluation of the variability of the modulus within the stress range employed. The equation for Young’s modulus fitted by the method of least squares (all data pairs having equal weight) is:

$$\text{Young's modulus, } E = (\Sigma(XY) - K\bar{X}\bar{Y}) / (\Sigma X^2 - K\bar{X}^2) \tag{2}$$

where:

- $Y$  = applied axial stress, and
- $X$  = corresponding strain.

In terms of the measured load  $P_i$  and measured original cross-sectional area  $A_o$  and gage length  $L_o$ ,

$$X = \frac{\Delta_c}{L_o}$$

$$Y = \frac{\Delta_p}{A_o}$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{K} = \text{average of } Y \text{ values}$$

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{K} = \text{average of } X \text{ value}$$

$K$  = number of  $X, Y$  data pairs and  $\Sigma$  = sum from 1 to  $K$ .

The coefficient of determination,  $r^2$ , indicates the goodness of fit achieved in a single test. This coefficient is defined as follows:

$$r^2 = \left( \left[ \Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{K} \right]^2 \right) / \left( \left[ \Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{K} \right] \left[ \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{K} \right] \right) \tag{3}$$

Values of  $r^2$  close to 1.00 are desirable (see Table 1).

**NOTE 11**—Many programmable calculators have built-in programs for calculating the slopes of straight lines fitted to a number of data pairs and

<sup>5</sup> For further information on temperature control and measurement, see Panel Discussion on Pyrometric Practices, ASTM STP 178, 1955.





## ANEXO A.4

### RESUMEN DE LA NORMA AWS D1.2/D1.2M 2003 Structural Welding Code Aluminum

## Structural Welding Code—Aluminum

### 1. General Requirements

#### 1.1 Scope

This code contains the requirements for fabricating and erecting welded aluminum structures. When this code is stipulated in the contract documents, conformance with all provisions of the code shall be required, except those provisions that the Engineer or contract documents specifically modifies or specifically exempts.

**1.1.1 Limitations.** This code is not intended for specialized fabrication such as pressure vessels or pressure piping.

**1.1.2 Alternate Requirements.** Alternate requirements from those in this code shall be submitted to the Engineer for approval. These requirements shall be based on experience, experimental evidence, or engineering analyses, and shall consider materials, loads, and environment.

#### 1.2 Approval

All references to the need for approval shall be interpreted to mean approval by the Building Commissioner or the Engineer. Hereinafter, the term *Engineer* shall be used, and is to be construed to mean the Building Commissioner or the Engineer.

#### 1.3 Definitions

Welding terms used in this code shall be interpreted in conformance with the latest edition of AWS A3.0, *Standard Welding Terms and Definitions*.

#### 1.4 Welding Symbols

Welding symbols shall conform to the latest edition of AWS A2A, *Symbols for Welding, Brazing, and Non-*

*destructive Examination*. Special conditions shall be explained in notes or details.

#### 1.5 Safety Precautions

**1.5.1** This code may involve hazardous materials, operations, and equipment. The code does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user to establish appropriate safety and health practices. The user should determine the applicability of any regulatory limitations prior to use.

**1.5.2** Safety precautions shall conform to the latest edition of ANSI Z49.1, *Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes*, published by the American Welding Society (see Annex I, Safe Practices).

#### 1.6 Standard Units of Measure

This standard makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units (SI). The measurements may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other without combining in any way. The standard with the designation D1.2:2003 uses U.S. Customary Units. The standard with the designation D1.2M:2003 uses SI units. The latter are shown within brackets.

#### 1.7 Reference Documents

Annex A contains a list of all documents referenced in this code.

## 2. Design of Welded Connections

### 2.0 Scope

This section includes requirements for the design of welded connections. This code addresses two types of structures: (1) statically loaded structures, and (2) cyclically loaded structures, i.e., those structures subjected to cyclic loads of sufficient magnitude and frequency to cause the potential for fatigue failure.

This section recognizes two classes of tubular structures with different workmanship requirements:

Statically loaded tubular structures are Class I structures. Unless otherwise specified, structures of the type identified in *Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaries, and Traffic Signals*, published by the American Association of State Highway and Transportation Officials (Annex A) are Class I structures.

All other tubular structures are Class II structures. Many of the requirements (dimensional and weld quality) are more stringent for Class II structures.

### 2.1 Structural Design

Welds shall be sized for strength requirements using the effective areas defined in Section 2 of this code in conformance with the *Aluminum Design Manual Specification for Aluminum Structures* unless otherwise required by the contract documents.

### 2.2 Drawings

**2.2.1 Drawing Information.** Complete information regarding location, type, size, and extent of all welds shall be shown on the drawings. The drawings shall distinguish between shop and field welds.

**2.2.2 Joint Welding Sequence.** Drawings of those joints or groups of joints in which it is especially important that

the welding sequence and technique be carefully controlled to minimize shrinkage stresses and distortion shall be so noted.

**2.2.3 Weld Size and Length.** Design drawings shall specify the effective weld length and weld size. Shop drawings shall specify the groove depths, "S," applicable for the weld size, "E" specified on the design drawings, taking into account the WPS to be used.

**2.2.4 Groove Welds.** Drawings shall clearly indicate by welding symbols or sketches the details of groove welded joints and the preparation of material required to make them. Material, width, thickness, and contour of backing shall be shown.

**2.2.4.1 Symbols.** It is recommended that design drawings show CJP or PJP groove weld requirements without specifying the groove dimensions. The welding symbol without dimensions designates a CJP weld as follows:



The welding symbol with dimensions above or below the reference line designates a PJP weld, as follows:



where

$E_2$  = weld size, other side

$E_1$  = weld size, arrow side

**2.2.4.2 Special Details.** When special groove details are required, they shall be detailed on the drawings.

**2.2.5 Special Inspection Requirements.** Special inspection requirements shall be noted on the drawings or in the specification.

## 2.3 Groove Welds

**2.3.1 Effective Weld Length.** The effective weld length of a groove weld is the length of the weld perpendicular to the direction of tensile or compressive stress, and shall not exceed the width of the part joined. For groove welds transmitting shear, the effective length is the length specified.

**2.3.2 Weld Size.** The weld size of a CJP groove weld is the thickness of the thinner part joined. An increase for weld reinforcement is prohibited.

**2.3.3 Effective Area.** The effective area is the effective weld length multiplied by the weld size.

**2.3.4 CJP.** The following types of welds are CJP groove welds:

- (1) Groove welds welded from both sides with the root of the first weld backgouged to sound metal before welding the second side.
- (2) Groove welds welded from one side using permanent or temporary backing.
- (3) Groove welds welded from one side using AC-GTAW root pass without backing.
- (4) Groove welds welded from one side using PAW-VP in the keyhole mode.

Recommended details of CJP groove welds in butt, corner, and T-joints are given in Annex B1.

**2.3.5 PJP.** Groove welds without backing welded from one side and groove welds welded from both sides but without backgouging are PJP groove welds, except as noted in 2.3.4.

## 2.4 Fillet Welds

**2.4.1 Effective Throat.** The effective throat is the shortest distance from the joint root to the face of the diagrammatic weld (see Annex D).

### 2.4.2 Length

**2.4.2.1 Effective Length (Straight).** The effective length of a straight fillet weld is the overall length of the full-size fillet, including boxing. No reduction in effective length shall be required for the start or stop crater of the weld.

**2.4.2.2 Effective Length (Curved).** The effective length of a curved fillet is measured along the centerline of the effective throat. If the weld area of a fillet weld in a hole or slot calculated from this length is greater than the area calculated from 2.5.1, then this latter area shall be used as the effective area of the fillet.

**2.4.2.3 Minimum Length.** The minimum effective length of a fillet weld shall be at least four times its nom-

inal size, or the weld size shall be considered not to exceed 25% its effective length.

**2.4.2.4 Minimum Length of Intermittent Fillets.** The minimum length of an intermittent fillet weld shall be 1-1/2 in. [40 mm].

**2.4.3 Effective Area.** The effective area is the effective weld length multiplied by the effective throat. Stress on a fillet weld shall be considered to be shear on this effective area for any direction of applied load.

### 2.4.4 Lap Joints

**2.4.4.1 Double Fillet Welds.** Unless lateral deflection of the parts is prevented, they shall be connected by at least two transverse lines of fillet, plug, or slot welds, or by two or more longitudinal fillet or slot welds.

**2.4.4.2 Minimum Overlap.** The minimum overlap of parts in stress-carrying lap joints shall be five times the thickness of the thinner part, but not less than 1 in. [25 mm].

**2.4.4.3 Fillet Welds in Holes or Slots.** Minimum spacing and dimensions of holes or slots when fillet welding is used shall conform to 2.5. Fillet welds in holes or slots in lap joints may be used to transfer shear or to prevent buckling or separation of lapped parts. These fillet welds may overlap, subject to the requirements of 2.4.4.2. Fillet welds in holes or slots shall not be considered plug or slot welds.

**2.4.4.4 Maximum Size for Lap Joints.** The maximum fillet weld size for a lap joint detailed along edges of material shall be:

- (1) The thickness of the base metal, for metal less than 1/4 in. [6 mm] thick.
- (2) 1/16 in. [2 mm] less than the thickness of the base metal, for metal 1/4 in. [6 mm] or more in thickness, unless the weld is designated on the drawing to be built out to obtain full throat thickness. The distance between the edge of the base metal and the toe of the weld may be less than 1/16 in. [2 mm] provided the weld size is verifiable.

**2.4.5 Fillets in Skewed T-Joints.** Fillet welds may be used in skewed T-joints with a dihedral angle between 60° and 135°, inclusive (see Figure 2.1, Details A and B).

## 2.5 Plug and Slot Welds

**2.5.1 Effective Area.** The effective area is the nominal area of the hole or slot in the plane of the faying surface.

**2.5.2 Fill Depth.** The fill depth of plug or slot welds in metal 5/8 in. [16 mm] thick or less shall be the thickness of the metal. In metal over 5/8 in. [16 mm] in thickness, it shall be at least one-half the thickness of the metal, but

## 3. Qualification

### *Part A General Requirements*

#### 3.1 General

The qualification requirement of this code is to assure that the fabrication procedures actually used in production meet a recognized standard with an objective of producing consistent product quality. To accomplish this objective, each Contractor, fabricator, or manufacturer shall, prior to the start of production, perform the following:

- (1) Qualify and record the essential variables for a PQR (Procedure Qualification Record) to be used to define a WPS (Welding Procedure Specification) in conformance with Part C of this section using material, equipment, cleaning and preparation methods, welding conditions, etc., that will be contained in the WPS.
- (2) Prepare a written WPS in conformance with 3.1.2.2 (see Annex E).
- (3) Qualify the welders, welding operators and tack welders in conformance with Part D of this section.
- (4) Conduct the tests required by this code to qualify the WPSs and the welders, welding operators, and tack welders who will apply these WPSs.
- (5) Certify and maintain records of all tests and WPSs on forms as shown in Annex E or similar, and make available such records to those authorized to examine them.
- (6) Supply the written WPSs to all welders, welding operators, tack welders, and quality control personnel engaged in the work.

The Engineer may accept properly documented evidence of previous qualification of the WPSs to be employed as well as properly documented welder performance qualifications.

#### 3.2 Qualification of WPSs

Only WPSs with previous qualifications accepted by the Engineer or qualified in conformance with Part C of this section shall be recognized as approved WPSs. AWS B2.1.XXX-XX Series on Standard Welding Procedure Specifications, may, in this manner, be accepted for use in this code.

#### 3.3 Qualification of Welders, Welding Operators, and Tack Welders

3.3.1 Welders, welding operators, and tack welders to be employed on work under this code shall be qualified in conformance with Part D of this section, or other qualification as approved by the Engineer. Welders and welding operators qualified by standard test to AWS B2.1, *Standard for Welding Procedure and Performance Qualification*, may, in this manner, be accepted for use in this code.

3.3.2 The welder's, welding operators, or tack welder's qualification, as specified in Section 3, Part D, shall be considered as remaining in effect indefinitely unless (1) the person is not engaged in a given process of welding for which that person is qualified for a period exceeding six months, or (2) there is reason to question the individual's ability.

#### 3.4 Position of Test Welds

3.4.1 Each WPS shall be qualified by positioning and welding the test assembly in the manner stated below and as shown in Figures 3.1–3.6 for the position for which it is to be qualified. These positions are classified as: (1) flat, (2) horizontal, (3) vertical, or (4) overhead in conformance with Figures 3.1 and 3.2.

**3.4.1.1 Groove Welds—Plate** (see Figure 3.3). In making the tests to qualify groove welds, test plates shall be welded in the following positions:

(1) Position 1G (Flat)—The test plates shall be placed in an approximately horizontal plane and the weld metal deposited from the upper side [see Figure 3.3(A)].

(2) Position 2G (Horizontal)—The test plates shall be placed in an approximately vertical plane with the groove approximately horizontal [see Figure 3.3(B)].

(3) Position 3G (Vertical)—The test plates shall be placed in an approximately vertical plane with the groove approximately vertical [see Figure 3.3(C)].

(4) Position 4G (Overhead)—The test plates shall be placed in an approximately horizontal plane and the weld metal deposited from the under side [see Figure 3.3(D)].

**3.4.1.2 Groove Welds—Pipe** (see Figure 3.4). The term *pipe* as used herein shall include all tubular shapes. In making the tests to qualify groove welds, the test pipe shall be welded in the following positions:

(1) Position 1G (Pipe Horizontal—Rotated)—The test pipe shall be placed with its axis approximately horizontal and the groove approximately vertical. The pipe shall be rotated during welding so the weld metal is deposited from the upper side [see Figure 3.4(A)].

(2) Position 2G (Pipe Vertical—Fixed)—The test pipe shall be placed with its axis approximately vertical and the groove approximately horizontal. The pipe shall not be rotated during welding [see Figure 3.4(B)].

(3) Position 5G (Pipe Horizontal—Fixed)—The test pipe shall be placed with its axis approximately horizontal and the groove approximately vertical. The pipes shall not be rotated during welding [see Figure 3.4(C)].

(4) Position 6G (Pipe Inclined—Fixed)—The test pipe shall be inclined at approximately 45° with the horizontal. The pipe shall not be rotated during welding [see Figure 3.4(D)].

**3.4.1.3 Fillet Welds—Plate** (see Figure 3.5). In making the tests to qualify welds on plate, test plates shall be welded in the positions outlined below:

(1) Position 1F (Flat)—The test plates shall be so placed that each fillet weld is deposited with its axis approximately horizontal and its throat approximately vertical [see Figure 3.5(A)].

(2) Position 2F (Horizontal)—The test plates shall be so placed that each fillet weld is deposited on the upper side of a horizontal surface and against a vertical surface [see Figure 3.5(B)].

(3) Position 3F (Vertical)—The test plates shall be placed in approximately vertical planes, and each fillet weld deposited on vertical surfaces [see Figure 3.5(C)].

(4) Position 4F (Overhead)—The test plates shall be so placed that each fillet weld is deposited on the under

side of a horizontal surface and against a vertical surface [see Figure 3.5(D)].

**3.4.1.4 Fillet Welds—Pipe** (see Figure 3.6). In making the tests to qualify fillet welds on pipe, the test pipe shall be welded in the positions outlined below:

(1) Position 1F (Pipe Inclined—Rotated)—The test pipe shall be placed with its axis at approximately 45° and rotated during welding so that the filler metal is deposited in the flat position [see Figure 3.6(A)].

(2) Position 2F (Pipe Vertical—Fixed)—The test pipe shall be placed with its axis approximately vertical. The filler metal shall be placed on the outer surface of the pipe at its juncture with the abutting plate or pipe. The assembly shall not be rotated during welding [see Figure 3.6(B)].

(3) Position 2FR (Pipe Horizontal—Rotated)—The test pipe shall be placed with its axis approximately horizontal and rotated during welding so that filler metal is deposited in the horizontal position [see Figure 3.6(C)].

(4) Position 4F (Overhead—Fixed)—The test pipe shall be placed with its axis approximately vertical. The filler metal shall be placed against the outer surface of the pipe at its juncture with the abutting plate or pipe. The assembly shall not be rotated during welding [see Figure 3.6(D)].

(5) Position 5F (Pipe Horizontal—Fixed)—The test pipe shall be placed with its axis approximately horizontal and with the welding joint vertical. The assembly shall not be rotated during welding [see Figure 3.6(E)].

## Part B

### Types of Tests, Test Methods, and Acceptance Criteria

## 3.5 Types and Purposes of Tests

The tests described in Part B (3.5–3.11) are intended to determine the strength or degree of soundness of welds made in conformance with the WPS or the soundness of welds made by a welder, welding operator, or tack welder.

The provisions of AWS B4.0, *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds*, may be used for the testing of welds made for WPS or performance qualification. However, in instances where the provisions of AWS B4.0 and AWS D1.2/D1.2M are in conflict, AWS D1.2/D1.2M shall take precedence.

**3.5.1** Visual examination is required for WPS qualification and performance qualification.

### 3.5.2 Mechanical Tests

**3.5.2.1** Tension tests for strength of groove welds shall be required for WPS qualification.

**3.5.2.2** Bend tests for soundness and ductility of groove welds are required for WPS qualification and performance qualification, except as allowed in 3.5.3.

**3.5.2.3** Nick-break fracture tests are required to determine soundness of groove welds containing castings for WPS qualification as described in 3.9.1.

**3.5.2.4** To determine the soundness of fillet welds for performance qualification, a fillet weld fracture test shall be required. For WPS qualification, a fracture test or a fillet weld bend test may be used to determine soundness.

**3.5.3** RT may be used in lieu of bend tests for performance qualification of groove joints in wrought materials. The RT procedure technique and acceptance criteria shall be in conformance with the requirements of Section 5, Part B and Part D, respectively, of this code.

## 3.6 Visual Examination

**3.6.1 Examination Procedure.** Visual inspection of the weld surface shall be performed on the test weldment prior to cutting any mechanical test specimens, except that macroetching of cut sections is included in the examination of fillet welds and PJP groove welds. Liquid penetrants, magnifying lenses, scales or templates may be used as aids in determining whether the sample weldment passes the criteria described in 3.6.2 or 3.6.3.

**3.6.1.1** For detecting discontinuities that are open to the surface, PT may be used. The methods set forth in ASTM E 165, *Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination*, shall be used, and the standards of acceptance shall be in conformance with 5.14.1, 5.14.2, or 5.14.3, whichever is applicable.

**3.6.1.2** The macroetched specimen for the fillet weld test assembly or the PJP groove weld test assembly shall be taken from the end of the sample weldment. The macroetch specimens for fillet welded pipe or tubing welded assemblies shall be taken by sectioning longitudinally through the center of the pipe or tubing. One cut face of the specimen shall be smoothed and etched with a suitable etchant to give a clear definition of the weld metal and HAZ. Etching solutions, procedures, and safety requirements are given in Annex G.

**3.6.2 Acceptance Criteria—Visual Examination—Groove Welds, Plate, and Pipe.** The visual examination of the test weldment shall satisfy the following acceptance criteria:

(1) Both the face and root surfaces shall be free of cracks.

(2) All craters shall be filled to the full cross section of the weld.

(3) The edges of the weld shall blend smoothly with the base metal.

(4) Underfill shall not exceed 0.01 in. [0.25 mm].

(5) The root shall show (a) complete fusion for CJP groove welds, or (b) penetration equal to or greater than the weld size specified for PJP groove welds.

(6) The maximum melt-through on groove welds in pipe or tubing shall not exceed 1/8 in. [3 mm].

(7) The root concavity shall not exceed 1/16 in. [2 mm].

(8) Total weld thickness shall be equal to or greater than the thickness of the base metal, but the weld reinforcement shall not exceed the value listed in Figure 4.2(D) or (E).

**3.6.3 Acceptance Criteria—Visual Examination of Fillet Welds for Plate or Pipe.** The visual examination of the test weldment shall satisfy the following acceptance criteria:

(1) The surface of the weld shall be free from cracks.

(2) All craters shall be filled to the full cross section of the weld.

(3) The edges of the weld shall blend smoothly with the base metal.

(4) Underfill shall not exceed 0.01 in. [0.25 mm].

(5) The leg lengths shall meet the requirements of the WPS.

(6) The weld shall exhibit complete fusion in the root and to the base metal by the macroetch test.

(7) Root surface concavity (suck-back) shall not exceed 1/32 in. [1 mm].

## 3.7 Tension Tests—Groove Welds

**3.7.1 Specimens.** Tension test specimens shall conform to one of the types illustrated in Figure 3.7, 3.8, or 3.9.

**3.7.1.1 Reduced Section Test Specimens—Plate.** Reduced section specimens from plate conforming to the requirements given in Figure 3.7 shall be used for tension tests on all thicknesses of plate.

(1) A single specimen of full plate thickness shall be used for thicknesses up to and including 1 in. [25 mm].

(2) For plate thicknesses greater than 1 in. [25 mm], single or multiple specimens may be used.

(3) When multiple specimens are necessary because of the limitations of the testing equipment, the entire thickness shall be cut mechanically into the minimum number of approximately equal slices of a thickness that can be tested in the available equipment. Each specimen (slice) shall be tested, and collectively, shall represent a single required tension test.

### 3.7.1.2 Reduced Section Test Specimens—Pipe

(1) For pipe having an outside diameter greater than 3 in. [75 mm], reduced section specimens conforming to the requirements given in Figure 3.7 shall be used for tension tests on all thicknesses.

(a) A single specimen of the full thickness shall be used for thicknesses up to and including 1 in. [25 mm].

(b) For thicknesses greater than 1 in. [25 mm], single or multiple specimens may be used.

(c) When multiple specimens are necessary because of the limitations of the testing equipment, the entire thickness shall be cut mechanically into the minimum number of approximately equal sizes of a thickness that can be tested in the available equipment. Each specimen (slice) shall be tested, and collectively shall represent a single required tension test.

(2) For pipe having an outside diameter of 3 in. [75 mm] or less, test specimens conforming to the requirements given in Figure 3.8 may be used for tension tests.

**3.7.1.3 Full-Section Pipe.** For pipe having an outside diameter of 3 in. [75 mm] or less, full-section specimens conforming to the requirements given in Figure 3.9 may be used for tension tests.

**3.7.1.4 PJP Groove Welds—Plate and Pipe.** For PJP groove welds in plate and pipe, the excess material on the root side of the joint shall be removed by machining to the thickness of the weld size.

**3.7.2 Tension Test Procedure.** Each tension test specimen shall be ruptured under tensile load, and the maximum load shall be determined. The tensile strength shall be computed by dividing the maximum load by the least cross-sectional area of the specimen as determined from measurements made before the load was applied.

### 3.7.3 Acceptance Criteria—Tension Tests—Plate and Pipe

**3.7.3.1** The tensile strength shall be no less than the applicable requirement in Table 3.2. When multiple specimens are used, as allowed in 3.7.1.1 and 3.7.1.2, each specimen (slice) shall meet the applicable requirement.

**3.7.3.2** If base metals of different tensile strengths are used, the specified minimum tensile strength of the lower strength base metal, as shown in Table 3.2, applies.

## 3.8 Bend Tests—Groove Welds—Plate and Pipe

**3.8.1 Specimens.** Bend specimens are of five types, depending on whether the axis of the weld is transverse or parallel to the longitudinal axis of the specimen and

which surface (side, face, or root) is on the convex (outer) side of the bent specimen. Longitudinal bend specimens may be used in lieu of transverse bend specimens for testing combinations of base and filler materials which differ markedly in bending properties. Bend test specimens shall conform to one of the types shown in Figure 3.10, 3.11, or 3.12. The cut surfaces shall be designated the sides of the specimen. The original surfaces of the specimen shall be called the face and root surfaces, the face surface having the greater width of weld.

**3.8.1.1 Transverse Side Bend Specimen.** The weld is transverse to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that the side surface with the larger discontinuity, if any, becomes the convex surface of the bent specimen. Transverse side bend specimens shall conform to the dimensions shown in Figure 3.10. Specimens of base-metal thickness greater than 1-1/2 in. [40 mm] may be bent full width or cut into strips of approximately equal width. The weld root shall be contained in one of the test strips. Each specimen (strip) shall be tested and, collectively, shall represent a single, required bend test.

**3.8.1.2 Transverse Face Bend Specimen.** Transverse face bend test specimens shall conform to the dimensions shown in Figure 3.12 and are bent so that the face surface becomes the convex surface of the bent specimen. Pipe less than or equal to 4 in. [100 mm] in diameter shall have face bend specimens prepared as described in 3.8.1.4.

**3.8.1.3 Transverse Root Bend Specimen.** Transverse root bend test specimens shall conform to the dimensions shown in Figure 3.12 and are bent so that the root surface becomes the convex surface of the bent specimen. Pipe less than or equal to 4 in. [100 mm] in diameter shall have root bend specimens prepared as described in 3.8.1.4. For PJP groove welds, the specimen shall be machined so that the thickness of the specimen equals the weld size.

**3.8.1.4 Subsize Transverse Face and Root Bend Specimen.** For pipe 4 in. [100 mm] or less in outside diameter, the width of the specimen may be 3/4 in. [20 mm], measured around the outside surface. Alternatively, for pipe less than 2-3/8 in. [60 mm] in outside diameter, the width of the specimen may be that obtained by cutting the pipe into quarter sections, less the allowance for cutting. The other dimensions shall be as in Figure 3.12.

**3.8.1.5 Longitudinal Face Bend Specimen.** The weld is parallel to the longitudinal axis of the specimen which is bent so that the face surface becomes the convex surface of the bent specimen. Longitudinal face bend test specimens shall conform to the dimensions in Figure 3.11.

**Table 3.2**  
**Tensile Strength of Welded Aluminum Alloys (see 3.7.3.1)**  
**(GTAW or GMAW with No Postweld Heat Treatment)**

Material No.	Alloy and Temper(s)	Product Thickness in in. [mm]	Minimum Tensile Strength in ksi [MPa]	
21	1060-0, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H112, H113, F	Sheet & Plate	Up thru 3.000 [75]	8 [55]
		Extrusions	All	8.5 [59]
21	1100-0, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H112, H113, F	All	Up thru 3.000 [75]	11 [75]
24	2219-T62, T81, T851, T8510, T8511, T87, 2219-T6, T852	All	Up thru 2.999 [75]	35 [240]
		Plate	3.000-6.000 [75-150]	35 [240]
		Forgings	3.000-4.000 [75-100]	35 [240]
21	3003-0, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H28, H112, H113, F	All	Up thru 3.000 [75]	14 [95]
21	Alclad 3003-0, H12, H14, H16, H18, H112, H113, F, H22, H24, H26	Tube	All	13 [90]
		Sheet & Plate	Up thru 0.499 [13]	13 [90]
		Plate	0.500-3.000 [13-75]	14 [95]
22	3004-0, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38, H112, F	All	Up thru 3.000 [75]	22 [150]
22	Alclad 3004-0, H22, H24, H26, H32, H34, H36, H38, H112, F	Sheet & Plate	Up thru 0.499 [13]	21 [145]
		Plate	0.500-3.000 [13-75]	22 [150]
21	5005-0, H12, H14, H16, H18, H22, H24, H26, H32, H34, H36, H38, H112, F	All	Up thru 3.000 [75]	15 [105]
21	5050-0, H22, H24, H26, H32, H34, H36, H38, H112, F	All	Up thru 3.000 [75]	18 [125]
22	5052-0, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38, H112, F	All	Up thru 3.000 [75]	25 [170]
	5083-0, H111, H112, 5083-0, H111, H112, F	Forgings	Up thru 4.000 [100]	38 [262]
		Extrusions	Up thru 5.000 [125]	39 [270]
25	5083-0, H112, H116, H321, F	Sheet & Plate	0.051-1.500 [1-38]	40 [275]
		Plate	1.501-3.000 [38-75]	39 [270]
	5083-0, F	Plate	3.001-5.000 [75-125] 5.001-7.000 [125-175] 7.001-8.000 [175-200]	38 [262] 37 [255] 36 [248]
25	5086-0, H32, H34, H36, H38, H111, H112, H116, F	All	Up thru 2.000 [50]	35 [240]
		Extrusions Plate	2.001-5.000 [50-125] 2.001-3.000 [50-75]	35 [240] 34 [235]
22	5154-0, H22, H24, H26, H28, H32, H34, H36, H38, H112, F	All	Up thru 3.000 [75]	30 [205]
22	5254-0, H32, H34, H36, H38, H112, F	All	0.051-3.000 [1-75]	30 [205]

(Continued)



**Table 3.4**  
**Number and Type of Test Specimens and Range of Thickness Qualified—**  
**WPS Qualification—CJP Groove Welds (see 3.15.3(1))**  
**(Dimensions in Inches)**

1. Tests on Plate							
Nominal Plate Thickness (T) Tested, in.	Number of Sample Welds per Position	Visual Inspection (see 3.6)	Test Specimens Required				Nominal Plate Thickness Qualified, in.
			Reduced Section Tension (see Fig. 3.7)	Root Bend (see Figures 3.11, 3.12)	Face Bend (see Figures 3.11, 3.12)	Side Bend (see Figure 3.10)	
T < 1/8	1 <sup>(1)</sup>	Yes	2	2	2	—	T to 2T
1/8 ≤ T ≤ 3/8	1	Yes	2	2	2	—	1/8 to 2T
Over 3/8 and under 1	1	Yes	2	—	—	4	T/2 to 2T
1 and over	1	Yes	2	—	—	4	T/2 to unlimited

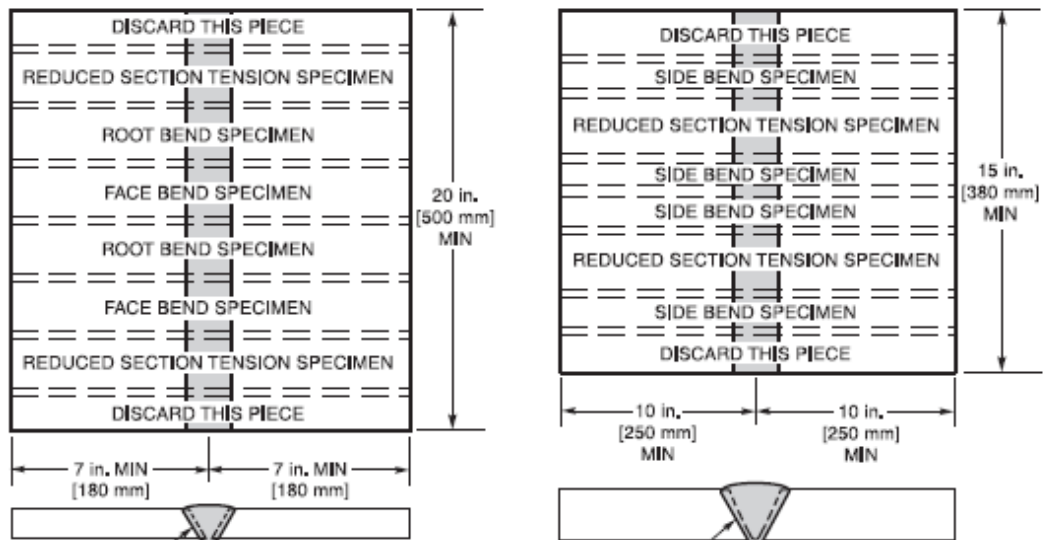
  

2. Tests on Pipe or Tubing—Class I Structures (see 2.0)													
Weld Type	Pipe or Tube Size of Sample Weld			Visual Inspection (see 3.6)	Test Specimens Required					Nominal Pipe or Tubing Diameter Qualified, in.		Nominal Wall Thickness Qualified, in.	
	Nominal Diam., in.	Nominal Wall Thickness, T, of Wrought, in.	Number of Sample Welds per Position		Nick-Break Fracture Test (see Fig. 3.16)	Tension Test (see Figs. 3.7, 3.8, 3.9)	Root Bend (see Fig. 3.12)	Face Bend (see Fig. 3.12)	Min	Max	Min	Max	
													Min
Wrought to Wrought	6 through 8	1/8–3/8	1	Yes	—	2	2	2	3/4	16	1/8	2T	
Cast to Wrought or Cast to Cast	3 through 5	3/16	1	Yes	2	2	—	—	2	16	1/8	1/2	

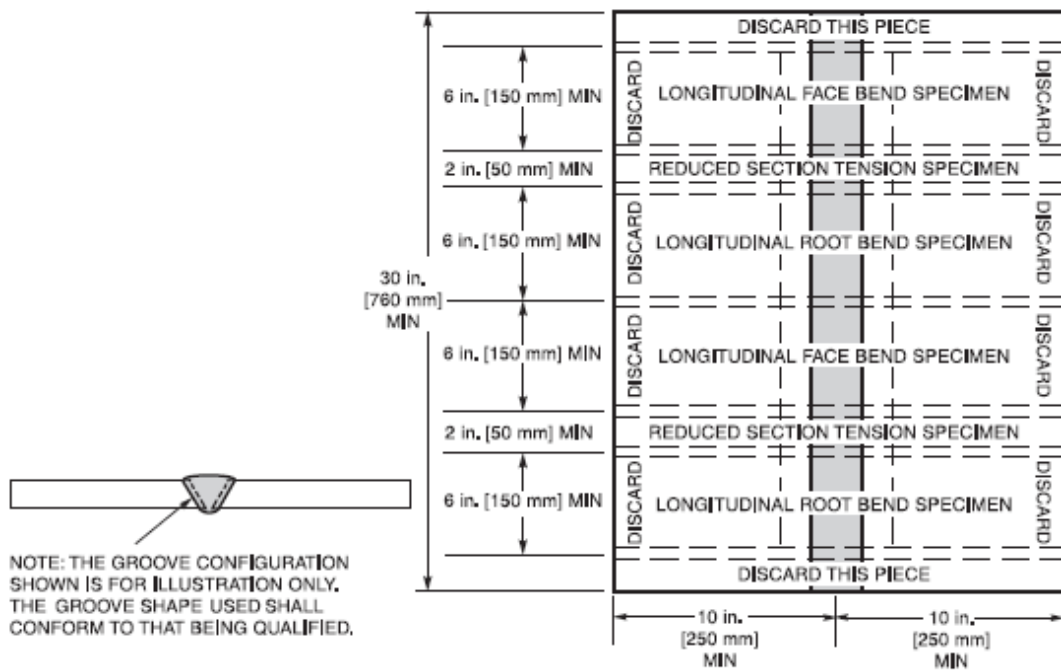
3. Tests on Pipe or Tubing—Class II Structures (see 2.0)												
Nominal Diam.	Pipe Size of Sample Weld		Number of Sample Welds per Position	Visual Inspection (see 3.6)	Test Specimens Required				Nominal Pipe or Tubing Diameter Qualified, in.		Nominal Wall Thickness Qualified, in.	
	Nominal Thickness, T				Tension Test (see Figs. 3.7, 3.8, 3.9)	Root Bend (see Fig. 3.12)	Face Bend (see Fig. 3.12)	Side Bend (see Fig. 3.10)	Diam.	Min	Max	
2 in. or 3 in.	Sch. 80 or Sch. 40		2	Yes	2	2	2	—	3/4 through 4	1/8	1/2	
6 in. or 8 in.	Sch. 120 or Sch. 80		1	Yes	2	—	—	4	4 and over	0.187	Unlimited	

(Continued)



(A) PLATES THROUGH 3/8 in. [10 mm]—WPS QUALIFICATION

(B) PLATES OVER 3/8 in. [10 mm]—WPS QUALIFICATION



(C) PLATES—LONGITUDINAL BEND TEST SPECIMENS

Figure 3.20—Location of Test Specimens for WPS Qualification—Plate (see 3.9.1 and 3.15.4.1)

(Fuente: NORMA AWS D1.2/D1.2M 2003 Structural Welding Code Aluminum . Pág. 1-4, 9-12, 21, 24, 55).

# ANEXO A.5

## RESUMEN DE LA NORMA ASTM B557-06 Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products



Designation: B557 – 06

### Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation B557; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope\*

1.1 These test methods cover the tension testing of wrought and cast aluminum- and magnesium-alloy products, excepting aluminum foil<sup>2</sup>, and are derived from Test Methods E8, which cover the tension testing of all metallic materials.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

NOTE 1—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material.

NOTE 2—A complete metric companion to Test Methods B557 has been developed—Test Methods B557M; therefore, no metric equivalents are presented in these test methods.

#### 2. Referenced Documents

2.1 The following documents of the issue in effect on the date of material purchase form a part of these test methods to the extent referenced herein:

2.2 *ASTM Standards*:<sup>3</sup>

B209 Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

E1012 Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application

#### 3. Terminology

3.1 The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods.

#### 4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments and have been used extensively in the trade for this purpose.

#### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E4.

##### 5.2 *Gripping Devices*:

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured load applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen must

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee B07 on Light Metals and Alloys and are the direct responsibility of Subcommittee B07.05 on Testing.

Current edition approved May 1, 2006. Published May 2006. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2002 as B557 – 02a. DOI: 10.1520/B0557-06.

<sup>2</sup> For test methods of tension testing of aluminum foil, see Test Methods E345.

<sup>3</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

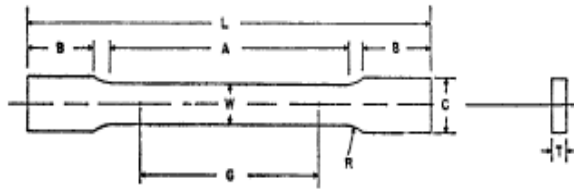
Copyright (C) ASTM International, 100 Barr Harbor Dr., P.O. Box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Wed Aug 18 15:27:41 EDT 2010 1

Downloaded/printed by

MC MASTER UNIVERSITY pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

 B557 - 06



Dimensions, in.		
	Standard Specimen Sheet-Type, 1/4-in. Wide	Subsize Specimen 1/4-in. Wide
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.003
W—Width (Note 1 and Note 2)	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.002
T—Thickness (Note 3)	thickness of material	thickness of material
R—Radius of fillet, min	1/2	1/4
L—Overall length, min (Note 4)	8	4
A—Length of reduced section, min	2 1/4	1 1/4
B—Length of grip section, min (Note 5)	2	1 1/4
C—Width of grip section, approximate (Note 2 and Note 6)	3/4	3/8

NOTE 1—The ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.002 in. for the 2.00-in. gage length specimen or 0.001 in. for the 1.00-in. gage length specimen. There may be a gradual taper in width from the ends of the reduced section to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % greater than the width at the center.

NOTE 2—For each of the specimens, narrower widths (*W* and *C*) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used. If the width of the material is less than *W*, the sides may be parallel throughout the length of the specimen.

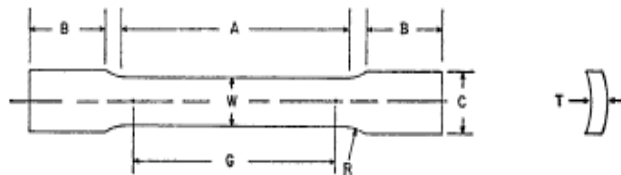
NOTE 3—The dimension *T* is the thickness of the test specimen as stated in the applicable material specifications. Maximum nominal thicknesses of 1/2-in. and 1/4-in. wide specimens shall be 1/2 in. and 1/4 in., respectively.

NOTE 4—To aid in obtaining axial loading during testing of 1/4-in. wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 8 in.

NOTE 5—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 1/2-in. wide specimens is over 3/8 in., longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 6—The grip-end centerline of the 1/2-in. wide and 1/4-in. wide specimens shall coincide with the centerline of the reduced section within 0.01 and 0.005 in., respectively.

FIG. 6 Rectangular Tension Test Specimens



Dimensions, in.	
G—Gage length	2.000 ± 0.005
W—Width (Note 1)	0.500 ± 0.010
T—Measured thickness of specimen	Note 2
R—Radius of fillet, min	1/2
A—Length of reduced section, min	2 1/4
B—Length of grip section, min (Note 3)	3
C—Width of grip section, approximate (Note 4)	1 1/4

NOTE 1—The ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.002 in. There may be a gradual taper in width from the ends of the reduced section to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % greater than the width at the center.

NOTE 2—The dimension *T* is the thickness of the tubular section as provided for in the applicable material specifications.

NOTE 3—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—The grip-end centerline of the specimen shall coincide with the centerline of the reduced section within 0.05 in.

NOTE 5—For circular segment, the cross-sectional area shall be calculated using the formula shown in 7.2.3

NOTE 6—The radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 0.05 in., and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in.

FIG. 7 Longitudinal Tension Test Specimens for Large-Diameter Tubular Products

greater than or equal to 5 % but less than 50 %, and a Class D or better extensometer for materials having 50 % or greater elongation. In all cases, the extensometer gage length shall be the nominal gage length required for the specimen being tested. Due to the lack of precision in fitting fractured ends together, the elongation after fracture using the manual methods of the preceding paragraphs may differ from the elongation at fracture determined with extensometers.

7.8.3.2 Percent elongation at fracture may be calculated directly from elongation at fracture data and reported instead of percent elongation after fracture as calculated in 7.8.1 and 7.8.2. However, the two parameters are not interchangeable. Use of the elongation at fracture method generally provides more repeatable results.

NOTE 14—When disagreements arise over the percent elongation results, agreement must be reached on which method to use.

7.8.4 When required by the material specification, or when making retests or for referee tests of products other than wire and the specified elongation is less than 3 % or the elongation measured in the usual manner is less than 4 %, determine the elongation of a specimen as follows:

7.8.4.1 Prior to testing, the original gage length of the specimen shall be marked and measured to an accuracy of  $\pm 0.002$  in. as required in 7.3.3.

7.8.4.2 After testing, remove any partly torn fragments that might influence the final measurement from the broken ends of the specimen.

7.8.4.3 Fit the fractured ends together with matched surfaces and apply an end load along the axis of the specimen sufficient to close the fractured ends together. If desired, this load may then be removed carefully, provided the specimen remains intact.

NOTE 15—The use of an end load of approximately 2000 psi has been found to give satisfactory results on test specimens of aluminum alloy.

7.8.4.4 Measure the final gage length to at least the nearest 0.002 in., and report the elongation to at least the nearest 0.1 % in 2 in. or 0.2 % in shorter gage lengths.

7.9 *Rounding*—Round each value of strength to the nearest 0.1 ksi. Round each value of elongation determined in accordance with 7.8.1 to the nearest 0.5 %, unless otherwise specified. Round in accordance with Practice E29.

7.9.1 If elongation is determined in accordance with 7.8.4, round each value in accordance with 7.8.4.4.

7.9.2 For wire for electric conductors, measure and report the elongation to the nearest 0.1 %.

## 8. Replacement Tests

8.1 A test specimen may be discarded and a replacement specimen selected from the same lot of material when (1) the specimen had a poorly machined surface, was not of the proper dimensions, or had its properties changed by poor machining practice; (2) the test procedure was incorrect or the test equipment malfunctioned; or (3) the fracture was outside the middle half of the gage length, and the elongation was below the specified value.

8.2 In the case of specimens machined from wrought products or castings, discontinuities such as cracks, ruptures,

flakes and porosity revealed in the fracture that are considered indicative of inferior or defective material are not reasons for the selection of a replacement test specimen.

8.3 In the case of separately cast test specimens, flaws other than gas porosity, such as cracks or inclusions, are not the cause of rejection of the castings based upon tensile properties, and so the presence of such flaws in the fracture is justification for replacement testing.

## 9. Retests

9.1 If one or more test specimens fail to conform to the requirements of the product specification, the lot represented by the specimen or specimens shall be subject to rejection except as provided as follows.

9.2 If a material lot is subject to rejection, retests of that lot will be permitted by:

9.2.1 Testing, for each specimen that failed, at least two additional specimens from an area in the original sample adjacent to the area represented by the failure or failures, or

9.2.2 Testing an additional specimen from the specified location in each of at least two other samples for each sample that failed from the same lot.

9.2.3 In the case of separately cast test specimens, testing two additional cast specimens from the same lot for each specimen that failed.

9.3 If any retest fails, the lot shall be subject to rejection, except that the lot may be resubmitted for testing provided the producer has reworked the lot, as necessary, to correct the deficiencies or has removed the nonconforming material.

## 10. Report

10.1 Report test information on materials not covered by a product specification in accordance with 10.2 or both 10.2 and 10.3.

10.2 Test information to be reported shall include the following when applicable:

10.2.1 Material and sample identification,

10.2.2 Specimen type (see Section 6),

10.2.3 Yield strength and the method used to determine yield strength (see 7.6),

10.2.4 Tensile strength (see 7.7), and

10.2.5 Elongation, including original gage length, percentage increase, and method used to determine elongation (see 7.8).

10.3 Test information to be available on request shall include:

10.3.1 Specimen test section dimension(s) (see Section 6),

10.3.2 Equation used to calculate cross-sectional area of rectangular specimens taken from large-diameter tubular products (see 7.2.3),

10.3.3 Speed and method used to determine speed of testing (see 7.5),

10.3.4 Method used for rounding of test results (see 7.9),

10.3.5 Reasons for replacement specimens (see Section 8), and

10.3.6 Reasons for retests (see Section 9).

# ANEXO A.6

## WPS Y PQR Para Soldar a Tope Aleaciones de Aluminio 5086 H-116 Ejecutadas Mediante Proceso GMAW.

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)- front					
COMPANY NAME	CORE H.&H.		BY	Ing. Fredy Hidalgo	
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION No.	CORE-FH-01-2013		SUPPORTING PQR No.	FH-01-2013	
REVISION No.	0	DATE	January 10, 2013		
WELDING PROCESS(ES)	GMAW		TYPE	SEMI-AUTOMATIC	
<b>JOINTS(QW-402)</b> Juntas					
JOINT DESIGN	A tope				
ROOT SPACING	1,2 mm				
BACKING	YES	x	NO		
BACKING MATERIAL(TYPE)	SA-240 tp. 304				
<input type="checkbox"/> METAL <input checked="" type="checkbox"/> NONFUSING METAL <small>Metal                              Metal no fusionado</small> <input type="checkbox"/> NONMETALLIC <input type="checkbox"/> OTHER <small>No metálico                      Otros</small>					
**Sketches, Production Drawings, Weld Symbols, or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the details of weld groove may be specified. **Esquemas, planos de producción, símbolos de soldadura o descripciones escritas deberían mostrar el arreglo general de las partes a ser soldadas. Donde resulte aplicable, los detalles de ranura para soldadura puede ser especificada.			***[At the option of the manufacturer, sketches may be attached to illustrate joint design, weld taper, and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures, ect.)] *** Por decisión del fabricante, esquemas pueden ser adjuntados para ilustrar el diseño de la junta, las capas de soldadura y las secuencias de los cordones (Por ejemplo, para procedimientos de pruebas de impacto, para procedimientos multi-proceso, etc)		
<b>BASE METALS (QW-403)</b> Materiales base					
P-No.	25	GROUP No.	All	TO P-No.	25
No. P		Grupo No.		a No. P	
SPECIFICATION AND TYPE/GRADE OR UNS NUMBER                      A95086 H-116 Especificación y tipo/Grado o número UNS TO SPECIFICATION AND TYPE/GRADE OR UNS NUMBER                      A95086 H-116 a Especificación y tipo/Grado o número UNS OR/O CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROP.                      Al-4,0 Mg-Mn Análisis quím o prop mecánicas TO CHEM. ANALYSIS AND MECH. PROF.                      Al-4,0 Mg-Mn Análisis quím o prop mecánicas					
<b>THICKNESS RANGE</b> Rango espesor BASE METAL                      GROOVE                      0.0625 in. - 0.375 in. (1.5 mm - 9,5 mm)                      FILLET                      All <small>Metal base                      Ranura                      Filete</small> MAXIMUM PASS THICKNESS ≤ 1/4 in. (6,35 mm)                      YES                      X                      NO <small>Máximo espesor de paso ≤ 1/4 in. (6,35mm)                      Si                      No</small> OTHER Otro					
<b>FILLER METALS (QW-404)</b> Material de aporte					
SPEC.No. (SFA)	5.10				
AWS No. (CLASS)	ER5356				
F-No.	22				
A-No.	Not applicable				
SIZE OF FILLER METALS	Diam 0.047 in. (1.2 mm.)				
FILLER METAL PRODUCT FORM	Solid wire electrode				
SUPPLEMENTAL FILLER METAL	None				
<b>WELD METAL</b> Metal Soldadura					
<b>THICKNESS RANGE</b> Rango de espesor GROOVE                      0.0625 in. - 0.375 in. (1.5 mm - 9,5mm) <small>Ranura</small> FILLET                      All <small>Filete</small>					
ELECTRODE-FLUX(CLASS)                      Not applicable Fundente para electrodo FLUX TYPE                      Not applicable Tipo de Fundente FLUX TRADE NAME                      Not applicable Nombre comercial de fundente CONSUMABLE INSERT                      Not applicable Inserto consumible OTHER                      Not applicable Otros					
*EACH BASE METAL-FILLER METAL COMBINATION SHOULD BE RECORDED INDIVIDUALLY      *Cada combinación metal de relleno con metal debe registrarse individualmente **Bocetos, dibujos de producción, símbolos de soldadura o descripción por escrito o deben mostrar de la disposición general de las piezas a soldar, en su caso los detalles de la ranura de soldadura que se indique ***[En la opción del fabricante, bocetos se pueden unir para ilustrar diseño conjunto, las capas de soldadura y la secuencia (por ejemplo, por la raza muestra procedimientos, para los procedimientos de proceso multi-proceso, etc)]					

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)-back

POSITIONS (QW-405)				POSTWELD HEAT TREATMENT(QW-407)						
Posiciones				Tratamiento térmico post-soldadura						
POSITION(S) OF GROOVE		1G		TEMPERATURE RANGE		None				
Posición(es) de la ranura				Rango de temperatura						
WELDING PROGRESSION		UP YES DOWN NOT		TIME RANGE		None				
Progresión de soldadura		Ascendente Descendente		Rango de tiempo						
POSITION(S) OF FILLET		F - H		OTHER		None				
Posición(es) para filete				Otros						
OTHER		None		GAS(QW-408)						
Otros				Gas						
PREHEAT (QW-406)				PERCENT COMPOSITION						
Pre calentamiento				Porcentaje de composición						
PREHEAT TEMPERATURE MINIMUM		60 °F (15°C)		GAS(ES)		MIXTURE				
Mínima temperatura de precalentamiento				Argon		Mezcla				
INTERPASS TEMPERATURE, MINIMUM		Min 60°F (15°C)				FLOW RATE				
Temperatura entre pases						Caudal				
PREHEAT MAINTENANCE		By the welding process or heating with external source		SHIELDING		100%				
Mantenimiento de precalentamiento				Protección		40 cfh				
OTHER		None		TRAILING		None				
Other				Arrastre		None				
(CONTINUOUS OR SPECIAL HEATING, WHERE APPLICABLE, SHALL BE RECORDED)				BACKING		None				
(El calentamiento continuo o especial deberá registrarse cuando proceda)				Respaldo		None				
				OTHER		None				
				Otros						
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)										
Características eléctricas										
WELD PASS(ES)	PROCESS	FILLER METAL		CURRENT	AMPS	WIRE FEED	ENERGY OR	VOLTS	TRAVEL	OTHER/Otros
Pases	Proceso	Metal de aporte		TYPE AND	(RANGE)	SPEED	POWER	(RANGE)	SPEED	(E.G. Remarks
de Soldadura		CLASSIFICATION	DIAMETER	POLARITY	Amperaje	(RANGE)	Energía o	Voltaje	Velocidad de	addition, technique
		Clasificación	Diametro	Tipode	(rango)	Velocidad de	Potencia	(Rango)	avance(rango)	torch angle, etc.)
				corriente y	A	alimentación de	(Rango)	(V)	(mm/min)	
				polaridad		alambre (rango)	(Rango)			
1	GMAW	ER5356	0.047 in. (12 mm)	DC-RP	145-150	350-365 ipm	420-460J/mm	24-26	6 - 7 mm/seg	
2	GMAW	ER5356	0.047 in. (12 mm)	DC-RP	145-150	350-365 ipm	420-460J/mm	24-26	6 - 7 mm/seg	
AMPS AND VOLTS, OR POWER OR ENERGY RANGE, SHOULD BE RECORDED ELECTRODE SIZE, POSITION AND THICKNESS, ETC										
Rango de amperaje y voltaje, o potencia o energía deben ser registrados para cada tamaño de electrodo, posición y espesor, etc.										
PULSING CURRENT		None				HEAT INPUT (MAX)		None		
Corriente pulsante						Calor aportado (máx)				
TUNGSTEN ELECTRODE SIZE AND TYPE				Not applicable						
Tamaño y tipo de electrodo de tungsteno				(PURE TUNGSTEN, 2% THORIATED, ETC/TUNGSTENO PURO, 2% DE TORIO, ETC)						
MODE OF METAL TRANSFER FOR GMAW(FCAW)				SPRAY						
Modo de transferencia del metal para GMAW(FCAW)				(SPRAY ARC, SHORT CIRCUITING ARC, ETC/ ARCO DE ESPRAY, ARCO DE CORTO CIRCUITO, ETC)						
OTHER				None						
Otros										
TECHNIQUE (QW-410)										
Técnica										
STRING OR WEAVE BEAD				Any (cualquiera)						
Cordón recto u oscilado										
ORIFICE, NOZZLE, OR GAS CUP SIZE				0.236 in to 0.393 in. (6.0 mm. to 10 mm.)						
Tamaño del orificio, conexión o boquilla para gas										
TRAIL AND INTERPASS CLEANING(BRUSHING, GRINDING, ETC)				Degreasing, grinding, brushing, etc. (desengrasado, esmerilado, cepillado, etc)						
Limpieza inicial y entre pases(cepillado, esmerilado, etc)										
METHOD OF BACK GOUGING				Grinding, Brushing, etc						
Método de biselado posterior										
OSCILATION				Not applicable (No aplica)						
Oscilación										
CONTACT TUBE TO WORK DISTANCE				10 mm						
Distancia del tubo de contacto a la pieza de trabajo										
MULTIPLE OR SINGLE PASS(PER SIDE)				Single (Único)						
Pase único o múltiples (por lado)										
MULTIPLE OR SINGLE ELECTRODES				Single (Único)						
Electrodo múltiple o único										
ELECTRODE SPACING				None (Ninguno)						
Distancia entre electrodos										
PEENING				Not Allowed (No permitido)						
Martillado										
WELDING IN CHAMBER				Not Applicable ( No aplica)						
Soldadura en cámara										
USE OF THERMAL PROCESSES				Not Applicable ( No aplica)						
Utilización de procesos térmicos										
OTHER				ER5356						
Otros										

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)			
COMPANY NAME		CORE H.&H.	
Nombre de la empresa			
PROCEDURE QUALIFICATION RECORD No.		FH-01-2013	DATE
No. De registro de calificación de procedimiento			January 10, 2013
WPS No.		CORE-FH-01-2013 Rev. 0	WELDING PROCESS(ES)
			GMAW
TYPES(MANUAL, AUTOMATIC, SEMI-AUTOMATIC)		SEMI-AUTOMATIC	
Tipos(Manual, Automático, Semi-automático)			
JOINTS(QW-402)			
Juntas			
GROOVE DESIGN OF TEST COUPON			
(For combination qualifications, the deposited weld metal thickness shall be recorded for each filler metal and process used)			
Diseño de la junta para el cupón de prueba			
(Para calificaciones combinadas, el espesor de metal de soldadura depositado debe ser registrado para cada metal de aporte y proceso utilizado)			
BASE METALS (QW-403)		POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)	
Metales Base		Tratamiento térmico post-soldadura	
MATERIAL SPEC.		A95086 H-116	
Especificación del material		TEMPERATURE	
TYPE/GRADE OR UNS NUMBER		A95086 H-116	
Tipo/Grado o Número UNS		Temperatura	
P-No. 25 GROUP all		TIME	
TO P-No. 25 GROUP all		Not applicable	
P.No. Grupo		Tiempo	
a P-No. Grupo		OTHER(S)	
THICKNESS OF TEST COUPON		Not applicable	
0,1875 in. (4.76 mm.)		GAS(QW-408)	
Espesor del cupón de prueba		Gas	
DIAMETER OF TEST COUPON		PERCENT COMPOSITION	
Plate		Composición porcentual	
Diámetro del cupón de prueba		GAS MIXTURE FLOW RATE	
MAXIMUM PASS THICKNESS		Gas Mezcla Flujo	
Less than 0.25 in. (6,25 mm.)		SHIELDING	
Espesor máximo de pase		Argon 100% 40 cfh	
OTHER(S)		Protección	
Otros(s)		TRAILING	
FILLER METALS (QW-404)		None	
Metales de aporte		Arrastre	
SFA SPECIFICATION		None	
5.10		BACKING	
Especificación SFA		None	
AWS CLASSIFICATION		None	
ER5356		Soporte	
Clasificación AWS		OTHER(S)	
FILLER METALS F-No.		Otros(s)	
22		ELECTRICAL CHARACTERISTICS(QW-409)	
No. F del metal de aporte		Características eléctricas	
WELD METAL ANALYSIS A-No.		CURRENT	
Not applicable		DC	
No.A del análisis del metal soldado		Tipo de corriente	
SIZE OF FILLER METAL		POLARITY	
Diam 0.047 in. (1.2 mm.)		EP	
Tamaño del metal de aporte		Polaridad	
FILLER METAL PRODUCT FORM		AMPS	
Solid Wire		145-150 VOLTS	
Forma de producto del metal de aporte		24-26	
SUPPLEMENTAL FILLER METAL		Amperaje Voltios	
None		TUNGSTEN ELECTRODE SIZE	
Metal de aporte suplementario		Not applicable	
ELECTRODE FLUX CLASSIFICATION		Tamaño de electrodo de tungsteno	
Not applicable		MODE OF METAL TRANSFER FOR GMAW	
Clasificación del fundente para electrodo		Spray	
FLUX TYPE		Modo de transferencia para GMAW	
Not applicable		HEAT INPUT	
Tipo de fundente		Not recorded	
FLUX TRADE NAME		Aporte de Calor	
Not applicable		OTHER(S)	
Nombre comercial del fundente		None	
WELD METAL THICKNESS		Otros(s)	
0.1875 in. (4.76 mm.)		TECHNIQUE(QW-410)	
Espesor del metal de soldadura		Técnica	
OTHER(S)		TRAVEL SPEED	
Otros(s)		6.5 mm/seg.	
POSITIONS (QW-405)		Velocidad de avance	
Posiciones		STRING OR WEAVE BEAD	
POSITION OF GROOVE		String	
1G		Cordón recto u oscilado	
Posición de ranura		OSCILATION	
WELD PROGRESSION (UPHILL; DOWNHILL)		Not applicable	
Not Applicable		Oscilación	
Progresión de soldadura		MULTIPASS OR SINGLE PASS(PER SIDE)	
OTHER(S)		Single	
Not applicable		Pases múltiples o únicos (por lado)	
Otros(s)		SINGLE O MULTIPLE ELECTRODES	
None		Single	
Electrodo múltiple o sencillo		WELDING IN CHAMBER	
None		Not applicable	
Soldadura en cámara		USE OF THERMAL PROCESS	
None		Not applicable	
Temperatura de prueba		Usos de procesos térmicos	
INTERPASS TEMPERATURE		OTHER(S)	
Min 60°F (15°C)		None	
Temperatura entre pase		Otros(s)	
OTHER(S)		REMARKS	
None		None	
Otros(s)		Observaciones	



PROCEDURE QUALIFICATION (PQR)- back						
<b>TENSILE TEST(QW-150)</b>						
Ensayos de tracción						
SPECIMEN No.	WIDTH	THICKNESS	AREA	ULTIMATE TOTAL LOAD	ULTIMATE UNIT STRESS	TYPE OF FAILURE & LOCATION
T1 (DG)	0.5 in. (12.70 mm.)	0.1875 in. (4,76 mm.)	0.09375 in <sup>2</sup> . 60,452 mm <sup>2</sup> .	3,425 lb. (1,557 kg.)	36,533 psi. (256 MPa)	Ductile - weld metal
T2 (DG2)	0.5 in. (12.70 mm.)	0.1875 in. (4,76 mm.)	0.09375 in <sup>2</sup> . 60,452 mm <sup>2</sup> .	3,381 lb. (1,537 kg.)	36,064 psi. (253 MPa)	Ductile - weld metal
<b>GUIDED-BEND TESTS (QW-160)</b>						
Pruebas de doblez-guado						
TYPE AND FIGURE No.				RESULT		
Tipo y figura				Resultado		
FACE 1-QW 462,3 (a)				No open defects observed		
FACE 2-QW 462,3 (a)				No open defects observed		
ROOT 1-QW 462,3 (a)				No open defects observed		
ROOT 2-QW 462,3 (a)				No open defects observed		
<b>TOUGHNESS TESTS (QW-170)</b>						
Pruebas de impacto						
SPECIMEN No.	NOTCH LOCATION	SPECIMEN SIZE	TEST TEMPERATURE	IMPACT VALUES		DROP WEIGHT BREAK
				ft-lb or J	% SHEAR	MILS (in or mm)
Muestra No.	Ubicación de la muestra	Tamaño de la muestra	Temperatura de prueba		%corte	
						Rotura con peso muerto
						Y/N
						S/N
COMMENTS						
Comentarios						
<b>FILLET-WELD TEST (QW-180)</b>						
Pruebas en soldadura de filete						
RESULT-SATISFACTORY	YES	NO	PENETRATION INTO PARENT METAL		YES	NO
Resultado satisfactorio	Si	No			Si	No
MACRO-RESULTS						
Macro-resultados						
<b>OTHER TESTS</b>						
Otras pruebas						
TYPE OF TEST						
Tipo de Prueba						
DEPOSIT ANALYSIS						
Análisis del depósito						
OTHER						
Otros						
WELDER NAME	JOSE ROMO		CLOCK No.	1	STAMP	W 13
Nombre de Soldador					Estampe No.	
TEST CONDUCTED BY	ING. FREDY HIDALGO		LABORATORY TEST No.	18,19		
Ensayo efectuado por				Prueba de laboratorio No.		
WE CERTIFY THAT THE STATEMENTS IN THIS RECORD ARE CORRECT AND THAT THE TESTS WELDS WERE PREPARED AND TESTED IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF SECTION IX OF THE ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE						
Certificamos que las declaraciones hechas en este registro son correctas y que las soldaduras de prueba fueron y probadas con los requerimientos de la Sección IX del Código ASME BPV						
MANUFACTURER OR CONTRATOR				CORE H.& H.		
Fabricante o Contratista						
DATE	January 10, 2013		CERTIFIED BY	ING. FREDY HIDALGO		
Fecha			Certificado por			
DETAIL OF RECORD OF TESTS ARE ILLUSTRATIVE ONLY AND MAY BE MODIFIED TO CONFORM TO THE TYPE AND NUMBER OF TEST REQUIRED BY THE ASME BPV CODE						
El detalle de los registros de pruebas son solo ilustrativos y pueden ser modificados para estar en conformidad con el tipo y el número de pruebas por el Código ASME BPV requeridas por el Código						

(Fuente: Autor).

# ANEXO A.7

## RESUMEN DE LA NORMA ASTM E10-01 Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials



Designation: E 10 - 01

American Association State Highway  
and Transportation Officials Standard  
AASHTO No.: T70-B6  
An American National Standard

### Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 10; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

#### 1. Scope

1.1 This test method (Test Method A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Test Method B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Test Method C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for N.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>2</sup>
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications<sup>3</sup>
- E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines<sup>2</sup>
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness<sup>2</sup>

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 **Brinell hardness number**—a number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved February 10, 2001. Published April 2001. Originally published as E 10 - 24 T. Last previous edition E 10 - 00a.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{See Table 1}) \quad (1)$$

where:

$D$  = diameter of the ball, mm,

$F$  = test force, N, and

$d$  = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the symbol: HBW.

3.1.1.1 **Discussion**—In former standards, a steel ball was allowed for hardness values below 450. In cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB or HBS.

3.1.1.2 **Discussion**—The symbol HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 11.1.2 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

(1) Diameter of the ball, in mm,

(2) A value representing the test force in kgf (see Table 3), and,

(3) Duration of loading, in s.

##### Examples:

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.  
600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

3.1.1.3 **Discussion**—Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

3.1.1.4 **Discussion**—Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.1.2 **Brinell hardness test**—an indenter (tungsten carbide ball with diameter  $D$ ) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation  $d$  left in the surface after removal of the test force,  $F$ , is measured. (see Table 1 and Figs. 1 and 2.)

3.1.2.1 **Discussion**—The tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 650.

3.1.3 **calibration**—adjustment of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE 1—Constant =  $\frac{1}{\epsilon_n} = \frac{1}{9.80665} = 0.102$

Symbol	Designation
$D$	Diameter of the ball, mm
$F$	Test force, N
$d$	Mean diameter of the indentation, mm
$h$	Depth of the indentation, mm
	$= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
HBW	Brinell hardness
	$= \text{Constant} \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

3.1.4 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

#### 4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an empirical indentation hardness test. Brinell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials. Brinell hardness testing at the specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product. Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and they have been used extensively in industry for this purpose.

#### TEST METHOD A—GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

##### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen. The design of the testing machines shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter shall be applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

##### 5.2 Brinell Balls:

5.2.1 The standard ball for Brinell hardness testing shall be 10.000 mm in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm in any diameter. The ball shall be polished and free of surface defects. Smaller balls having the diameters and tolerances indicated in Table 4 may be used also provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 The tungsten carbide ball indenter shall have a minimum hardness of 1500 HV10.

NOTE 2—**Caution:** The Brinell test is not recommended for material

having hardness over 650 HBW (see 8.1).

5.2.2.1 The chemical composition of tungsten carbide balls shall be:

Tungsten Carbide (WC)	Balance
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Total other Carbides	2.0 % max

5.2.2.2 The use of hardened steel ball indenters has been eliminated from this test method. Only tungsten carbide balls may now be used for this test method.

5.2.3 If a ball is used to test a specimen which shows a Brinell hardness greater than 650, the result should be considered suspect and the ball inspected for damage. If there is any evidence of damage, the ball shall be replaced.

5.3 *Measuring Device*—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measuring of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 3—This requirement applies to the construction of the device only and is not a requirement for measurement of the indentation.

##### 6. Test Specimen

6.1 There is no standard shape or size for a Brinell test specimen. The specimen upon which the indentation is made shall conform to the following:

6.1.1 *Thickness*—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the indentation. As a general rule, the thickness of the specimen shall be at least ten times the depth of the indentation (Table 5).

6.1.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be filed, ground, machined or polished with abrasive material so that the edge of the indentation shall be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy (see 9.1). Care should be taken to avoid overheating or cold working the surface.

##### 7. Verification of Testing Machine

7.1 *Verification Methods*—The hardness testing machine shall be verified in accordance with one of the two acceptable methods of verifying Brinell hardness testing machines as given in Test Method B.

7.2 *Test Force Range*—When direct verification is used, the Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed  $\pm 1\%$ . When indirect verification is used, the Brinell hardness machine is acceptable for use over a test force range within which the mean hardness value obtained is within  $\pm 3\%$  of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

##### 8. Procedure

8.1 *Magnitude of Test Force*—Typically, the force in the standard Brinell test shall be 29.42 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), or 4.90 kN (500 kgf). It is recommended that the diameter of the indentation be between 24 and 60 % of the ball diameter. A lower limit in indentation diameter is necessary

TABLE 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter $D$ , mm	$0.102 F$ $D^2$	Test Force $F$ Nominal Value	
HBW 10/3000	10	30	29.42	kN - (3000 kgf)
HBW 10/1500	10	15	14.71	kN - (1500 kgf)
HBW 10/1000	10	10	9.807	kN - (1000 kgf)
HBW 10/500	10	5	4.903	kN - (500 kgf)
HBW 10/250	10	2.5	2.452	kN - (250 kgf)
HBW 10/125	10	1.25	1.226	kN - (125 kgf)
HBW 10/100	10	1	980.7	N - (100 kgf)
HBW 5/750	5	30	7.355	kN - (750 kgf)
HBW 5/250	5	10	2.452	kN - (250 kgf)
HBW 5/125	5	5	1.226	kN - (125 kgf)
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9	N - (62.5 kgf)
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5	N - (31.25 kgf)
HBW 5/25	5	1	245.2	N - (25 kgf)
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1.839	kN - (187.5 kgf)
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9	N - (62.5 kgf)
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5	N - (31.25 kgf)
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2	N - (15.625 kgf)
HBW 2.5/7.812.5	2.5	1.25	76.61	N - (7.8125 kgf)
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29	N - (6.25 kgf)
HBW 2/120	2	30	1.177	kN - (120 kgf)
HBW 2/40	2	10	392.3	N - (40 kgf)
HBW 2/20	2	5	196.1	N - (20 kgf)
HBW 2/10	2	2.5	98.07	N - (10 kgf)
HBW 2/5	2	1.25	49.03	N - (5 kgf)
HBW 2/4	2	1	39.23	N - (4 kgf)
HBW 1/30	1	30	294.2	N - (30 kgf)
HBW 1/10	1	10	98.07	N - (10 kgf)
HBW 1/5	1	5	49.03	N - (5 kgf)
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52	N - (2.5 kgf)
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26	N - (1.25 kgf)
HBW 1/1	1	1	9.807	N - (1 kgf)

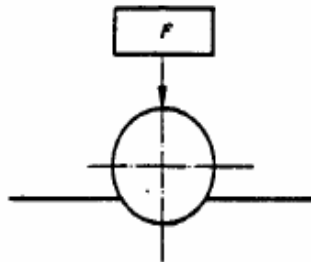


FIG. 1 Principle of Test

range of hardness for a given class of materials. For softer metals, forces of 2.45 kN (250 kgf), 1.23 kN (125 kgf), or 0.981 kN (100 kgf) are sometimes used. The force used shall

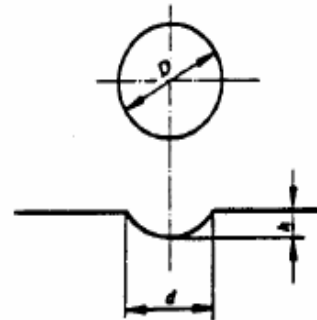


FIG. 2 Principle of Test

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	±0.005
5	±0.004
2.5	±0.003
2	±0.003
1	±0.003

TABLE 5 Minimum Thickness Requirements for Brinell Hardness Tests

Minimum Thickness of Specimen		Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
in.	mm	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
1/8	1.6	602	301	100
1/4	3.2	301	150	50
3/8	4.8	201	100	33
1/2	6.4	150	75	25
5/8	8.0	120	60	20
3/4	9.6	100	50	17

TABLE 6 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HBW
10	29.42 kN (3000 kgf)	98 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	16 to 100

be specifically stated in the test report (see 11.1.2).

(Fuente: NORMA ASTM E10-01 Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials. Pág. 107, 108, 111).

# ANEXO A.8

## RESUMEN DE LA NORMA ASTM E3-11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens



Designation: E3 – 11

### Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E3; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- A90/A90M Test Method for Weight [Mass] of Coating on Iron and Steel Articles with Zinc or Zinc-Alloy Coatings<sup>2</sup>
- E7 Terminology Relating to Metallography
- E45 Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel

<sup>1</sup> This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation. Current edition approved May 1, 2011. Published June 2011. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2007 as E3–01(2007) $\epsilon^1$ . DOI: 10.1520/E0003-11.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- E768 Guide for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Indusion Assessment of Steel
- E1077 Test Methods for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens
- E1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis (Withdrawn 2006)<sup>3</sup>
- E1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis
- E1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures
- E1558 Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens
- E1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E7.

##### 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.2.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15 $\mu$ m diamond particles), and used as the fine grinding operation in a metallographic preparation procedure.

<sup>3</sup> The last approved version of this historical standard is referenced on [www.astm.org](http://www.astm.org).

**TABLE 1 Cutoff Blade Selection**

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 900	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med.
up to 400	soft ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	med.
up to 600	medium hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R	hard
up to 700	hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R&R	med. soft
up to 800	very hard ferrous	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

P—phenolic  
R—rubber  
R&R—mesh and rubber  
M—metal

mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is cylindrical. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).

## 7. Cutting of Metallographic Specimens

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

7.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

## 8. Cleanliness

8.1 Cleanliness (see Appendix X1) during specimen preparation is essential. All greases, oils, coolants and residue from cutoff blades on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning may be effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid (HNO<sub>3</sub>, sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO<sub>3</sub> method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A90/A90M.

Note 2—Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

Note 3—The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (polyethylene-polyamine) or SbCl<sub>3</sub> are two useful inhibitors.

8.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix X1.

## 9. Mounting of Specimens

9.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimen prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, fragile, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

9.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

### 9.3 Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

9.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

9.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

9.3.4 Filler material *must* be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used.

(Fuente: NORMA ASTM E3-11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens Pág. 1, 3).

# ANEXO A.9

## RESUMEN DE LA NORMA ASTM E 407-07 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys.



Designation: E407 – 07<sup>1</sup>

### Standard Practice for Microetching Metals and Alloys<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E407; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

<sup>1</sup> NOTE—Table 2 was editorially corrected in May 2011.

#### 1. Scope

1.1 This practice covers chemical solutions and procedures to be used in etching metals and alloys for microscopic examination. Safety precautions and miscellaneous information are also included.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. For specific cautionary statements, see 6.1 and Table 2.*

#### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

D1193 Specification for Reagent Water

E7 Terminology Relating to Metallography

E2014 Guide on Metallographic Laboratory Safety

#### 3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 For definition of terms used in this standard, see Terminology E7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *tint etch*—an immersion etchant that produces color contrast, often selective to a particular constituent in the microstructure, due to a thin oxide, sulfide, molybdate, chromate or elemental selenium film on the polished surface that reveals the structure due to variations in light interference effects as a function of the film thickness (also called a “stain etch”).

3.2.2 *vapor-deposition interference layer method*—a technique for producing enhanced contrast between microstructural constituents, usually in color, by thin films formed by vacuum deposition of a dielectric compound (such as ZnTe, ZnSe, TiO<sub>2</sub>, ZnS or ZnO) with a known index of refraction, generally due to light interference effects (also known as the “Pepperhoff method”).

#### 4. Summary of Practice

4.1 Table 1 is an alphabetical listing of the metals (including rare earths) and their alloys for which etching information is available. For each metal and alloy, one or more etchant numbers and their corresponding use is indicated. Alloys are listed as a group or series when one or more etchants are common to the group or series. Specific alloys are listed only when necessary. When more than one etchant number is given for a particular use, they are usually given in order of preference. The numbers of electrolytic etchants are *italicized* to differentiate them from nonelectrolytic etchants.

4.2 Table 2 is a numerical listing of all the etchants referenced in Table 1 and includes the composition and general procedure to be followed for each etchant.

4.3 To use the tables, look up the metal or alloy of interest in Table 1 and note the etchant numbers corresponding to the results desired. The etchant composition and procedure is then located in Table 2 corresponding to the etchant number.

4.4 If the common name of an etchant is known (Marble’s, Vilella’s, etc.), and it is desired to know the composition, Table 3 contains an alphabetical listing of etchant names, each coded with a number corresponding to the etchant composition given in Table 2.

#### 5. Significance and Use

5.1 This practice lists recommended methods and solutions for the etching of specimens for metallographic examination. Solutions are listed to highlight phases present in most major alloy systems.

#### 6. Safety Precautions

6.1 Before using or mixing any chemicals, all product labels and pertinent Material Safety Data Sheets (MSDS) should be

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Specimen Preparation.

Current edition approved May 1, 2007. Published May 2007. Originally approved in 1999. Last previous edition approved in 1999 as E407-99 DOI: 10.1520/E0407-07.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

**TABLE 1 Etchants for Metals**

Note 1—It is strongly recommended to always mix and use etchants under a certified and tested fume hood.

Note 2—Electrolytic etchants are *italicized*.

Metal	Etchants	Uses
<b>Aluminum Base:</b>		
Pure Al	1a, 2, 3 4, 5 1b	general structure grain structure under polarized light grain boundaries and slip lines
1000 series	1a, 3, 2 4, 5 6, 7	general structure grain structure under polarized light phase identifications
2000 series	3, 2, 1a 8a, 6, 7	general structure phase identifications
3000 series	3, 1a 4, 5 8a, 6, 7	general structure grain structure under polarized light phase identifications
4000 series	3, 1a	general structure
5000 series	3, 1a, 2, 6, 8a 4, 5	general structure grain structure under polarized light
6000 series	3, 1a, 2, 6, 8a, 222 4, 5 1a, 2, 7, 6, 8a	general structure grain structure under polarized light phase identifications
7000 series	3, 1a, 2 4, 5 3b, 6	general structure grain structure under polarized light phase identifications
<b>Beryllium Base:</b>		
Pure Be Be alloys	9, 10 11	general structure via polarized light general structure
<b>Chromium Base:</b>	12, 13c	general structure
<b>Cobalt Base:</b>		
Pure Co	14, 15, 16, 17	general structure
Hard-facing and tool metals	18, 19, 20	general structure
High-temperature alloys	20, 18, 16, 21, 22b, 24, 25 19	general structure phase identification
<b>Columbium Base (see niobium base)</b>		
<b>Copper Base:</b>		
Pure Cu	26, 27, 28, 29, 30, 31d, 32, 33, 34b, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 8b, 210, 215 43, 28	general structure chemical polish and etch
Cu-Al (aluminum bronze)	44, 31d, 34b, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 215	general structure
Cu-Be	46, 41, 45	general structure
Cu-Cr	41	general structure
Cu-Mn	41	general structure
Cu-Ni	34, 47, 48, 40, 49, 50	general structure
Cu-Si	41	general structure
Cu-Sn (tin bronze)	51, 52	general structure
Admiralty metal Gilding metal Cartridge brass Free-cutting brass Nickel silver	8b 31d, 32, 33, 41, 42, 49	general structure
Cu alloys	26, 27, 28, 29, 30, 44, 41, 31d, 32, 33, 34b, 35, 36, 37, 38, 39, 210, 215 53, 43, 28, 49 42, 49, 210 54	general structure chemical polish and etch darkens beta in alpha-beta brass etching of cold worked brass
<b>Dysprosium Base:</b>	55, 56	general structure



**TABLE 2 Numerical List of Etchants**

NOTE 1—It is strongly recommended to always mix and use etchants under a certified and test fume hood.

Etchant	Composition	Procedure
1	1 mL HF 200 mL water	(a) Swab with cotton for 15 s. (b) Alternately immerse and polish several minutes. (c) Immerse 3–5 s. (d) Immerse 10–120 s.
2	3 mL HF 100 mL water	(a) Swab 10 s to reveal general structure. (b) Immerse 15 min, wash 10 min in water to form film with hatching which varies with grain orientation.
3	2 mL HF 3 mL HCl 5 mL HNO <sub>3</sub> 190 mL water	(a) Immerse 10–20 s. Wash in stream of warm water. Reveals general structure. (b) Dilute with 4 parts water-co-bis constituents—mix fresh.
4	24 mL H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 50 mL Carbitol (diethylene glycol monoethyl ether) 4 g boric acid 2 g oxalic acid 10 mL HF 32 mL water	Electrolytic: Use carbon cathode raising d-c voltage from 0–30 V in 30 s. Total etching time 3 min with agitation. Wash and cool. Repeat if necessary.
5	5 g HBF <sub>4</sub> 200 mL water	Electrolytic: Use Al, Pb, or stainless steel cathode. Anodize 1–3 min, 20–45 V d-c. At 30 V, etch for 1 min.
6	25 mL HNO <sub>3</sub> 75 mL water	Immerse 40 s at 70°C (160°F). Rinse in cold water.
7	10–20 mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 80 mL water	Immerse 30 s at 70°C (160°F). Rinse in cold water.
8	10 mL H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 90 mL water	(a) Immerse 1–3 min at 50°C (120°F). (b) Electrolytic at 1–8 V for 5–10 s.
9	3–4 g sulfamic acid 5 drops HF 100 mL water	Use just prior to the last polishing operation. It is not intended as a final etchant. The specimen is examined as polished under polarized light.
10	10 mL HF 90 mL methanol (90 %)	Immerse 10–30 s.
11	2 mL HF 100 mL water	Immerse or swab few seconds to a minute.
12	20 mL HNO <sub>3</sub> 60 mL HCl	Use a certified and tested hood. Do not store. Immerse or swab 5–60 s.
13	10 g oxalic acid 100 mL water	Electrolytic at 6 V: (a) 10–15 s. (b) 1 min. (c) 2–3 s. Use stainless steel cathode and platinum or Nichrome connection to specimen.
14	10 mL HNO <sub>3</sub> 90 mL methanol (95 %)	Immerse few seconds to a minute.
15	15 mL HNO <sub>3</sub> 15 mL acetic acid 60 mL HCl 15 mL water	Use a certified and tested hood. Age before use. Immerse 5–30 s. May be used electrolytically.
16	5–10 mL HCl 100 mL water	Electrolytic at 3 V for 2–10 s.
17	5 mL HCl 10 g FeCl <sub>3</sub> 100 mL water	Electrolytic at 6 V for few seconds.
18	2–10 g CrO <sub>3</sub> 100 mL water	Use a certified and tested hood. Electrolytic at 3 V for 2–10 s.

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Sep 20 10:14:59 EDT 2012 9  
 Downloaded/printed by  
 MC MASTER UNIVERSITY pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

(Fuente: NORMA ASTM E 407-07 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys Pág. 1, 4, 9).