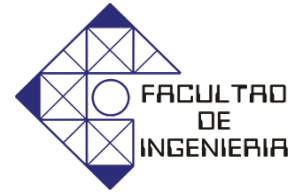




**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



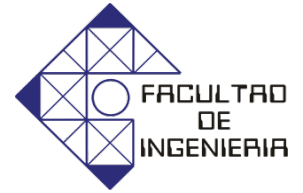
**EFFECTO DE LA SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO CON GAS,
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE
LÁMINAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO AA-3003(O) Y AA-6063(O),
DEFORMADAS PLÁSTICAMENTE.**

**Reniel A. Monroy E.
Florentino Márquez J.**

Naguanagua, Octubre del 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**EFFECTO DE LA SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO CON GAS,
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE
LÁMINAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO AA-3003(O) Y AA-6063(O),
DEFORMADAS PLÁSTICAMENTE.**

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

Autores:

Tutor académico:

Prof. Ing. Franklin Camejo

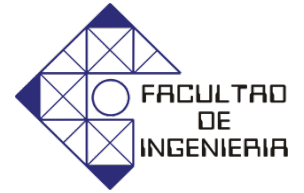
Reniel A. Monroy E.

Florentino Márquez J.

Naguanagua, Octubre del 2011



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**EFFECTO DE LA SOLDADURA POR ARCO DE TUNGSTENO CON GAS,
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y MICROESTRUCTURALES DE
LÁMINAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO AA-3003(O) Y AA-6063(O),
DEFORMADAS PLÁSTICAMENTE.**

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

Reniel A. Monroy E.

Florentino Márquez J.

Octubre del 2011



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



CERTIFICADO DE APROBACION

Quienes suscriben, miembros del jurado designado por el consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para examinar la Tesis titulada "***Efecto de la soldadura por arco de tungsteno con gas, en las propiedades mecánicas y microestructurales de láminas de aleaciones de aluminio AA-3003 y AA-6063 deformadas plásticamente***" presentada por los bachilleres: Reniel Monroy Florentino Márquez, portadores de la Cedula de Identidad N° 16.784.172, y 4.212.923, respectivamente; hacemos constar que hemos revisado y aprobado el mencionado trabajo.

Prof. Tutor, *Ing. Franklin Camejo*
Presidente del jurado

Prof. Jurado 1, *Ing. Luís Sidorovas*
Miembro del jurado

Prof. Jurado 2, *Ing. Argel Porrelo*
Miembro del jurado

En Naguanagua a los 15 días del mes de Octubre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Desde lo más profundo quiero, a través de estas líneas que serán indelebles a lo largo del tiempo expresar mi gratitud a todos y cada uno de quienes hicieron posible que se haya hecho realidad este sueño.

A los técnicos del Taller de Procesos Metalmeccánicos: René Padrón, Omar Coronel, Néstor Díaz, a la técnico del Laboratorio de Materiales Yosmary Pérez quienes con sus sabios consejos nos guiaron para efectuar cada uno de los pasos a seguir y a las secretarias Gribel Abreu y Arelis Barreto por su receptividad.

A los profesores del área de procesos que nos respondieron las interrogantes que les formulamos a medida que íbamos profundizando en el análisis, al Profesor Ing. Carmelo J. Torres O. en su periodo de Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindarnos todo el apoyo para el uso de las instalaciones del Taller de Metalmeccánica y en especial al Profesor Franklin Camejo, nuestro Tutor Académico quien de una manera pedagógica nos transmitió la luz de sus conocimientos para plasmarlos en este trabajo.

Florentino Márquez Jaimes

AGRADECIMIENTOS

A dios todo poderoso: por fuerza y la fe necesaria para la elaboración de nuestro trabajo especial y de esta manera culminar nuestros estudios.

A NUESTROS PADRES: por su apoyo incondicional y voz de aliento para el logro de nuestras metas.

AL ING. FRANKLIN CAMEJO: por la colaboración, ayuda, paciencia y guía en la realización de este proyecto.

A los técnicos del Taller de Procesos Metalmeccánicos: René Padrón, Omar Coronel, Néstor Díaz, al técnico del Laboratorio de Materiales Yosmary Pérez quienes con sus sabios consejos nos guiaron para efectuar cada uno de los pasos y por su receptividad.

Al personal de las empresas Alucasa y venalum: por facilitarnos material de apoyo para nuestra investigación.

A todos nuestros compañeros y amistades: vinculados en este proyecto siendo ellos nuestro apoyo moral.

A todos pero absolutamente todos.

Muchas gracias...

Reniel A. Monroy E.

DEDICATORIA

Primeramente dar gracias al creador por permitirnos vivir, a mis padres fallecidos y en especial a mi inolvidable madre, a mi señora esposa, a mis hijos, a los profesores y a los compañeros.

Para mi madre su esfuerzo, su sacrificio, lidiar con tres hijos no fue en vano; su esfuerzo y sacrificio porque luchó a capa y espada sola, portándose como una autentica madre, ya que nuestro padre falleció cuando éramos unos niños; y le dimos lo mejor que le pueda dar un hijo a una madre: tranquilidad.

A mi esposa con la que he compartido durante treinta años que llevamos de vida matrimonial los buenos y difíciles momentos, a mis hijos por los cuales luché y me esforcé para darles educación, transmitirles valores y principios y que hoy día me los han retribuido al ser ellos quienes me dieron su total apoyo para culminar uno de los mayores deseos que siempre tuve, obtener el título de Ingeniero Mecánico.

No fue fácil, el mayor grado de dificultad fue la edad (llegando a oír un comentario de un profesor que en clase dijo: para que estudian los viejos, ya no tienen nada que buscar) teniendo en cuenta que el gran universo estudiantil es gente joven, no obstante conseguí muchos jóvenes y profesores que me brindaron su voz de aliento.

Florentino Márquez Jaimes

DEDICATORIA

A Dios ante todo, a mis padres, mis hermanos, a mi familia y grandes amistades siendo todos ellos fuerza moral, aliento, apoyo de incentivo para este gran motivo.

Reniel A. Monroy E.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo tuvo como objetivo establecer el comportamiento del efecto de la soldadura por arco de tungsteno con gas, en las propiedades mecánicas y microestructurales en las aleaciones de aluminio AA-3003 y AA-6063, deformadas plásticamente, teniendo como condición constante el Amperaje, el Voltaje y la Temperatura, a un número de probetas acondicionadas a través de tratamientos, ensayos y procesos, siendo estos: recocido, laminación, tracción, Microscopía, Microdureza Vickers, siguiendo normas internacionales. Los cordones de soldadura se efectuaron con un proceso GTAW, manual, usando una fuente de poder de potencia constante y aplicando corriente continua, polaridad invertida. Se empleó como gas protector Argón comercial en un 100 %.

El recocido, se efectuó para eliminar los tratamientos a los que previamente fueron sometidas las aleaciones, con el fin de eliminar las tensiones; posteriormente se realizó la laminación, para obtener los porcentajes de reducción de espesor; luego se hizo lamicroscopía, para ver la microestructura, y los constituyentes que la conforman.

El proceso de la laminación se efectuó para obtener porcentajes de reducciones de espesores de 30%, 35% y 40%.

Ensayo de Tracción, se aplicó a todas las probetas en estudio, tanto a las de condición en recocido como a las de condición recocido-soldadas, estas últimas para la condición de las diferentes reducciones de espesor, con el cual se obtuvieron los valores de resistencia para cotejarlos entre ellos, y así se determinó la aleación con las mejores condiciones para su aplicabilidad.

Estos tratamientos, ensayos y procesos permitieron a través de los resultados y análisis determinar que el proceso de soldeo realizado a las dos aleaciones generó beneficios para su aplicación. En condición de recocido la que mayor valor de resistencia última presentó fue la AA-6063(O) y la deformación de la AA-6063(O) casi duplicó a la AA-3003(O).

Mantener el amperaje, voltaje y temperatura constante en el soldeo de las probetas en condición de recocido permitió determinar cómo varió las propiedades mecánicas y la ductilidad de la aleación AA-3003(O) respecto a la aleación AA-6063(O).

El ensayo de metalografía se efectuó para obtener información de la microestructura en las zonas de fusión, zona afectada por el calor y el metal base, de las dos aleaciones y por último se aplicó a las muestras un ensayo de Microdureza Vickers, que permitió determinar la dureza de las aleaciones y así conocer la aleación que presentó mejores propiedades mecánicas.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

A_0	Área inicial
A_f	Área final
AA	Aleación aluminio
ASTM	Sociedad Americana para el Estudio de los Materiales (American Society For Testing and materials)
AWS	Sociedad Americana de la Soldadura (American Welding Society)
C_p	Calor específico a presión constante
Diag.	Diagonal
E	Módulo de Young
e	Espesor
e_0	Espesor inicial
e_f	Espesor final
GTAW	Soldadura por Arco de Tungsteno con Gas (Gas Tungsten Arc Welding)
h	Coeficiente de transferencia de calor
HVN	Microdureza Vickers
K	Constante de Hooke
κ	Coeficiente de conductividad térmica
l_0	Longitud inicial
L_c	Longitud calibrada
l_f	Longitud final
m	Metros
min	Minutos
mm	Milímetros
N	Newton
P	Carga
t	Tiempo
T_{aH}	Temperatura ambiente (interna) dentro del horno
T_0	Temperatura inicial dentro del horno
T_{rec}	Temperatura de recocido
TIG	Gas Inerte de Tungsteno (Tungsten Inert Gas)
V	Voltios
X	Valor en el eje de las abscisas
Y	Valor en el eje de las ordenadas
ρ	Densidad
σ_f	Esfuerzo de fluencia
σ_{fract}	Esfuerzo de fractura
σ_u	Esfuerzo último
ε	Deformación
%Re	Porcentaje de reducción de espesor
Δl	Alargamiento
ΔP	Diferencial de carga
w	Ancho

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Agradecimientos	V
Dedicatoria	VII
Resumen	IX
Símbolos y abreviaturas	X
ÍNDICE GENERAL	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.	
EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Justificación	4
1.4 Limitaciones	5
1.5 Alcances.....	5
CAPÍTULO 2.	
MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	6
2.2 Bases referenciales.....	10
1. Aluminio	10
1.a Características principales	11
1.b Aplicaciones.....	12

1.c Clasificación de aluminio.....	12
2. Aleaciones	13
3. Tipos de aleaciones normalizadas.....	15
4. Tratamiento térmico de las aleaciones.....	15
4.1 Aleación de aluminio forjado sin tratamiento térmico.....	18
4.2 Aleaciones serie 3xxx	19
4.3 Aleaciones de aluminio forjado con tratamiento térmico.....	19
4.4 Aleaciones serie 6xxx	20
4.5 Aleaciones aluminio AA-6063T5	20
4.6 Características mecánicas, Físicas y Químicas del aluminio Aleación AA-6063T5	21
4.7 Composición Química del aluminio aleación AA-6063T5.....	23
4.8 Aluminio, aleación AA-3003H14	24
4.9 Propiedades Mecánicas, Físicas y Químicas del aluminio Aleación AA-3003H14.....	25
5. Conceptos.....	25
6. Probeta norma ASTM-E8M.....	29
6.1 Longitud calibrada.....	31
7. Calculo de número de Biott, parámetros y ecuaciones.....	31
8. Tratamiento de recocido	34
9. Laminación.....	35
10. Historia de la solución TIG	36
10.1 Concepto de soldadura.....	38
10.2 Métodos de soldadura más comunes	38
10.2.1 Soldadura por fusión	38
10.2.2 De origen Mecánico	39
10.3 Fuente de energía eléctrica	39
10.4 Corriente eléctrica Soldadura.....	39
10.5 Generación del arco eléctrico en la soldadura por fusión	39

10.6 Material consumible adecuado	40
10.7 Formas de producir arco eléctrico con material no consumible	41
10.7.1 Varilla conductora NO consumible	41
10.7.1.a Generalidades.....	41
10.7.1.b Métodos de soldadura por fusión	41
10.7.1.c Clasificación de la soldadura por fusión	41
10.7.2 Proceso GTAW soldadura por arco de tungsteno con gas ..	42
10.7.3 Procesos de soldadura por arco	46
10.7.4 Soldadura al arco metálico con electrodo revestido.....	46
11. Metalografía	49
11.1 Corte con Disco Abrasivo.....	49
11.2 Metalografía del aluminio	49
11.3 Defectos estructurales	50
11.4 Análisis Mecanográficos del aluminio AA-3003H14 y AA6063T5	50
12. Método de ataque, tiempo de ataque y examen micrográfico.....	53
13. Ensayo de Microdureza Vickers.....	57
2.3 Definición de los términos	61

CAPÍTULO 3.

METODOLOGÍA

3.1 Nivel de investigación	71
3.1.1 Diseño de la investigación	73
3.2.1 ubicación de los proveedores, compra de material, transporte, lugar de trabajo, personal calificado.....	75
3.3 recorte de placas	75
3.4 Calculo del número de Biot.....	79
3.5 Tratamiento de recocido	79

3.5.1 Características, horno para realizar el tratamiento térmico de recocido	80
3.6 Ensayo de tracción probetas-condición recocido.....	82
3.7 Comparación de los valores obtenidos experimentalmente con los valores indicados en el texto Materials Handbook para condición recocido	82
3.8 Calculo de reducción de espesor, aleación AA-6063 condición recocido	84
3.9 Recorte de probetas, condición recocido con % de Re de 30,35,40, para redimensionarlas nuevamente a la norma ASTM-E8M para soldar	85
3.10 Proceso de soldeo	86
3.11 Corte de muestras	90
3.12 Proceso de embutido	91
3.13 Ensayo metalográfico.....	92
3.14 Análisis metalográfico de las muestras	94
3.14.1 Objetivo de la preparación de las muestras metalográficas.	94
3.15 Método de preparación	96
3.16 Microscopia.....	99
3.16.1 Examen micrográfico	99
3.17 Ensayo de Microdureza Vickers.....	102

CAPÍTULO 4.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Condición de recocido del material	105
4.2 Zona de fractura dentro de la zona calibrada.....	109
4.3 Resultados condición;probetas recocidas.....	113
4.4 Probetas soldadas. Condiciones laminada para diferentes %Re...	115
4.5 Condición probeta soldadas.....	121
4.6 Metalografía	124

4.6.1 Probetas en condición de recocido	124
4.6.2 Probetas en condición de recocido-soldadas.....	129
4.7 Microdureza Vickers.....	143

CAPÍTULO 5.

Conclusiones

Conclusiones	149
Recomendaciones	152
Referencias bibliográficas	153
Anexos	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Pág.
1	Máquina de Ensayo Universal Galdabini, empleada para realizar el ensayo de tracción.	28
2	Deformación de las probetas durante el ensayo de tracción.	29
3	Probeta plana para realizar el ensayo de tracción, Norma ASTM-E8M.	30
4	Dimensiones de cada una de las placas de las AA-3003H14 y AA-6063T5 de las láminas de aluminio.	32
5	Placas de las AA-3003H14 y AA-6063T5 de las láminas de aluminio para obtener el número de Biott.	32
6	Sentido de laminación.	36
7	Esquema de laminación.	36
8	Probetas laminadas, antes y después de la fractura.	36
9	Antorcha y Boquillas para realizar la soldadura TIG.	43
10	Esquema del proceso de soldadura TIG.	43
11	Operador realizando el proceso de soldeo	48
12	Cordón de soldadura	48
13	a.- Vista superior del Indentador b.- Ángulo entre las caras del indentador	60
14	Población.	73
15	Muestras norma ASTM-E8M; otras muestras.	73
16	Esquema de trabajo	74
17	Obtención de probetas a partir de las placas AA-3003H14.	81
18	Obtención de probetas a partir de las placas AA-6063T5.	81
19	Probetas, norma ASTM-E8M, usadas para realizar el ensayo de tracción.	81

20	Áreas de las muestras embutidas para las dos aleaciones a diferentes porcentajes de reducción de espesor.	92
21	Muestras embutidas en bakelita.	93
22	Paños para el pulido metalográfico y muestras incrustadas en Bakelita.	93
23	Sentido de giro de los lentes del microscopio	100
24	Número de indentaciones realizadas en recocido	104
25	Número de indentaciones realizadas en recocido-soldadas	104
26	Curva esfuerzo (σ) Vs deformación (e) para probetas AA-3003(O), condición de recocido y off-set.	106
27	Curva esfuerzo (σ) Vs deformación (e) para probetas AA-6063(O), en condición de recocido y off-set.	107
28	Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA-3003(O) condición recocido-soldada para diferentes %Re	116
29	Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA-6063(O) condición recocido-soldada para diferentes %Re	117
30	Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA-3003(O) condición recocido-soldada para un %Re 30	119
31	Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA-6063(O) condición recocido-soldada para un %Re 40	120

ÍNDICE DE TABLA

Figura	Descripción	Pág.
1	Aleantes del aluminio.	13
2	Principales constantes del aluminio.	14
3	Nomenclatura para los diferentes tipos de tratamientos.	16
4	Nomenclatura para los diferentes tipos de tratamientos térmicos.	16
5	Nomenclatura para los diferentes tipos de tratamientos térmicos de endurecimiento.	17
6	Niveles de endurecimiento del aluminio.	17
7	Serie de clases de aleación y sus aplicaciones.	18
8	Elementos aleantes del aluminio.	18
9	Porcentajes de aleantes del aluminio AA-6063T5.	23
10	Propiedades mecánicas y físicas de la AA-6063T5.	24
11	Características de la AA-3003H14.	25
12	Máximos porcentajes de los aleantes de la AA-3003H14.	25
13	Características de la máquina Universal Galdabini.	28
14	Parámetros de la norma ASTM-E8M.	30
15	Parámetros para calcular el número de Biott.	33
16	Propiedades mecánicas de la AA-3003(O), condición recocido.	34
17	Propiedades mecánicas de la AA-6063(O), condición recocido.	35
18	Características, Microdurómetro Vickers.	57
19	Características de la fresadora horizontal.	76
20	Características, fresadora vertical.	76
21	Características, máquina sierra cinta.	77

22	Características, máquina sierra mecánica.	77
23	Parámetros para calcular el número de Biott.	79
24	Características horno de tratamiento térmico Thermolyne1.	80
25	Parámetros de ensayo a tracción a probetas de la AA-3003(O), condición recocido, obtenidos experimentalmente.	82
26	Características de la máquina de laminación.	83
27	Parámetros de ensayo a tracción a probetas de la AA-6063(O), condición recocido, obtenidos experimentalmente.	85
28	Características, cortadora metalográfica.	85
29	Características, máquina para soldar.	88
30	Tipo de soldadura, electrodo, corriente, espesor varilla de aporte.	88
31	Parámetros para soldeo.	89
32	Parámetros de soldeo, realizado a las probetas AA-3003(O), condición recocido con %Re de 30, 35, 40.	89
33	Parámetros de soldeo, realizado a las probetas AA-6063(O), condición recocido con %Re de 30, 35, 40.	89
34	Condiciones de soldeo.	90
35	Características, cortadora metalográfica.	90
36	Distribución del número de probetas cortadas.	91
37	Características, embutidora metalográfica.	92
38	Características, Microscopio óptico.	100
39	Características, Microdurómetro Vickers.	102
40	Tabla comparativa de las AA-3003(O) y AA-6063(O), condición recocido. Valores experimentales.	108
41	Comparativa de las AA-3003(O) y AA-6063(O).	109
42	Propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O) en condiciones de recocido-soldadas obtenidas en el	110

	ensayo de tracción experimentalmente.	
43	Comparativa de propiedades mecánicas de las probetas en condición de recocido obtenidas experimentalmente a través del ensayo de tracción.	111
44	Comparativa de las propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O) en condición de recocido obtenidas a través del ensayo de tracción.	112
45	Propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O) en condiciones de recocido, obtenidas experimentalmente.	114
46	Propiedades mecánicas, de las AA-3003(O) y AA-6063(O) condición recocidas–soldadas obtenidas experimentalmente.	115
47	Propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O) obtenidas experimentalmente en el ensayo de tracción para la condición de probetas recocido-soldadas.	121
48	Comparativa de propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente AA-3003(O) condición recocido-soldadas.	122
49	Comparativa de propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente AA-6063(O) condición recocido-soldadas.	123
50	Para AA-6063(O)/AA-3003(O), condición recocido.	125
51	Para AA-3003(O)/AA-6063(O), condición recocido, %Re 30.	127
52	Para AA-3003(O)/AA-6063(O), condición recocido, %Re 35.	128
53	Para AA-3003(O)/AA-6063(O), condición recocido, %Re 40.	129
54	Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido–soldada para un %Re 40, probeta 16.	130
55	Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido–	131

	soldada para %Re 40, probeta 18.	
56	Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido– soldada para %35, probeta 3.	132
57	Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido– soldada para %Re 35, probeta 4.	133
58	Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido– soldada para un %Re 30 de deformación, probeta 8.	134
59	Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido– soldada para un %Re 30 de deformación, probeta 14.	135
60	Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido– soldada para un %Re 40 de deformación, probeta 12.	137
61	Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido– soldada para un %Re 40 de deformación, probeta 1.	138
62	Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido– soldada para un %Re 35 de deformación, probeta 13.	139
63	Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido– soldada para un %Re 35 de deformación, probeta 5.	140
64	Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido– soldada para un %Re 30 de deformación, probeta 10.	141
65	Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido– soldada para un %Re 30 de deformación, probeta 15.	142
66	Valores promedio y los promedios de comportamiento de las dos aleaciones para un %Re 40.	144
67	Valores promedio y los promedios de comportamiento de las dos aleaciones para un %Re 35.	145
68	Valores promedio y los promedios de comportamiento de las dos aleaciones para un %Re 30.	147

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General:

Determinar el efecto de la soldadura GTAW, en las propiedades mecánicas y microestructurales de aleaciones de aluminio AA-3003 y AA-6063, deformado plásticamente.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el material en estado de entrega, a través de propiedades mecánicas y microestructurales.
- Determinar las propiedades mecánicas y microestructurales del material deformado plásticamente aleaciones AA-3003 y AA-6063.
- Evaluar el efecto del proceso de soldadura GTAW en el material deformado, aleaciones AA-3003 y AA-6063, para determinar los cambios en sus propiedades.
- Obtener las condiciones más ventajosas para el proceso de soldadura TIG, cuando el material sea deformado plásticamente.

1.3 Justificación

En la actualidad las aleaciones de aluminio han adquirido gran importancia en la industria de conformado de metales debido a sus múltiples aplicaciones y variedad de usos, en las que se hace necesario emplear la soldadura como método de unión permanente en sus elementos. De aquí radica la necesidad de ampliar la información disponible acerca del

comportamiento mecánico de las aleaciones de aluminio AA-6063 y AA-3003, al ser sometidas a procesos de soldadura, en este caso soldadura GTAW-Tipo TIG, en uniones previamente deformadas en frío.

1.4 Limitaciones

Disponibilidad de las máquinas para realizar: la soldadura, los ensayos de laminación en frío, tracción, microdureza y metalografía a las láminas de aluminio.

Disponibilidad del operario para el manejo de la máquina para soldar.

1.5 Alcance

Se determinó las propiedades mecánicas y características microestructurales de las aleaciones de aluminio AA-3003(O) y AA-6063(O), previamente deformadas plásticamente y sometidas a soldadura GTAW, a través de los ensayos de Tracción, Microdureza y Metalografía y de los procesos de Recocido y Laminación.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Este capítulo tiene como propósito dar a la investigación un concepto coordinado y coherente de proporciones que permitan profundizar en el problema; es la fundamentación teórica que engloba el problema y se desarrolla a través de las investigaciones bibliográficas, documental explicativa entre otras; implica la diferenciación de los conceptos, de los factores, o de las variables en las cuales se va a explorar el problema de la investigación.

2.1. Antecedentes

En esta sección se resumen de manera detallada los trabajos nacionales e internacionales, realizados anteriormente que sirven de base o guía para llevar a cabo la presente investigación, siendo:

AYALA, S. y PEÑA M. (2006). Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. **Determinación del Comportamiento Mecánico de los Materiales Deformados Plásticamente en Frio.** El trabajo de grado tuvo como objetivo determinar el comportamiento mecánico de los materiales aluminio 6201 y cobre electrolítico en pletinas y alambre, cuando fueron deformadas plásticamente en frío a través de los procesos de laminación y trefilado. Se deformaron tres (3) probetas por porcentajes de reducción de área a las que posteriormente se le realizaron ensayos de tracción para determinar el comportamiento esfuerzo-deformación para cada uno de los materiales en estudio.

Se encontró que la ductilidad de los materiales disminuyó en todos los casos cuando aumentó el porcentaje en deformación plástica en frío, también se determinó como variaban las propiedades mecánicas con el porcentaje de deformación plástica en frío aplicado. Esto se hizo linealizando las curvas que describían este comportamiento. Para el aluminio laminado la resistencia de la tracción aumentó 23% y vario con el porcentaje de deformación plástica en frío. El límite de fluencia aumentó un 14% para los alambres; el límite de fluencia aumento un 217%. La resistencia a la tracción aumento un 75% y varió con el porcentaje en deformación en frío.

Para determinar el comportamiento de la dureza de los materiales se realizaron ensayos de Microdureza Vickers y luego de analizados los resultados se pudo concluir, en ambos casos, que aumentó la dureza de los materiales cuando se incrementó el porcentaje de deformación plástica en frío.

Para determinar el comportamiento de la dureza de los materiales se realizaron ensayos de Microdureza Vickers y luego de analizados los resultados se pudo concluir, en ambos casos, que aumentó la dureza de los materiales cuando se incrementó el porcentaje de deformación plástica en frío. Esta investigación del grupo de aleación 6XXX sirvió para comparar la Microdureza obtenida a través de la laminación, respecto a la Microdureza lograda en la presente investigación.

LUIGGI, Ney J. (1999). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. **Efecto de la Deformación por Laminado en Frio Sobre el Poder Termoeléctrico del Aluminio y de Aleaciones de Aluminio.** Mediante este trabajo de investigación se determinó el poder termoeléctrico

del aluminio puro en diferentes aleaciones de aluminio, Al-Mg, Al-Mn 3003, 3005 y 3105, en condición microestructural de homogenización y de laminado con el fin de determinar el efecto de los defectos introducidos por laminado en frío sobre esta propiedad; para ello se aplicó la regla de Gorter-Nordheim considerando dichos defectos como factores dispersores similares en los otros elementos presentes en el material. En este estudio además de verificar lo sensible de la propiedad a los cambios microestructurales y determinar la contribución de las dislocaciones al poder termoeléctrico en aluminio puro, permite concluir que en las muestras deformadas plásticamente el poder termoeléctrico depende del grado de laminado y de la naturaleza atómica de la aleación.

Estos antecedentes permitieron conocer el comportamiento mecánico del aluminio en las aleaciones 3003, 3005, 3015 y 6201, su distribución microestructural, así como el efecto de la soldadura TIG; los cuales sirvieron como punto referencial para este trabajo de grado.

MARTÍNEZ G., Juan A. (1991). **Propiedades mecánicas locales a tracción uniaxial en uniones soldadas de aluminio de forja: aplicación del método optoelectrónico**. Universidad Complutense de Madrid, España. En este trabajo se aplica por primera vez el método optoelectrónica al ensayo de tracción uniaxial de probetas de aleaciones de aluminio de forja tratables térmicamente soldadas mediante soldadura tipo TIG, con el objeto de seguir el comportamiento mecánico de las distintas zonas de la unión soldada.

Los datos e información obtenida son contrastados y comprobados mediante otros ensayos convencionales como son: tracción, dureza, péndulo

Charpy y péndulo de Le Rolland Sorin, con el objeto de estudiar la viabilidad y fiabilidad del método. Las aleaciones estudiadas son la 2014 T6 y la 7015 T73.

Se llegó a las siguientes conclusiones: La selección de las aleaciones estudiadas en la investigación resultó un acierto, ya que mostraron ser claros representantes de los dos tipos de comportamiento mecánico extremos del segmento constituido por las aleaciones de aluminio de forja tratables térmicamente. Por lo tanto, resultaron útiles para definir un modelo cualitativo de comportamiento mecánico. El método optoelectrónico resultó idóneo para la toma de datos y análisis del comportamiento mecánico de una soldadura sometida a un ensayo de tracción.

Se pudo registrar y analizar, simultáneamente, lo que ocurre localmente en todas las zonas de la unión soldada, tanto las propiedades mecánicas resistentes como las plásticas, en un sólo ensayo. A través de los ensayos realizados con el péndulo Charpy y el péndulo Le Rolland-Sorin se pudo corroborar el comportamiento mecánico zonal relativo estudiado mediante el método optoelectrónico. Con ambos se pudo conseguir modelos mecánicos sencillos ajustados a lo obtenido en tracción. El estudio metalográfico de la unión soldada confirmó la relación entre microestructura y propiedades mecánicas, confirmando que el Bromo (Br) constituye un punto de alta probabilidad para que se produzca la fractura, dada su estructura de colada celular dendrítica, especialmente en el límite con la ZAC (Zona Afectada por el Calor).

Se concluye que el método optoelectrónico permite la obtención de datos, tanto de deformación longitudinal como transversal, en una sola

operación. Es posible, además, el seguimiento de la distribución de las deformaciones durante el ensayo, y posteriormente visualizarlas en un ordenador probó su eficacia y ventajas frente a otros sistemas, en la toma de 1.

Esta investigación que tiene un elemento diferente de aleación sirvió para comparar la microestructura obtenida en la unión soldada, específicamente en la zona afectada por el calor (ZAC), respecto a la microestructura lograda en la presente investigación.

2.2. Base Referenciales

1. Aluminio

Es un elemento químico, no ferroso, con símbolo Al, y número atómico 13. Con un porcentaje de 8,13% es el elemento metálico que más abunda en la corteza terrestre.

Como metal se extrae del mineral conocido con el nombre de bauxita, por transformación primero en alúmina mediante el proceso Bayer y a continuación en aluminio mediante electrólisis.

Debido a su conductividad eléctrica, ligereza, bajo punto de fusión y alta resistencia a la corrosión le permite tener muchos usos, en especial en la aeronáutica. No obstante, la alta cantidad de energía requerida para obtenerlo le restringe su uso; pero esta dificultad se ve revertida por su bajo costo de reciclado, y su larga vida útil.

El aluminio puro posee una resistencia muy baja a la tracción y una dureza muy baja. Pero unido en aleación con otros elementos, el aluminio adquiere características mecánicas muy superiores. A estas aleaciones se las conoce con el nombre genérico de Duraluminio, y pueden ser centenares de aleaciones diferentes.

a) Características principales

El aluminio es un metal ligero, de color blanco brillante blando y resistente. Su densidad es aproximadamente un tercio la del acero o el cobre. Es maleable, dúctil, de fácil mecanizado y fundición, buen conductor de la electricidad y relativamente económico. Su baja densidad (2.700 Kgf/m^3) y su alta resistencia a la corrosión permiten un amplio uso en la Ingeniería Mecánica.

Producto de su alto nivel de oxidación se genera rápidamente al aire una fina capa superficial de óxido de aluminio (Alúmina Al_2O_3) la cual es impermeable y adherente que frena el proceso de oxidación generando resistencia a la corrosión y durabilidad. Esta capa protectora, de color gris mate, puede ser mayor por electrólisis en presencia de oxalatos.

El aluminio posee características anfóteras. Quiere decir que se disuelve tanto en ácidos (formando sales de aluminio) como en bases fuertes (formando aluminatos con el anión $[\text{Al}(\text{OH})_4]$ liberando hidrógeno.

La capa de óxido formada sobre el aluminio se puede disolver en ácido cítrico formando citrato de aluminio.

El principal y casi único estado de oxidación del aluminio es +III como es de esperar por sus tres electrones en la capa de valencia. El calor específico que posee es de 0,219 cal/ (g·°C).

b) Aplicaciones

Industria naval, automotriz, arquitectura, en el hogar, industria química, electrodomésticos, electrónica, disipadores de calor, y en la aeronáutica, entre otras.

c) Clasificación del aluminio.

Las aleaciones de aluminio según su proceso pueden tener dos fines: Aluminios forjados (conformados), dentro de este grupo las tratables térmicamente y las no tratadas térmicamente, las que sólo pueden ser trabajadas en frío para aumentar su resistencia y Aluminios fundidos.

La norma UNE clasifica las aleaciones como de moldeo o forja (L – 200), de fundición (L – 300) y de alta fusión (L – 400), entre tanto la Asociación del Aluminio las clasifica según el elemento aleante: fundición con la forma XXX.X y forja como XXXX, en el que cada cifra indica el tipo de aleación y las dos últimas cifras indican la cantidad del elemento aleante principal.

2. Aleaciones

Las aleaciones de aluminio han tomado gran importancia dentro de la industria de conformado de metales, cada una con gran variedad de usos y aplicaciones, por ejemplo, la aleación 6063 dentro de sus aplicaciones es usada para pistas de mallas metálicas utilizadas para el aterrizaje de aviones, pasamanos de los puentes, canoas, enseres, tubos de aspiradores domésticos, elementos estructurales para el soporte de cargas pequeñas como marcos para equipos electrónicos y muebles.

Excelente extrudabilidad, mediana resistencia mecánica, alta resistencia a la corrosión, buen acabado superficial, especial para anodizar.

En la tabla 1 están establecidas las propiedades de los principales aleantes del aluminio.

Tabla 1. Aleantes del aluminio.

ELEMENTO	PROPIEDAD
Cromo (Cr)	En aleación con aluminio y otros elementos incrementa la resistencia mecánica.
Cobre (Cu)	Incrementa las propiedades mecánicas pero reduce la resistencia a la corrosión.
Hierro (Fe)	En cantidades controladas aumenta las propiedades mecánicas.
Magnesio (Mg)	Aumenta la resistencia tras el conformado en frío.
Manganeso (Mn)	Incrementa las propiedades mecánicas.
Silicio (Si)	Combinándolo con magnesio incrementa las propiedades mecánicas.
Titanio (Ti)	Incrementa las propiedades mecánicas.
Zinc (Zn)	Reduce la resistencia a la corrosión.

En la tabla 2 están indicadas las principales constantes del aluminio.

Tabla 2. Principales constantes del aluminio.

Símbolo	Al
Número atómico	+13
Valencia	3
Estado de oxidación	+3
Electronegatividad	1,5
Radio covalente (Å)	1,18
Radio iónico (Å)	0,50
Radio atómico (Å)	1,43
Configuración electrónica	[Ne]3S ² 3 P ¹
Primer potencial de ionización (eV)	6,00
Masa atómica (g/mol)	26,9815
Densidad (g/ml)	2,70
Punto de ebullición (°C)	2450
Punto de fusión (°C)	660
Conductividad eléctrica a 20°C	34,6 $\left(\frac{\text{m}}{\text{Ohm.mm}^2}\right)$
Cristalización en la red cúbica centrada en las caras	a = 4,04x 10 ⁻⁸ cm
Peso específico	2,7 $\left(\frac{\text{Kgs}}{\text{dm}^3}\right)$
Resistividad eléctrica a 20°C	2,655 $\left(\frac{\text{microhms.cm}^2}{\text{cm}}\right)$
Conductividad calorífica a 0°C	0,53 $\left(\frac{\text{cal.S.}^\circ\text{C}}{\text{cm}}\right)$
Coeficiente de dilatación lineal de 20° a 100°	23,6x 10 ⁻⁶ x °C
Calor específico medio	0,215 $\left(\frac{\text{cal}}{\text{grs.}^\circ\text{C}}\right)$
Calor latente de fusión	94,5 $\left(\frac{\text{cal}}{\text{grs}}\right)$
Calor de combustión	380,8 $\left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}}\right)$

Continuación Tabla 2. Principales constantes del aluminio.

Equivalente electroquímico	0,3354 ($\text{gr}^{\text{S}}/\text{amp. hr}$)
Módulo de elasticidad	7.200 (Kgs/mm^2)
Resistencia a la tracción fundido	9-12 (Kgs/mm^2)
Resistencia a la tracción laminado	18-28 (Kgs/mm^2)
Resistencia a la tracción recocido	7-11 (Kgs/mm^2)
Dureza fundido	24-32 HB
Dureza laminado duro	45-60 HB
Dureza recocido	15-25 %
Alargamiento fundido	18-25 %
Alargamiento laminado duro	3-5 %
Contracción al solidificarse fundido en arena	1.600 %
Contracción al solidificarse fundido en coquilla	1.825 %
Descubridor	Hans Christian Oersted en 1825

3. Tipos de aleaciones normalizadas.

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

4. Tratamientos térmicos de las aleaciones.

Se refiere al calentamiento y enfriamiento de los metales en estado sólido, para modificar sus propiedades mecánicas, su estructura Metalográfica o eliminar tensiones residuales.

La tabla 3 indica la nomenclatura de los tratamientos a los que es sometido el aluminio para las diferentes aleaciones.

Tabla 3. Nomenclatura para los diferentes tipos de tratamientos.

NOMENCLATURA	TRATAMIENTO
F	La aleación se encuentra tal y como se obtuvo.
O	La aleación se ha recocido y recristalizado para máxima ductilidad.
H	La aleación se ha endurecido por deformación.
T	La aleación se ha tratado térmicamente para producir endurecimientos estables

La tabla 4 establece los diferentes tratamientos térmicos de endurecimiento a los que es sometido el aluminio a sus diferentes aleaciones.

Tabla 4. Nomenclatura para los diferentes tipos de tratamientos térmicos.

NOMENCLATURA	TRATAMIENTO
H1	Sólo endurecimiento por deformación.
H2	Endurecimiento por deformación y recocido parcial.
H3	Endurecimiento por deformación y estabilizado térmico.

La tabla 5 establece los diferentes tratamientos térmicos de endurecimiento estable a los que es sometido el aluminio a sus diferentes aleaciones.

Tabla 5. Nomenclatura para los diferentes tipos de tratamientos térmicos de endurecimiento.

NOMENCLATURA	TRATAMIENTO
T1	Envejecimiento natural.
T3	Tratamiento térmico en solución, trabajado en frío y envejecido natural.
T4	Tratamiento térmico en solución y envejecido natural.
T5	Envejecido desde el proceso de modelado en caliente y envejecido.
T6	Tratamiento térmico en solución y envejecido artificial.
T7	Tratamiento térmico en solución y estabilizado.
T8	Tratamiento térmico en solución, trabajo en frío y envejecimiento artificial.

La tabla 6 indica los niveles de endurecimiento del aluminio en las diferentes aleaciones.

Tabla 6. Niveles de endurecimiento del aluminio.

NOMENCLATURA	TRATAMIENTO
2	Un cuarto
4	Medio
6	Tres cuartos
8	Endurecimiento total

4.1 Aleaciones de aluminio forjado sin tratamiento térmico

Las aleaciones que no reciben tratamiento térmico solamente pueden ser trabajadas en frío para aumentar su resistencia. Existen dos grupos principales de estas aleaciones según la norma AISI-SAE que se muestran en la tabla 7:

Tabla 7. Serie de clases de aleación y sus aplicaciones.

SERIE	CLASE DE ALEACIÓN	APLICACIONES TÍPICAS
3XXX	Aluminio aleado con manganeso principalmente.	Latas, radiadores de edificios.
6XXX	Aluminio aleado con silicio o con silicio – magnesio.	Automóviles, construcción, transporte.

La tabla 8 indica los elementos químicos que conforman las aleaciones y su respectiva aplicación.

Tabla 8. Elementos aleantes del aluminio.

ELEMENTO	ALEACIONES	USO
Puro	1199-1188-1100	Conexiones eléctricas, tanques para químicos, metalización.
Manganeso (Mn)	3004-3003	Calderería, muebles, equipo médico.
Magnesio (Mg)	5056-5356-5183	Estructural, hidráulica, carrocerías, tanques, contenedores.

4.2 Aleaciones serie 3xxx.

Aleaciones 3xxx. El principal elemento aleante de éstas es manganeso (Mn), presente en un 1,2%, su función es reforzar al aluminio. Tienen una resistencia aproximada de $16 \text{ ksi} = 110 \text{ N/mm}^2$ (110 Mpa) en condiciones de recocido. Son usados en componentes que exijan buena mecanibilidad.

4.3 Aleaciones de aluminio forjado con tratamiento térmico

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

- **Aleaciones 2xxx:** El principal aleante de este grupo es el cobre (Cu), aunque también contienen magnesio Mg. Estas aleaciones con un tratamiento T6 tiene una resistencia a la tracción aproximada de 64ksi (442 MPa) y se utiliza en la fabricación de estructuras de aviones.
- **Aleaciones 6xxx.** Los principales elementos aleantes de este grupo son magnesio y silicio. Con unas condiciones de tratamiento térmico T6 alcanza una resistencia a la tracción de 42 ksi (290MPa), es utilizada para perfiles y estructuras en general.
- **Aleaciones 7xxx.** Los principales aleantes de este grupo de aleaciones son zinc, magnesio y cobre. Con un tratamiento T6 tiene una resistencia a la tracción aproximada de 73ksi (504MPa) y se utiliza para fabricar estructuras de aviones.

Fuente: enciclopedia del aluminio Tomo II.

4.4 Aleaciones serie 6xxx.

Aleaciones 6xxx. Los principales elementos aleantes de este grupo son magnesio y silicio. Con unas condiciones de tratamiento térmico T6 alcanza una resistencia a la tracción de $42 \text{ ksi} = 290 \text{ N/mm}^2$ (290 Mpa) y es utilizada para perfiles y estructuras en general.

4.5 Aleación aluminio AA-6063T5

La aleación de aluminio 6063 tiene como aleantes al magnesio y al silicio. Posee características mecánicas generalmente buenas y es soldable. Es similar a la aleación de aluminio británica HE9.

Aplicaciones de la AA-6063T5: Arquitectura, marcos para ventanas, puertas, cancelas (puertas interiores para zaguanes), tubos para muebles, irrigación, industria química, electrodomésticos, electrónica, disipadores de calor, etc.

➤ Características aleación AA-6063T5.

Esta aleación debido a su gran facilidad de extrusión, obtiene características mecánicas adecuadas, un correcto aspecto de superficie y buen coloreado. Al anodizarse tiene múltiples aplicaciones.

El aluminio aleación magnesio silicio 6063 se usa en perfiles de carpintería metálica, manillas, pomos, herrajes, sillas de terraza, campo y playa. De uso general donde se desee una aplicación decorativa.

La aleación de aluminio 6063 tiene a gravedad específica de 2,68 (0,097 pulgadas de lb/cubic).

4.6 Características Mecánicas, Físicas y Químicas del aluminio aleación AA-6063T5

Características mecánicas. Estas características dependen grandemente del tratamiento térmico del material.

➤ Tratamientos térmicos para el Aluminio aleación AA-6063T5

6063-0

0 es un tratamiento para la aleación 6063 que tiene un esfuerzo máximo de tracción menor a 131,00 MPa (19.000 PSI), y ningún máximo especificado de esfuerzo de fluencia.

6063-T1

T1 es un tratamiento para la aleación 6063 que tiene un esfuerzo máximo de tracción por lo menos de 117,21 MPa (17.000 PSI) en espesores de hasta 12,7mm, y 110,32 MPa (16.000 PSI) a partir de 12,7 a 25,4 mm de espesor, y esfuerzo de fluencia por lo menos de 62,05 MPa (9.000 PSI) en espesores de hasta 12,7 mm y de 55,16 MPa (8.000 PSI) a partir de 12,7 a 25,4 mm de espesor. Tiene un alargamiento del 12%.

6063-T4

T4 es un tratamiento para la aleación 6063 que tiene un esfuerzo máximo de tracción por lo menos de 131,00 MPa (19.000 PSI) en espesores de hasta 12,7 mm, y 124,11 MPa (18.000 PSI) a partir de 12,7 a 25,4 mm de espesor, y esfuerzo de fluencia por lo menos de 68,95 MPa (10.000 PSI) hasta 12,7 mm y de 62,05 MPa (9.000 PSI) a partir de 12,7 a 25,4 mm. Tiene alargamiento del 14%.

6063-T5

T5 es un tratamiento para la aleación 6063 que tiene un esfuerzo máximo de tracción por lo menos de 151,69 MPa (22.000 PSI) en espesores hasta de 12,7 mm, y 144,79 MPa (21.000 PSI) a partir de 12,7 a 25,4 mm de espesor, y esfuerzo por lo menos de 110,32 MPa (16.000 PSI) hasta 12,7 mm y de 103,42 MPa (15.000 PSI) a partir de 12,7 a 25,5 mm. Tiene alargamientos del 8%.

6063-T6

T6 es un tratamiento para la aleación 6063 que tiene un esfuerzo máximo de tracción por lo menos de 206,84 MPa (30.000 PSI) y esfuerzo de fluencia mínima de 172,37 MPa (25.000 PSI). En espesores de 3,2 mm ó menos, tiene el alargamiento del 8% ó más; en secciones de mayor espesor, tiene alargamiento del 10%.

4.7 Composición Química del Aluminio aleación AA-6063T5.

La composición química del aluminio y de las aleaciones se expresa en porcentaje de masa. Los límites se indican como el valor máximo, a no ser que se indique como un rango ó un valor mínimo.

La aleación de aluminio 6063 es una aleación de resistencia media. También se le conoce como una aleación arquitectónica.

La tabla 9 indica los máximos porcentajes de las diferentes propiedades mecánicas aplicadas a la AA-6063T5, sus características técnicas y aplicaciones.

Tabla 9. Porcentajes de aleantes del aluminio AA-6063T5.

Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Cr (%)	Zn (%)
0,20-0,60	0,35 máx.	0,10 máx.	0,10	0,45-0,90	0,10 máx.	0,10 máx.
Peso Especifico ($\frac{\text{grs}}{\text{cm}^3}$)	Carga de rotura (N)	Límite Elástico ($\frac{N}{\text{mm}^2}$)	Alargamiento %	Resistencia a la Cizalladura ($\frac{N}{\text{mm}^2}$)	Módulo de Elasticidad ($\frac{N}{\text{mm}^2}$)	Dureza Brinell HB
2,70	220	170	14	140	69.000	65

Fuente. Metals Handbook. Propiedades de metales.

En la tabla 10 se pueden apreciar las propiedades mecánicas y físicas de la aleación AA-6063T5.

Tabla 10. Propiedades mecánicas y físicas de la AA-6063T5.

MÓDULO DE ELASTICIDAD	69.000 (N/mm^2)	DUREZA ROCKWEL	68
Conductividad térmica a 20°	170 ($W/m\ ^\circ C$)	Dureza Brinell	70
Conductividad eléctrica %	55,5	Carga de Rotura	220 (N/mm^2)
Coefficiente de dilatación Lineal entre 20° - 100 °C	23,5/106°k	Límite elástico	170 (N/mm^2)
Peso específico	2,70 (Kgs/cm^3)	Alargamiento (5,65 %)	14
Resistividad eléctrica a 20 °C	3,6 $\mu.\Omega.Cm$	Límite de fatiga	150 (N/mm^2)
Intervalo de fusión	615 – 655	Resistencia a la cizalladura	140 (N/mm^2)
Dureza Webster	12 – 13	Temperatura de fusión °c	580-650

4.8 Aluminio, aleación AA-3003H14.

Aleación de aluminio con bajo contenido de manganeso. Sus características generales y aplicaciones son muy semejantes a las del acero 1020, sólo sus propiedades mecánicas aumentan ligeramente.

La aleación de aluminio 3003H14 no es termotratable, pero tiene buena ductilidad. Asimismo, posee muy buena resistencia a la corrosión a través de la atmósfera. La aleación 3003H14 es una aleación de resistencia media.

4.9 Propiedades Mecánicas, físicas y Químicas del Aluminio aleación AA - 3003H14.

En la tabla 11 están indicados los aspectos favorables que caracterizan a la aleación AA-3003H14.

Tabla 11. Características de la AA-3003H14.

ALUMINIO AA-3003H14						
Formado	Mecanizado	Soldadura por arco	Soldadura Fuerte/blanda	Anodizado Protector	Anodizado estético	Temple
Excelente	Satisfactorio	Bueno	Bueno	Bueno	Malo	0

En la tabla 12 se pueden identificar los valores máximos de los componentes químicos para la aleación AA-3003H14.

Tabla 12. Máximos porcentajes de los aleantes de la AA-3003H14.

Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Zn (%)	Otros	Aluminio
0,6 máx.	0,7 máx.	0,20 máx.	1,0-1,5	0,10 máx.	0,15	El resto

Fuente. Metals Handbook. Propiedades de metales.

5. Conceptos.

- **Esfuerzo de fluencia o cedencia.** Es el menor valor del esfuerzo para el cual se produce una deformación permanente o deformación plástica. Se llama fluencia convencional al valor del esfuerzo para una deformación permanente del 0,2%.

- **Esfuerzo máximo o último (resistencia a la tracción).** Es el mayor valor del esfuerzo en **una** curva σ vs ϵ convencional ó al valor del esfuerzo para el punto de máxima carga en el ensayo. Se calcula a través de la ecuación (1):

$$\sigma_{Max} = \frac{P_{Max}}{A_0} \quad Ec (1)$$

- **Ductilidad.** La **capacidad** de un material a deformarse permanentemente sin fallar.
- **Curva Esfuerzo Vs Deformación.** Esta curva permite conocer como un material reacciona al estar sometido a una fuerza de tracción, y determina los valores de las diferentes resistencias y deformaciones, permitiendo reconocer la ductilidad, la zona elástica, la zona plástica, zona de endurecimiento por deformación, entre otros.

El módulo de elasticidad, y el límite de elasticidad están basados en la estructura molecular del material. La distancia entre las moléculas cuando no se le aplica un esfuerzo depende de un equilibrio entre las fuerzas moleculares de atracción y repulsión. Cuando se aplica una fuerza externa que genera una tensión interna, la distancia entre moléculas varía, haciendo que el material se deforme.

Si las moléculas están muy unidas, la deformación no será grande aunque se le aplique un esfuerzo alto. Si la separación es notoria entre moléculas una pequeña tensión será suficiente para causar una deformación grande. En la zona elástica, cuando se retira una fuerza, las moléculas

retornan a su estado de equilibrio permitiendo que el material elástico recupere su forma original. Después del límite de elasticidad, las moléculas son separadas por la fuerza aplicada no permitiendo que las moléculas retornen a su estado inicial, por lo que el material se deforma o puede llegar a romperse.

- **Prueba de tracción.** Este ensayo permite conocer las características de un material cuando se **somete** a esfuerzos de tracción. El objetivo es determinar la resistencia a la rotura y las principales propiedades mecánicas del material.
- **Objetivo del ensayo.** Es determinar la resistencia a la rotura, las principales propiedades mecánicas del material, y la deformación a la fractura (e_f), para obtener el porcentaje de reducción de espesor. Esta reducción de espesor permite establecer los valores referenciales de reducción de espesor permisibles para efectuar la laminación.

Los datos obtenidos en el ensayo deben ser suficientes para determinar esas propiedades, y otras que se pueden determinar con base en ellas. Por ejemplo, la ductilidad se puede obtener a partir del alargamiento y de la reducción de área.

Estos ensayos son simulativos porque tratan de reproducir las condiciones reales.

La tabla 13 permite conocer las características de la máquina Universal Galdabini usada para realizar el ensayo de tracción.

Tabla 13. Características de la máquina Universal Galdabini.

Hecha en:	Año	Marca	Modelo	Institución	Inventario U.C	Departamento de ensayo U.C
Italia	1994	Cesare Galdabini	CTM-20	U.C	26565	Laboratorio de Materiales
Capacidad 20 Ton = 200 Kn Apreciación			Fecha de calibración Diciembre 2008		Apreciación 0,1 Kgf (1N)	

En la figura 1 se observa la Máquina de ensayo Galdabini.

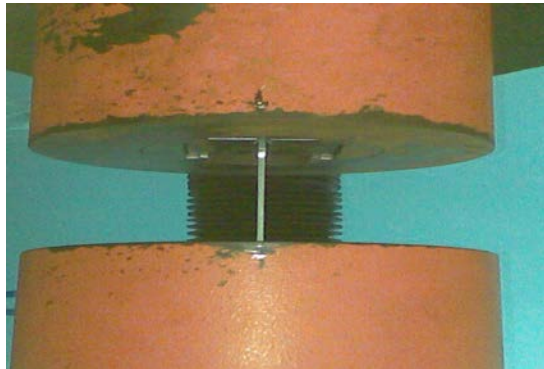


Fig. 1. Máquina de Ensayo Universal Galdabini, empleada para realizar el ensayo de tracción.

- **Alargamiento.** Es el aumento en la longitud calibrada en una probeta después de la prueba de **tracción** que comúnmente se expresa en porcentaje de la longitud calibrada inicial.

La variación de la longitud se obtiene a través de la Ec. (2).

$$\Delta l = l_f - l_0 \quad \text{Ec. (2)}$$

- **Deformación (e).** El efecto físico del esfuerzo, generalmente evidenciado por el estiramiento u otra **deformación** del material.

Se calcula usando la expresión: $e = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0}$ Ec. (3)

En la figura 2 se observa la deformación de las probetas.

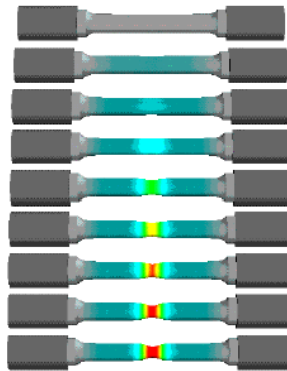


Fig. 2. Deformación de las probetas durante el ensayo de tracción.

- **Esfuerzo de fractura.** Es el valor al cual se produce la fractura de la probeta, y cuyo valor tiene gran importancia, ya que una vez superado el máximo valor, la probeta fallará, a menores valores de esfuerzo. Se obtiene aplicando la Ec. (4)

$$\sigma_{\text{fract}} = \frac{P_{\text{fract}}}{A_0} \quad \text{Ec. (4)}$$

6. Probeta Norma ASTM-E8M

Esta es la norma específica con la cual se debe trabajar cuando se realizan ensayos de tracción en probetas planas.

Probeta ASTM-E8M, dimensiones. Se muestra en la figura 3.

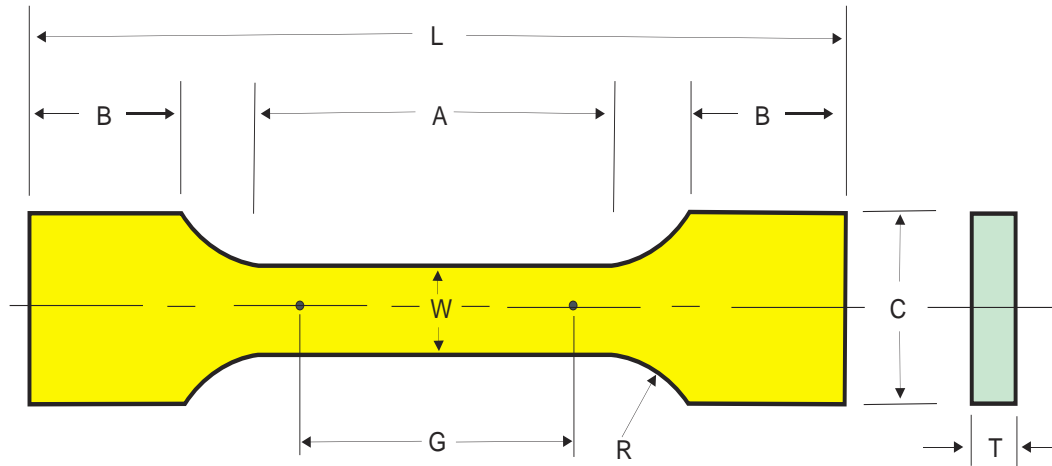


Fig. 3. Probeta plana para realizar el ensayo de tracción,
Norma ASTM-E8M.

La tabla 14 permite conocer los parámetros que constituyen la norma ASTM-E8.

Tabla 14. Parámetros de la norma ASTM-E8M.

DIMENSIONES EN MM				
MEDIDA NOMINAL		MODELOS ESTÁNDAR		Subtamaño del modelo 6 mm
		Placa-Tipo 40 mm	Hoja tipo 12,5 mm	
G	Longitud calibrada	200,0 + 0,2	50,0 + 0,1	25,0 + 0,1
W	Ancho	40,0 + 2,0	12,5 + 0,2	6,0 + 0,1
T	Espesor		Grueso del material	
R	Radio de la sección de sujeción, mínimo.	25	12,5	6
L	Longitud total	450	200	100

Continuación Tabla 14. Parámetros de la norma ASTM-E8M.

DIMENSIONES EN MM				
MEDIDA NOMINAL		MODELOS ESTÁNDAR		Subtamaño del modelo 6 mm
		Placa-Tipo 40 mm	Hoja tipo 12,5 mm	
A	Longitud de la sección menor, mínimo.	225	57	32
B	Longitud de la sección de sujeción, mínimo.	75	50	30
C	Ancho de la sección de sujeción	50	20	10

Fuente. Metals Handbook. Propiedades y selección de metales.

6.1. Longitud Calibrada

Es la longitud inicial de la parte de una probeta sobre la que se determina la deformación unitaria o el cambio de longitud y el alargamiento. La cual se mide con un extensómetro.

7. Cálculo del número de Biott, parámetros y ecuaciones

Se determina para conocer el tiempo que deben permanecer las probetas dentro del horno para realizarle un tratamiento térmico, para ello se deben aplicar los parámetros que aparecen indicados en la tabla 15.

Como las placas tienen las mismas dimensiones los cálculos a realizar son los mismos para las dos aleaciones. Ver figuras 4 y 5 Placa unitaria

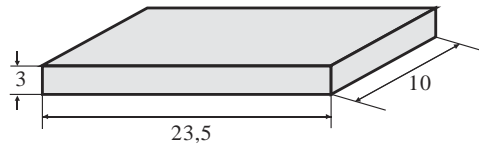


Fig. 4. Dimensiones de cada una de las placas de las AA-3003H14 y AA-6063T5 de las láminas de aluminio.

El área de una placa se obtiene aplicando la ecuación (5).

$$A = b * w \quad \text{Ec. (5)}$$

Número de probetas que se usaron para el cálculo de Biot: 23

El espesor de las veintitrés placas se obtiene empleando la Ec. (6).

$$e_{23} = w * \text{Número de probetas} \quad \text{Ec. (6)}$$

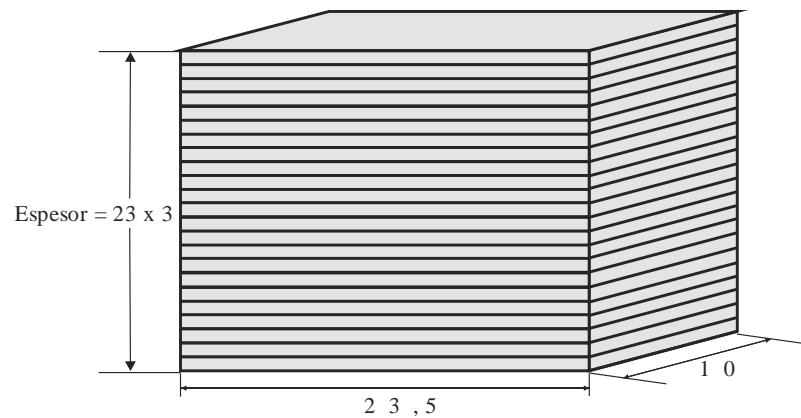


Fig. 5. Placas de las AA-3003H14 y AA-6063T5 de las láminas de aluminio para obtener el número de Biott.

El volumen para las veintitres (23) placas se obtiene aplicando la ecuación (7).

$$V = A * e_{23} \quad \text{Ec. (7)}$$

Para una placa plana pequeña, la longitud característica es la mitad del espesor y se obtiene a través de la ecuación (8).

$$L_c = \frac{e}{2} \quad \text{Ec. (8)}$$

En la tabla 15 aparecen indicados los parámetros que permiten determinar el número de Biott.

Tabla 15. Parámetros para calcular el número de Biott.

$V_{23}(Cm^3)$	A (Cm^2)	$L_{c\ 23}$	h_{∞} ($\frac{Btu}{hr. Pie^2 \cdot ^\circ F}$)	K_{Al} ($\frac{Btu}{hr. Pie. ^\circ F}$)	α_{Al} ($\frac{Pie^2}{hr}$)	ψ ($\frac{1}{hr}$)	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_f ($^{\circ}C$)	T_o ($^{\circ}C$)
----------------	-------------------	-------------	---	--	--------------------------------------	---------------------------	---------------------------------	--------------------------	--------------------------

$$B_i = \frac{L_c h_{\infty}}{2K} = \frac{\text{Resistencia térmica externa}}{\text{Resistencia térmica interna}} \quad \text{Ec. (9)}$$

donde: L_c = Longitud característica de la figura

h_{∞} = Coeficiente de convección del ambiente

K = Conductividad térmica del sólido

$$\psi = \frac{h_{\infty} \alpha_{Al}}{L_c K_{Al}} \quad ; \quad \text{donde: } \alpha_{Al} = \text{Difusividad térmica del aluminio} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$T_U = \frac{T_f - T_\infty}{T_o - T_\infty}; \quad T_U = \text{Temperatura unidimensional} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$T_U = e^{-\psi t} \quad t = \text{tiempo} \quad \text{Ec. (12)}$$

8. Tratamiento de recocido

Tiene por objeto uniformar la composición química y el grano de las aleaciones de aluminio que son propensas a heterogeneidad química y estructural; el recocido se realiza a una temperatura de 550 °C. A esta temperatura se facilita la difusión de los elementos y la solución de otros como el Silicio. Con este tratamiento se consigue también la regeneración de las aleaciones endurecidas por el temple, anulando los efectos de éste y volviéndolas a su estado natural.

En la tabla 16 se indican las principales propiedades mecánicas de la aleación AA-3003(O) en estado de recocido.

Tabla 16. Propiedades mecánicas de la AA-3003(O), condición recocido.

Esfuerzo de tracción (Tensile Strength)		Esfuerzo de fluencia (Yield Strength)		% Elongación		Dureza (Hardness)		Esfuerzo de esqueleo= Esfuerzo cortante (Shear Strength)		Límite de fatiga (Fatigue Límite)	
Psi 16.000	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$ 110	Psi 6.000	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$ 41,4	(d) 30	(e) 40	BHN 28	Rockwell 45-65	Psi 11.000	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$ 75,84	Psi 7.000	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$ 48,26

Fuente. Texto Materials Handbook. Propiedades y selección de metales.

En la tabla 17 se indican las principales propiedades mecánicas de la aleación AA-6063(O) en estado de recocido.

Tabla 17. Propiedades mecánicas de la AA-6063(O), condición recocido.

Esfuerzo de tracción (Tensile Strength)		Esfuerzo de fluencia (Yield Strength)		% Elongación		Dureza (Hardness)		Esfuerzo de esquileo= Esfuerzo cortante (Shear Strength)		Límite de fatiga (Fatigue Límite)	
Psi	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	Psi	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	(d)	(e)	BHN	Rockwell	Psi	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	Psi	$\left(\frac{N}{mm^2}\right)$
13.000	89,63	7.000	48,26			25		10.000	68,94	8.000	55,2

Fuente. Texto Materials Handbook

9. Laminación

Muchas veces se hace necesario laminar la aleación de aluminio para cambiar su geometría y propiedades mecánicas, razón por la cual se abordará este proceso.

Es un método de deformación plástica o conformado utilizado para crear láminas de metal, se puede realizar con diferentes tecnologías. La elección de la más adecuada dependerá del tipo que se desea obtener (espesor y longitud) y de la naturaleza y características del metal.

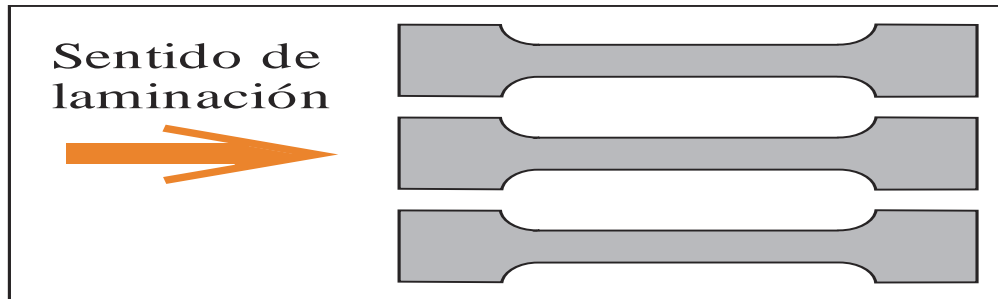


Fig. 6. Sentido de laminación. Fuente: WWW.monografias.com

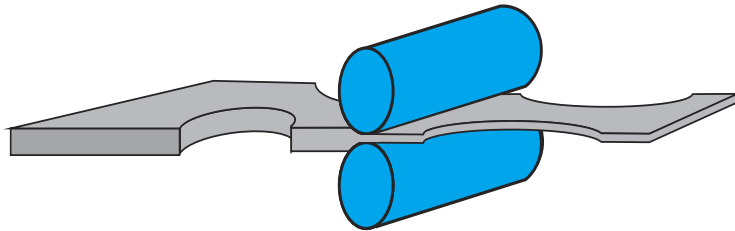


Fig. 7. Esquema de laminación. Fuente: WWW.monografias.com

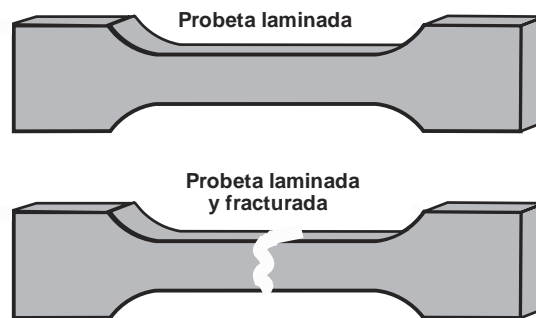


Fig. 8. Probetas laminadas, antes y después de la fractura.

10. Historia de la soldadura TIG

En el año 1900 fue otorgada una patente relacionada con electrodos rodeado por un gas inerte. Los ensayos con este tipo de soldadura se incrementaron para la década 1920 y 1930, no obstante hasta 1940 se le dio

gran atención al proceso GTAW. Antes del inicio de la segunda guerra mundial se habían realizado pocos experimentos debido a que los gases inertes eran muy costosos, pero en plena guerra, la industria de la aviación necesita con urgencia un método más rápido y fácil de soldar aluminio y magnesio para incrementar su producción.

Debido a los logros obtenidos en la producción, se justificó el costo adicional del empleo del gas inerte a gran escala. Aunque la producción de este gas es mucho más rápida y económica, aún significa un gasto adicional pero justificable.

El objetivo principal en una operación de soldeo es el de obtener una junta con la misma característica del metal base. Esto se logra sólo si el baño de fusión está totalmente aislado de la atmósfera en el proceso de la operación de soldeo. Caso contrario el oxígeno y el nitrógeno del aire serán absorbidos por el metal en estado de fusión quedando la soldadura porosa y frágil. En la soldadura por arco con protección gaseosa, se usa como medio de protección un chorro de gas que rodea el arco y el baño de fusión, evitando la contaminación de la soldadura.

En principio la soldadura con protección gaseosa se usa únicamente en el soldeo de aceros inoxidable y otros metales de difícil soldadura. Actualmente las distintas variantes del procedimiento se aplican a la unión de todo tipo de metales. Por razones de calidad, velocidad de soldeo y facilidad operacional, la soldadura por arco con protección gaseosa sustituye a la soldadura oxiacetilénica y la soldadura con arco con electrodos revestidos. El proceso puede ser manual o automático, su aplicación abarca desde los

espesores más finos hasta los más gruesos, tanto en metales ferrosos como no ferrosos.

10.1. Concepto de soldadura

La soldadura es un proceso en el que se produce la unión de dos materiales, (pueden ser metales o termoplásticos), a través de la fusión, en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y agregando un material de ser necesario de aporte fundido (metal o plástico), que tiene un punto de fusión menor al de las piezas a soldar, para obtener un baño de material fundido (el de soldadura) que luego, al enfriarse, se convierte en una unión fija. En ocasiones la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí sola, para generar la soldadura. Esto está en contraste con la soldadura blanda (soldering) y la soldadura fuerte (brazing), que implican el derretimiento de un material de bajo punto de fusión entre piezas de trabajo para formar un enlace entre ellos, sin fundir las piezas de trabajo.

10.2. Métodos de soldadura más comunes

➤ Existen dos tipos de soldaduras:

10.2.1. Soldadura por fusión. La unión de los cuerpos se realiza en estado líquido, por la aplicación del calor.

➤ Fusión. Transformación de un cuerpo de sólido a líquido a través del calor necesario.

- **Obtención del calor necesario.** Para obtenerlo, es necesaria una fuente de calor que genere este calor.

10.2.2. De origen Mecánico (por fricción). Los primitivos. También puede ser de otros orígenes. En la soldadura por fusión, sólo se emplean fuentes de calor de origen eléctrico.

10.3. Fuente de energía eléctrica

Aquella que mediante la electricidad produce: Movimiento, Luz, Calor. El calor que se necesita para la soldadura por fusión se produce por medio de un arco eléctrico.

10.4. Corriente eléctrica

Movimiento de partículas de electrones que se desplazan de un cuerpo de carga negativa (-) (exceso de electrones) a otro de carga positiva (+), (escasez de electrones) a través de un conductor. Generador (el grupo) convertidor rotativo. Hay gran diferencia de soldar con la pinza en + ó -.

10.5. Generación del arco eléctrico en la soldadura por fusión

El arco eléctrico es la soldadura por fusión se produce cuando se establece la corriente, entre la fuente de energía y la unión a soldar.

La temperatura que alcanza dicho arco eléctrico es tal que permite realizar la unión a soldar. En la técnica de Oxigénesis se alcanza la temperatura

de: 3100 °C. En Arco eléctrico se alcanza la temperatura de: 3800 °C. La separación del electrodo de la pieza es la mitad de su diámetro.

Electrodo con diámetro de 4 - 2 mm, electrodo con diámetro de 3,5 -1,5 mm. Con rutilo la altura un poco más alta.

Con rutilo caliente más y las características son distintas. Cuando salen poros es porque el gas no cubre.

La soldadura eléctrica por fusión. Consiste en unir metales para formar una sola pieza, mediante el calor que produce un arco eléctrico utilizando o no material consumible.

10.6. Material consumible adecuado

El electrodo – Arco - Diámetro del arco tarda más o menos en consumirse.

Metal de aportación en forma de varilla metálica, de igual o semejante características que los metales a unir, el cual se consume gradualmente durante la operación de soldadura.

10.7. Formas de producir arco eléctrico con material no consumible

➤ **Existen tres formas:**

10.7.1. Varilla conductora NO consumible: Fusión entre los bordes de unión, sin aportación de material. TIG. Electrodo no consumible, se contamina pero no se gasta.

a) Generalidades.

Unidades de la Intensidad y Resistencia.

Intensidad. Unidad: Amperio - Amperímetro (A)

Tensión. Unidad: Voltio - Voltímetro (V)

Resistencia: Unidad: Ohmio (Ω) - Óhmetro ó Ohmímetro

Relación entre Tensión e Intensidad.

En la Resistencia: $V =$ Tensión; $R =$ Resistencia, $I =$ Intensidad

A menor Resistencia Mayor intensidad; A mayor Resistencia Menor intensidad.

No todos los materiales tienen la misma tensión (conductor, calor); Aluminio parece que no, pero se calienta, no necesita tanto voltaje, resistencia menor.

b) Métodos de soldaduras por fusión más aplicados

1. Manual; 2. Semiautomática; 3. Automática

c) Clasificación de la soldadura por fusión.

Se tienen los siguientes tipos:

Soldadura MIG

Soldadura MAG
Soldadura TIG
Soldadura por plasma
Soldadura por arco
Soldadura por puntos
Soldadura por rayo láser
Soldadura aluminotérmica
Soldadura con rayo de electrones

10.7.2. Proceso GTAW. Soldadura por arco de tungsteno con gas

➤ Soldadura por Arco de Tungsteno (Gas Tungsten Arc Welding)

Se le conoce como soldadura TIG o simplemente como soldadura de Argón. Un proceso de soldadura en el cual se produce el arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno no consumible y la superficie de un metal base. El arco produce el calor necesario que funde el metal base y el material de aporte que en algunos casos no es necesario.

La protección del electrodo y de la zona de unión se obtiene por la adición de un gas inerte o una mezcla de gases.

Los accesorios para realizar la soldadura y el esquema del proceso TIG se pueden apreciar en la figura 9 y 10 respectivamente.



Fig. 9. Antorcha y Boquillas para realizar la soldadura TIG.

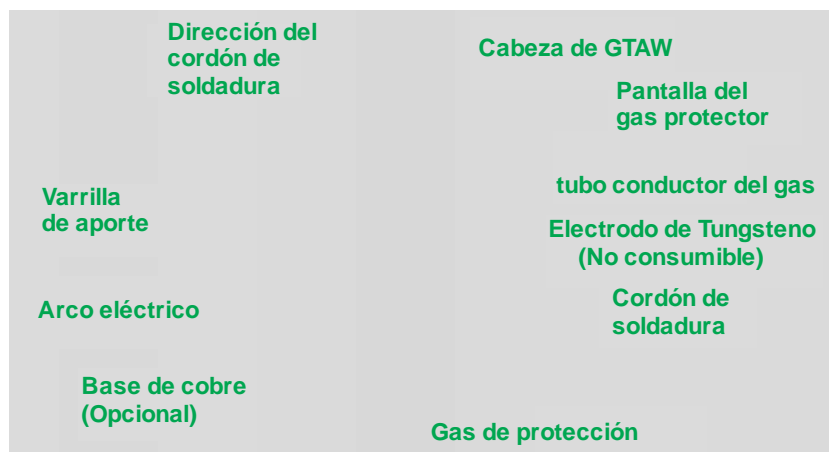


Fig. 10. Esquema del proceso de soldadura TIG.

La soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente de tungsteno, aleado a veces con torio o zirconio en porcentajes no superiores a un 2%. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410 °C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado.

Los gases más utilizados para la protección del arco en esta soldadura son el argón y el helio, o mezclas de ambos.

La soldadura por Arco de Tungsteno Recubierta de Gas GTAW, conocida también como soldadura TIG, es un proceso en el que se aplica un electrodo de tungsteno, el cual no es consumible.

El electrodo, el arco y el área que circunda a la combinación del metal de base con el fundido están protegidos de la atmósfera por el manto de un gas inerte. Si se requiere material de aporte se agrega al borde anterior de la mezcla fundida.

La soldadura TIG, proporciona soldaduras excepcionalmente limpias y de gran calidad. Debido a que no se produce escoria, no existe la posibilidad de quede escoria en el metal soldado por lo que la soldadura final no requiere limpiarla.

La soldadura TIG puede ser utilizada para soldar casi todo tipo de metales y puede hacerse tanto de forma manual como automática. La soldadura TIG, se utiliza principalmente para soldar aluminio, y aceros inoxidables, donde lo más importante es una buena calidad de soldadura.

El proceso GTAW se adecua a la soldadura de aluminio en espesores que pueden ir desde los 0,7 hasta los 10 mm, aunque no hay un límite máximo de espesor de soldadura.

El proceso utiliza corriente alterna, y de estar disponible, alta frecuencia continúa. Se puede usar argón, argón–helio o helio; esto lo determina el espesor del material base.

La onda de corriente alterna rompe la capa de óxido superficial y derrite efectivamente el metal.

Las partes a unir deben prepararse de manera que en la junta de la soldadura no haya espaciamento; esto evitará el descontrol del charco de soldadura y la deformación de las piezas por el calor.

En espesores superiores a 5 mm debe realizarse un biselado en la pieza para permitir una correcta fusión en la raíz de la junta.

Para láminas muy delgadas es preferible utilizar una plantilla de respaldo para evitar distorsiones y separaciones de la junta.

Si es posible soldar espesores delgados con TIG de pulsos se tiene una ventaja, ya que el aporte de calor es menor y por tanto el riesgo de distorsión es menor.

- **Aplicaciones de la soldadura GTAW.** Es aplicada en unión de juntas de alta calidad en centrales nucleares, químicas, construcción aeronáutica e industrias de alimentación. Nombres de los procesos de soldadura y nomenclaturas aprobados por la Sociedad americana de la soldadura (American Welding Society) (AWS).

10.7.3. Procesos de soldadura por arco:

Soldadura de espárrago (SW)

Soldadura por arco de carbono (CAW)

Soldadura de espárrago con atmósfera de gas (GSSW)

Soldadura por arco eléctrico en corto circuito en atmósfera de gas (GMAW-S)

Soldadura por arco eléctrico con electrodo metálico en atmósfera de gas (GMAW)

Soldadura por electrogas con electrodo metálico en atmósfera de gas (GMAW-EG)

Soldadura por arco pulsante con electrodo metálico en atmósfera de gas (GMAW-P)

Soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno en atmósfera de gas (GTAW)

Soldadura por arco pulsante con electrodo de tungsteno en atmósfera de gas (GTAW-P)

Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)

10.7.4. Soldadura al arco metálico con electrodo revestido.

Su característica principal es el uso de un electrodo no consumible de Wolframio (W) o aleado también conocido con el nombre de tungsteno. Su punto de fusión es de 3000 °C.

➤ **Ventajas y Desventajas.**

Aplicar este método de soldadura tiene como ventaja, la obtención de cordones más **resistentes**, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que otros procedimientos, ya que el gas protector no permite el contacto entre el oxígeno de la atmósfera y el baño de fusión. Además, dicho gas simplifica el soldeo de metales ferrosos y no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las deformaciones o inclusiones de escoria que pueden implicar. Otra ventaja es que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones. El cordón obtenido es de un buen acabado superficial, que puede mejorarse con operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costos de producción. Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es menor.

Como desventaja está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con la subsiguiente instalación de tuberías, bombonas, etc., y el alto costo. Este método de soldadura requiere de mano de obra muy especializada, lo que hace que se incrementen los costos. Este método se aplica para uniones que requieran acabados especiales superficiales y de precisión. Hoy en día se está generalizando el uso de la soldadura TIG, sobre todo en aceros inoxidable y especiales y en aleaciones de aluminio ya que a pesar del mayor costo de esta soldadura, el acabado obtenido es de una gran calidad.



Fig. 11. Operario realizando el proceso de soldeo

Fuente. www.mundoanuncio.com

Debe destacarse que el coeficiente de dilatación del aluminio es el doble que el del acero, razón por la cual durante los procesos de soldadura se pueden generar grandes variaciones dimensionales, pudiendo ocasionar fenómenos de dilatación-contracción provocando tensiones internas, disminuyendo la vida de utilidad frente a esfuerzos de fatiga. Por lo tanto se debe comprobar que el cordón de soldadura está ausente de grietas mediante los líquidos penetrantes.

El tipo de unión que representa la mejor opción de soldado es el solapado, ya que no se producen descolgaduras u orificios, debido a que el propio solape soporta el baño de fusión.



Fig. 12. Cordón de soldadura

Fuente. www.mundoanuncio.com

11. Metalografía

11.1. Corte con Disco Abrasivo

Es el que más se aplica, debido a que la superficie que se obtiene es suave, y el corte se realiza en un menor tiempo. Los discos para los cortes abrasivos, están formados por granos abrasivos (óxido de aluminio ó carburo de silicio), unidos con goma u otros materiales. Los discos con adherentes de goma son los que más se aplican para corte húmedo; los de resina son para corte en seco.

11.2. Metalografía del Aluminio

El examen mediante el microscopio metalográfico ha sido utilizado, desde el comienzo de su desarrollo, para poner en evidencia la estructura fina de las aleaciones de aluminio. Aunque el principio sea el mismo, se han desarrollado numerosos e importantes perfeccionamientos.

La práctica de los laboratorios industriales han demostrado que el microscopio óptico es un instrumento preciso para determinar el estado de recristalización y el tamaño del grano de los metales y aleaciones, el espesor, así como para poner en evidencia los procesos de corrosión, por ejemplo, las micrografías de las probeta.

Aquí se detallan los fenómenos parásitos en las juntas de granos, los alineamientos de constituyentes frágiles, las escorias y constituyentes anormales que provienen de un error de composición o de tratamiento, el enfibrado defectuoso de las probetas forjadas, las microgrietas o

microfisuras, etc., llegando a ser de esta manera el microscopio óptico el instrumento base de todo laboratorio metalográfico.

11.3. Defectos estructurales

Si efectivamente fuera real las características de tracción del aluminio serían por lo menos 1000 veces inferiores a las características halladas experimentalmente.

La deformación plástica se debe al desplazamiento de las dislocaciones bajo la acción de fuerzas exteriores. De la misma manera, la fatiga, la fluencia, etcétera, se explican en términos de dislocaciones.

El tipo de bandas depende igualmente de las dimensiones del grano. En el caso del grano grueso, predomina el fenómeno de pellejo de naranja.

11.4. Análisis Metalográfico del aluminio AA-3003 y AA-6063

La metalografía es, esencialmente, el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación para relacionar ésta con las propiedades físicas y mecánicas. Sin duda alguna, la parte más importante de la metalografía es el examen microscópico de una probeta adecuadamente preparada, empleando aumentos que, con el microscopio óptico, oscilan entre 100 y 2000 aumentos, aproximadamente.

Tales estudios microscópicos, en manos de un metalógrafo experimentado, proporcionan una abundante información sobre la

constitución del metal o aleación investigados. Mediante ellos se pueden definir características estructurales, como el tamaño de grano, con toda claridad; se puede conocer el tamaño, forma y distribución de las fases que comprenden la aleación y de las inclusiones no metálicas, así como la presencia de segregaciones y otras heterogeneidades que tan profundamente pueden modificar las propiedades mecánicas y el comportamiento general de un metal.

Cuando el examen microscópico ha permitido la determinación de estas y otras características constitucionales, es posible predecir con gran seguridad el comportamiento del metal cuando se le utilice para un fin específico. Importancia parecida tiene el hecho de que, con ciertas limitaciones, la microestructura refleja casi la historia completa del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material.

La experiencia demuestra que poco a nada se puede obtener del examen microscópico si antes no se prepara la probeta, para obtener una superficie satisfactoria, con apego a normas más o menos rígidas y precisas. Una preparación defectuosa puede arrancar todas las inclusiones interesantes, destruir los bordes de grano. La preparación de la probeta consiste, en general, en obtener primero una superficie plana y semipulida, mediante el empleo de papeles de lija de finura de grano creciente o realizando este desbaste con discos adecuados sobre los que se deposita un abrasivo, terminando con un pulido fino y final sobre discos provistos de paños. Esto procediendo desde un desbaste grueso, uno intermedio y uno fino.

El final de la operación fue la obtención de una superficie especular, después se efectuó el ataque y se observó adecuadamente la estructura. Uno de los factores más esenciales que influyó sobre la técnica de la preparación fue el cuidado con el que se manejó las muestras en todas las fases de operación para evitar que una partícula del papel de desbaste o de una materia extraña inutilizara una probeta. A intervalos frecuentes, durante el transcurso de la preparación, tanto la probeta como las manos del ejecutor de la operación se lavaron con agua y jabón. Tal operación de limpieza es necesaria para evitar que la superficie se raye a causa de los deterioros del papel de desbaste y es en particular indispensable cuando se pasa de un papel a otro más fino.

Alúmina fina. Es el abrasivo que suele recomendarse para el pulido final de los metales blandos, tales como el aluminio, magnesio y otros. La técnica adecuada para el empleo de la alúmina fina en el pulido final consiste en poner una pequeña cantidad de polvo fresco y seco sobre el paño de pulir colocado en el disco de la pulidora, añadir agua destilada en cantidad suficiente para formar una pasta clara, y luego trabajar esta pasta con la yema de los dedos, extendiéndola y embebiéndola en las fibras del paño.

Después de esta carga, y durante el pulido posterior, se mantiene húmedo el paño por adición de agua destilada, o más sencillo aún preparando dicha mezcla en un envase de cantidad exacta y agitándola hasta formar una mezcla homogénea añadiéndola cada cierto instante para humedecer el paño utilizado y así facilitar la lubricación de la bakelita con el mismo.

12. Método de ataque, Tiempo de ataque, Examen Micrográfico.

Método de Ataque. La consideración preliminar más importante es la elección acertada del reactivo adecuado, de entre los más recomendados para una aleación o metal dados. Hacer una selección requiere de juzgar y conocer el comportamiento de los distintos reactivos, cuando se emplean en las condiciones recomendadas. Cada reactivo ha de emplearse para el uso específico a que está destinado y exactamente de acuerdo a las instrucciones adecuadas para su empleo. Los reactivos de ataque aplican, en general, por inmersión de la probeta en el reactivo o poniendo en contacto con la superficie de la misma un algodón impregnado. Es preciso que la superficie de la probeta este limpia, para asegurarse de que el reactivo la mojará regular y uniformemente.

Cuando se realizó el ataque por inmersión, se introdujo la probeta, con su superficie pulida hacia abajo, dentro del reactivo, sujetándola con una pinza. Cuando el tiempo transcurrido en el ataque era el estipulado por norma, se retiraba la probeta del reactivo, y rápidamente se le introducía en un chorro de agua. De esta manera se detenía inmediatamente la acción del reactivo y se eliminaba toda traza del mismo en la superficie de la probeta.

Seguidamente se lava con alcohol etílico, para quitar las gotas de agua y, después, se seca en un chorro de aire caliente, quedando lista para su examen microscópico. Puede ser necesario volver a atacar si las imágenes no son nítidas.

➤ **Tiempo de Ataque**

El tiempo de ataque es factor que sigue directamente en importancia a la elección adecuada del reactivo. El aspecto visual de una estructura atacada o la calidad de una fotomicrografía de ella, dependen en gran manera de la precisión con los detalles más delicados hayan sido puestos de manifiesto por el ataque, y ello a su vez depende fundamentalmente del tiempo de ataque. Según el metal atacado y el reactivo empleado, los tiempos de ataque pueden oscilar entre pocos segundos y 30 o más minutos.

Muchos reactivos tienen una composición que asegura baja actividad y largos tiempos de ataque, con el fin de que se pueden controlar bien esos tiempos. El sobreataque es tan inapropiado como el ataque escaso, el sobreataque puede ocultar muchos detalles finos y ensanchar los límites de grano logrando una imagen no verdadera.

Para la preparación de la muestra a fin de la realización de un examen microscópico se procede como prosigue:

- ❖ Ataque con el reactivo indicado durante 5 seg.
- ❖ Lavado con detergente.
- ❖ Rociado de la probeta montada con etanol absoluto.
- ❖ Secado de la probeta.

El microscopio metalográfico debido a la opacidad de los metales y aleaciones, opera con la luz reflejada por el metal. Por lo que para poder observar la muestra es necesario preparar una probeta y pulir a espejo la superficie.

➤ Examen micrográfico

El examen micrográfico es una técnica avanzada y se basa en la amplificación de la superficie mediante instrumentos ópticos (microscopio) para observar las características estructurales microscópicas (microestructura). Este tipo de examen permite realizar el estudio o controlar el proceso térmico al que ha sido sometido un metal, debido a que los mismos colocan en evidencia la estructura o los cambios estructurales que sufren en dicho proceso.

Como consecuencia de ello también es posible deducir las variaciones que experimentan sus propiedades mecánicas (dependiendo de los constituyentes metalográficos presentes en la estructura). Los estudios ópticos microscópicos producen resultados que no sólo son útiles a los investigadores sino también a los ingenieros. El examen de la microestructura es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos anteriores, tratamientos térmicos y composición general.

La microestructura es un instrumento para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales. Para un estudio de ella se necesita una preparación cuidadosa de la superficie. Los pasos a seguir en el procedimiento de preparación son los mismos para todos los materiales difiriendo sólo las herramientas de corte y el grado de finura de los papeles de lija según la dureza del material. El reactivo de ataque a usar depende del tipo de aleación.

Los ensayos micrográficos se realizan sobre muestras o probetas de los materiales que han de ser sometidos a estudio, preparando una superficie que luego de ser pulida adecuadamente, se ataca con reactivos químicos apropiados. Como se ha indicado, el estudio en si se hace sobre superficies convenientemente preparadas de dichas muestras o probetas. Esta preparación consiste en llegar a un pulido casi perfecto, para lo cual se parte de un desbaste que podríamos llamar grueso, con el fin de aplanar la superficie, lo que se consigue con un ajuste a lima o con el auxilio de devastadoras mecánicas de diseño especial.

Los reactivos químicos y sus finalidades son muy variadas, pero en principio se busca con ellos la revelación, por coloración o por corrosión, de los distintos componentes de una estructura metalográfica para poder diferenciarlos con facilidad. Por lo general, están constituidos por ácidos o álcalis diluidos en alcoholes, agua o glicerina. Y su elección se hará de acuerdo con la naturaleza química de la estructura a destacar en la muestra. Con tal fin, una vez pulida la superficie se hará en agua caliente, frotándola con un algodón o tela suave para quitarle todo rastro de las operaciones anteriores que pueda presentar, concluyendo esta limpieza con alcohol etílico o solvente similar y secándola con un soplado de aire caliente.

Las fotografías obtenidas de estos exámenes, genéricamente llamados "Microfotografías", se logran con la ayuda del microscopio metalográfico, cuyos principios ópticos y de observación no difieren mayormente de los comunes. En él, con iluminación adecuada, se observa por reflexión (los rayos luminosos al incidir sobre el objeto se refleja hacia el ocular), la imagen de la superficie atacada, a través de un sistema de lentes con los que se amplifica según lo que requiera la observación.

Por otra parte, con la observación de las estructuras micrográficas y por comparación con microfotografías, es posible deducir el contenido aparente de carbono, finura y variedad de los componentes, clasificación de aceros, reconocer las inclusiones por defectos de fabricación (óxidos, silicatos, oxisulfuros, silicoaluminatos).

13. Ensayo de Microdureza Vickers

Este ensayo se realizó utilizando un Microdurómetro Vickers.

La tabla 18 indica las características del Microdurómetro empleado para determinar la Microdureza de las muestras de las diferentes aleaciones.

Tabla 18. Características, Microdurómetro Vickers.

Marca	Buehler
Modelo	Indentamet 1100
Año	2009
Fecha de calibración	2009
Inventario U.C	039319

El ensayo de microdureza Vickers (indicado en la norma ASTM (384-89(UNE-EN ISO 6507-2)) usa como elemento penetrador, un diamante en forma de pirámide equilátera con un ángulo diedro de 136° , que se presiona al material cuando se aplica una carga que oscilará entre 25 y 1000 gramos-fuerza, definiéndose la Microdureza Vickers (HVN), como el cociente entre la

carga, $F(N)$, y el área superficial, $A(\text{mm}^2)$, d = diagonal media de la huella en mm. La diagonal d es el valor medio de la diagonales de la huella (d_1) y (d_2),

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{Ec. (13)}$$

distancia promedio de la huella permanente dejada por el penetrador, luego de retirada la carga. El área se halla a partir de la medición por microscopia óptica de las diagonales de la huella a través de la ecuación

$$A = \frac{d^2}{2 \text{ sen } 68} \quad \text{Ec. (14)}$$

determinándose la dureza a través de la siguiente expresión:

$$\text{HVN} = \frac{F}{A} = 0,1891 * \frac{F}{d^2}. \quad \text{Ec. (15)}$$

Debido a que se utilizó un Micrómetro digital no se aplicaron formulas ya que los valores aparecían establecidos en el equipo.

La Microdureza Vickers (HVN) se debe considerar como una dureza plástica debido a que se ha determinado a partir de la huella permanente, o sea de la deformación plástica, obtenida en la superficie del material después de la penetración.

La ecuación (14) supone que la huella permanente mantiene exactamente la misma geometría que la punta del penetrador Vickers que la ha formado. Esta hipótesis no supone un excesivo error cuando la carga

aplicada es relativamente grande (por arriba de los 10 N) y cuando los materiales medidos sean poco elásticos. En otros casos, debido a fenómenos de fluencia plástica y elástica de los materiales, la huella residual sufre pequeñas deformaciones en comparación con la geometría del penetrador.

- **Aplicación y tiempo de la carga de prueba.** La carga de prueba debe aplicarse y retirarse suavemente sin golpes o vibraciones. El tiempo de aplicación de la carga de prueba completa debe ser de 10 a 15 segundos a menos que se indique otra cosa.

Cuando el espesor se encuentra entre 1 y 3 mm se aplica una carga de 200 gramos-fuerza con un tiempo de aplicación de 15 segundos.

- **Preparación de la probeta.** La prueba de Microdureza Vickers se aplica a un gran número de probetas, desde barras grandes y secciones laminadas hasta piezas diminutas en montajes metalográficos. Las probetas deben acondicionarse para que estas proporcionen un buen soporte de manera que no se muevan durante la prueba.
- **Acabado.** La superficie de la probeta debe prepararse de forma que se definan bien los extremos de las diagonales y puedan medirse. Al preparar la probeta debe tenerse cuidado de no revenir la superficie durante el rectificado de la misma o de no endurecerla por trabajo mecánico durante el pulido.

- **Penetrador de diamante.** Este debe estar finamente pulido con aristas bien definidas. La base de la pirámide debe ser cuadrada y sus caras opuestas deben formar un ángulo de 136° .

Las cuatro caras del penetrador deben estar inclinadas simétricamente con respecto al eje del mismo y terminar en un vértice afilado, o sea que la línea de unión entre las caras opuestas no debe ser mayor de 0,001 mm de longitud.

El buen estado de la punta del penetrador es muy importancia cuando la carga de prueba y la huella es pequeña, por lo tanto se debe revisar periódicamente la punta del penetrador para evitar fallas.

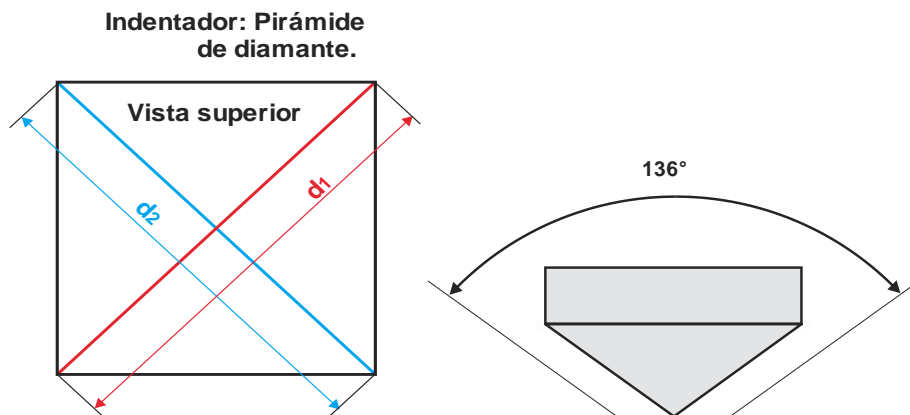


Figura 13. a.- Vista superior del Indentador, b.- Ángulo entre las caras del indentador

- **Espacio entre huellas.** El centro de la huella no debe estar cercano a la orilla de la probeta u otra huella en una distancia igual a dos veces y media la longitud de la diagonal de la huella.

- **Medición de la huella:** Deben medirse ambas diagonales de la huella y obtenerse un valor promedio y usarse este para el cálculo del número de Microdureza Vickers. Se recomienda efectuar la medición con la huella centrada, tanto como sea posible, en el campo óptico del microscopio.

2.3. Definición de los Términos

Terminología usada en los procesos de soldadura de metales, ya sean ferrosos o no ferrosos.

- **Agrietamiento de la raíz.** El agrietamiento es provocado por la contracción del metal fundido caliente a medida que se enfría, sometiendo el cordón de la raíz a un esfuerzo.
- **Agrietamiento debajo del cordón.** Un agrietamiento en el metal base endurecido es provocado justamente debajo de la línea de fusión. Las grietas debajo del cordón ocurren paralelas a la línea de fusión.
- **Agrietamiento en caliente.** También conocido como “autoagrietamiento”, es provocado por la concentración de un esfuerzo en un metal fundido relativamente fino que se enfría rápido.
- **Agrietamiento radial.** Una grieta que se origina en la zona de fusión y que se extiende hasta el metal base, generalmente en ángulo recto con la línea de fusión. Este tipo de agrietamiento se debe a los grandes esfuerzos en el enfriamiento de una estructura rígida.

- **Aleación.** Un material con características metálicas y formadas por dos ó más elementos.
- **Amperaje del arco.** Corriente que fluye a través del arco eléctrico.
- **Ancho de la soldadura.** Es el ancho del cordón una vez terminado, depende de la preparación de los bordes utilizados.
- **Ángulo de la ranura (Groove Angle).** El ángulo total de la ranura entre las partes a unirse por una soldadura de ranura.
- **Área del metal de la soldadura (Weld Metal-Área).** El área del metal de soldadura como está medida sobre la sección transversal de la soldadura.
- **Captación.** La absorción de metal base por parte del metal depositado como resultado de la combinación. Generalmente se utiliza con referencia a la migración del carbono u otro elemento de aleación crítico del metal base hacia el metal depositado. En dependencia de los materiales, esto puede ser ventajoso o desventajoso.
- **Cara de la soldadura.** La superficie expuesta de la soldadura realizada por un proceso de soldadura de arco ó gas desde el lado donde se ejecutó.
- **Cordón de soldadura.** El depósito de soldadura que resulta de un paso.

- **Corriente alterna (CA).** Es la clase de corriente eléctrica que invierte su dirección periódicamente. Para una corriente de 60 ciclos, la corriente fluye en una dirección y luego en otras 60 veces por segundo, de esta manera la corriente cambia de dirección 120 veces por segundo.

- **Corriente continua (CC).** Corriente eléctrica que fluye en una sola dirección.

- **Cráter.** Depresión al final de la soldadura. Defectos de las soldaduras.

- **Electrodo consumible.** Electrodo metálico que establece el arco y que se funde gradualmente, siendo llevado a través del arco (depositado) para suministrar el metal de aporte a la unión.

- **Electrodo de Tungsteno.** Electrodo de metal que no se deposita, usado en soldadura por arco, consistente en un alambre de tungsteno.

- **Electrodo desnudo.** Electrodo usado en sistemas de soldadura sin ningún tipo de revestimiento.

- **Escoria.** (1) Es la capa no metálica que se forma en la parte superior del metal fundido. Generalmente es un complejo de elementos químicos (óxidos, silicatos, etc.) que flotan en la parte superior del metal fundido caliente. Cuando un cordón de metal fundido se enfría, la capa de escorias del cordón puede eliminarse con facilidad. (2) Residuo cristalizado producto de la fusión del revestimiento y que permanece en

la superficie de la soldadura protegiéndola de la acción del oxígeno mientras el metal se enfría.

- **Ferroso.** Metal en el que predomina el hierro en su composición química.
- **Fundente.** Un material fusible no metálico que disuelve y evita la formación de óxidos metálicos, nitruros y otras inclusiones no deseadas en la soldadura.
- **Fusión completa.** La fusión que se ha producido sobre toda la superficie del metal base expuesta para soldar.
- **Fusión incompleta.** Fusión en la unión que sea menor a la completa.
- **Fusión.** La fusión de un metal hasta llevarlo al estado líquido, permitiendo que dos superficies en contacto intercambien parcialmente sus contenidos producto de la aplicación del calor necesario teniendo como resultado una homogenización completa de las composiciones luego del enfriamiento.
- **Gas inerte.** Un gas, como helio o argón, que no se combina químicamente con otros elementos. Dicho gas sirve como protección efectiva del arco de soldadura y protege el metal depositado fundido contra la contaminación atmosférica hasta que este se enfríe.

- **Generador para soldar.** Un generador usado para proporcionar corriente para soldar.

- **Geometría de la unión.** La forma y dimensiones de una unión en la sección transversal anterior al proceso de soldadura.

- **Grietas de cráter.** Las grietas de cráter del cordón de soldadura, consecuencia de la contracción en frío.

- **Grietas de la soldadura.** Ranura interna en la soldadura disminuyendo la resistencia de la soldadura.

- **Inclusión de escoria.** Inclusión de escorias dentro del cordón, provocada por una manipulación del soldador reduciendo la resistencia de la unión.

- **Inclusión de gas.** Cavidades formadas por burbujas que quedan atrapadas en el baño de fusión disminuyendo la resistencia de la unión soldada.

- **Junta:** Disposición espacial o forma de una unión soldada. La Soldadura es más rápida y menos pesada que por ejemplo el atornillado.

- **Línea de fusión.** La junta entre el metal que se ha fundido y el metal base sin fundir.

- **Longitud efectiva de soldadura.** La longitud de la soldadura a través de la cual existe una sección transversal correctamente proporcionada.
- **Metal base.** Metal que se suelda o corta.
- **Metal de aporte.** Metal con las propiedades requeridas procedente de un electrodo ó varilla que se agrega al hacer una soldadura.
- **Metal depositado.** Metal de aporte derretido por el calor necesario que se agrega durante el proceso de la soldadura.
- **Metal.** Un elemento que tiene todas ó la mayoría de las siguientes características: sólido a temperatura ambiente; conductor del calor y la electricidad; reflector al pulirse; se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. Para todos los fines prácticos, también se usa la palabra metal al hablar de muchos materiales de aleaciones que tienen características metálicas, que incluso pueden contener más de un elemento incluyendo no metales.
- **Microgrietas.** Grietas o fisuras en la estructura metálica vistas sólo con la ayuda de un microscopio.
- **No ferroso.** Que no contiene la suficiente cantidad de hierro como para tener una influencia dominante sobre las propiedades del metal.
- **Operario de soldadura.** La persona que opera la máquina ó el equipo automático de soldadura.

- **Orilla de la soldadura.** La unión entre la cara de una soldadura y el metal base.
- **Penetración.** La profundidad por debajo de la superficie del metal base para la cual el calor de la soldadura es suficiente para que el metal se derrita y se torne líquido o semilíquido. También se denomina profundidad de fusión. La capacidad del arco o electrodo para alcanzar la raíz de la ranura entre dos piezas que se están soldando.
- **Polaridad directa o normal.** Una posición de los conductores de una fuente de corriente directa en la cual el polo positivo del arco es la pieza y el polo negativo del arco es el electrodo.
- **Polaridad inversa o invertida.** Una posición de los conductores de una fuente de corriente directa en la cual el electrodo es el polo positivo y la pieza es el polo negativo del arco.
- **Poros.** Se forman por el rápido enfriamiento del metal caliente con un contenido excesivo de gas.
- **Porosidad.** La presencia dispersa de bolsas o inclusiones de gas en un sólido metálico.
- **Pre calentamiento.** El calentamiento de un metal base antes de la soldadura o el corte con el fin de minimizar el impacto térmico y de disminuir la velocidad de enfriamiento.

- **Profundidad de la fusión.** Es la distancia desde la superficie del metal base hasta el punto en el cual la fusión no existe entre las uniones.

- **Propagación de una grieta.** El desarrollo, crecimiento o progreso de una grieta en un sólido.

- **Propiedades.** Aquellas características de un metal que lo hacen útil y distinto a otros.

- **Sobrecalentamiento.** La exposición suficiente de un metal a temperaturas extremadamente altas de manera que se desarrolla una estructura de grano grueso no deseada. Con frecuencia la estructura puede corregirse mediante un adecuado tratamiento térmico, trabajo en frío o una combinación de estos.

- **Soldadura a tope.** Soldadura realizada en la unión de dos piezas de metal aproximadamente en el mismo plano.

- **Soldadura manual.** La soldadura en la cual el electrodo está en una posición fija en un portaelectrodo sujeto por el soldador, el cual lo guía a lo largo de la unión manteniendo una adecuada distancia de arco.

- **Soldadura por fusión.** Las soldaduras en la cual se funden entre sí dos miembros metálicos, con ó sin la adición de un metal de aporte procedente de un electrodo consumible o una varilla de soldar.

- **Soldar.** Unir sólidamente dos cosas con sustancia igual o semejante a ellas.

- **Temperatura crítica superior.** La temperatura a la cual una aleación comienza a transformarse de una estructura sólida a otra a medida que se enfría. Temple. (1) La cantidad de carbono presente en el acero: temple 10 es 1.00% de carbono. (2) El grado de dureza que tiene una aleación luego del tratamiento térmico o del trabajo en frío, ejemplo: aleaciones de aluminio.

- **Varilla de soldar.** Metal de aporte, en forma de alambre o varilla, utilizado para el proceso de soldadura oxiacetilénica o y en aquellos procesos de soldadura por arco eléctrico donde el electrodo no aporta el metal necesario para la soldadura.

- **Velocidad de deposición.** La velocidad a la que se añade el metal de aporte a la unión soldada, generalmente se expresa en volumen de metal depositado por minuto.

- **Velocidad de fusión.** La velocidad a la cual es depositado el metal procedente de un electrodo o varilla de soldar generalmente expresado en peso del electrodo o varilla consumido por unidad de tiempo.

- **Zona de influencia térmica.** La parte del metal base adyacente a la soldadura, cuya estructura o propiedades han sido alteradas por el calor de la soldadura.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe de forma detallada el procedimiento, normas y parámetros empleados durante el desarrollo de la investigación, con el propósito de dar cumplimiento a los objetivos planteados.

3.1. Nivel de investigación:

Exploratorio. Porque se realizó una investigación sobre cómo reaccionan las aleaciones de Aluminio AA-300H14 y AA-6063T5, cuando fueron sometidas a un proceso de soldeo tipo GTAW, con parámetros constantes como el Amperaje, el Voltaje y la Temperatura, realizándoseles los procesos de Laminación, ensayos de Tracción y Microdureza Vickers, Tratamientos Térmicos, entre otros para obtener resultados que permitieron determinar los aportes positivos que arrojaron la investigación.

Descriptiva. Se efectuaron análisis con los resultados obtenidos a través de los diferentes procesos, ensayos y tratamientos que permitan caracterizar el comportamiento mecánico, cristalino y molecular de las aleaciones a estudiar, con el fin de cotejarlos con estudios previamente realizados y que servirán de elemento referencial para nuevas investigaciones.

De campo. La investigación de campo se llevó a cabo a través de un tratamiento térmico de recocido, procesos de laminación y ensayos de tracción y Microdureza Vickers con el que se determinaron las propiedades

mecánicas y microestructurales de una serie de muestras para conocer el comportamiento de las aleaciones de aluminio AA-3003H14 y AA-6063T5 en un proceso de soldeo tipo GTAW.

3.1.1 Diseño de la investigación.

Investigación experimental y de campo que permitió obtener la información a través de los ensayos para alcanzar los objetivos trazados.

Población. Abarca todas las aleaciones de aluminios. En la figura 14 se puede observar dos tipos de aleación.

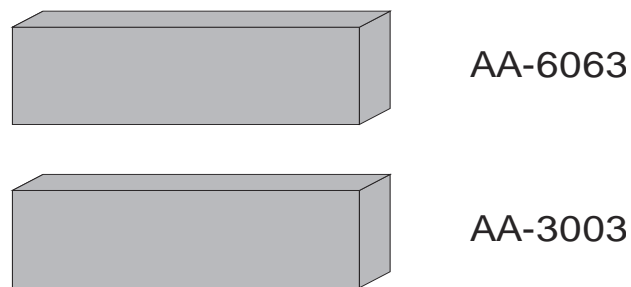


Fig. 14. Población

Muestras. Están referidas a unas aleaciones específicas. En este caso de las aleaciones AA-3003H14 y AA-6063T5.



Fig. 15. Muestras norma ASTM-E8M; otras muestras.

Esquema de la parte practica

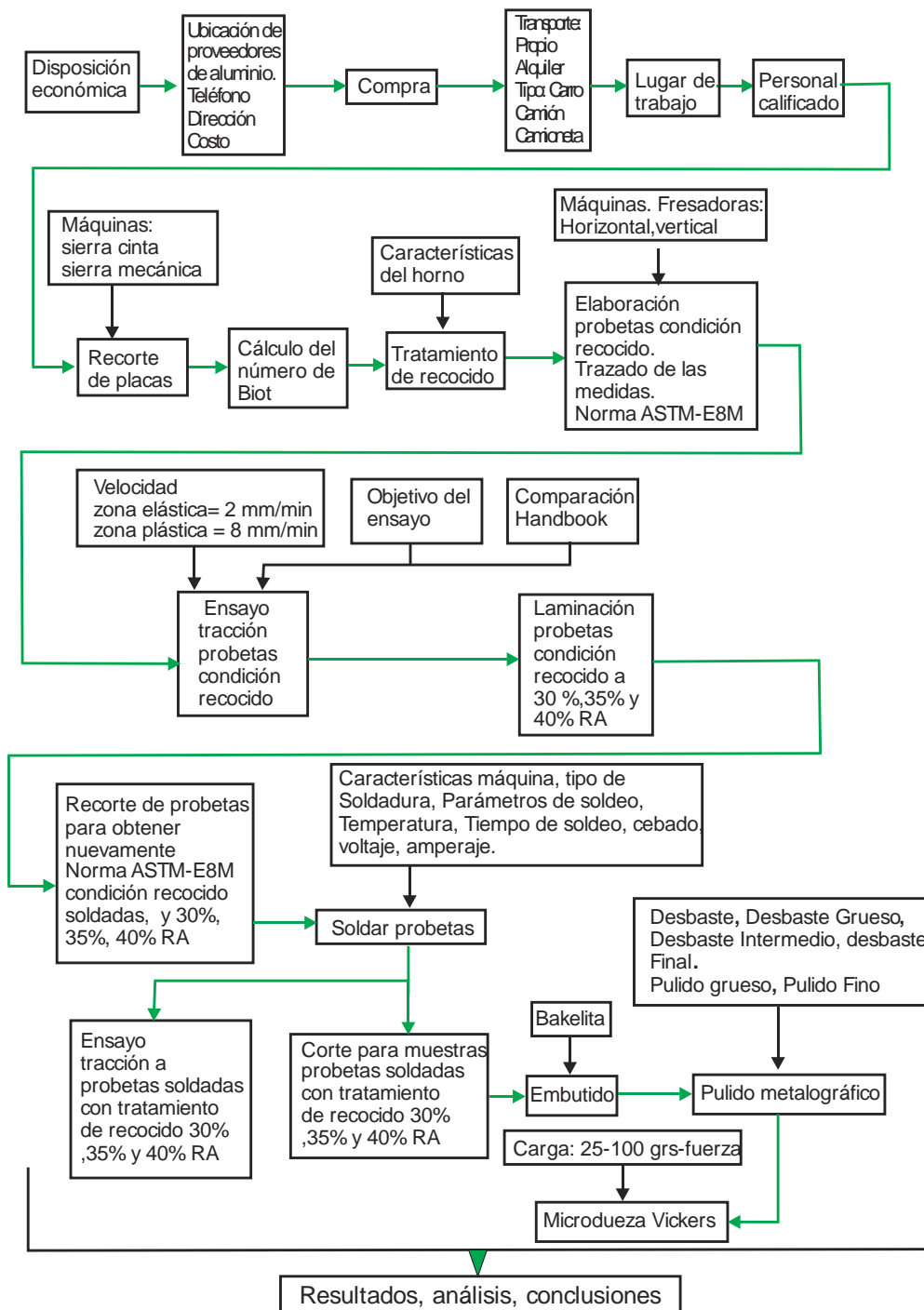


Fig. 16. Esquema de trabajo

3.2.1 Ubicación de los proveedores, compra del material, Transporte, Lugar de Trabajo, personal Calificado.

Ubicación de los proveedores. A través de los diferentes medios, sobre todo de los escritos: internet, prensa; indagar los números telefónicos y direcciones.

Compra del material. Cuando se adquiera el material se le debe solicitar al proveedor las características mecánicas del material, así como la respectiva factura, las cuales deben anexarse en el Trabajo Especial de Grado.

Transporte. Es importante conocer las dimensiones del material que se va a adquirir, debido a que permitirá determinar qué tipo de transporte se debe usar.

Lugar de trabajo. El sitio de trabajo donde se efectuará el desarrollo debe contar, sino con toda la maquinaria al menos con la mayoría de ellas, porque ello jugará papel importante en el tiempo hora-hombre.

Personal calificado. Si el tema está relacionado con el soldeo de aluminio se debe tener mucho cuidado a la hora de escoger a quien va a realizar el soldeo. Este debe ser un operador certificado.

3.3 Recorte de las placas.

Para el recorte de placas se empleó una máquina sierra cinta, y una sierra mecánica cuyas características se pueden ver en las tablas 21 y 22 respectivamente.

De las láminas AA-3003H14 y AA-6063T5 de 3 mm de espesor cada una, se cortaron 23 secciones rectangulares con medidas de (23,5 x 10) cm, para poderlas ubicar dentro del horno y aplicarles el tratamiento de recocido. Se cortaron veintitrés con el fin de mantener una reserva.

La tabla 19 indica las características de la fresadora horizontal empleada para mecanizar las probetas aleaciones AA-3003H14 y AA-6063T5. Se utilizó en el proceso de mecanizado.

Tabla 19. Características de la fresadora horizontal.

Marca	Hecha en	Tipo	R.p.m.	N° Dientes	F (avance) mm/min
VILH. PEDERSEN Ltd.	Dinamarca	VPVO	400	10	65

La tabla 20 indica las características de la fresadora vertical empleada para mecanizar las probetas aleaciones AA-3003H14 y AA-6063T5.

Tabla 20. Características, fresadora vertical.

Marca	Hecha en	Tipo	Frecuencia (Hz)	GIRI (vueltas)	V	A	V	A	Ẇ (HP)	Vel. Lenta r.p.m	Vel. rápida r.p.m
INDUMA	Italia	8024F	60	1700	220	3,7	440	1,7	1	1050	1600

La tabla 21 indica las características de la máquina sierra cinta empleada para cortar las probetas aleaciones AA-3003H14 y AA-6063T5.

Tabla 21. Características, máquina sierra cinta.

Máquina	Modelo	Hecha en:	N°	Marca	Blattlänge (largo de la hoja)	
Sierra Cinta	SM 4	Alemania	24970 358 / 00003	Petzing & Hartmann Pehaca Maschinen Fabrik Kassel	Blade Length (Longitud de la lamina)	Min: 2.800 mm
					Longueur de la Lame(Longitud de la Cuchilla)	Max: 3.000 mm

La tabla 22 indica las características de la máquina sierra mecánica empleada para cortar las probetas aleaciones AA-3003H14 y AA-6063T5.

Tabla 22. Características, máquina sierra mecánica.

Máquina empleada	Marca	Type (Tipo)	Date de Manufacture (Fecha de fabricación)	Machine (Máquina)	Hecha en
Sierra mecánica	SOJA	Rc 230	1959	N° 428	Sweden (Suecia)
	SB SAUDERS				

3.4 Cálculo del número de Biot.

Se realizó para conocer el tiempo que durarían las placas de las dos aleaciones dentro del horno durante el tratamiento de recocido. Para ello se aplicaron las ecuaciones siguientes: Ec (5), Ec (6), Ec (7), Ec (8), Ec (9), Ec (10) y Ec (11).

Placas de aluminio, AA-3003H14 y AA-6063T5.

Los cálculos realizados son los mismos para las dos aleaciones.

Número de probetas que se usaron para el cálculo de Biot: 23

El área de una placa se obtuvo aplicando la ecuación (5).

$$A = 23,5\text{Cm} \times 10\text{Cm} = 235 \text{ Cm}^2 \Rightarrow A = 235 \text{ Cm}^2$$

Para obtener el espesor de las veintitrés placas se aplicó la Ec (6):

$$e_{23} = w * \text{Número de probetas} = 3 \times 23 = 69 \text{ Cm}$$

El volumen de las veintitrés placas se obtuvo a través de la ecuación (7).

$$V = 235 \text{ Cm}^2 * 69\text{Cm} = 16215 \text{ Cm}^3 \Rightarrow V = 16215 \text{ Cm}^3$$

Para una placa plana pequeña, la longitud característica es la mitad del espesor y se halló aplicando la ecuación (8).

$$L_c = \frac{3 \times 23}{2} = \frac{69}{2} = 34,5 \Rightarrow L_c = 34,5 \text{ Cm} = 1,132 \text{ Pies}$$

La tabla 23 indica los principales parámetros para calcular el número de Biott, el cual permite determinar el tiempo con el que se efectuará el tratamiento de recocido.

Tabla 23. Parámetros para calcular el número de Biott.

V_{23} (Cm^3)	A (Cm^2)	$L_{c\ 23}$	h_{∞} $\left(\frac{Btu}{hr. Pie^2 \cdot ^\circ F}\right)$	K_{Al} $\left(\frac{Btu}{hr. Pie. \cdot ^\circ F}\right)$	α_{Al} $\left(\frac{Pie^2}{hr}\right)$	ψ $\left(\frac{1}{hr}\right)$	T_{∞} ($^{\circ}C$)	T_f ($^{\circ}C$)	T_o ($^{\circ}C$)
16215	235	1,13	15	130	3,7	0,38	650	500	27

El número de Biott (B_i), la constante ψ , la temperatura unidimensional y el tiempo de aplicación del tratamiento de recocido se obtuvieron aplicando la ecuaciones (9), (10) (11) y (12) respectivamente.

$$B_i = \frac{1,13 \times 15}{2 \times 130} = 0,065 \Rightarrow B_i = 0,065 < 0,1$$

$$\psi = \frac{h_{\infty} \alpha_{Al}}{L_c K_{Al}} = 0,38 \frac{1}{hr} \Rightarrow \psi = \frac{0,38}{hr};$$

$$t = \frac{L_n \left(\frac{T_f - T_{\infty}}{T_o - T_{\infty}} \right)}{-\psi} = 3,77 \text{ hr} = 226,2 \text{ min} \Rightarrow t = 3,77 \text{ hr} = 226,2 \text{ min}$$

Este tiempo equivale a doscientos veintiséis minutos con veinte segundos (226,20) el cual es el tiempo del tratamiento de recocido para las veintitrés (23) probetas.

3.5 Tratamiento de recocido. El tratamiento de recocido que se realizó fue el de recocido de homogeneización y regeneración, para eliminar los tratamientos a los que previamente fueron sometidas las dos aleaciones en estado de entrega. El recocido se realizó a una temperatura de 550 °C durante un tiempo de 226,2 minutos, tiempo que se obtuvo a través del

cálculo del número de Biott. A esta temperatura se facilita la difusión de los elementos y la solución de otros como el Silicio.

El enfriamiento de las probetas de las dos aleaciones fue lento, se llevó a cabo permaneciendo las probetas dentro del horno, sacándolas cuando la temperatura interna del horno se igualó con la del medio ambiente (Laboratorio de Materiales).

3.5.1 Características, horno para realizar el tratamiento térmico de recocido.

La tabla 24 indica las características del horno con el cual se realizó el tratamiento térmico de recocido.

Tabla 24. Características Horno de Tratamiento Térmico – Thermolyne 1

Marca	Modelo	Capacidad °C	Apreciación	Inventario U.C	Año	Fecha de calibración
Thermolyne	48000	0 – 1200	0,1 ° C	144436	2002	Mayo 2007

Elaboración de probetas, condición recocido. Se trazaron sobre las placas a las que se les efectuó el tratamiento de recocido las dimensiones estipuladas por la norma ASTM-E8M. Ver figura 3 y dimensiones en español en la tabla 14.

Máquinas empleadas. Se usaron máquinas para realizar los diferentes cortes; fresadora horizontal, fresadora vertical, sierra cinta, sierra mecánica cuyas características para cada una de ellas se pueden ver en las tablas: 20-21-22-23 respectivamente.

De cada una de las placas de las dos aleaciones se sacaron dos (2) probetas, como se indica en las figuras 17-18 y 19, siguiendo las normas ASTM-E8M, para efectuarles el ensayo de tracción.

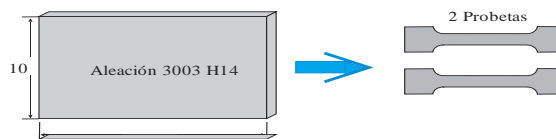


Figura 17. Obtención de probetas a partir de las placas AA-3003H14.

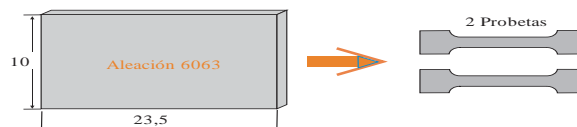


Figura 18. Obtención de probetas a partir de las placas AA-6063T5.

En la figura 19 se indican las probetas extraídas de las placas cortada según norma ASTM-E8M, empleadas para realizar el ensayo de tracción.

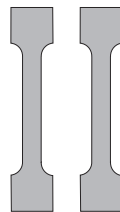


Figura 19. Probetas, norma ASTM-E8M, usadas para realizar el ensayo de tracción.

3.6 Ensayo de tracción probetas-condición recocido. Se realiza con el fin de obtener los distintos valores de resistencia ($\sigma_f, \sigma_u, \sigma_{fract}$). Empleándose una velocidad en la zona elástica de $2 \frac{mm}{min}$, y en la zona plástica de $8 \frac{mm}{min}$, velocidades que están relacionadas con el espesor y se encuentran establecidas en la norma ASTM-E8M. Se usó la Máquina de Ensayo Universal Galdabini, cuyas características se pueden ver en la tabla13.

3.7 Comparación de los valores obtenidos experimentalmente con los valores indicados en el texto Materials Handbook para condición recocido.

La tabla 25 indica los parámetros de ensayo a tracción obtenidos experimentalmente.

Tabla 25. Parámetros de ensayo a tracción a probetas de la AA-3003(O), condición recocido, obtenidos experimentalmente.

N° de Probeta	VZE $\frac{mm}{min}$	VZP $\frac{mm}{min}$	P _{Max} (Ton)	P _{fract} (Ton)	L _c (mm)	L _f (mm)	(e) (cm)	%Re
1	2	8	10	4383	57	78	0,2953	25,57
2	2	8	10	3196	57	73	0,3140	26,95
4	2	8	10	4492	57	75	0,4981	39,23

VZE: velocidad de la zona elástica. (mm/min)

VZP: velocidad de la zona plástica. (mm/min)

Laminación.

En el caso de este trabajo se utilizó una máquina simple que consta de rodillos cilíndricos por los cuales se introduce el metal y se deforma hasta obtener el espesor deseado, de acuerdo al porcentaje de reducción de espesor que se desea estudiar. Ver figuras 7. En la tabla 26 se presentan las características de la máquina empleada para realizar el proceso de laminación.

Este proceso fue utilizado para generar probetas con porcentajes de reducción de espesor 30%, 35% y 40 % para obtener espesores específicos. Para realizar el proceso se utilizó una máquina simple de dos rodillos cilíndricos por los cuales se introdujo el material generando deformaciones para porcentajes de reducción de área de 30%, 35% y 40%. Ver esquema figuras 6 y 7. Se laminaron dieciocho (18) probetas recocidas, Nueve (9) de Aluminio, aleación 3003 y nueve (9) de Aluminio aleación 6063, se laminó este número de probetas con el fin de mantener una reserva, no necesariamente se usaron todas.

La tabla 26 permite conocer las principales características de la máquina de laminación con la cual se realizó este proceso.

Tabla 26. Características de la máquina de laminación.

Máquina	Marca	Inventario
Laminadora	G.WWICKS MAKER NY.	N° 66562 – Universidad de Carabobo 1992
Medidor de carga	Omega DP 80 Series	

3.8 Cálculo de reducción de espesor, aleación AA-6063, condición recocido.

Este cálculo se efectuó para tener un valor de referencia y así conocer los porcentajes de reducción de espesor que se le aplicarían a las probetas previamente recocidas.

Cálculo demostrativo de la reducción de espesor para una probeta, se aplicaron los valores de la probeta número 5, que aparece en la tabla 27.

La deformación se obtiene aplicando la ecuación (16):

$$e = \left(\frac{\Delta L}{l_o} = \frac{(l_f - l_c) \cdot 100}{l_o} \right) \quad \text{Ec. (16)}$$

$$e = \left(\frac{(74-57) \cdot 100}{57} \right) = 29,8246,$$

Ejemplo de cálculo, así se hacen los demás cálculos (probetas 6 y 7).

Una vez obtenido el valor de la deformación, se calcula el porcentaje de reducción de espesor, a través de la siguiente expresión:

$$e = \frac{1}{1 - \%Re} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$\%Re = \frac{(e-1) \times 100}{e} \quad \text{Ec. (18)}$$

$\%Re = \frac{(e-1) \times 100}{e} \Rightarrow \%Re_1 = \frac{(29,83-1) \times 100}{29,83} = 96,65 \%$, cálculo demostrativo, así se hacen los demás cálculos (probetas 6 y 7).

La tabla 27 indica los parámetros del ensayo a tracción obtenidos experimentalmente de la aleación AA-6063(O).

Tabla 27. Parámetros de ensayo a tracción a probetas de la AA-6063(O), condición recocido, obtenidos experimentalmente.

N° de Probeta	$\frac{VZE}{mm}$ <i>min</i>	$\frac{VZP}{mm}$ <i>min</i>	P_{Max} (Ton)	P_{fract} (Ton)	L_C (mm)	L_f (mm)	(e) (mm)	%Re
5	2	8	10	3289	50	74	29,82	96,65
6	2	8	10	3289	50	74	29,82	96,65
7	2	8	10	3368	50	76	33,33	97,00

3.9 Recorte de probetas, condición recocido, con % de Re de 30, 35, 40, para redimensionarlas nuevamente a la norma ASTM-E8M, para soldar.

El recorte de las probetas sometidas a tracción se llevó a cabo usando la cortadora metalográfica cuyas características aparecen en la tabla 28, se hizo con el fin de redimensionar las probetas a la norma ASTM-E8M que fueron sometidas al proceso de laminación a % de Re de 30, 35 y 40, para soldarlas y luego aplicarles el ensayo de tracción.

Tabla 28. Características, cortadora metalográfica.

Máquina	Marca	Modelo	Inventario U.C
Cortadora metalográfica	Buehler	Samplmet	52392

3.10 Proceso de soldeo.

La unión se realizó a tope en una pasada, en sentido perpendicular a la dirección de laminación con el fin de garantizar la resistencia del material. El procedimiento empleado de soldeo fue GTAW-CC polaridad Invertida (Electrodo es polo positivo y probeta polo negativo), como gas protector se empleó 100% de Argón.

Este es un gas inerte, se usa para evitar la oxidación tanto del electrodo como del propio material base.

Para el soldeo TIG manual de aluminio se pudo haber usado una mezcla de Argón–Helio pero no es recomendable por razones económicas. La ventaja que proporciona el Helio es la posibilidad de soldar a mayor velocidad. Esto es notorio en el soldeo automático más no en el manual. El He es más costoso que el argón por lo que con sólo este último es suficiente la operación de soldeo. El número de pasadas fue de 1 por el espesor de la probeta. La varilla de aporte que se escogió, la temperatura de soldeo y el tiempo aplicado de cebado fue de acuerdo a la norma ANSI / AWS: A 5.10-88.

La selección del electrodo se hizo según la norma internacional ISO 6848 que dispone una codificación alfanumérica en la que:

La primera letra caracteriza el componente principal.

La segunda letra caracteriza la adición del óxido:

*P Tungsteno Puro

*T Torio

*Z Zirconio

*L Lantano

*C Cerio

Después sigue un número que corresponde al porcentaje de adición multiplicado por diez.

Así, por ejemplo, WP caracteriza a un electrodo de tungsteno puro, mientras que WT 20 corresponde a un electrodo de tungsteno con un 2% de torio.

Para la soldadura TIG, la norma internacional ISO 700 define la tensión por la siguiente ecuación:

$$V = 10 + 0,04I$$

Válido hasta intensidades del orden de 600A y tensión de 34V.

El tiempo de cebado de cinco segundos se hizo con el fin de precalentar las zonas adjuntas donde se efectuó el soldeo para que estas adquirieran una misma temperatura.

La tabla 29 muestra las características de la máquina empleada para el soldeo.

Tabla 29. Características, máquina para soldar.

Máquina marca	Tipo de Corriente	Polaridad del electrodo	Serie	Modelo
Hobart	Continua	Positiva		
Asimiento Preflujo del Disparador (Trigger Hold Prewflow) Sec-Rango	Desnivel del cráter (Crater Fill) Sec-Rango	Flujo de Poste (Post Flow) Sec-Rango	Contador del tiempo del punto (Spot Timer) Sec-Rango	Tigwere
1 – 5	5 – 15	3 – 50	0,25 - 6	
Máquina		Modelo	Serie	
Hobart		250	2210	

En la tabla 30 se muestran los principales elementos de soldeo.

Tabla 30. Tipo de soldadura, electrodo, corriente, espesor varilla de aporte.

Tipo de Soldadura	Geometría de la Varilla	Electrodo		Corriente		Varillas de aporte usadas	Espesor Varillas de aporte	Aleación Comprada
GTAW (TIG)	Cuadrada	Tungsteno		CC	CA	3 para cada aleación	1/16"	Propio material
		Color	Espesor	X				
		Rojo	1/16"					

En la tabla 31 se indican los parámetros empleados para el soldeo

Tabla 31. Parámetros para soldeo.

Amperaje (A)		Voltaje (V)	Temperatura de soldeo (T)	Tiempo de cebado (Seg)	Tiempo de soldeo (Seg)	Lugar de soldeo
AA-3003	AA-6063	220	577-582°C	5	60	Soldalum
250	250					

En la tabla 32 se indican los parámetros de soldeo para condición recocido con %Re 30, 35, 40.

Tabla 32. Parámetros de soldeo, realizado a las probetas AA-3003(O), condición recocido con %Re de 30, 35, 40.

Corriente (I) Amp	Voltaje (V)	Temperatura de soldeo	Tiempo de cebado (Seg)	Tiempo de Soldeo (Seg)	N° de pasadas	Lugar de soldeo
250	220	577-582°C	5	60	1	Soldalum

La tabla 33 indica los parámetros de soldeo aplicados para el soldeo de las diferentes reducciones de espesor.

Tabla 33. Parámetros de soldeo, realizado a las probetas AA- 6063(O), condición recocido con %Re de 30, 35, 40.

I	Voltaje (V)	Temperatura de soldeo	Tiempo de cebado	Tiempo de Soldeo (Seg)	N° de pasadas	Lugar de soldeo
250	220	577-582°C	5 Seg	60	1	Soldalum

La tabla 34 indica los parámetros de voltaje amperaje y velocidad de soldeo.

Tabla 34. Condiciones de soldeo

Aleación	V(V)	I (Amp)	Vel. (mm/min)
AA-3003	220	250	Manual
AA-6063	220	250	Manual

3.11 Corte de muestras.

Siguiendo el procedimiento del manual de uso y operación elaborado por el Departamento de Materiales en el Laboratorio de Materiales, usando la cortadora metalográfica se cortaron ocho (8) muestras, a las cuales se les realizó el ensayo metalográfico.

La tabla 35 indica las características de la máquina con la que se realizaron los cortes de las muestras.

Tabla 35. Características, cortadora metalográfica.

Máquina	Marca	Modelo	Inventario U.C
Cortadora metalográfica	Buehler	Samplmet	52392

Fuente. Laboratorio de Materiales.

La tabla 36 muestra la distribución del número de probetas cortadas por cada aleación y %Re de 30,35 y 40.

Tabla 36. Distribución del número de probetas cortadas.

Recocido		%Re= 30 %		%Re= 35 %		%Re= 40%	
Probetas = 2		Probetas = 2		Probetas = 2		Probetas = 2	
AA 3003-H14	AA 6063-T5	AA 3003-H14	AA 6063-T5	AA 3003-H14	AA 6063-T5	AA 3003-H14	AA 6063-T5
1	1	1	1	1	1	1	1

3.12 Proceso de embutido

Una vez realizado el corte metalográfico a las diferentes muestras se procedió a realizar el proceso de embutido, con la finalidad de poderlas manipular. El elemento empleado fue la bakelita.

En la figura 20 se pueden apreciar las secciones de espesor para cada aleación y su %Re

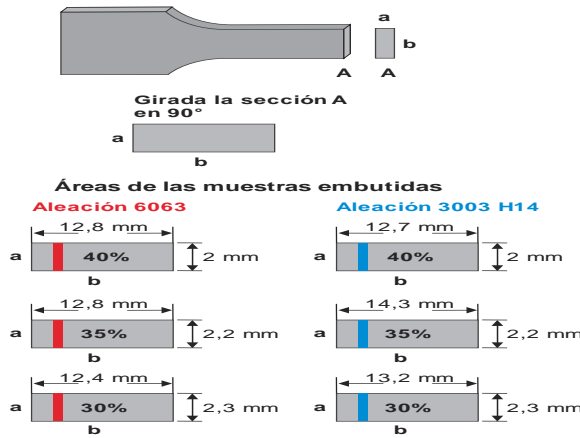


Fig. 20. Áreas de las muestras embutidas para las dos aleaciones a diferentes porcentajes de reducción de espesor.

3.13 Ensayo Metalográfico

Para realizar el pulido metalográfico y debido a que el tamaño de las muestras era pequeño se realizaron diez embutidos, como se indica en la figura 21.

En la tabla 37 aparecen las características con la cual se realizó el embutido de las muestras para las dos aleaciones.

Tabla 37. Características, embutidora metalográfica.

Máquina	Marca	Modelo	Inventario U.C	Año
Embutidora Metalográfica	Buehler	Simplemet II	52392	1996

La figura 21 indica las muestras de las dos aleaciones montadas en la bakelita.

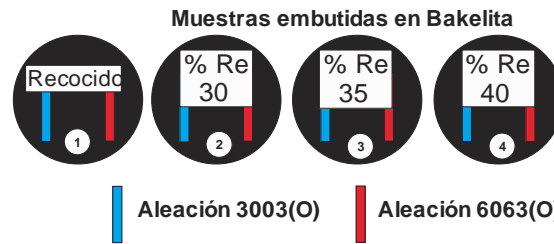


Fig. 21. Muestras embutidas en bakelita.

Pulido metalográfico.

El pulido grueso y fino se realizó a través de paños, como se indica en la figura 22.

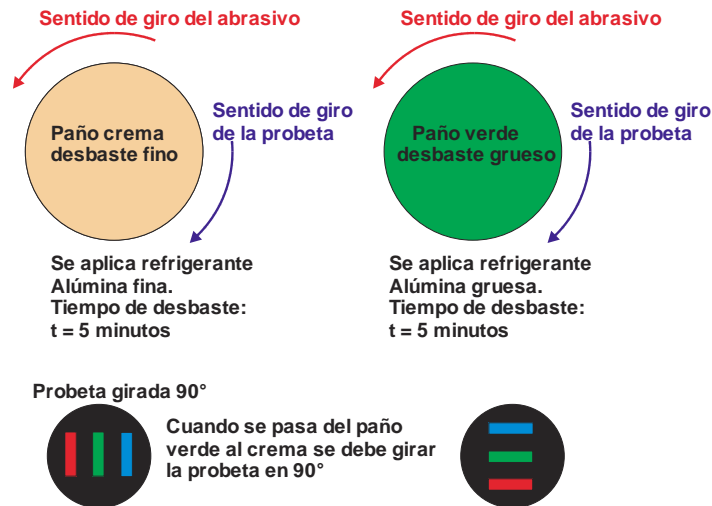


Fig. 22. Paños para el pulido metalográfico y muestras incrustadas en bakelita

3.14 Análisis metalográfico de las muestras.

Procedimiento para la preparación de las muestras.

Para la preparación de las muestras de las aleaciones AA-3003 y AA-6063 se siguió la siguiente metodología:

1. Las muestras que se prepararon fueron representativas del material.
2. Fueron observados y retenidos todos los elementos estructurales.
3. La superficie de las muestras que fueron preparadas no presentaron rayas ni deformaciones.
4. La superficie de la muestra debe mantenerse libre de impurezas o materiales extraños.
5. Las muestras quedaron planas y con elevada reflectividad.
6. Todas las preparaciones deben ser reproducibles.

3.14.1 Objetivo de la preparación de las muestras metalográficas.

El objetivo de la preparación de las muestras es revelar la estructura verdadera de la misma. La forma para lograr estos objetivos ya planteados es a través de un método sistemático de preparación de las probetas.

En otras palabras, encontrar resultados comparables gracias a un procedimiento rutinario, realizado bajo las mismas condiciones. Por lo tanto, se debe garantizar la reproducibilidad del resultado. Para ello es necesario mantener 4 enfoques dentro del estudio del mismo.

- Preparación sistemática: aquí se siguió una serie de reglas, las cuales son validas para mucho de los materiales, en nuestro caso el aluminio, debido a que es un material muy dúctil, se necesitó de dichas reglas metalográficas de acuerdo a sus propiedades.
- Reproducibilidad: aquí se cumplieron 4 principios no descartables:
 1. La dirección y la velocidad rotacional.
 2. Fuerza aplicada a la muestra.
 3. Cantidad y tipo de abrasivo y lubricante.
 4. tiempo de preparación.
- Estructura: la finalidad de este ensayo fue evaluar la superficie de la(s) muestra(s), por lo tanto se utilizó un microscopio de imagen precisa para la obtención de fotos puntuales en análisis. La evaluación microscópica se realizó con la finalidad de que ninguno de estos aspectos estén presentes en la superficie: deformación, rayas, inclusión de elementos extraños, manchas, extremos agudos, bordes redondeados, ni daños térmicos.

Como el proceso es totalmente mecánico, se deben evitar todos los aspectos ya nombrados, la función consiste en que sean minimizados en su máxima expresión.

- Criterio de aceptación: al observar la estructura verdadera de la pieza se necesitó de mucho tiempo para la preparación, ya que el material en estudio posee propiedades poco controlables y requiere de un estudio minucioso y una preparación dentro del formato de lo ya establecido.

3.15 Método de preparación.

El método de preparación consistió en una serie de pasos a través de los cuales la superficie de la muestra se va desbastando o removiendo mecánicamente con el uso de abrasivos. El material en estudio es el aluminio

AA-3003H14 y AA-6063T5.

Este análisis se realizó con el fin de determinar las características microestructurales de cada una de las muestras en estudio, correspondientes a las aleaciones AA-3003H14 y AA-6063T5 en condición de recocido-soldada, para diferentes % de Re.

Realizando para ello el siguiente procedimiento:

- Corte de una pequeña muestra de las probetas a analizar, la cual fue embutida empleando bakelita de manera que cubriera las muestras para poderlas manipular manualmente.

La norma aplicada para efectuar el desbaste fue la norma internacional ASTM

E3-01 procedimiento estándar para la preparación de muestras metalográficas (Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens) que trata sobre las correctas técnicas de preparación de muestras metalográficas.

La presión ejercida tanto en el papel abrasivo como en los paños fue mínima con la finalidad de no generar rayas profundas sobre la superficie de

las muestras, además de evitar que debido al roce la temperatura aumentara para evitar un cambio en la microestructura.

Desbaste.

Luego de embutida la probeta, se procedió al proceso de desbaste empleando papel abrasivo con granos más finos, sucesivamente. El proceso de desbaste se realizó en 3 fases: Desbaste grueso, Desbaste intermedio y Desbaste final. Con ellos se buscó obtener una superficie sin rayas.

Desbaste Grueso.

Fue el primero que se hizo, el objetivo era uniformizar la superficie de la muestra, se hizo manual, teniendo como base un trozo de vidrio de 5 mm de espesor. Todos los papeles abrasivos usados fueron de carburo de silicio, el primer papel abrasivo fue el 240, seguido del 280. La presión de la probeta sobre el papel abrasivo fue leve, evitando un rayado profundo de la muestra.

Desbaste Intermedio.

Al igual que en el desbaste grueso, se realizó apoyando la probeta sobre el papel abrasivo colocado sobre un vidrio plano de espesor 5 mm. En este desbaste se usaron los papeles abrasivos N° 320,340, 360 y 400.

Desbaste Final.

Se aplicó un idéntico procedimiento que para los anteriores desbastes, usando papel abrasivo N° 600, 1200,1500 y 2000. Cada desbaste en papel

abrasivo se efectuó sin aplicar un refrigerante, se hizo el desbaste aplicando una leve presión para evitar rayar la superficie de las muestras y de no elevar la temperatura que pudiera afectar la microestructura, la probeta se giró 90 grados, cada vez que se cambió de papel abrasivo, con el objeto de que desaparecieran las rayas por completo.

Pulido grueso.

Se colocó un paño (color verde) en un disco giratorio, el cual era accionado por un motor.

La superficie del paño se rociaba con agua y luego Alúmina gruesa de 0,5 micras y se mantenía la muestra asentada sobre el paño por un intervalo de tiempo de 5 minutos, realizándose esta operación hasta observar que la superficie de la muestra no presentaba ralladuras. Luego se lavaba la muestra con agua y se rociaba con Etanol para evitar la oxidación, después se le aplicaba calor a través de un secador de pelo y se observaban en el microscopio para ver el estado de la superficie.

Pulido fino. Se colocó un paño (color crema) en un disco giratorio, el cual era accionado por un motor.

La superficie del paño se rociaba con agua y luego una solución química donada por VENALUM conocido en esa empresa con el nombre popular de GUAYANDOTE (la cual sustituyó a la Alúmina fina de 0.5 micras) y se mantenía la muestra asentada sobre el paño por un intervalo de tiempo de 5 minutos, realizándose esta operación hasta observar en el microscopio que la superficie de la muestra no presentaba ralladuras.

Luego se lavó la muestra con agua y se roció con Etanol para evitar la oxidación, después se le aplicó calor con un secador de pelo y posteriormente se observaron en el microscopio para ver el estado de la superficie.

Este proceso se llevó a cabo con la finalidad de hacer el estudio metalográfico de las muestras. Para realizar el pulido se requiere de óxido de magnesio, lo cual no lo utilizamos porque fue difícil encontrarlo, y por ello se utilizó la alúmina ya que de no emplear ningún refrigerante se tendría problemas con la presencia de ralladuras en la muestra.

Ataque químico.

Este ataque permitió conocer la estructura de las dos aleaciones de aluminio. Hay varios métodos de ataque pero el que más se aplica es el ataque químico.

El ataque químico se realizó pasando sobre la cara pulida un algodón humedecido con el reactivo específico para el aluminio, Acido Hidrofluorico, durante un tiempo de cinco (5) segundos, este tiempo empleado para evitar daños en la microestructura. Después se lavaba la muestra con agua, luego se le rociaba Etanol y se aplicaba calor con un secador de pelo.

3.16 Microscopia.

3.16.1 Examen micrográfico.

Usando un microscopio con las características indicadas en la tabla 54 se efectuó la observación de cada una de las muestras.

Los tamaños de lentes usados fueron: 100X, 200X, 400X y 1000X.

La tabla 38 muestra las características del microscopio óptico con el que se realizó la observación de las muestras.

Tabla 38. Características, Microscopio óptico

Características. Microscopio óptico	
Marca	Unión
Modelo	MC – 86267
Capacidad	50 – 1000X

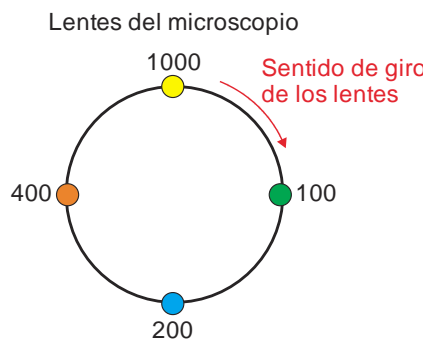


Fig. 23. Sentido de giro de los lentes del microscopio

El examen micrográfico, es una técnica avanzada y se basa en la amplificación de la superficie mediante instrumentos ópticos (microscopio) para observar las características estructurales microscópicas (microestructura). Este tipo de examen permite realizar el estudio o controlar el proceso térmico al que ha sido sometido un metal, debido a que los mismos colocan en evidencia la estructura o los cambios estructurales que sufren en dicho proceso. Como consecuencia de ello también es posible deducir las variaciones que experimentan sus propiedades mecánicas (dependiendo de los constituyentes metalográficos presentes en la estructura).

Los estudios ópticos microscópicos producen resultados que no sólo son útiles a los investigadores sino también a los ingenieros. El examen de la microestructura es muy útil para determinar si un metal o aleación satisface las especificaciones en relación a trabajos mecánicos anteriores, tratamientos térmicos y composición general.

La microestructura es un instrumento para analizar las fallas metálicas y para controlar procesos industriales. Para un estudio de ella se necesita una preparación cuidadosa de la superficie. Los pasos a seguir en el procedimiento de preparación son los mismos para todos los materiales difiriendo sólo las herramientas de corte y el grado de finura de los papeles de lija según la dureza del material. El reactivo de ataque a usar depende del tipo de aleación. Los ensayos micrográficos se realizan sobre muestras o probetas de los materiales que han de ser sometidos a estudio, preparando una superficie que luego de ser pulida adecuadamente, se ataca con reactivos químicos apropiados a la finalidad de la determinación a realizar.

3.17 Ensayo de Microdureza Vickers.

Se realizó utilizando un Microdurómetro Vickers, cuyas características se indican en la tabla 39, para obtener los valores de microdureza superficial de cada una de las dos aleaciones, en las diferentes condiciones estudiadas. Se aplicó la norma ASTM 384-89, y el método usado fue el de Vickers, que permite una excelente medición en muestras de pequeños espesores.

La huella se formó a través de un indentador de diamante de forma piramidal de base cuadrada, con un ángulo en el vértice de 136° . Se aplicó el indentador perpendicularmente a la superficie a estudiar, a través de una carga, establecida en la norma, la cual es de 25 grs-fuerza, esta carga permite obtener una buena huella. El tiempo de aplicación de la carga fue de 5 seg, luego se retiró, y se midieron las diagonales impresas sobre la superficie de la muestra. Con este valor se obtuvo la microdureza Vickers, denotada por HVN.

La tabla 39 indica las características del Microdurómetro empleado para determinar la Microdureza de las muestras de las diferentes aleaciones.

Tabla 39. Características, Microdurómetro Vickers.

Marca	Buehler
Modelo	Indentamet 1100
Año	2009
Fecha de calibración	2009
Inventario U.C	039319

El ensayo de microdureza Vickers (indicado en la norma ASTM (384-89(UNE-EN ISO 6507-2)) usa como elemento penetrador, un diamante en forma de pirámide equilátera con un ángulo diedro de 136° , que se presiona al material cuando se aplica una carga que oscilará entre 25 y 1000 gramos-fuerza, definiéndose la Microdureza Vickers (HVN), como el cociente entre la carga, $F(N)$, y el área superficial, $A(\text{mm}^2)$, d = diagonal media de la huella en mm.

Debido a que se utilizó un Micrómetro digital no se aplicaron formulas ya que los valores aparecían establecidos en el equipo.

La Microdureza Vickers (HVN) se debe considerar como una dureza plástica debido a que se ha determinado a partir de la huella permanente, o sea de la deformación plástica, obtenida en la superficie del material después de la penetración. La ecuación (15) supone que la huella permanente mantiene exactamente la misma geometría que la punta del penetrador Vickers que la ha formado.

Esta hipótesis no supone un excesivo error cuando la carga aplicada es relativamente grande (por arriba de los 10 N) y cuando los materiales medidos sean poco elásticos. En otros casos, debido a fenómenos de fluencia plástica y elástica de los materiales, la huella residual sufre pequeñas deformaciones en comparación con la geometría del penetrador.

En la figura 24 aparecen indicadas el número de indentaciones realizadas a las dos aleaciones en condición de recocido.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos para los distintos ensayos, procesos y tratamientos (Tracción, Metalografía, Microdureza Vickers, laminación, recocido) realizados para el estudio de las propiedades mecánicas y microestructurales efectuado a las probetas de las láminas de aluminio aleaciones AA-3003(O) y AA-6063(O), indicándose los respectivos análisis de las condiciones estudiadas.

4.1 Condición de recocido del material.

A nueve (9) probetas seleccionadas de cada aleación se le realizó un tratamiento de recocido con el fin de llevarlas a su condición original eliminando los tratamientos a las cuales estaban sometidas en estado de entrega.

En la tabla 40 se indican los resultados arrojados por el ensayo de tracción en condición de recocido, entre tanto en la tabla 41 aparecen las propiedades mecánicas para las aleaciones estudiadas, contenidas en el texto Metals Handbook, volumen1, 8va edición, Título: Propiedades de las Aleaciones tratadas del aluminio (Properties of Wrought Aluminum Alloys), páginas 940 y 946 respectivamente.

En las figuras 26 y 27 se pueden observar las curvas que permiten identificar los valores de las distintas resistencias tanto para la AA-3003 como para la AA-6063, en condición de recocido.

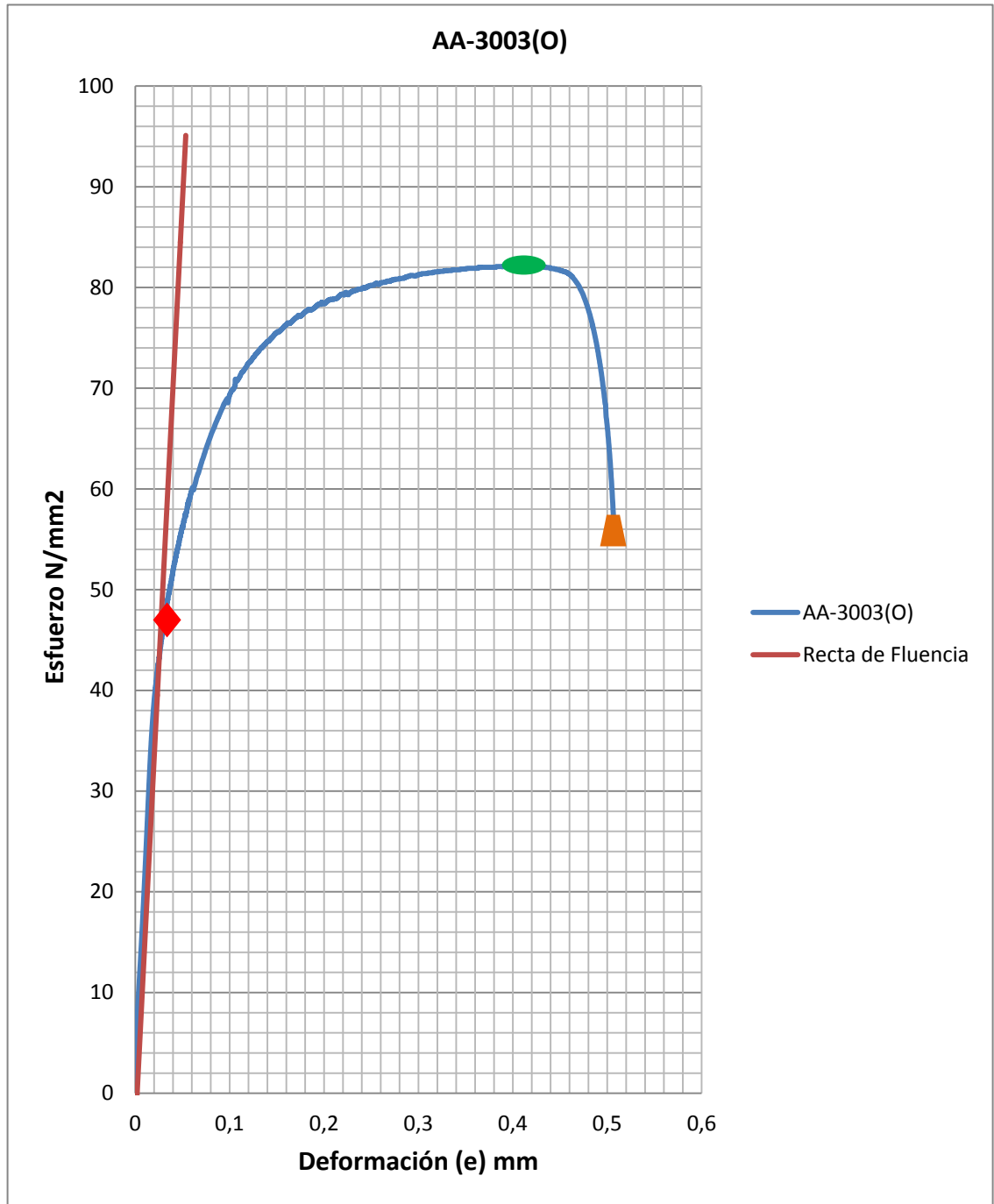


Fig. 26. Curva esfuerzo (σ) Vs deformación (e) para probetas AA-3003(O), condición de recocido y off-set.

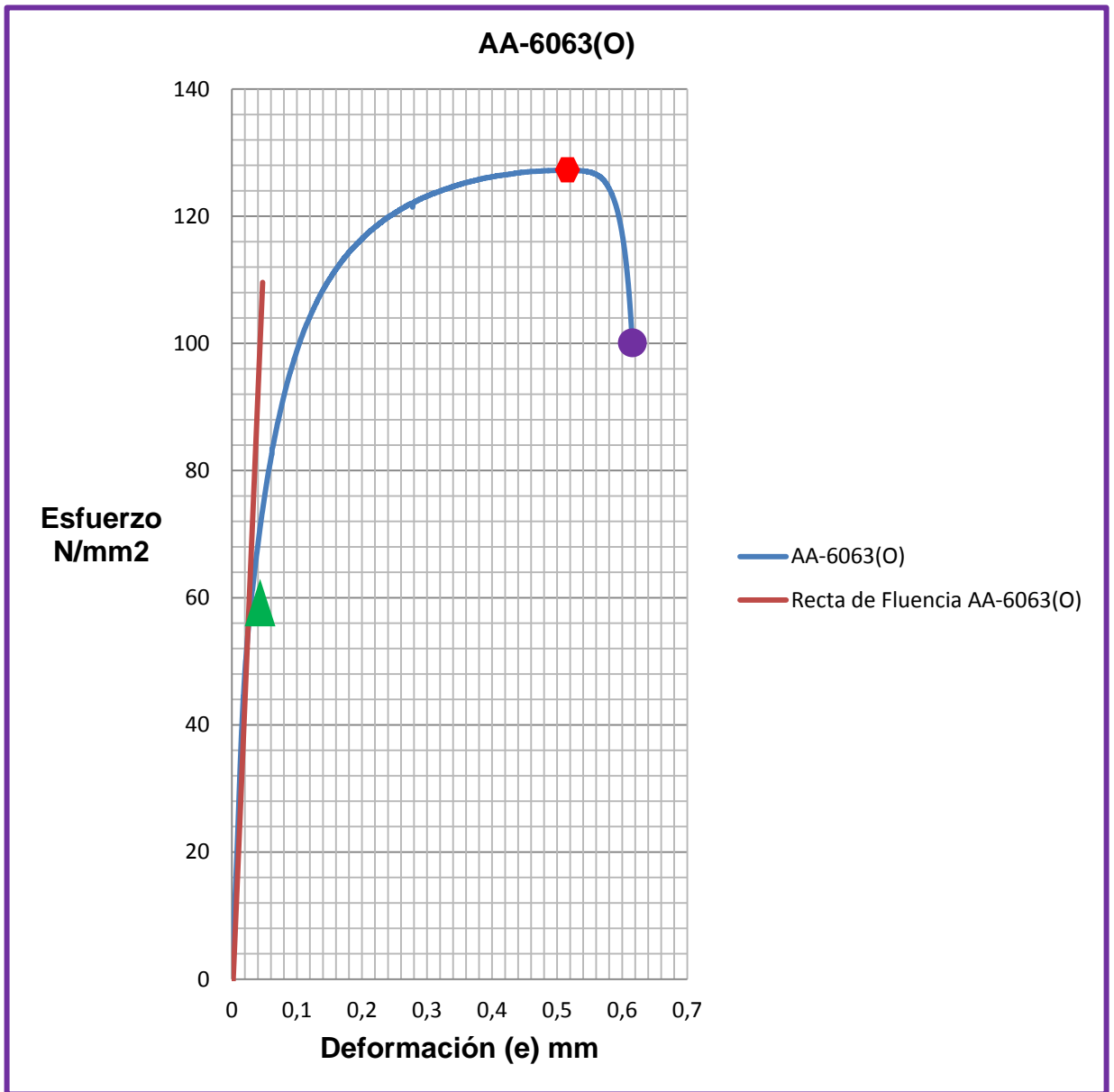








Fig. 27. Curva esfuerzo (σ) Vs deformación (e) para probetas AA-6063(O), en condición de recocido y off-set.

La tabla 40 es comparativa de las propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063 en condición de recocido obtenidos experimentalmente.

Tabla 40. Tabla comparativa de las AA-3003(O) y AA-6063(O), condición recocido. Valores experimentales.

AA-3003(O), recocido experimentalmente	AA-6063(O), recocido experimentalmente
 $\sigma_f = 46 \frac{N}{mm^2}$	 $\sigma_f = 60 \frac{N}{mm^2}$
 $\sigma_u = 83 \frac{N}{mm^2}$	 $\sigma_u = 127 \frac{N}{mm^2}$
 $\sigma_{fract} = 58 \frac{N}{mm^2}$	 $\sigma_{fract} = 99 \frac{N}{mm^2}$

Las propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O), condición recocido, obtenidas experimentalmente y los valores estandarizados de estas dos aleaciones contenidos en el libro Metals Handbook, Características y selección de metales (Properties and Selection Of Metals), volumen 1, 8th edición, páginas 940 y 946 respectivamente se pueden ver en las tablas 40 y 41.

Comparando los valores de resistencia obtenidos experimentalmente en condición de recocido, con los establecidos en el texto Materials Handbook de la aleación AA-3003(O), para este mismo tratamiento térmico, los valores de resistencia obtenidos experimentalmente varían por arriba y por debajo de los valores tabulados.

La tabla 41 es comparativa de las aleaciones AA-3003(O) y AA-6063(O), condición recocido. Valores experimentales y valores del texto Metals Handbook.

Tabla 41. Comparativa de las AA-3003(O) y AA-6063(O)

AA-3003(O) experimental	AA-3003(O) Handbook	AA-6063(O) experimental	AA-6063(O) Handbook
◆ $\sigma_f = 46 \frac{N}{mm^2}$	◆ $\sigma_f = 41 \frac{N}{mm^2}$	▲ $\sigma_f = 60 \frac{N}{mm^2}$	▲ $\sigma_f = 48 \frac{N}{mm^2}$
● $\sigma_u = 84 \frac{N}{mm^2}$	● $\sigma_u = 110 \frac{N}{mm^2}$	◆ $\sigma_u = 127 \frac{N}{mm^2}$	● $\sigma_u = 89 \frac{N}{mm^2}$

Hay que destacar que la AA-3003(O) tiene mayor dureza que la AA-6063(O), ello se debe a varios factores, entre ellos: la composición química, la microestructura.

4.2 Zona de fractura dentro de la zona calibrada.

Se le aplicó el ensayo de tracción a tres (3) probetas AA-3003(O) y AA-6063(O) respectivamente, en condición de recocido, los resultados de las propiedades mecánicas aparecen indicados en las tablas 44 y 45. Cálculo de las deformaciones (e) y porcentaje de reducción de espesor (%Re). Cálculos, aleación AA-3003H14.

Cálculo de las deformaciones (e) y porcentaje de reducción de espesor (%Re).

Cálculos, aleación AA-3003H14.

Probeta Número 1.
$$e = \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right) \quad \text{Ec (19)}$$

$$e = \frac{\Delta L}{L_c} = \frac{25,516}{50} = 0,51032 \Rightarrow e = 0,51032 \text{ cm, cálculo demostrativo.}$$

$$\%Re = \frac{(e^e - 1) \times 100}{e^e} \quad \text{Ec (20)}$$

$$\%Re = \frac{(e^{0,51032} - 1) \times 100}{e^{0,51032}} = \frac{(1,67 - 1) \times 100}{1,67} = 40,12 \Rightarrow \%Re = 40,12, \text{ cálculo demostrativo.}$$

La tabla 42 muestra las propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente en el ensayo de tracción, condiciones recocido-soldadas.

Tabla 42. Propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O) en condiciones de recocido-soldadas obtenidas en el ensayo de tracción experimentalmente.

Aleación	Probeta N°	σ_f $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	σ_u $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	σ_{frac} $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	%Re
AA-3003(O) Soldadas	1	47	62	48	40
	5	57	87	71	40
	6	51	80	62	35
	9	50	79	69	30
	13	43	67	57	35
	15	50	68	52	30
AA-6063(O) Soldadas	4	60	89	75	35
	7	62	98	83	30
	8	52	91	75	30
	14	49	72	59	30
	17	47	65	53	35
	18	44	65	53	40

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

Las curvas de Esfuerzo (σ) Vs Deformación (ϵ) para las dos aleaciones en condición de Recocido se muestran en la figura 27 y figura 28, en las que se pueden apreciar el comportamiento mecánico de ellas.

La tabla 43 muestra los parámetros obtenidos en el ensayo de tracción, condición recocido, para las dos aleaciones, experimentalmente.

Tabla 43. Comparativa de propiedades mecánicas de las probetas en condición de recocido obtenidas experimentalmente a través del ensayo de tracción.

AA-3003(O)	$\sigma_f \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_u \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
	46	84	58
AA-6063(O)	$\sigma_f \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_u \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
	60	127	99

En las figuras 25 y 26 se aprecia el comportamiento mecánico de las dos aleaciones al aplicárseles el ensayo de tracción en condición de recocido, notándose que la aleación que presenta mejor ductilidad y mejor

resistencia última es la AA-6063; la ductilidad que está relacionada con la deformación se ve en las curvas de Esfuerzo (σ) Vs Deformación (ϵ), mientras que la resistencia última se puede observar en la tabla 44 comparativa.

La tabla 44 es comparativa de las propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente en condición recocido de las aleaciones AA-3003(O) y AA-6063(O).

Tabla 44. Comparativa de las propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O) en condición de recocido obtenidas a través del ensayo de tracción.

AA-3003(O)	AA-6063(O)
$\sigma_f = 46 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_f = 60 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
$\sigma_u = 84 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_u = 127 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
$\sigma_{fract} = 58 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} = 99 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

Teniendo en cuenta que la ductilidad es la capacidad de un material a deformarse permanentemente sin fallar, la ductilidad del aluminio comparándola con algunos aceros se considera ventajosa. De acuerdo a los resultados experimentales, para la AA-3003(O) el esfuerzo último fue de $\sigma_u = 84 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$ y para un acero 1010 el esfuerzo último es de $\sigma_u = 40 \left(\frac{Kgf}{mm^2} \right) = 39,23 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$ (ver anexos), en este caso la aleación AA-3003(O) representa una mejor opción; ello debido a que la estructura molecular no está tan unida como la de los aceros de bajo contenido de carbono.

Entre las dos aleaciones la que presenta mejor ductilidad es la AA-6063(O) debido a que el rango de deformación es mayor que el de la aleación AA-3003(O).

Aunque no se midió el tamaño de los granos, a través de la observación microscópica si se puede apreciar que el grano se deforma de una forma equidistante a lo largo de las líneas de fluencia.

4.3 Resultados Condición, probetas recocidas.

Comparando los valores de resistencia obtenidos experimentalmente en condición de recocido, con los establecidos en el texto Materials Handbook de la aleación AA-6063, los valores obtenidos experimentalmente son mayores que los tabulados. Esta diferencia de valores se debe a factores externos que escapan al control de quien realiza el proceso experimental. Ver tablas 41 y 42.

La tabla 45 muestra las propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente en el ensayo de tracción, condición probetas recocidas, para las dos aleaciones.

Tabla 45. Propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y AA-6063(O) en condiciones de recocido, obtenidas experimentalmente.

Aleación	Probeta N°	σ_f $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	σ_u $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	σ_{fract} $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$
AA-3003(O)	1	47	83	60
	2	44	114	100
	3	48	82	57
	4	46	110	88
	5	45	82	57
	6	40	84	60
	7	43	110	80
	8	46	80	76
AA-6063(O)	9	56	94	68
	10	55	125	101
	11	52	127	103
	12	48	93	64

Cotejando los datos obtenidos en el ensayo de tracción para la condición de recocido obtenidas experimentalmente, respecto a las propiedades mecánicas indicadas en el texto Metals Handbook, Propiedades de las Aleaciones del Aluminio Forjado (Properties of Wrought Aluminum Alloys), volumen 1,8ava edición, se ve que los valores de la resistencia máxima y la de fluencia son muy cercanos en lo que se refiere al valor teórico para las dos aleaciones en estudio, lo que indica que se obtuvo el fin de eliminar las tensiones existentes en el material. Ver tabla 45.

4.4 Probetas soldadas. Condición laminada para diferentes %Re.

La laminación del material de las dos aleaciones para diferentes porcentajes de reducción de espesor se hizo para ver el comportamiento mecánico de las diferentes resistencias, su ductilidad, deformación y distribución microestructural. Se efectuaron tres (3) ensayos para cada condición para un total de 12 Probetas ensayadas. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 46.

La tabla 46 muestra los parámetros de σ_u , σ_f , obtenidos en el ensayo de tracción, condición recocido-soldadas, obtenidos experimentalmente.

Tabla 46. Propiedades mecánicas, de las AA-3003 y AA-6063 condición recocidas–soldadas obtenidas experimentalmente.

Aleación	Probeta N°	%Re	σ_f $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	σ_{fract} $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$	σ_u $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$
AA-3003	1	40	47	47	62
	5	40	56	71	87
	6	35	47	62	80
	9	30	49	68	79
	13	35	52	75	91
	15	30	50	52	68
AA-6063	4	35	59	75	89
	7	30	61	83	98
	8	30	52	75	91
	14	30	47	59	72
	17	35	47	52	65
	18	40	43	54	65

Las curvas de deformación (ϵ) Vs esfuerzo (σ) que indican el comportamiento mecánico de las aleaciones, condición recocido-soldadas para las AA-3003(O) y AA-6063(O) para diferentes % de Re, se muestran en las figuras 28 y 29.

La figura 28 de la curva esfuerzo Vs deformación muestra el comportamiento mecánico del ensayo a tracción de la aleación AA-3003(O), condición recocido-soldadas, para diferentes porcentajes de reducción de espesor.

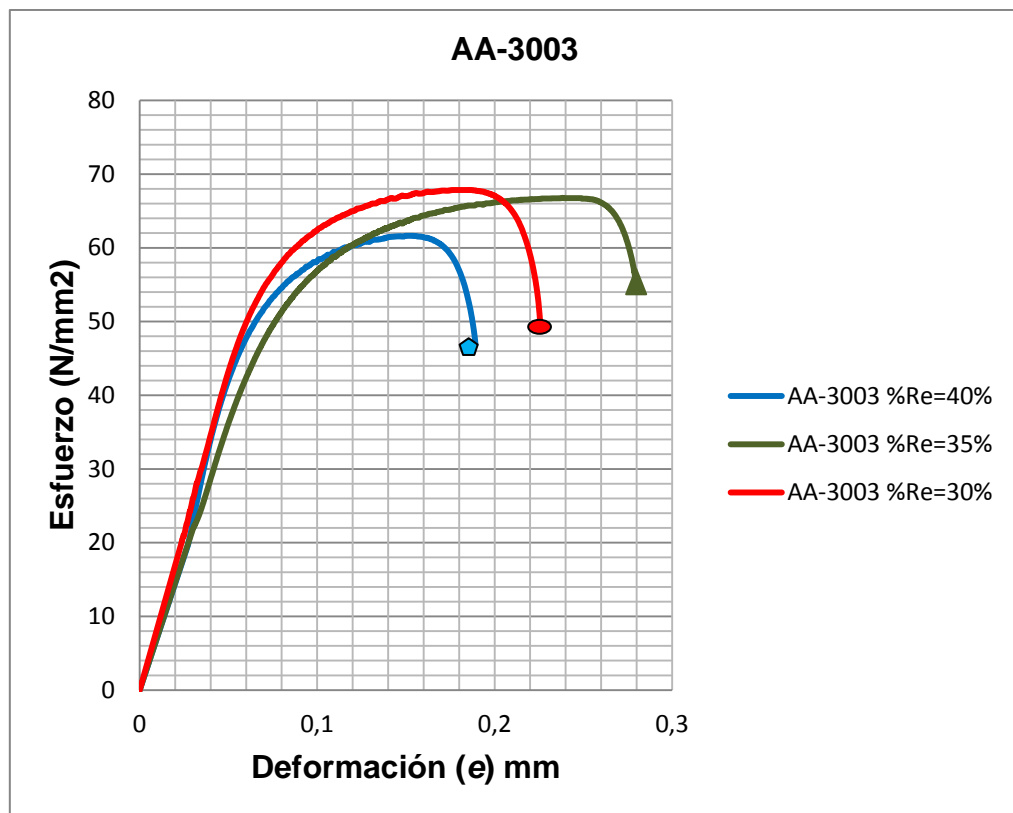


Fig. 28. Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA-3003 (O) condición recocido-soldada para diferentes %Re.

La figura 29 de la curva esfuerzo Vs deformación muestra el comportamiento mecánico del ensayo a tracción de la aleación AA-6063(O), condición recocido-soldadas, para diferentes porcentajes de reducción de espesor.

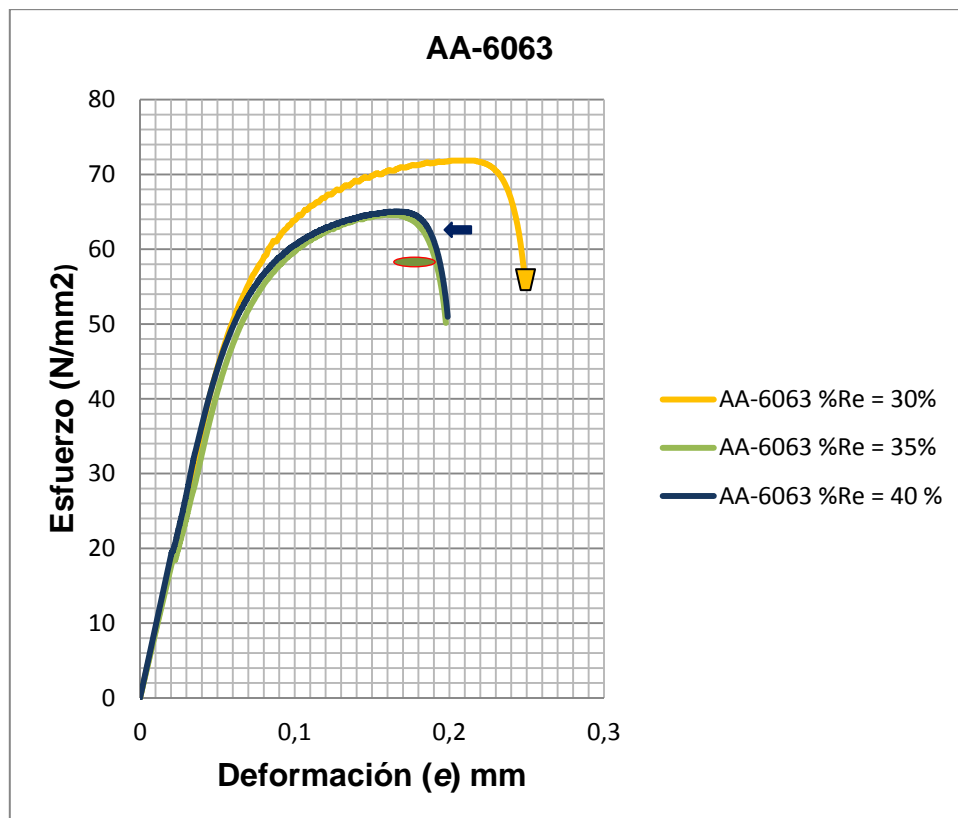


Fig. 29. Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA-6063 (O) condición recocido-soldada para diferentes %Re.

Las curvas de esfuerzo Vs deformación de las figuras 28 y 29 muestran el comportamiento mecánico a la tracción de las aleaciones AA-3003(O) y AA-6063(O), condición recocido-soldada, para diferentes condiciones de porcentaje de reducción de espesor. Los valores de resistencia última

obtenidos para la AA-3003(O) condición recocido-soldadas respecto a las de condición recocido son menores cuando se varía el % de Re, ello ocurre porque el coeficiente de dilatación térmica del aluminio es muy alto y al aplicársele calor a la zona a soldar sufre variación la microestructura cuyos alargamientos no son equiaxiales, sino que son en sentido longitudinal, disminuyendo la resistencia del material.

En lo referente al esfuerzo de fluencia este se mantiene constante cuando se incrementa el % de Re. En lo concerniente a la ductilidad, comparando las gráficas en condición de recocido-soldadas para diferentes porcentajes de reducción de espesor se puede apreciar un descenso fuerte de las soldadas en comparación a las de condición de probetas recocidas. Ello se debe a varios factores, entre ellos, la temperatura aplicada al momento del soldeo.

Ductilidad. De la aleación AA-6063 la que fue trabajada con un %de Re de 40 es la que presenta mayor ductilidad debido a que su deformación es mayor. Visualmente se puede apreciar como la diferencia que existe entre el punto de proporcionalidad y el punto de la deformación a la fractura.

La figura 30 de la curva esfuerzo Vs deformación muestra el comportamiento mecánico del ensayo a tracción de la aleación AA-3003(O), condición recocido-soldadas, para un porcentaje de reducción de espesor igual a 30%.

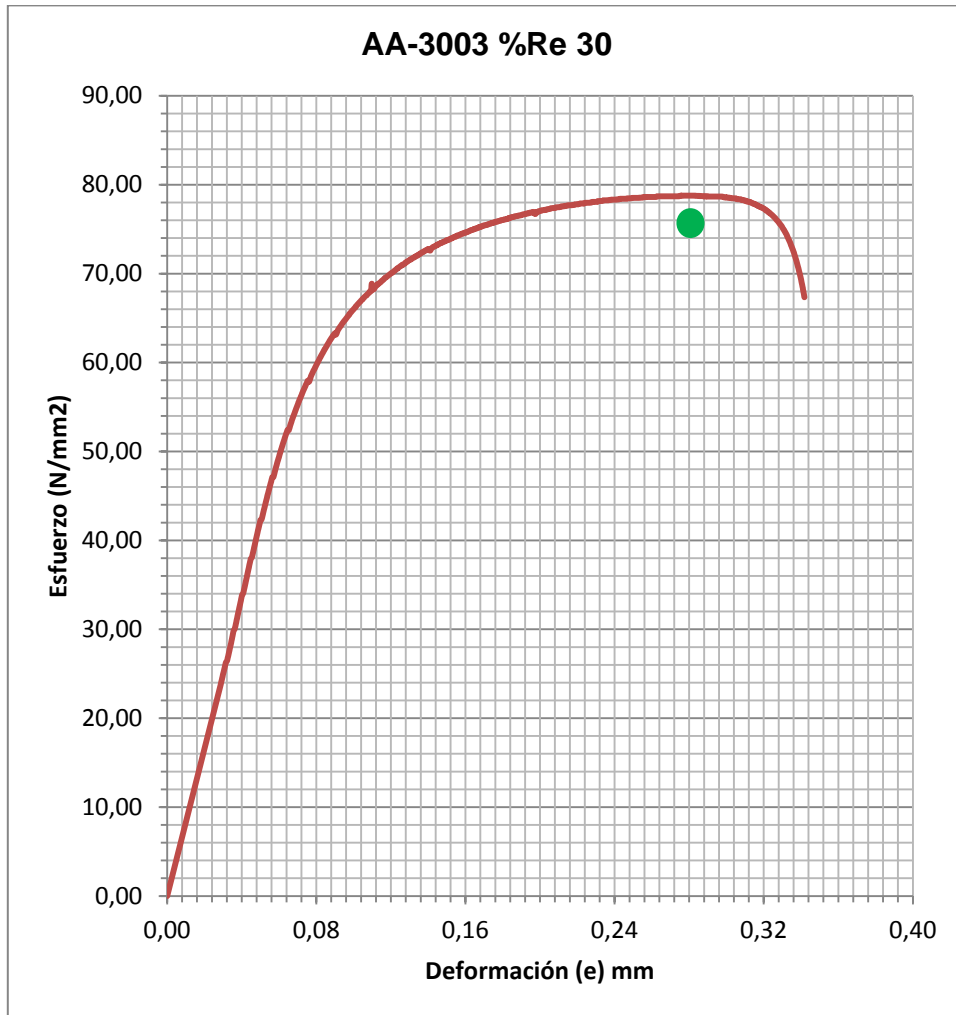


Fig. 30. Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA3003(O) condición recocido-soldada %Re 30.

La figura 31 de la curva esfuerzo Vs deformación muestra el comportamiento mecánico del ensayo a tracción de la aleación AA-6063(O), condición recocido-soldadas, para un porcentaje de reducción de espesor igual a 40%.

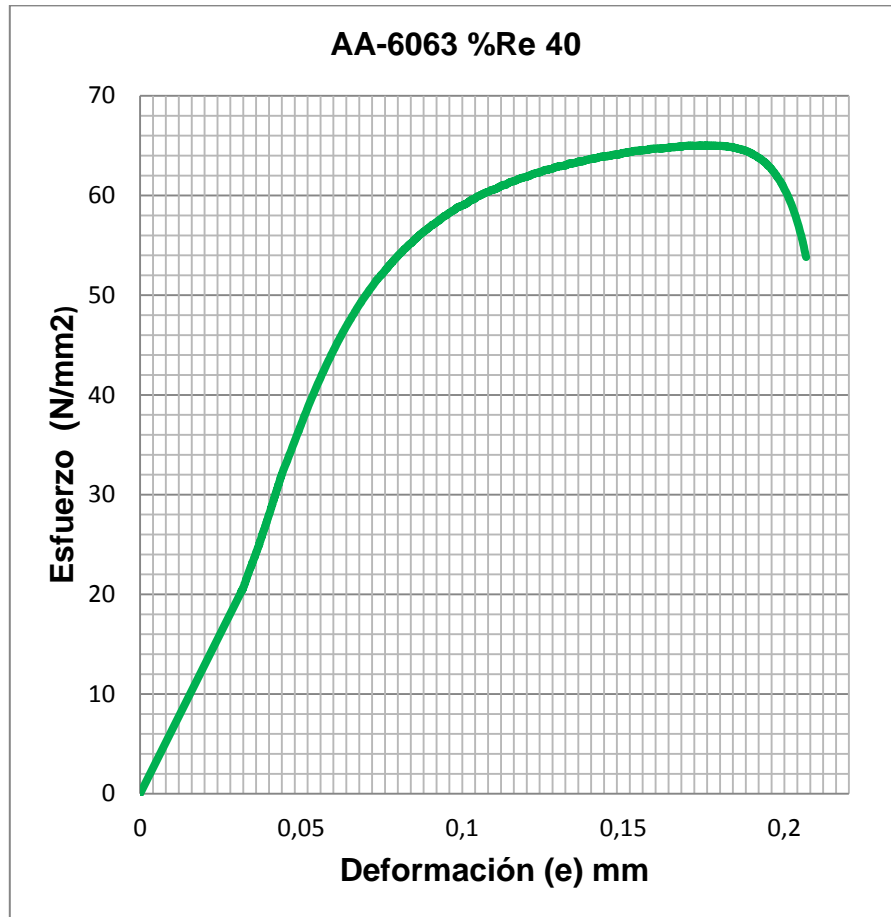


Fig. 31. Curva esfuerzo Vs deformación del ensayo a tracción de la AA-6063(O) condición recocido-soldada para un %Re 40.

En las curvas de las figuras 30 y 31 se muestra el comportamiento de las aleaciones AA-3003(O) y AA-6063(O) respectivamente a diferentes deformaciones para una condición de recocido-soldada para un %Re de 30 y 40 respectivamente. En ellas se puede apreciar como la resistencia del material no varía considerablemente para un mismo %Re. El esfuerzo de fluencia varió muy poco entre las dos aleaciones para un mismo porcentaje

de reducción de espesor. Esta pequeña diferencia se debe a que su microestructura varió muy poco.

4.5 Condición de probetas soldadas.

Para esta condición se realizaron seis (6) ensayos para cada aleación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 48.

La tabla 47 muestra las Propiedades mecánicas experimentalmente obtenidas en el ensayo de tracción para la condición de probetas recocido-soldadas.

Tabla 47. Propiedades mecánicas de las AA-3003(O) y 6063(O) obtenidas experimentalmente en el ensayo de tracción para la condición de probetas recocido-soldadas.

Aleación	Probeta N°	Voltaje (V)	I (Amp)	t_{sobado} (seg)	t_{soldeo} (seg)	T_{soldeo} °C	$\left(\frac{\sigma_f}{\text{mm}^2}\right)$	$\left(\frac{\sigma_u}{\text{mm}^2}\right)$	%Re
AA-3003 (O)	1	220	250	5	60	577	47	62	40
	5	220	250	5	60	577	56	87	40
	6	220	250	5	60	577	47	80	35
	9	220	250	5	60	577	49	79	30
	13	220	250	5	60	577	44	67	35
	15	220	250	5	60	577	50	68	30
AA-6063 (O)	4	220	250	5	60	577	59	89	35
	7	220	250	5	60	577	61	98	30
	8	220	250	5	60	577	52	91	30
	14	220	250	5	60	577	47	72	30
	17	220	250	5	60	577	47	65	35
	18	220	250	5	60	577	43	65	40

Se nota que la resistencia del material tiene un rango de variación bajo en la medida que el voltaje permanece constante.

La tabla 48 muestra las Propiedades mecánicas de las probetas aleación AA-3003(O), condición recocido-soldadas, para diferentes %Re, obtenidos experimentalmente.

Tabla 48. Comparativa de propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente AA-3003(O) condición recocido-soldadas.

%Re	Curva	Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo de fractura
40	◆ Azul	$\sigma_f = 48 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} = 48 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
35	▲ Verde	$\sigma_f = 44 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} = 56 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
30	● Rojo	$\sigma_f = 50 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} = 51 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

Al ver la figura 27-28 se puede apreciar que la aleación AA-3003(O), condición recocido con un % Re de 35 es la que presenta mejor ductilidad, debido a que su deformación es mayor, mientras que la aleación AA-3003(O) con un %Re de 30 presenta por escaso margen respecto a la aleación AA-3003 con un %Re de 35 una mejor resistencia ultima.

La tabla 49 muestra las propiedades mecánicas de las probetas AA-6063(O), condición recocido-soldadas, para diferentes % de Re, obtenidos experimentalmente.

Tabla 49. Comparativa de propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente AA-6063(O) condición recocido-soldadas

%Re	Curva	Esfuerzo de fluencia	Esfuerzo de fractura
30	▼ Naranja	$\sigma_f = 50 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} = 56 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
35	➡ Verde	$\sigma_f = 48 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} = 50 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
40	● Azul oscuro	$\sigma_f = 45 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$	$\sigma_{fract} = 51 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

Al observar las figuras 29 y 30 se puede apreciar que la AA-6063 con un %Re de 30 es la que presenta mejor ductilidad debido a que su deformación es mayor, a la vez que representa la mejor opción de resistencia, ello es debido a que el porcentaje de silicio y de hierro es menor que la de la AA-3003.

Se nota que la resistencia del material tiene un rango de variación bajo en la medida que el voltaje permanece constante, quiere decir que al no variar el voltaje existe un bajo rango de variación en la resistencia. Ocurre porque el enlace molecular se mantiene casi que igual.

El comportamiento a la tracción de la aleación AA-3003(O) para diferentes condiciones de estudio, se observa en la figura 29 donde se aprecia que la resistencia del material presenta un mínimo incremento a medida que el voltaje permanece constante, siendo el mayor valor obtenido $68 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$ y el menor valor $62 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$ para el mismo voltaje. El voltaje aplicado en el proceso de soldadura no influye en la ductilidad del material, ya que la

variación de la misma no fue significativa en comparación con la condición de probetas recocidas.

4.6 Metalografía

4.6.1 Probetas en condición de recocido

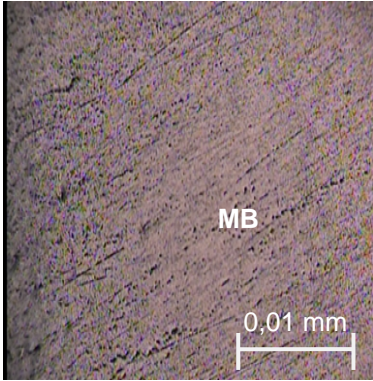
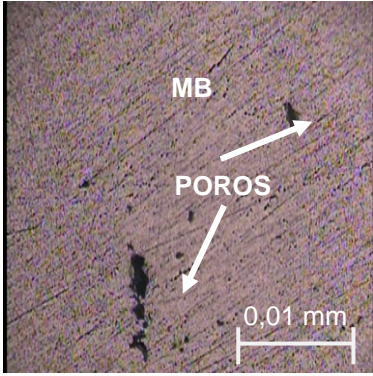
Las figuras mostradas para esta condición corresponden a la microestructura observada en cuatro (4) muestras recocidas y a diferentes %Re para ambas aleaciones de aluminio.

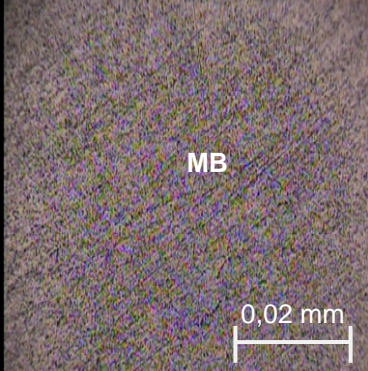
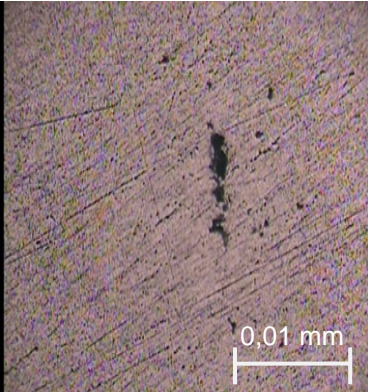
ALEACIONES EN CONDICION DE RECOCIDO

Tipos de Microestructuras

En la tabla 50 se observa la microestructura de las aleaciones, identificadas por zona en condición de recocido.

Tabla 50. Para AA-6063(O)/AA-3003(O), condición recocido.

Figura	Imagen	Observaciones
1		AA-6063. Condición Recocido. MB. Aumento 100X.
2		AA-6063. Condición Recocido. MB con presencia de poros. Aumento 100X.

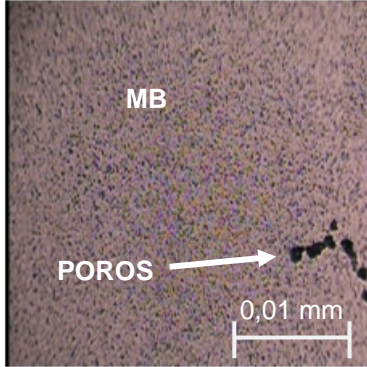
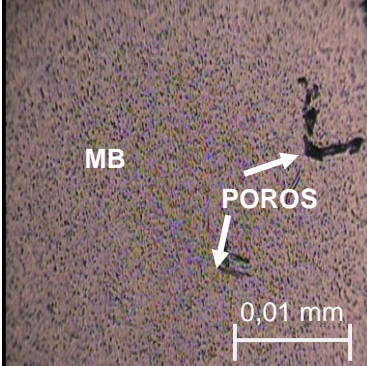
3		AA-3003. Condición Recocido. MB con presencia de rayas. Aumento 200X.
4		AA-3003. Condición Recocido. MB con presencia de poros. .Aumento 100X.

Allí se observaron las dos (2) aleaciones con sus dos (2) respectivas identaciones hechas en el material base, arrojando como resultado de presencia de porosidad y área muy parecida en cada una de las muestras estudiadas, variación debida a que son dos aleaciones muy distintas en cuanto a distribución de grano y elementos que lo componen.

Tipos de Microestructuras

En la tabla 51 se observa la microestructura de las aleaciones AA3003 y AA6063 para un %Re 30.

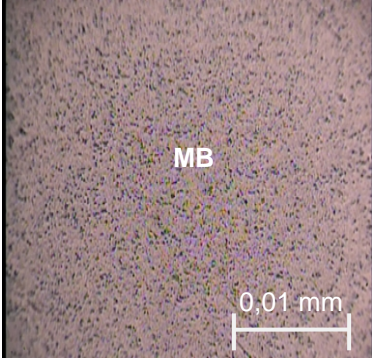
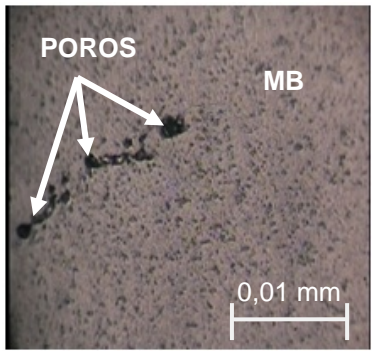
Tabla 51. Para AA-3003/ AA-6063, condición recocido, % Re 30.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-3003. Condición Recocido. %Re 30. MB con presencia de poros. Aumento 100X.</p>
2		<p>AA-6063. Condición Recocido. %Re 30. MB con presencia de poros. Aumento 100X.</p>

Tipos de Microestructuras

En la tabla 52 se observa la microestructura de las aleaciones AA3003 y AA6063 para un %Re 35.

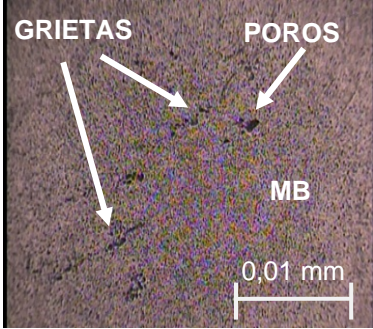
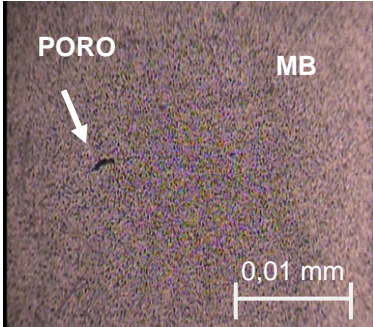
Tabla 52. Para AA-3003/AA-6063, condición recocido, % Re 35

Figura	Imagen	Observaciones
1		AA-3003. Condición Recocido %Re 35. MB. Aumento 100X.
2		AA-6063. Condición Recocido. %Re 35. MB. Aumento 100X.

Tipos de Microestructuras

En la tabla 53 se observa la microestructura de las aleaciones para un %Re 40.

Tabla 53. Para AA-3003/AA-6063, condición recocido, % Re 40.

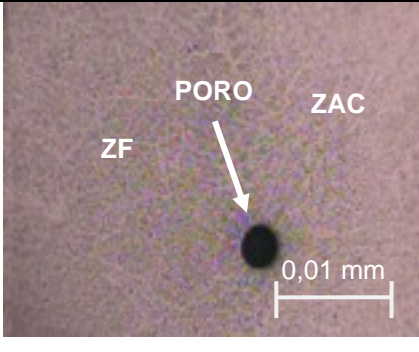
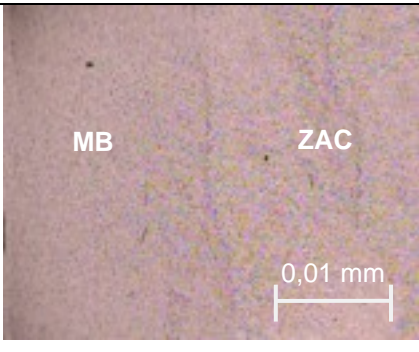
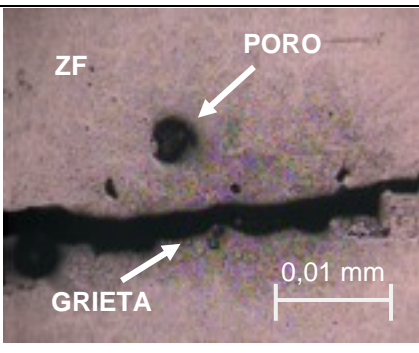
Figura	Imagen	Observaciones
1		AA-3003. Condición Recocido. %Re 40. MB. Aumento 100X.
2		AA-6063. Condición Recocido. %Re 40. MB. Aumento 100X.

4.6.2 Probetas en condición de recocido-soldadas.

Aleación AA-6063 probeta # 16

La microestructura de la aleación AA-6063 en condición recocido-soldadas para un %Re 40, se muestra en la tabla 54.

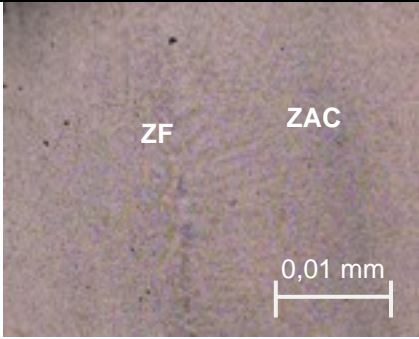
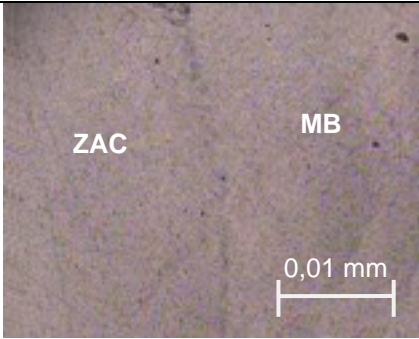
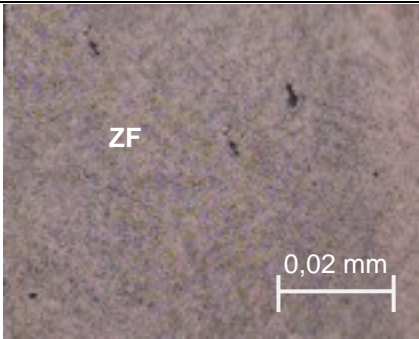
Tabla 54. Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido–soldada para un %Re 40, probeta 16.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 40 ZF y ZAC. Aumento 100X.</p>
2		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 40 Metal Base y ZAC. Aumento 100X.</p>
3		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 40 ZF, Porosidad y Grieta. Aumento 100X.</p>

Aleación AA-6063 probeta # 18

La microestructura de la aleación AA-6063 en condición recocido-soldada para un %Re 40, se muestra en la tabla 55.

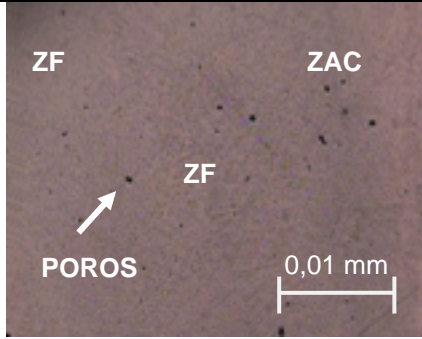
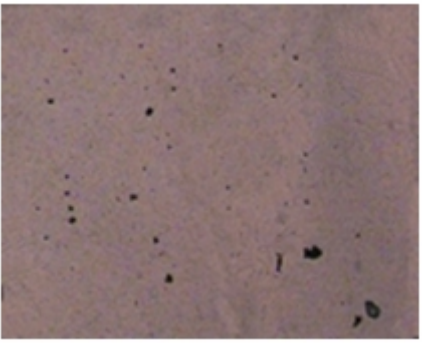
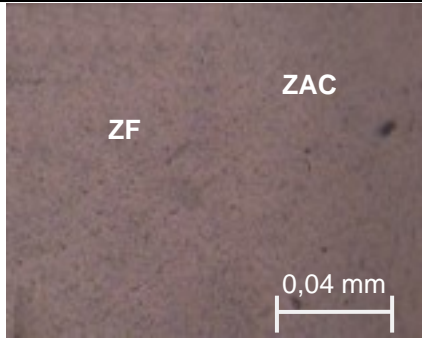
Tabla 55. Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido–soldada para %Re 40, probeta 18.

Figura	Imagen	Observaciones
1	 <p>A micrograph showing two distinct regions: ZF (Zonal Fracture) on the left and ZAC (Zonal Anisotropy) on the right. A scale bar at the bottom right indicates 0,01 mm.</p>	<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 40 ZAC y ZF. Aumento 100X.</p>
2	 <p>A micrograph showing two distinct regions: ZAC (Zonal Anisotropy) on the left and MB (Microstructural Boundary) on the right. A scale bar at the bottom right indicates 0,01 mm.</p>	<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 40 ZAC y MB (línea divisora). Aumento 100X.</p>
3	 <p>A micrograph showing a ZF (Zonal Fracture) region. A scale bar at the bottom right indicates 0,02 mm.</p>	<p>AA-6063. Condición recocido-soldada %Re 40 ZF. Aumento 200X.</p>

Aleación AA-6063 probeta # 3

La microestructura de la aleación AA-6063 en condición recocido-soldadas para un %Re 35, se muestra en la tabla 56.

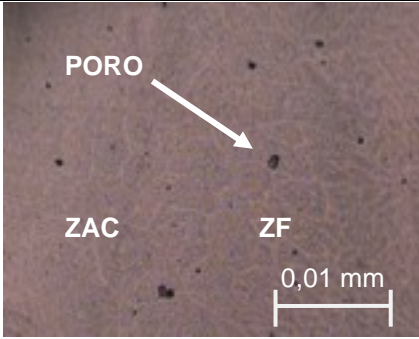
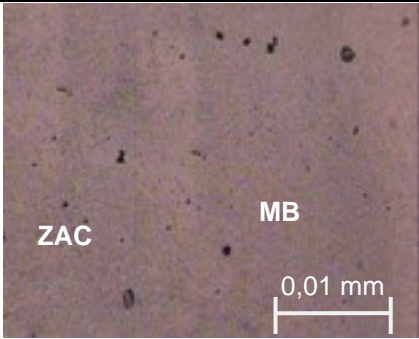
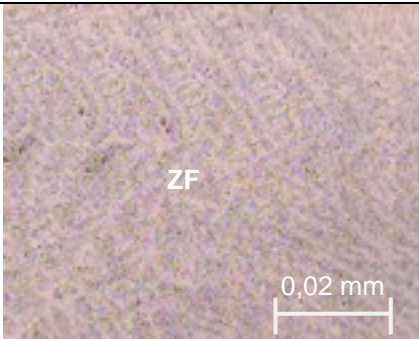
Tabla 56. Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido–soldada para %35, probeta 3.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 35 ZF y Poros. Aumento 100X.</p>
2		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 35 ZF y ZAC. Aumento 100X.</p>
3		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 35 ZF y ZAC. Aumento 400X.</p>

Aleación AA-6063 probeta # 4

La microestructura de la aleación AA-6063 en condición recocido-soldadas para un %Re 35, se muestra en la tabla 57.

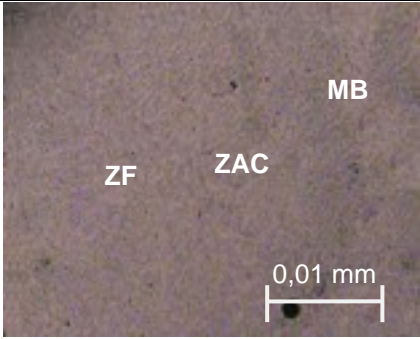
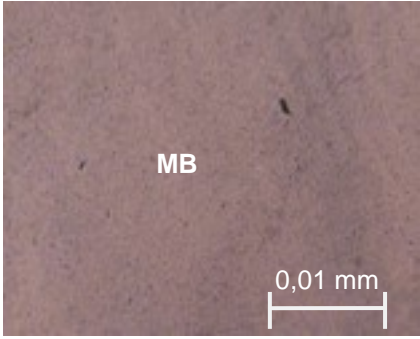
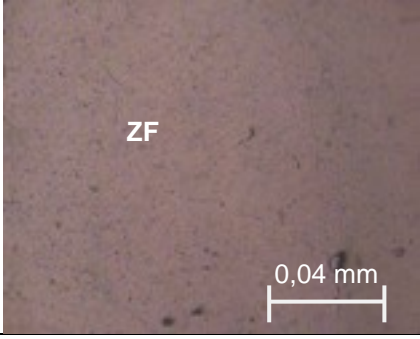
Tabla 57. Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido – soldada para %Re 35, probeta 4.

Figura	Imagen	Observaciones
1	 <p>Micrograph 1 shows a dark matrix with several small, dark, irregularly shaped particles. One particle is labeled 'PORO' with a white arrow pointing to it. Two other particles are labeled 'ZAC' and 'ZF'. A scale bar at the bottom right indicates 0,01 mm.</p>	<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 35 ZAC y ZF. Aumento 100X.</p>
2	 <p>Micrograph 2 shows a dark matrix with several small, dark, irregularly shaped particles. Two particles are labeled 'ZAC' and 'MB'. A scale bar at the bottom right indicates 0,01 mm.</p>	<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 35 MB y ZAC. Aumento 100X</p>
3	 <p>Micrograph 3 shows a dark matrix with several small, dark, irregularly shaped particles. One particle is labeled 'ZF'. A scale bar at the bottom right indicates 0,02 mm.</p>	<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 35 ZF. Aumento 200X.</p>

Aleación AA-6063 probeta # 8

La microestructura de la aleación AA-6063 en condición recocido soldadas para un %Re 30, se muestra en la tabla 58.

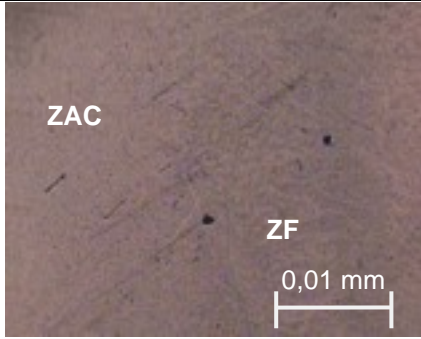
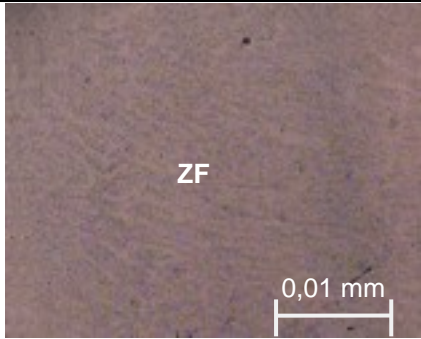
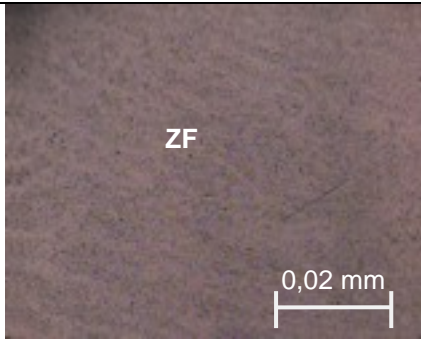
Tabla 58. Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido – soldada para un %Re 30, probeta 8.

Figura	Imagen	Observaciones
1		AA-6063. Condición %Re 30 ZF, ZAC y MB. Aumento 100X.
2		AA-6063. Condición %Re 30 MB. Aumento 100X.
3		AA-6063. Condición %Re 30 ZF. Aumento 400X.

Aleación AA-6063 probeta # 14

La microestructura de la aleación AA-6063 en condición recocido-soldadas para un %Re 30, se muestra en la tabla 59.

Tabla 59. Microestructura de la AA-6063(O), condición recocido – soldada para un %Re 30, probeta 14.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 30 ZF y ZAC. Aumento 100X.</p>
2		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 30 ZF. Aumento 100X.</p>
3		<p>AA-6063. Condición recocido-soldadas %Re 30 ZF. Aumento 200X.</p>

ANÁLISIS METALOGRÁFICO

METAL BASE: En esta zona, las temperaturas alcanzadas en el proceso de soldeo no fueron lo suficientemente altas como para producir variaciones microestructurales significativas en el tamaño de grano, morfología y tamaño de precipitados.

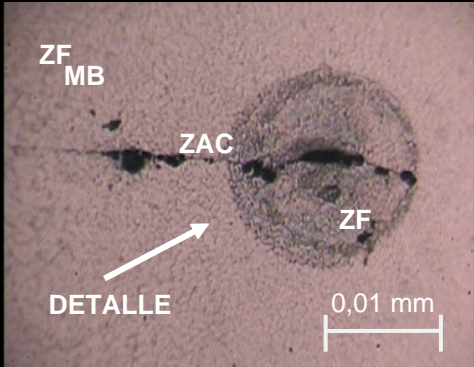
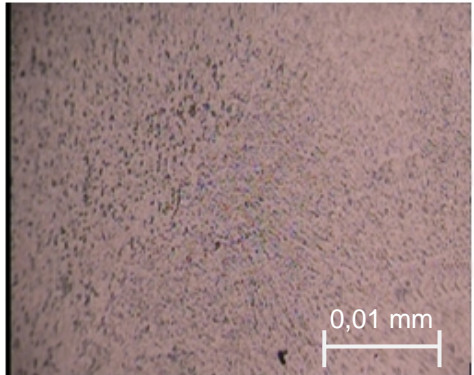
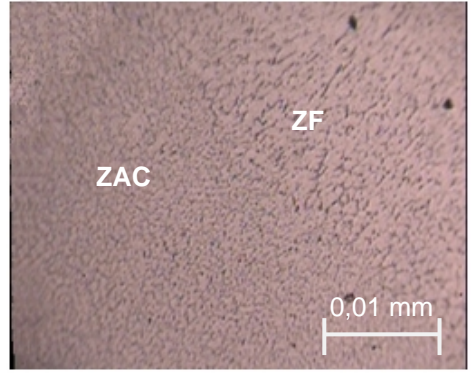
CORDÓN DE SOLDADURA: aquí se detalla la presencia de porosidades a raíz de los gases y hace que la distribución de granos sea totalmente distinta a las otras zonas estudiadas. Compuesta mayormente por el mismo material de aporte. Aquí se presenta una mayor presencia de líneas gruesas y una mayor densidad de precipitados de bordes interdendriticos en comparación con la aleación 3003.

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

Aleación AA-3003 probeta # 12

La microestructura de la aleación AA-3003(O) en condición recocido soldadas para un %Re 40, se muestra en la tabla 60.

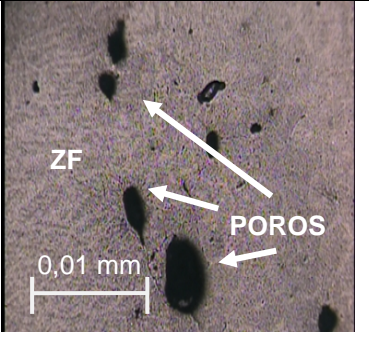
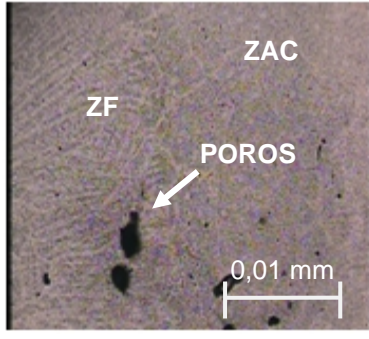
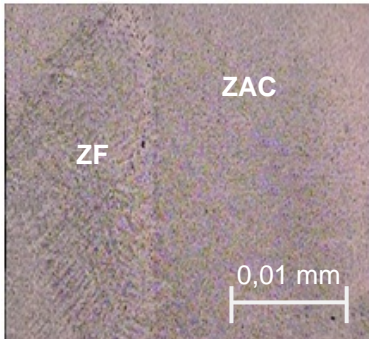
Tabla 60. Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido–soldada para un % Re 40, probeta 12.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-3003. Condición recocido-soldada %Re 40 detalle en ZF. Aumento 100X.</p>
2		<p>AA-3003. Condición recocido-soldada %Re 40. MB, ZAC y ZF. Aumento 100X.</p>
3		<p>AA-3003. Condición recocido-soldada %Re 40. ZF y ZAC. Aumento 100X</p>

Aleación AA-3003 probeta # 1

La microestructura de la aleación AA-3003(O) en condición recocido-soldadas para un %Re 40, se muestra en la tabla 61.

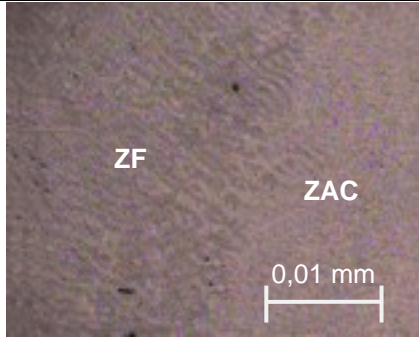
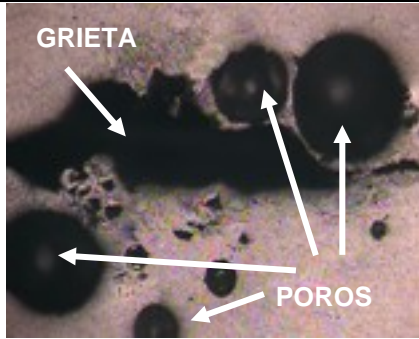
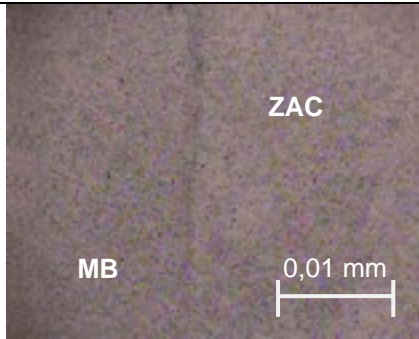
Tabla 61. Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido-soldada para un % Re 40, probeta 1.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-3003. Condición %Re 40. Porosidad en ZF. Aumento 100X.</p>
2		<p>AA-3003. Condición %Re 40. Porosidad en ZF y ZAC. Aumento 100X.</p>
3		<p>AA-3003. Condición %Re 40. ZF y ZAC. Aumento 100X.</p>

Aleación AA-3003 probeta # 13

La microestructura de la aleación AA-3003(O) en condición recocido soldadas para un %Re 35, se muestra en la tabla 62.

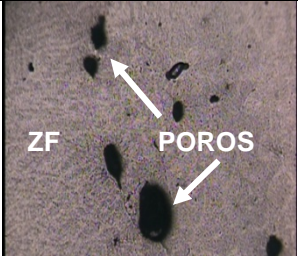
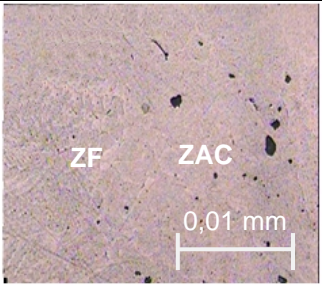
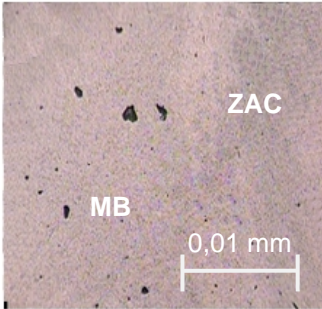
Tabla 62. Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido–soldada para un %Re 35, probeta 13.

Figura	Imagen	Observaciones
1		AA-3003. Condición %Re 35 ZF y ZAC. Aumento 100X.
2		AA-3003. Condición %Re 35 ZF Detalles (Porosidades). Aumento 100X.
3		AA-3003. Condición %Re 35 Línea divisora entre MB y ZAC. Aumento 100X.

Aleación AA-3003 probeta # 5

La microestructura de la aleación AA-3003(O) en condición recocido soldadas para un %Re 35, se muestra en la tabla 63.

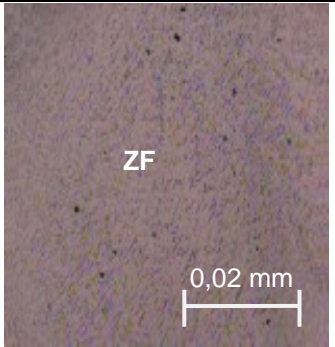
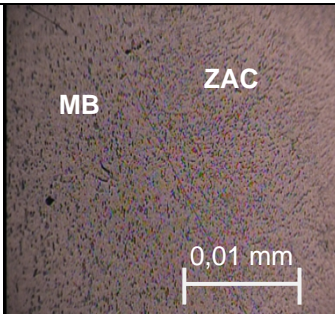

Tabla 63. Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido–soldada para un %Re 35, probeta 5.

Figura	Imagen	Observaciones
1	 <p>A micrograph showing a light-colored matrix with several dark, irregularly shaped features. Two white arrows point to these features, with the labels 'ZF' and 'POROS' placed next to them.</p>	<p>AA-3003. Condición recocido-soldadas %Re 35 ZF y Poros. Aumento 100X.</p>
2	 <p>A micrograph showing a light-colored matrix with small dark spots. The labels 'ZF' and 'ZAC' are placed near the spots. A scale bar at the bottom right indicates '0,01 mm'.</p>	<p>AA-3003. Condición recocido-soldadas %Re 35 ZF y ZAC. Aumento 100X.</p>
3	 <p>A micrograph showing a light-colored matrix with small dark spots. The labels 'MB' and 'ZAC' are placed near the spots. A scale bar at the bottom right indicates '0,01 mm'.</p>	<p>AA-3003. Condición recocido-soldadas %Re 35 MB y ZAC. Aumento 100X.</p>

Aleación AA-3003 probeta # 10

La microestructura de la aleación AA-3003(O) en condición recocido-soldadas para un %Re 30, se muestra en la tabla 64.

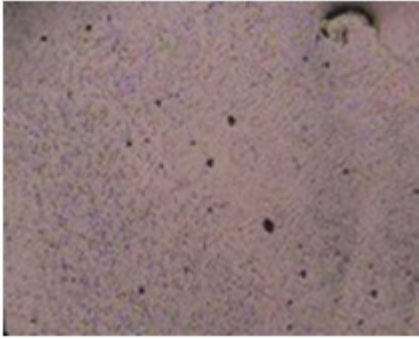
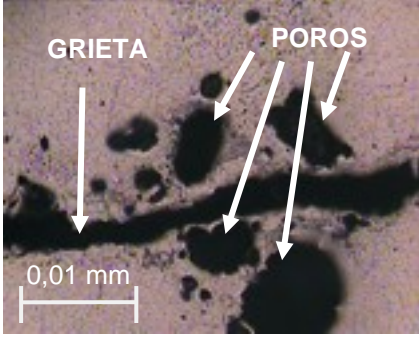
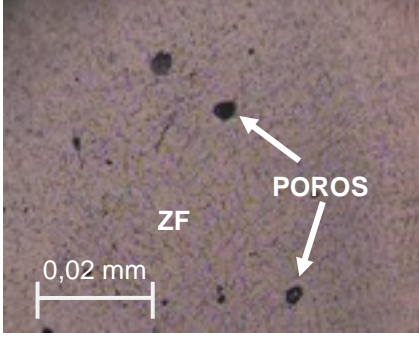
Tabla 64. Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido–soldada para un %Re 30 de deformación, probeta 10.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-3003. Condición recocido–soldada %Re 30 ZF. Aumento 200X.</p>
2		<p>AA-3003. Condición recocido–soldada %Re 30 MB y ZAC. Aumento 100X.</p>
3		<p>AA-3003. Condición recocido–soldada 30%Re MB, ZAC y ZF. Aumento 100X.</p>

Aleación AA-3003 probeta # 15

La microestructura de la aleación AA-3003(O) en condición recocido-soldadas para un %Re 30, se muestra en la tabla 65.

Tabla 65. Microestructura de la AA-3003(O), condición recocido-soldada para un %Re 30, probeta 15.

Figura	Imagen	Observaciones
1		<p>AA-3003. Condición recocido-soldada %Re 30 MB y ZAC. Aumento 100X.</p>
2		<p>AA-3003. Condición recocido-soldada %Re 30 Detalles en la ZF (Porosidad y Grieta). Aumento 100X.</p>
3		<p>AA-3003. Condición recocido-soldada %Re 30. ZF y Poros. Aumento 200X.</p>

ANÁLISIS METALOGRÁFICO

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

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

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

Todo este análisis se hizo con la finalidad de determinar la distribución del grano y la estructura cristalina de la misma arrojando como resultado la presencia de incrustaciones y porosidades.

4.7 Microdureza Vickers.

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

Tablas y Curva metalográfica para las aleaciones AA-3003 y AA-6063 en condición de recocido para un %Re 40

La Tabla 66 muestra los valores promedios y los promedios de los promedios en el ensayo de Microdureza Vickers obtenidos experimentalmente, para cada aleación con un %Re de 40.

Tabla 66. Valores promedio y los promedios de comportamiento de las dos aleaciones para un %Re 40.

Curva Prom	%Re 40	Barrido	Zona	AA 3003			AA-6063		
				HVN	HVN	HVN	HVN	HVN	HVN
				Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom
				P1	P12	P2	P16	P18	P11
		1	Z.F	42,7	55,53	51,23	33,46	65,8	45,46
		2	ZAC	39,65	43,4	44,4	59,35	63,4	51,55
		3	MB	47,55	46,2	42,7	64,05	54,35	62,7
				43,3	48.38	46.11	52.29	61.18	53.24

	AA-3003	AA-6063
Barrido	%Re 40	%Re 40
1	43.3	52.29
2	48.38	61.18
3	46.11	53.24

Cordón	ZAC	MB
Barrido 1	Barrido 2	Barrido 3
Muestras	Muestras	Muestras
1-2-11	1-2-11	1-2-11
12-16-18	12-16-18	12-16-18

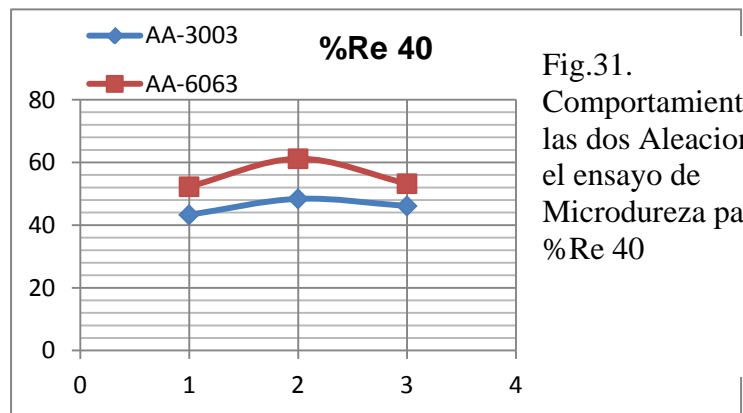


Fig.31. Comportamiento de las dos Aleaciones en el ensayo de Microdureza para un %Re 40

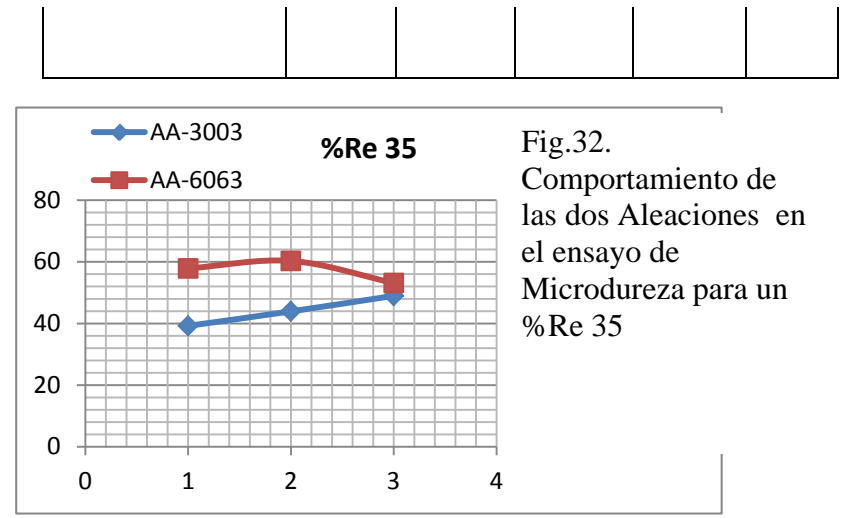
Se observa que en las dos aleaciones existe un leve incremento desde la zona de fusión hasta la zona afectada por el calor y una disminución baja desde la zona afectada por el calor hasta el metal base. El incremento se debe a que hubo una cercanía de las moléculas teniendo en cuenta que el coeficiente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

Tabla 67. Valores promedio y los promedios de comportamiento de las dos aleaciones para un %Re 35.

Curva Prom	%Re 35	Barrido	Zona	AA 3003			AA-6063		
				HVN	HVN	HVN	HVN	HVN	HVN
				Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom
				P5	P6	P13	P3	P4	P17
		1	Z.F	35.4	51.43	52.5	52.06	57.23	42.33
		2	ZAC	38.8	41.15	49.95	60.45	64.6	54.9
		3	MB	43.5	39.2	44.45	61.1	59.1	62.25
				39.23	43.93	48.97	57.87	60.31	53.16

	AA-3003	AA-6063
Barrido	%Re 35	%Re 40
1	39.23	57.87
2	43.93	60.31
3	48.97	53.16

Cordón	ZAC	MB
Barrido 1	Barrido 2	Barrido 3
Muestras	Muestras	Muestras
3-4-5	3-4-5	3-4-5
6-13-17	6-13-17	6-13-17



Se observa que en la aleación AA-3003(O) existe un leve incremento desde la zona de fusión hasta la zona afectada por el calor y desde ésta al metal base, para esta reducción de espesor; la razón obedece a que el coeficiente de dilatación térmica es muy alto por lo que la transferencia de calor es muy rápida.

Mientras que para la AA-6063 existe un pequeño incremento desde la zona de fusión hasta la zona afectada por el calor, siempre producto del coeficiente de dilatación térmica, generándose un leve decrecimiento desde la zona afectada por el calor hasta el metal base debido a factores externos al soldeo.

Tablas y Curva metalográfica para las AA-3003 y AA-6063 en condición de recocido para un %Re 30.

La Tabla 68 muestra los valores promedios y los promedios de los promedios en el ensayo de Microdureza Vickers obtenidos experimentalmente, para cada aleación con un %Re de 30.

Tabla 68. Valores promedio y los promedios de comportamiento de las dos aleaciones para un %Re 30

Curva Prom	%Re 30	Barrido	Zona	AA 3003			AA-6063		
				HVN	HVN	HVN	HVN	HVN	HVN
				Prom	Prom	Prom	Prom	Prom	Prom
				P9	P10	P15	P7	P14	P8
		1	Z.F	52.66	46.66	39.76	57.13	56.26	55.3
		2	ZAC	40.2	44.55	43.55	63.65	58.1	58.4
		3	MB	43.15	43.25	45.2	56.3	61.6	56.8
				45.34	44.82	42.84	59.03	58.65	56.83

	AA-3003	AA-6063
Barrido	%Re 30	%Re 30
1	45.34	59.03
2	44.82	58.65
3	42.84	56.83

Cordón	ZAC	MB
Barrido 1	Barrido 2	Barrido 3
Muestras	Muestras	Muestras
7-8-9-14-15	7-8-9-14-15	7-8-9-14-15

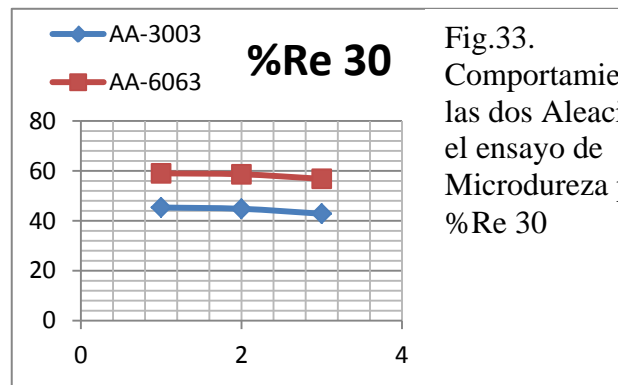


Fig.33. Comportamiento de las dos Aleaciones en el ensayo de Microdureza para un %Re 30

Se puede apreciar que para este porcentaje de reducción de espesor no existe variación desde una zona a otra lo que quiere decir que se mantuvieron todas las propiedades mecánicas y la microestructura para las dos aleaciones que no sufrieron ningún tipo de afectación.

INTRODUCCION

Cada día la tecnología avanza y necesita de nuevos estudios e investigaciones para sustentar sus constantes progresos, sin lugar a duda el aluminio está extremadamente ligado a la tecnología y es uno de los minerales que más abunda en el territorio nacional, este se presta para diferentes aplicaciones como por ejemplo uso de implementos y aparatos en la industria automotriz en el área de ensamblaje debido a su alta calidad y economía.

También existen procesos de fabricación de gran calidad como el GTAW (soldadura por arco con electrodo de tungsteno TIG) que pertenece al campo de la tecnología y que al utilizarlo para unir aluminio puede lograr las expectativas deseadas en una determinada aplicación ya que este presenta muchas ventajas con respecto a otros procesos de soldadura, no obstante una soldadura de aluminio a través del proceso TIG, puede presentar diversas deformaciones hasta un punto tal que la pieza fracture.

Este trabajo de investigación se presenta debido a lo descrito anteriormente, por lo tanto, es indispensable realizar una serie de ensayos como laminación en frío, tracción, metalografía, microscopia, microdureza y soldadura respectivamente a probetas de aluminio AA-3003 y AA-6063 de dimensiones conocidas por el proceso GTAW a constante intensidad de corriente para así obtener una serie de resultados que permitan determinar para un margen de reducción de área específico las piezas soldadas y así saber cuándo puedan fallar.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema.

Venezuela por ser un país rico en minerales cuenta con grandes cantidades de plantas industriales capaces de realizar diversas tecnologías como la metalurgia, minería, etc. También cuenta con la presencia de las principales industrias automotrices y ensambladoras de vehículos. Dentro de las muchas aplicaciones que se desarrollan en estas empresas se encuentran las uniones por soldadura que es una de las mayores ventajas que poseen los elementos mecánicos y las estructuras para ser unidos de manera permanente.

En cualquier operación de soldadura el objetivo fundamental es el de conseguir una junta con la misma característica del metal base. Este resultado sólo puede obtenerse si el baño de fusión está completamente aislado de la atmósfera durante toda la operación. El sistema de soldadura al arco por electrodos de tungsteno y protección gaseosa es aplicable a casi todos los metales en un rango amplio de espesores comprendidos entre 0,7 mm hasta 10 mm. También se usa para unir diferentes combinaciones de metales distintos. Sus aplicaciones más comunes incluyen el aluminio y el acero inoxidable.

Por razones de calidad, velocidad de soldeo y facilidad operatoria, la soldadura por arco con protección gaseosa sustituye a la soldadura oxiacetilénica y la soldadura por arco con electrodos revestidos.

La soldadura es utilizada en casi todos los materiales metálicos como por ejemplo el aluminio que es un material que posee una vida útil muy larga, presenta un mantenimiento sencillo, es seguro y no inflamable gracias a la solidez y es un material ligero, fácil de incorporar en cualquier construcción.

Todas estas ventajas hacen que el aluminio se pueda trabajar en casi todos los procesos de conformado, como por ejemplo, la laminación en frío, que debido a su gran variedad de aplicaciones, las piezas laminadas en frío se han vuelto cada vez más importantes en los últimos años y se han introducido en sectores importantes nuevos como la industria automovilística. Las razones para esto incluyen la utilización de nuevos tipos de materiales y diseños mejorados de herramientas de conformado. La laminación en frío se ve como un proceso altamente productivo para la fabricación de perfiles de aluminio por medio del conformado continuo de chapas metálicas con rodillos motrices. Las ventajas particulares de este proceso son la variedad casi ilimitada de forma del perfil de las secciones y el endurecimiento tensiona el material como resultado del conformado, lo cual se puede convertir en una gran ventaja en muchos casos, como por ejemplo, laminas y perfiles extruidos.

Actualmente, se cuenta con poca información referente al efecto de la soldadura GTAW en las aleaciones de aluminio previamente deformadas en frío, por lo cual, se estudiara el efecto de dicha soldadura en las propiedades mecánicas de Aleaciones de Aluminio AA-6063 AA-3003 ampliamente usadas en la industria, con ello se estaría dejando un aporte representativo a futuros trabajos de investigación.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

La soldadura se realizó siguiendo procedimientos de normas internacionales. Como la misma se hizo manualmente y la temperatura se mantuvo constante, pudo haber ocurrido una mayor cercanía entre el electrodo y la zona de contacto por lo tanto la zona afectada por el calor se hizo menor permitiendo que los granos no se alargaran.

- ❖ En el recocido se hizo a temperaturas altas debido a un previo proceso de recocido y al material.

- ❖ El ensayo de metalografía se efectuó con el fin de obtener información referente a la estructura de las dos aleaciones en estudio, y a través de un microscopio se determinó los granos de las mismas.

- ❖ Debido a sus propiedades, peso, relación de costo y acceso de compra se tomó como estudio la comparación de dichos parámetros de cada aleación con la finalidad de saber que elemento posee mayor resistencia y condiciones favorables en la investigación, siendo la aleación 6063 la que presenta excelentes condiciones para su aplicabilidad, en especial en el campo de la arquitectura, usadas a través de perfiles (extrusión), mientras que la aleación 3003 por sus buenas características en la soldadura, alta resistencia a la corrosión y fácil manejo en laminación en caliente arrojó como resultados que ambas son útiles en su área de trabajo.

- ❖ Para las dos aleaciones en condición de recocido, la que presentó mayor valor de resistencia última, deformación, microdureza vickers fue la AA-6063(O).
- ❖ Mientras más cercana la distribución del grano la aleación tiene una mayor resistencia, y menor deformación lo que conlleva a que tenga menor ductilidad.
- ❖ En cuanto a la laminación condición recocido para un porcentaje de reducción de espesor de 30% la aleación AA-3003(O) tiene una mayor dureza que la aleación AA-6063, pero a medida que se aumentaba el mismo se obtuvieron valores mayores para la aleación AA-6063(O), es decir, 35% y 40% respectivamente la cual es afectada por agentes externos no controlables por los ejecutores en el proceso de la investigación , ello ocurre como consecuencia que a medida que se incrementaba el porcentaje de reducción de espesor ocurrió un alargamiento del grano o de la microestructura, producto de la deformación en el sentido de las líneas de fluencia.
- ❖ Para la AA-3003 en condición de recocido-soldada y para los diferentes %Re no existe una variación incremental al posicionar el indentador sobre una zona seleccionada donde exista un elemento aleante de menor resistencia debido a la presencia de Manganeso (Mn) que no arroja variación en la misma; mientras que en la aleación AA-6063 se presenta un incremento de valores de dureza más cónsonos debido a la presencia de Silicio (Si) y Magnesio (Mg).

- ❖ Mantener el voltaje constante en el soldeo de las probetas en condición de recocido permitió determinar como varía la resistencia última, el esfuerzo de fluencia y la ductilidad de la aleación AA-3003 respecto a la aleación AA-6063 en las diferentes condiciones; las cuales fueron determinadas a través de los exámenes de Microdureza Vickers (HVN).

- ❖ Incrementando la deformación, la microestructura se torna menos cargada y alargada en la dirección de las líneas de fluencia.

- ❖ El ensayo de metalografía se efectuó con el fin de obtener información referente a la estructura de las dos aleaciones en estudio. A través de un microscopio se determinó la estructura cristalina de las mismas.

RECOMENDACIONES

- ❖ En próximos estudios se debería variar el voltaje durante el proceso de soldeo para determinar como influye en la resistencia y la deformación.
- ❖ Estudiar por separado cada una de las zonas afectadas (zona de soldeo, zona afectada por la temperatura, zona del metal base).
- ❖ Se debería en el futuro aplicar el método optoelectrónico para permitir la obtención de datos, tanto de deformación longitudinal como transversal, en una sola operación.
- ❖ Para comprobar la calidad de la soldadura someterla a una inspección con Rayos X o Gamma y así determinar si no se formaron grietas internas o debajo del cordón, vacíos o inclusiones.
- ❖ Aplicar la Técnica de Análisis de imágenes para así poder determinar el porcentaje de porosidad en la soldadura y la fracción de volumen de los precipitados MgSi, de esta forma se podría conocer como varían la porosidad y la cantidad de precipitados con los parámetros establecidos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ❖ TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES. Dr. Ing. JOSÉ MARÍAS LASHERAS ESTEBAN, PROF. JOSÉ MARÍA SANCHEZ – MARÍN PIZARRO.

- ❖ METALS HANDBOOK VOLUMEN 7, ATLAS OF MICROSTRUCTURES OF INDUSTRIAL ALLOYS.

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

- ❖ Smith William F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales

- ❖ Editorial Mc Graw Hill. Tercera edición. España 1999.

- ❖ ASTM (384-89)(UNE-EN ISO 6507-2)

- ❖ ALCOA. Aluminum Company of America

Páginas WEB visitadas

- ❖ www.electrocome.com/al6063.htm

- ❖ www.worldlingo.com/ma/enwiki/.../6063_aluminium

- ❖ www.furukawa.com.pe
- ❖ [www.ecured.cu/.../ Definición_de_los_Términos_de_Soldadura](http://www.ecured.cu/.../Definición_de_los_Términos_de_Soldadura)
- ❖ www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/al.htm
- ❖ www.lincolnelectric.com.ve
- ❖ http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020070662/1020070662_01.pdf
- ❖ Inspección radiográfica db (inspección radiográfica de soldaduras) ing. Heriberto Ruiz Caraballo
- ❖ www.capalex.co.uk/spanish/6063_a_alloy_sp
- ❖ Norma ASTM E 112 de técnicas de metalografía
- ❖ metalografiainsitu.blogspot.com/.../metalografia-de-aluminio.htm
- ❖ Metalografía y análisis in situ: Metalografía de Aluminio
- ❖ Materials Handbook. McGraw – Hill
- ❖ Manufactura: Ingeniería y tecnología.
- ❖ [www.novelis-painted.com/...aluminio/aleaciones/index_esp.](http://www.novelis-painted.com/...aluminio/aleaciones/index_esp)

- ❖ www.scribd.com › Presentations › School Work
- ❖ www.alcoa.com/adip/catalog/pdf
- ❖ NAIT CoursePack 1090: Soldadura para aprendices. Primer año. 1997
- ❖ <http://www.scribd.com/doc/6164030/Defectología-de-la-Soldadura>
- ❖ Grupoinfra.com/.../06aluminio/aluminio
- ❖ maxizip.com/2010/10/que-es-tension-extensible
- ❖ BLOG INGENIERIA DE MATERIALES. wordpress.com
- ❖ Web: www.worldlingo.com/ma/enwiki/.../6063_aluminium.
- ❖ http://es.wikipedia.org/wiki/Aleaciones_de_aluminio
- ❖ www.broncesval.com

ANEXOS

Tabla de aceros

Nº SAE o AISI	Resistencia a la tracción Rm		Límite de fluencia Re	Alargamiento en 50 mm		Dureza Brinell
	Kgf / mm ²	Mpa	Kgf/mm ²	Mpa	%	
1010	40,0	392,3	30,2	292,2	39	109
1015	42,9	420,7	32,0	313,8	39	126
1020	45,8	449,1	33,8	331,5	36	143

Composición Química

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min.Max	0´30 0´60	0,10 0,30	0,10	0,30	0,40 0,60	0,05	0,15	0,20	0,15	Resto

Equivalencias Internacionales

USA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B	SUECIA	SUIZA	CANADA	ITALIA
A.A.	U.N.E.	AFNOR	DIN(1712-1725)	B.S.	S.I.S.	VSM	ALCAN	UNI
6063	L-3441 38.337	A-GS	AlMg4SiO,5 3.3206	H9	4103	Extrudal	50 S	3569

Propiedades Mecánicas

ESTADO	Carga de rotura Rm N/mm2	Límite elástico Rp 0.2 N/mm2	Alargamiento 5,65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm2	Dureza	
					Brinell(HB)	Vickers
T4	150	90	22	-	42	-
T5	220	170	14	140	65	-

Propiedades Físicas

Módulo elástico N/mm2	Peso específico gms/cm3	Temperatura de fusión °C	Coefficiente de dilatac. lineal (20°-100°) 10 ⁻⁶ /°C	Conductividad térmica w/m °C	Resistencia eléctrica Micro Ohm cm.	Conduct. eléctrica % IACS	
69.000	2,70	580-650	23´5	170	3´6	-	0´86

Radio De Plegado

Estado	Coef	0´4-0´8 m/m	0´8-1´6 m/m	1´6-3´2 m/m	3´2-4´8 m/m	4´8-6 m/m	6-10 m/m	10-12 m/m
T4	K	-	-	-	-	-	-	-
T5	K	-	-	-	-	-	-	-
-	K	-	-	-	-	-	-	-