

Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento sobre el comportamiento mecánico de la aleación de aluminio 6063

José De Frenza, Matorly Leañez, Laura Sáenz⁽¹⁾, Antonino Caralli D'Ambrosio⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación
Centro de Investigaciones de Mecánica, CIMEC

⁽²⁾ Unidad de Investigación en Bioelectrónica, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica
Escuela de Eléctrica

E-mail: laura1234@cantv.net.ve, acaralli@uc.edu.ve

Resumen

Esta investigación presenta un estudio del comportamiento mecánico de la aleación de aluminio AA-6063 sometida a un tratamiento térmico de envejecimiento. Las condiciones originales del material son barras cuadradas de lado $L=5/8''$ y $3/4''$, fabricadas mediante un proceso de extrusión. La aleación se homogeneizó a una temperatura de 550°C por una hora, un segundo tratamiento es realizado, el envejecimiento a la temperatura de 350°C en tiempos de una, tres y cinco horas, respectivamente. Se realizaron ensayos de tracción, Charpy y dureza Vickers ($P=50\text{g.}$). La mayor energía absorbida por impacto alcanzada fue para la menor condición de envejecimiento de una hora, sin embargo esta fue incrementada un cincuenta y tres por ciento (53 %) al ser comparado con la condición original, y un dos por ciento (2 %) al ser comparado con la condición homogeneizada. Se determinó por MEB que el mecanismo de fractura es de coalescencia de cavidades con la presencia de hoyuelos. Por ED-X, se determinó la presencia de alto contenidos de precipitados de Silisuros de Magnesio.

Palabras claves: Envejecimiento, aleación de aluminio 6063, comportamiento mecánico.

Influence of aging thermal treatment over mechanical behavior of aluminium alloys 6063

Abstract

This research presents a study of the mechanics behavior of the aluminum alloys AA- 6063 under aging thermal treatment. The material initial state is bars squared of $5/8'' \times 3/4''$, fabricated using an extrusion process. The alloys are homogenized at temperature of 550°C for one hour, a second treatment is realized, the ageing at temperature of 350°C in times for one, three and five hours respectively. It were realized tension tests, charpy tests and hardness test ($P= 50\text{g.}$). The maxim impact energy was obtained at the low time ageing of one hour. However it was increased fifty three percent (53 %) when it is compared with the original condition, and two percent compared with the condition homogenized. Fracture mechanism of coalescence voids was determined by MEB. The presence of big quantities of precipitates of silisure magnesium was determined by ED-X.

Key Words: Aging, aluminums alloys 6063, mechanical behavior

I. INTRODUCCION

En la actualidad las aleaciones de aluminio han adquirido gran importancia dentro de las industrias de conformado de metales, cada una con gran variedad de usos y aplicaciones, por ejemplo, la aleación AA-6063 dentro de sus aplicaciones es usada para pistas de mallas metálicas para el aterrizaje de los aviones, pasamanos de los puentes, canoas, enseres, tubos de los aspiradores domésticos, elementos estructurales en forma de perfiles

para el soporte de cargas pequeñas, tales como marcos para equipos electrónicos y muebles [1,2].

En los últimos años se ha visto una tendencia importante hacia el reemplazo del acero por estos tipos de aleaciones de aluminio, particularmente en aplicaciones donde el bajo peso y la resistencia a la corrosión es importante, tal como en la industria del transporte terrestre y marítimo [3,4].

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en diversas aplicaciones dependen de su microestructura. Los tratamientos térmicos y los procesos de conformado en frío la modifican, y por ende son métodos de proceso utilizados para mejorar las propiedades de las mismas. Por lo que es de gran importancia el estudio de la influencia que ellos tienen en las aleaciones. El contenido de magnesio y silicio permite el endurecimiento por precipitación [5,6].

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

El aluminio AA-6063 fue adquirido en la empresa Aluminio de Venezuela C.A. “ALVEN”, en barras cuadradas cuyas dimensiones fueron Lado = 5/8” y Lado = 3/4”. Las condiciones de tratamiento fueron: condición original tal cual la entrega el fabricante, condición homogeneizada a 550 ° C por 1 hora, condiciones envejecidas a 350 °C por tiempos de 1, 3 y 5 horas respectivamente.

Los ensayos de tracción se llevaron a cabo en la máquina universal de ensayos marca Galdabini de 20 toneladas de capacidad, bajo condiciones de velocidad constante igual a 10 mm/min. Durante el ensayo se sometieron las probetas de dimensiones especificadas según la norma ASTM B 557M, a una fuerza de tensión axial variable y con una velocidad constante. A su vez, se registraron los diferentes alargamientos de la misma en relación a una longitud inicial de 2 pulgadas, hasta llegar a la rotura.

Para el ensayo de impacto charpy en V, se utilizaron las probetas de tipo Full.-Size, las dimensiones de las

probetas son las establecidas para este tipo de ensayo acorde con la norma ASTM E-23. El propósito de este trabajo de investigación fue el de evaluar el comportamiento mecánico de la aleación AA-6063. Para evaluar la microdureza del material, se utilizó el método Vickers por ser más versátil y exacto que el Brinell o el Rockwell. El método Vickers expresa la dureza del material en términos de la presión originada bajo el indentador en Kg/mm². El indentador es un diamante en forma de pirámide de base cuadrada con un ángulo en el vértice de 136°, carga 50 gr.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Material

La composición Química de la aleación fue determinada por y se muestra en la tabla 1. La aleación presenta alto porcentaje de Cobre, este aleante se encarga de aumentar la resistencia.

Microscopía Óptica

Este análisis se llevó a cabo con el fin de observar la variación de la microestructura respecto a las diferentes condiciones a las que se sometió el material para evaluar el comportamiento presentado por esta aleación. Todas las imágenes fueron tomadas a un aumento de 50X, en estas se puede apreciar el tamaño de grano presente en la microestructura. El ataque de las probetas se realizó por inmersión en Ácido Fluorhídrico al 5%, durante un periodo de 6 min. Aproximadamente; luego de esto se observó en el microscopio y se tomaron fotografías de la microestructura para las diferentes condiciones de ensayo.

Tabla 1. Composición química de la aleación 6063 (% en Peso).

	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
Aluminum Association	≤ 0,35	0,20 - 0,60	0,10	0,10	0,45 – 0,90	0,10	0,10	0,10	Resto
Análisis Experimental	0,13	0,44	0,30	0,10	0,54	0,003	0,05	0,0012	98,48

En la Figura 1 se puede observar que la forma del grano en su condición original y los granos no son de un todo equiaxiales, ya que estos sufrieron alargamiento debido al proceso de extrusión. En la homogeneización (Figura 2), se observa la diferencia de densidades de fases

que posee el material, ya que los precipitados de silisuros de es notable el afinamiento en el tamaño de grano de la aleación y los límites de grano entre fases. El tamaño de grano para los tiempos de envejecimiento fue creciendo, ya que para la condición de una (1) hora (Figura 3) se

afinó levemente y continuó creciendo con el tiempo de envejecimiento, en donde se aprecia que el de mayor tamaño fue para la condición de cinco (5) horas (Figura 4).

Cabe destacar también que se observa la precipitación de las partículas de Silisuros de Hierro, las cuales generan el fenómeno de coalescencia observables en el tamaño de grano originadas por el tiempo y temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento afectando directamente las propiedades mecánicas del material.

Se utilizó el microscopio electrónico de barrido (MEB) y un analizador EDX, y se observaron los diferentes precipitados que se encontraban en la aleación, y la composición química de estos, tomando en cuenta que solo fueron evaluadas la condición original, la homogeneización y la condición óptima del envejecimiento la cuál fue para una (1) hora.

Propiedades Mecánicas

En la Tabla 2 se evidencia que el porcentaje de deformación para la condición de envejecimiento óptima de una hora disminuyó con respecto a la condición homogeneizada en un 30 %. Para después ir aumentando progresivamente hasta llegar a cinco horas y superar la condición homogeneizada en un 6 %.

Tabla 2. Propiedades Mecánicas (Esfuerzo a la fluencia, Esfuerzo máximo y deformación máxima) para cada uno de las condiciones de ensayo estudiado

Temperatura (°C)	Condición	Tiempo (h)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Deformación máxima (%)	Deformación de ingeniería e (%)
-	Original	-	115,50	150,07	19,86	23,15
-	Homogeneizada	-	48,67	108,89	37,49	32,80
Envejecida a 350 ° C	Envejecida	1	55,50	96,48	28,86	27,23
	Envejecida	3	42,25	90,18	35,56	31,25
	Envejecida	5	44,13	87,49	39,61	32,28

La tendencia es al aumento de las propiedades mecánicas de resistencia en especial del esfuerzo de fluencia (σ_{ys}) en un tiempo de envejecimiento de una hora para luego disminuir a medida que aumenta el tiempo, y lo que se podría evidenciar es un ablandamiento en el

Con respecto al esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y esfuerzo de ruptura en función del tiempo de envejecimiento, se puede observar que los valores del esfuerzo de fluencia (σ_{ys}) varían significativamente, al igual que los esfuerzos máximo (σ_{uts}) y de ruptura (σ_{rup}) cuando las probetas son sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento. La variación en estas propiedades, se le puede atribuir a que las muestras presentan poca o ninguna deformación de los granos antes del tratamiento térmico de envejecimiento.

La tendencia es al aumento de las propiedades mecánicas de resistencia en especial del esfuerzo de fluencia (σ_{ys}) en un tiempo de envejecimiento de una hora para luego disminuir a medida que aumenta el tiempo, y lo que se podría evidenciar es un ablandamiento en el material debido al grado de deformación que experimenta el material.

Con respecto al esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y esfuerzo de ruptura en función del tiempo de envejecimiento, se puede observar que los valores del esfuerzo de fluencia (σ_{ys}) varían significativamente, al igual que los esfuerzos máximo (σ_{uts}) y de ruptura (σ_{rup}) cuando las probetas son sometidas a diferentes tiempos de envejecimiento. La variación en estas propiedades, se le puede atribuir a que las muestras presentan poca o ninguna deformación de los granos antes del tratamiento térmico de envejecimiento.

material debido al grado de deformación que experimenta el material.

Al comparar el esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo y la deformación antes y después del tratamiento térmico

de envejecimiento, se observa mejora en dichas propiedades. Y entre las mismas condiciones de envejecimiento se observa que la condición óptima de envejecimiento fue para una hora ya que el mayor Esfuerzo de fluencia fue el de ésta condición igual a 55,5 Mpa, para los tiempos de envejecimiento de tres y cinco la disminución de los esfuerzos en la zona elástica se atribuye al sobre-envejecimiento y sobresaturación de la matriz de los precipitados. La deformación disminuyó con respecto a la condición homogeneizada en un 31% aproximadamente para luego aumentar progresivamente hasta llegar a superar la condición homogeneizada en un 6% en un tiempo de cinco horas.

Con respecto a la deformación de ingeniería (ver Tabla 2) en función del tiempo se evidencia un aumento de la deformación en todos los tiempos de envejecimiento, siendo estos mayores a la condición homogeneizada, lo que quiere decir que el material sufrió un ablandamiento producto del tratamiento térmico de envejecimiento. Para la condición de envejecimiento de cinco horas, fue la que mayor deformación tuvo de todos los tiempos de envejecimiento esta ofreció 2% más deformación que la condición homogeneizada.

Microdureza Vickers

Para este ensayo se realizaron diez (10) penetraciones a cada una de las muestras de las 5 condiciones, la carga

de penetración utilizada fue de 50 gr. Se obtuvo nuevamente un valor promedio el cual fue el utilizado como punto de comparación para observar el comportamiento del material sometido a las distintas condiciones, dichos valores se pueden observar en la Tabla 3.

En la Tabla 3 se puede observar que la dureza antes y después del envejecimiento disminuye a medida que aumenta el tiempo. Pero entre las condiciones de envejecimiento se observa que no hubo un cambio significativo en los valores de dureza aunque la mejor condición fue para una (1) hora ya que el mayor valor de dureza fue de 32 HVN pero sin embargo sigue siendo un 6% menor que la condición homogeneizada. Esta disminución se atribuye al ablandamiento y crecimiento del tamaño de grano durante el envejecimiento.

Ensayo Charpy en V

Este ensayo fue realizado a un total de 25 probetas, 5 por cada condición de tiempo de donde se obtienen los valores de Energía absorbida por impacto (CVN), estos datos se utilizaron para realizar las gráficas de CVN vs. Tiempo, para cada una de las 5 probetas por condición se obtuvo un valor promedio el cual fue el utilizado como punto de comparación para observar el comportamiento del material sometido a las 5 condiciones.

Tabla 3. Microdureza Vickers (P=50 gr.)

N° de Penetración	Dureza Vickers (HVN) (50 GR.)										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Original	49	49	44,80	40,20	42,70	51,30	49	53,8	42,9	47,9	47
Homogeneizado	34,30	35,10	33	26,90	36,40	34,30	34,70	35,60	35	31,20	34
1hora	31,20	28,50	37,10	32	32,50	29,60	27,60	37,10	33,60	34,30	32
3horas	28	25,40	25,50	26,10	31,20	25,60	28,50	23,70	25,80	23,70	26
5horas	25,80	32,40	25,70	28,90	28,50	25,80	26,60	25,20	27,70	28	27

En la tabla 4 se observa que al relacionar la Energía absorbida por impacto con el Tiempo de envejecimiento, el material aumenta significativamente su capacidad para absorber impacto desde la condición original hasta la condición de envejecimiento de una (1) hora para luego disminuir dicha propiedad del material.

Entre las condiciones de envejecimiento este no representa variaciones significativas, sin embargo, la condición de ensayo con mayor energía absorbida de impacto fue la condición de envejecimiento para una (1) hora igual a 98,07 Joule.

Es evidente el aumento significativo de este último de aproximadamente un 10% con respecto al material en condiciones de homogeneización, esto es una consecuencia del aumento de la ductilidad producto del ablandamiento.

Para la probeta Charpy en su condición óptima de envejecimiento una (1) hora, al ser evaluada con el MEB y un analizador EDX nos encontramos que a pesar de los desprendimientos de los precipitados durante el ensayo, son observables en gran cantidad los de Silisuros de Magnesio, siendo estos los que aumentan la resistencia en

el material, mientras que para la condición original son menor tamaño y no son observables fácilmente [7,8].

En las superficies de fractura de la macrografía tanto las probetas de Charpy como las de tracción, es evidente que el mecanismo de fractura fue dúctil, la fractura observada en las probetas de tracción es de forma alargada y con alto relieve, y a pesar de la rotura de las probetas de Charpy en las condiciones de envejecimiento muestra este tipo de mecanismo, observándose en todas un comportamiento similar y la superficie de color opaca.

Tabla 4. Energía absorbida por impacto promedio provenientes del ensayo Charpy en “V” para cada una de las condiciones de ensayo.

Nº Muestra	CVN Promedio (KPM)	CVN Promedio (JOULE)
Original	6,54	64,16
Homog.	9,08	89,07
1hora	10,02	98,3
3horas	9,25	90,74
5horas	8,88	87,06

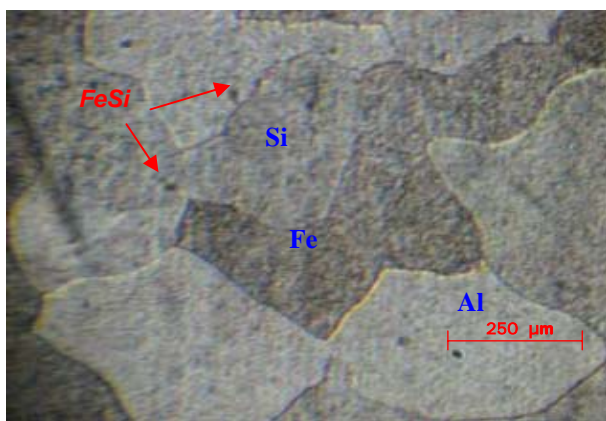


Figura 1. Microscopía óptica para muestra en condición original. 50X, 5 % HF

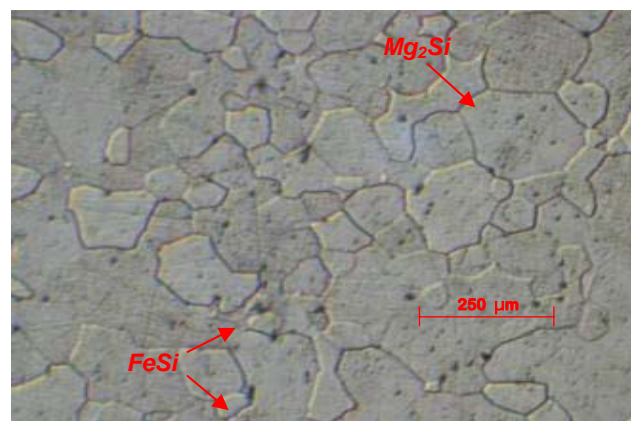


Figura 2. Microscopía óptica para muestra con tratamiento de homogeneización. 50X, 5 % HF

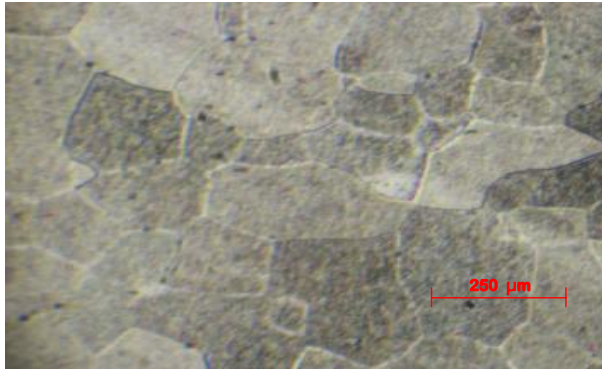


Figura 3. Microscopía óptica para muestra con tratamiento de envejecimiento a una (1) hora a 350 °C. a 50X, 5 % HF

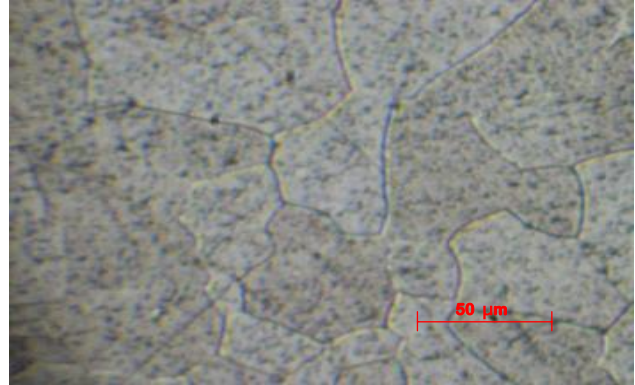


Figura 4. Microscopía óptica para muestra con tratamiento de envejecimiento a cinco (5) horas 350 °C. a 50X, 5 % HF

Al realizar la evaluación de la superficie de fractura con MEB, el mecanismo de fractura encontrada en las probetas de tracción y Charpy es de coalescencia de cavidades con la presencia de hoyuelos (dimples), lo que hace que el comportamiento de la aleación sea completamente dúctil.

Los hoyuelos (dimples) en las condiciones estudiadas fueron variando según la condición, en el caso de la condición original se encuentran de menor tamaño dando indicio que fue la condición con mayor resistencia, mientras que en la condición óptima de envejecimiento estudiada una (1) hora, se aprecia que los hoyuelos (dimples) son de mayor tamaño, siendo esta condición evidentemente de menor resistencia con respecto a la condición original pero mayor a la condición de homogeneización.

IV. CONCLUSIONES

El tratamiento térmico de envejecimiento generó sobre la aleación un aumento significativo en la Energía absorbida por impacto, siendo la condición óptima para un tiempo de una hora, esta propiedad en comparación con la aleación en condición original aumentó en un 53% y en un 2 % con respecto a la condición homogeneizada.

El tratamiento térmico de envejecimiento influyó de manera significativa sobre las propiedades mecánicas de resistencia (σ_{uts} , σ_{rup} , σ_{ys}) de la aleación de aluminio AA-6063 obtenidas a través de los ensayos de tracción y dureza para las cinco (5) condiciones establecidas.

La aleación de aluminio presenta el fenómeno de endurecimiento por precipitación (distribución del precipitado por endurecimiento) en un tiempo de una hora, para esta condición nos encontramos que microestructuralmente en la aleación se da la presencia de alto contenidos de precipitados de Silisuros de Magnesio siendo estos los que generaron dicho endurecimiento, mientras que los de Silisuros de Hierro se encuentran en menor cantidad.

El mecanismo de fractura encontrada en las probetas de tracción y Charpy es de coalescencia de cavidades con la presencia de hoyuelos (dimples), lo que hizo que el comportamiento de la aleación fuera completamente dúctil. Con el MEB se pudo apreciar como en la condición original los hoyuelos fueron de menor tamaño que para la condición óptima estudiada de envejecimiento de una hora, evidenciando efectivamente que esta condición fue la de mayor resistencia.

Al incrementar el tiempo de envejecimiento, el material experimenta un ablandamiento, por lo que la ductilidad aumenta.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Askeland Donald R. "Ciencia e Ingeniería de los Materiales". Editorial internacional Thomson (1998).
- [2] William F. Smith "Fundamentos de la Ciencia de Materiales". Editorial Mc. Graw Hill 3ra edición (1998).

- [3] Shackelford James F. "Ciencia de Materiales para Ingeniería". Editorial Prentice Hall. 3ra Edición (1998).
- [4] Sydney H. Avner. "Introducción a la Metalurgia Física". Editorial Mc. Graw Hill. Edición (1978).
- [5] Cordero O. Rafael R. - Von Steinberg M. Bernardo (2005) "Influencia de la temperatura y tiempo de recocido sobre las propiedades mecánicas del aluminio AA-8011, obtenidas en los ensayos de compresión plana, tracción y dureza". Trabajo no publicado. Universidad de Carabobo, Valencia.
- [6] Merizalde - Carlos (2001) en su trabajo "Estudio de tenacidad de fractura de la aleación de aluminio 6063". UCV, Caracas.
- [7] ASTM Metals Handbook volumen 8. Metallography, structures and phase diagrams, 8va. edición (1973).
- [8] Ney, J. (1998). "Characterization by Thermoelectric Power of a Comercial Aluminum-Iron-Silicon Alloy (8011) during Isothermal Precipitation. Metalurgical and Materials "Transactions "A". Vol. 29ª (11), 2669-2677.