

# Influencia del tratamiento térmico de envejecimiento en las propiedades mecánicas de los aluminios 6061 T6 y 6063 T5

## Influence of aging heat treatment on the mechanical properties of aluminum 6061 T6 and 6063 T5

Carlos Arturo Bohórquez A.<sup>1\*</sup>, Mauricio Sierra Cetina<sup>2</sup>, Javier Lemus<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería Mecánica, Universidad libre, Bogotá, Colombia. \*carlosa.boborquez@unilibrebog.edu.co

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

<sup>3</sup> Departamento de Mecánica Universidad Libre, Bogotá - Colombia.

Fecha de recepción del artículo: 12/12/2010; Fecha de aceptación del artículo: 25/01/2011

### Resumen

Por su bajo peso y sus buenas propiedades mecánicas, tradicionalmente las aleaciones de aluminio se han empleado en la fabricación de componentes estructurales de aviones y partes de automotores. Las aleaciones de Aluminio con magnesio-silicio (Al-Mg-Si), de la serie 6XXX, presentan una respuesta aceptable al tratamiento térmico de envejecimiento; la razón de ello es que los contenidos de magnesio y silicio permiten el endurecimiento por precipitación, fenómeno que cambia significativamente las propiedades mecánicas de dicha aleación.

Para este estudio se seleccionaron dos aluminios: el 6061 T6 y el 6063 T5, los cuales se trataron térmicamente a 120°C, 150°C y 180°C durante 8, 12, 24, 48 y 72 horas con un posterior temple en agua. Se realizó un diseño experimental para establecer el número de probetas necesarias que permitieran analizar el fenómeno; posteriormente, se desarrollaron pruebas de tensión y de forma que se pudiese verificar el cambio de propiedades sufrido durante el tratamiento térmico. Los resultados se presentan en gráficas de comportamiento que muestran la influencia del tiempo y la temperatura en las propiedades mecánicas de los aluminios seleccionados.

### Palabras clave

Envejecimiento, aluminio, 6061, 6063

### Abstract

Due to low weight and good mechanical properties, traditionally aluminum alloys have been used in the manufacture of aircraft structural components and automotive parts. The Aluminum alloy with magnesium-silicon (Al-Mg-Si), series 6XXX, show an acceptable response to heat treatment aging, the reason is that the contents of magnesium and allow silicon precipitation hardening, a phenomenon that significantly change the mechanical properties of the alloy.

For this study we selected two Aluminum: 6061 T6 and 6063 T5, which were treated thermally at 120 ° C, 150 ° C and 180 ° C for 8, 12, 24, 48 and 72 hours with subsequent quenching. An experimental design was used to establish the number of specimens necessary machinery to analyze the phenomena was subsequently Stress tests and developed so that it could verify suffered property changes during heat treatment. The results are

presented in graphs showing behavior influence of time and temperature on the mechanical properties selected aluminums

## Keywords

Ageing, aluminium, 6061T6, 6063 T5.

## Introducción

Los tratamientos térmicos de los aluminios son de bastante importancia para modificar sustancialmente sus propiedades, un fenómeno que afecta las aleaciones de aluminio aún a temperatura ambiente, es conocido como envejecimiento natural, si se realiza a una temperatura mayor ocurre un tratamiento térmico de precipitación conocido como envejecimiento artificial. El envejecimiento puede afectar las aleaciones de la serie 6XXX, 2XXX y 7XXX.

La demanda de componentes más ligeros en la industria especialmente la aeronáutica ha impulsado en los últimos años el uso de aleaciones de aluminio. El aluminio 6061 T6 y 6063 T5 que se seleccionan para estas aplicaciones, presentan una buena resistencia a la corrosión, excelente maleabilidad, soldabilidad y buenas propiedades mecánicas que brindan gran flexibilidad en el diseño y fabricación de piezas [1].

Los tratamientos de precipitación generalmente se hacen a relativamente bajas temperaturas entre 110°C y 200°C y tiempos entre 5 y 48 horas [2]. La selección de la temperatura y el tiempo adecuados para obtener las propiedades deseadas dependen las características buscadas, para conseguir una distribución y tamaño adecuados de precipitados; sin embargo, el tratamiento que aumenta una propiedad disminuye las otras, por ejemplo si es necesario aumentar el esfuerzo de tensión disminuye la resistencia a la corrosión. La Figura 1 muestra la secuencia para obtener cada uno de los envejecimientos posibles.

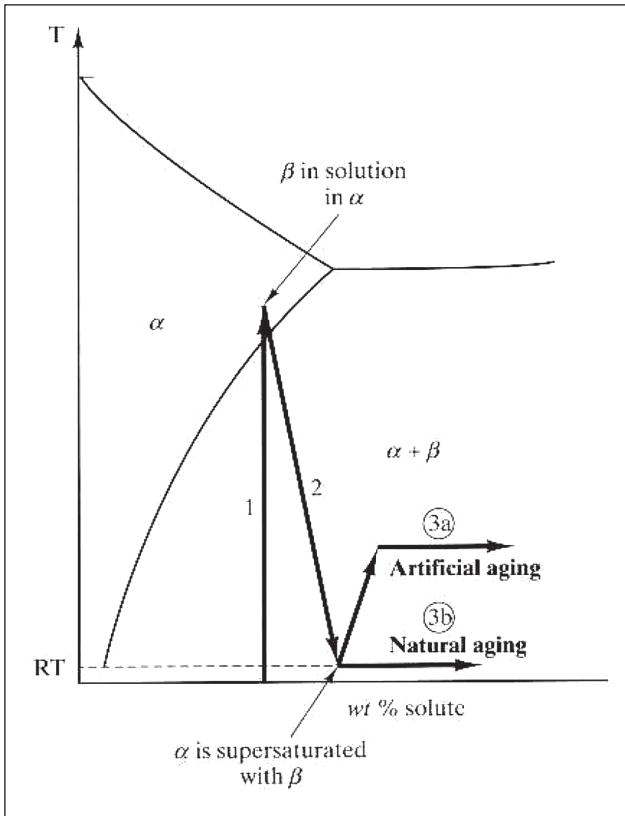
Los requisitos fundamentales para que una aleación de aluminio presente endurecimiento por envejecimiento son los siguientes:

1. Que la aleación presente solubilidad creciente de un soluto o de una segunda fase a medida que la temperatura aumenta.
2. Que el material a alta temperatura, en la cual hay más solutos en solución, pueda ser templado. Puesto que la aleación templada contiene más soluto a temperatura ambiente que cuando está en equilibrio, se trata de una solución sobresaturada, inestable, que tiende a precipitar el exceso de solución o fase.

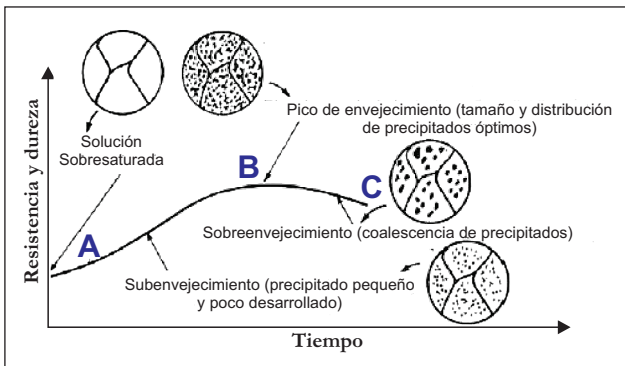
Con base a estos requisitos, el proceso de tratamiento térmico para conseguir el endurecimiento por precipitación consiste en las etapas siguientes, las cuales se ilustran en la Figura 1.

- Se calienta la aleación a una temperatura en la que aumenta la cantidad de soluto en la solución sólida.
- El endurecimiento de la aleación se consigue precipitando el exceso de soluto o fase en forma de un precipitado transitorio, metaestable y coherente. El endurecimiento se debe a la formación de la red (deformación coherente) inducido por el precipitado coherente.
- Para formar una solución sobresaturada es necesario enfriarlo rápidamente. Esta etapa es la más crítica de la serie de procedimientos de tratamiento térmico. La velocidad de temple debe ser mayor que la velocidad de enfriamiento crítico para conservar la composición a la temperatura de recocido por disolución y para formar una solución sobresaturada del soluto o fase.

Cuando las aleaciones de aluminio se mantienen a temperaturas inferiores de 250°C, después de templadas desde altas temperaturas (350°C o más), aumenta su resistencia mecánica (Figura 2).



**Figura 1.** Temperaturas para los ciclos de envejecimiento artificial y natural [2].



**Figura 2.** Evolución esquemática de la dureza y resistencia de una aleación de aluminio de endurecimiento estructural [8].

## Influencia de la temperatura

La temperatura de tratamiento juega un papel importante en la determinación de las características de las partículas de silicio. La velocidad de transformación es directamente proporcional a la temperatura del tratamiento. La energía de activación para el crecimiento es relativamente baja, lo que indica que el proceso es muy sensible a las fluctuaciones de la temperatura. La temperatura a seleccionar para el tratamiento térmico depende de la composición química de la aleación. El incrementar la temperatura supone facilitar la difusión de los átomos de silicio con lo que se logra una buena homogeneización en la matriz [8].

- I) Mantenido a temperatura ambiente después del temple.
- II) Mantenido a temperatura de revenido después del temple y maduración a temperatura ambiente.

## Procedimiento experimental

### Materiales

Se seleccionaron dos aluminios el 6061T6 y el 6063 T5, que son materiales de fácil consecución y cuyas aplicaciones se mencionaron anteriormente, la composición química se muestra en la Tabla 1.

### Tratamiento térmico

Los tiempos se escogieron de acuerdo a las graficas de envejecimiento del *ASM metals handbook*. Volumen 4, las cuales trabajan en tiempos de 12 a 72 horas, y con temperaturas comprendidas entre los 150°C y 210°C. Para cada aluminio se diseño

**Tabla 1.** Composición química de los aluminios 6061 T6 y 6063 T5 empleados en el trabajo.

	Silicio	Hierro	Cobre	Magnesio	Cromo	Zinc	Titanio
<b>6061 T6</b>	0.4 - 0.8	0.7 máx.	0.15 - 0.4	0.8 - 1.2	0.04 - 0.35	0.25 máx.	0.015
<b>6063 T5</b>	0.2 - 0.8	0.35	0.1 máx.	0.45 - 0.9	0.1 máx.	0-1 máx.	0.1 máx.

un prueba experimental que arrojo como resultado tres probetas por cada tiempo y temperatura para un total de 45 por aluminio, probetas fabricadas de acuerdo a la norma ASTM E-8-03. Luego de mantenerlo en el horno a las temperaturas y tiempos mencionas se enfriaron en agua.

## Resultados y discusión

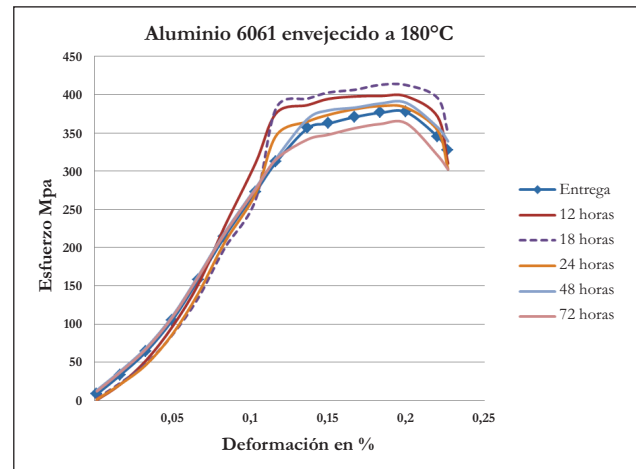
Los resultados de las pruebas de tensión para cada aluminio se muestran en las Figuras 3 y 4.

La Figura 3 detalla los diagramas esfuerzo-deformación para el aluminio 6061 T6; no es notorio el aumento o la disminución del modulo de elasticidad, la deformación total para los diferentes tiempos de tratamiento es muy similar, el esfuerzo de fluencia para 18 horas de tratamiento muestra un aumento significativo.

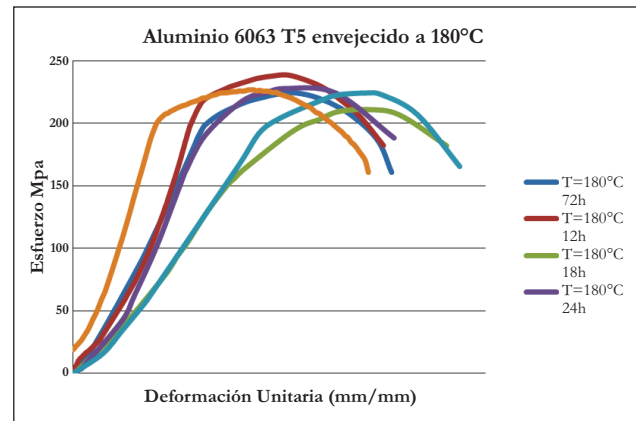
En la Figura 4 se observa que la curva en estado de entrega posee un mayor módulo de elasticidad en relación a las demás curvas. De igual forma, la deformación de todas las curvas tiende a ser mayor que la obtenida en estado de entrega, el mayor aumento del esfuerzo de fluencia se obtiene para 12 horas de tratamiento y un aumento de la deformación total para todos los tiempos de tratamiento comparado con el estado de entrega.

Las Figuras 5 y 6 muestran la comparación de los resultados de los ensayos de tensión realizados a los aluminios comparando el valor del esfuerzo en estado de entrega, en la Figura 5 se observa un aumento importante en el valor para el aluminio 6061 T6 con un tiempo de 18 horas de tratamiento a 180°C, 14.2%, para esta temperatura se observa un mejor resultado aumentándolo para todos los tiempos de tratamiento, para 150°C el comportamiento no se ve muy influenciado; pero para 210°C aumenta en las primeras horas del tratamiento y luego disminuye para 24 horas un 8.4%.

En la Figura 6, se puede apreciar que para el aluminio 6063 T5 en las primeras etapas de tratamiento hay



**Figura 3.** Diagramas de esfuerzo deformación para el aluminio 6061 T6 envejecido a 180°C durante 12, 18, 24, 48, 72 horas enfriados en agua.

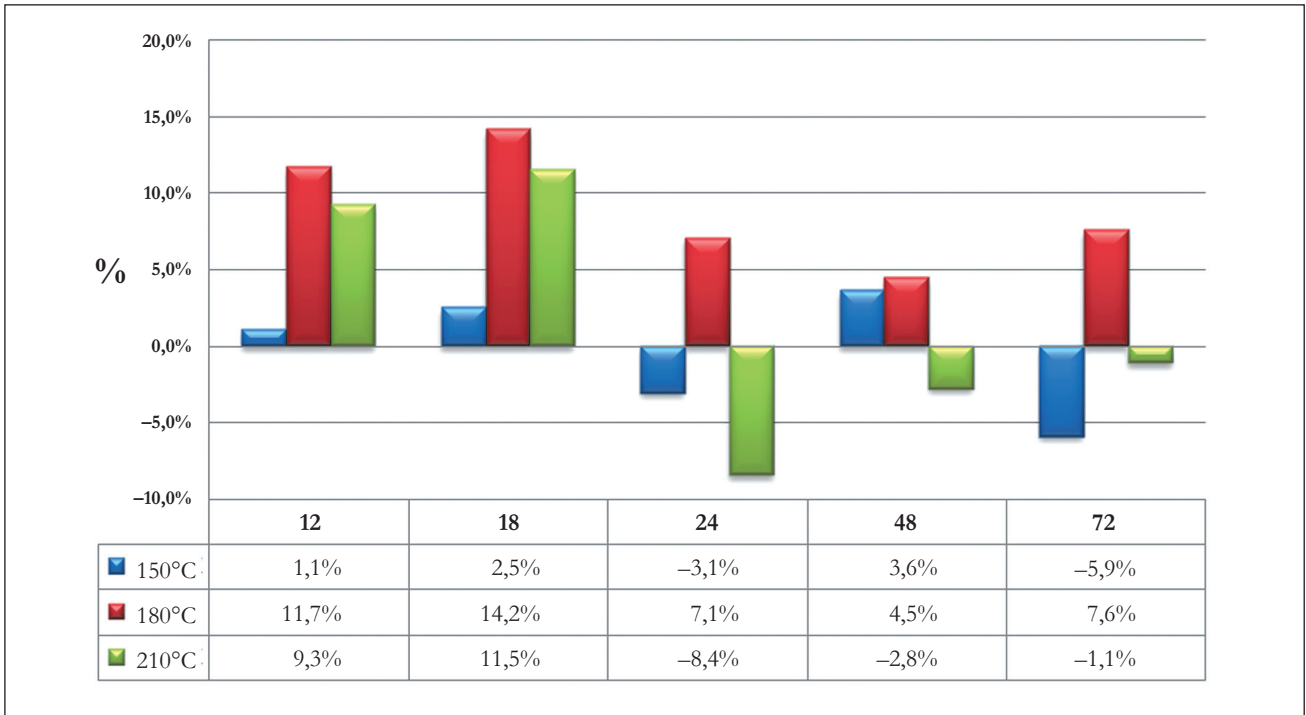


**Figura 4.** Diagramas de esfuerzo deformación para el aluminio 6063 T5 envejecido a 180°C durante 12, 18, 24, 48, 72 horas enfriados en agua.

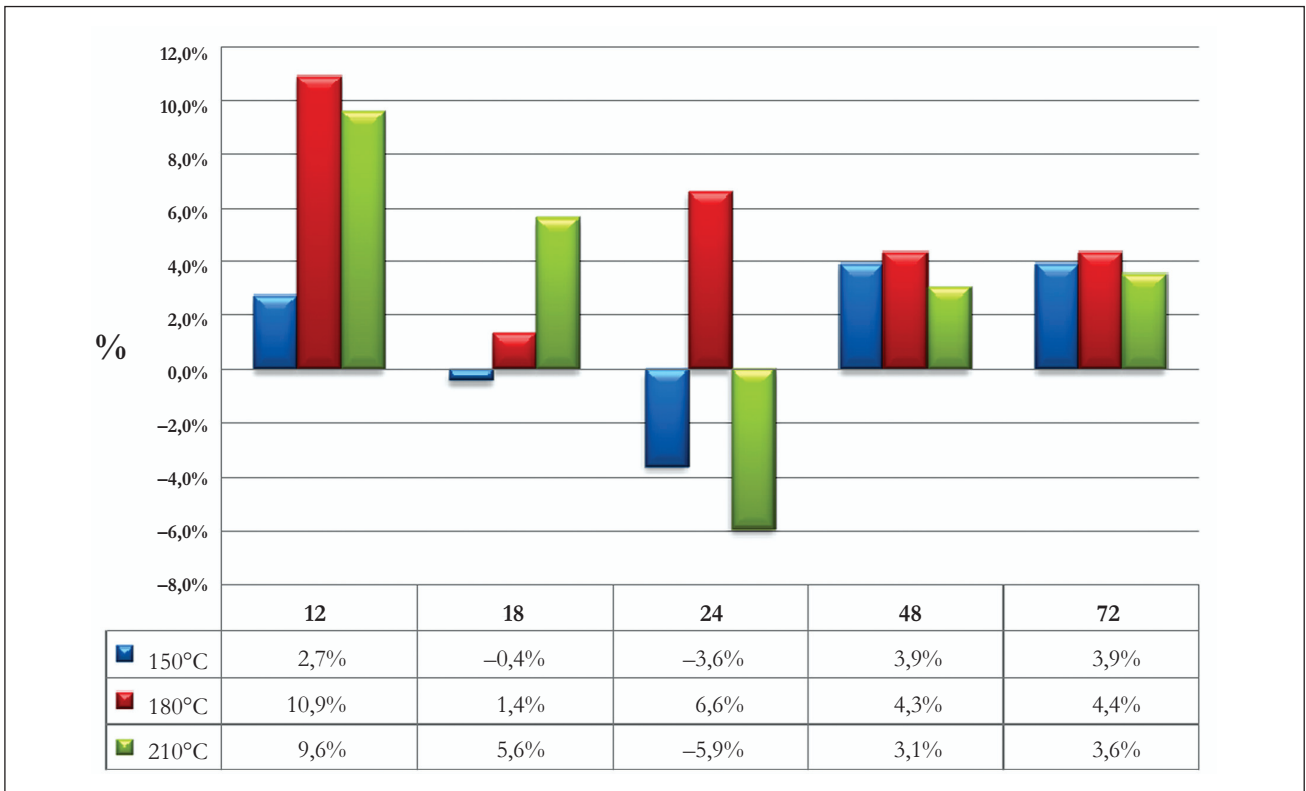
un aumento significativo cuando el envejecimiento se realiza a 180°C y 210°C, para 150°C la tendencia es a mantener el valor y para 24 horas disminuye el valor. A 180°C se observa que hay una tendencia a subir al igual que para el otro aluminio.

## Conclusiones

El tratamiento térmico de envejecimiento en aleaciones de aluminio afecta significativamente las



**Figura 5.** Comparación de los valores de esfuerzo de fluencia para el aluminio 6061 T6 envejecido a 150°C, 180°C y 210°C durante 12, 18, 24, 48, 72 horas enfriado en agua.



**Figura 6.** Comparación de los valores de esfuerzo de fluencia para el aluminio 6063 T5 envejecido a 150°C, 180°C y 210°C durante 12, 18, 24, 48, 72 horas enfriado en agua.

propiedades del material, encontrando que para el aluminio 6061 T6 el mejor resultado se encuentra a 180°C y 18 horas, y para el aluminio 6063 T5 a 180°C y 12 horas.

El cambio en las propiedades de resistencia a la tensión en los aluminios seleccionados para este estudio esta acorde a la teoría, la precipitación y la disolución de compuestos de silicio afecta directamente las propiedades del material, y para cada tipo de aleación este pico se presenta en diferentes tiempos pero a la misma temperatura 180°C.

### Referencias bibliográficas

1. E. A. Albístur Goñil, J. Pérez-Illzarbe y J. Fernández Carrasquilla. Estudio de la influencia del tratamiento de maduración artificial en el comportamiento a fractura de un perfil de aleación de aluminio 6063 empleado en el sistema de amortiguación de un automóvil, Anales de la Mecánica de Fractura, vol 1, 2007.
2. ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating, 1997, pp. 1862-1960.
3. MacMaster, F.J.; Chan, K.S.; Bergsma, S.C. y Kassner, M.E. Aluminum alloy 6069 part II: fracture toughness of 6061-T6 and 6069-T6, Materials Science and Engineering, A289 (2000) 54–59.
4. Hernández, A.H. y Espejo, M.E. Analysis of Stress and Strain near the end of crack traversing a plate, Irwin, G. Transactions ASME, 1957. Mecánica de fractura y análisis de falla, Primera edición 2002.
5. Siddiqui, Rafiq A.; Abdullah, Hussein A. y Al-Belushi, Khamis R. Influence of aging parameters on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy, Journal of Materials Processing Technology 102 (2000) 234, 240.
6. Prevention of nonductile fracture in 6061-T6 aluminum nuclear pressure vessels, YAHR G. T. Engineering Technology Division, Oak Ridge National Laboratory, Martin Marietta Energy Research, Inc., P.O. Box 2009, Oak Ridge, TN 37831-8051, ETATS-UNIS.
7. Baile Puig, Maite. Estudio de la Conformación de Componentes Aluminio-Silicio en Estado Semisólido. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 2005.