

CAPÍTULO 6

MODIFICACIÓN DE UN ALUMINIO A-6061 T6 MEDIANTE UNA ALEACIÓN MAESTRA Al-Mg-Ce, Al-Li



<https://doi.org/10.22533/at.ed.316122508046>

Fecha de aceptación: 19/11/2025

Jesús Salvador Luna Álvarez

Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Fundadores Km.13 Ciudad Universitaria C.P. 25350 Arteaga, Coah., México

Karla Alejandra Luna Sánchez

Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Fundadores Km.13 Ciudad Universitaria C.P. 25350 Arteaga, Coah., México

Gerardo Daniel Olvera Romero

Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Fundadores Km.13 Ciudad Universitaria C.P. 25350 Arteaga, Coah., México

Felipe de Jesús García Vázquez

Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Fundadores Km.13 Ciudad Universitaria C.P. 25350 Arteaga, Coah., México

Jesus Eduardo Ramírez Garza

Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. Fundadores Km.13 Ciudad Universitaria C.P. 25350 Arteaga, Coah., México

RESUMEN: La presente investigación analiza el efecto y modificación de un aluminio comercial A-6061 T6 mediante la adición de una aleación maestra Al-Mg-Ce y Al-Li con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del mismo con la influencia del tratamiento térmico T6. El estudio incluye la elaboración de una aleación maestra Al-Mg-Ce y Al-Li mediante la fusión de latas de bebida. Para la obtención de la aleación maestra Al-Mg-Ce se realizó reducción aluminotérmica de óxido de cerio y la adición de magnesio en la fusión de latas, y para la aleación maestra Al-Li en el aluminio obtenido de la fusión de latas se adicionó litio de alta pureza, posteriormente se hizo la caracterización de las aleaciones maestras desarrolladas, posteriormente se adicionó a el aluminio comercial A 6061 T6, una vez solidificada se aplicó un tratamiento T6 de solubilizado y envejecido. Se obtuvieron las propiedades mecánicas del aluminio A-6061 T6 modificado, como también los cambios microestructurales presentes por la adición de Cerio, Mg y Litio y el tratamiento térmico T6. Los resultados obtenidos, muestran que la incorporación de Ce, Mg y Litio a la aleación A-6061T6 provoca cambios en la morfología del silicio, como también la distribución de las fases

presentes en el aluminio modificado. Teniendo un aumento en la dureza de este y mejorando respectivamente sus propiedades mecánicas. El tratamiento T6 mejora la distribución de estos precipitados, maximizando las propiedades mecánicas. Esta investigación representa una estrategia prometedora para desarrollar aleaciones de aluminio de la serie 6000, adecuadas para aplicaciones aeroespaciales y la fabricación de microcomponentes eléctricos donde la reducción de peso y la mejora en rendimiento mecánico son incrementados.

PALABRAS CLAVE: Al-6061 T6, Tratamiento térmico T6, Al-Mg-Ce, Litio.

INTRODUCCIÓN

El aluminio tiene una densidad de 2700 kg/m³, es decir, un tercio de la densidad del acero, y un módulo de elasticidad de 10×10^6 psi (70 GPa). Aun cuando las aleaciones de aluminio tienen propiedades relativas a la tensión más bajas que el acero, su resistencia específica (o relación entre resistencia y peso) es excelente [1]. La excelente resistencia a la corrosión del aluminio puro se debe en gran medida a su afinidad por el oxígeno [2]. Aunque normalmente se encuentra en la industria de la construcción, las propiedades físicas del Aluminio y de sus aleaciones lo convierte en un material esencial para los sectores de transporte y de Automoción Aeroespacial. En la actualidad se han investigado formas de mejorar o aumentar las propiedades mecánicas del aluminio, una vía prometedora y la cual aún se está investigando es la adición de aleaciones maestras Al-Mg-Ce y Al-Li, el cual aumenta la resistencia, mejora la rigidez, reduce la densidad y mejora la resistencia a la fatiga [3]. Se ha investigado que las aleaciones Al-Ce son altamente moldeables y pueden formar estructuras en equilibrio termodinámico y permanecer así hasta cerca de su punto de fusión 560°C, permaneciendo termodinámicamente estables independientemente de su modo de preparación, también hay un renovado interés en el desarrollo de aleaciones de Al-Li endurecidas por precipitación debido a su alto módulo de Young y baja densidad. [4].

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental se realizó en VI etapas

Etapa I. Obtención de aluminio de alta pureza a partir de latas de bebida

Para esta investigación fue necesario la recolección de este tipo de envase, con la finalidad de partir desde una opción menos costosa y así contribuir de manera real al cuidado del medio ambiente. Una vez obtenida la materia prima para trabajar, se llevó a cabo la fusión en un horno de piso, en donde se obtuvo lingotes de aluminio a partir de latas de bebida, la figura 1 y 2. Muestran la fusión y la obtención de lingotes para elaborar la aleación maestra. La fusión se llevó a cabo a temperaturas de 750°C esto se hizo con el fin de aumentar la fluidez del metal líquido al momento de vaciar en los moldes de grafito.



Figura 1 y 2. Fotografía mostrando la fusión de latas de aluminio en horno de piso y la obtención de lingotes para el estudio establecido.

Etapa II. Elaboración de Aleación Maestra Al-Mg-Ce y Al-Li a partir de aluminio de alta pureza.

La fusión se llevó a cabo en una Mufla de Laboratorio marca THERMOCIENTIFIC, la cantidad de lingote de aluminio fue de 600grs, 60 grs de magnesio y 120 grs de óxido de cerio, la temperatura fue de 750°C, aplicando agitación para una mejor disolución, para la aleación maestra Al-Li se fundió 600grs de lingote de aluminio y 60 grs de litio de alta pureza a temperatura de 750°C se aplicó una agitación mecánica para la obtención de una mezcla homogénea. La figura 3 y 4 muestran los materiales de adición y la agitación realizada.



Figura 3. Fotografía mostrando el magnesio, óxido de cerio y el litio utilizados para la elaboración de las aleaciones maestras Al-Mg-Ce y Al-Li.



Figura 4. Fotografía mostrando la agitación mecánica durante la obtención de las aleaciones maestras.

Etapa III. Adición de Aleaciones Maestras en aluminio comercial. 6061T6

la fusión se realizó a temperatura de 750°C. Para este caso se fundió 700grs de aluminio comercial A-6061T6 y 300grs de aleación maestra Al-Mg-Ce y para la obtención de la otra fusión se fundió 700 grs. De aluminio comercial 6061T6, con 300 grs. De aleación maestra de litio.

Etapa IV. Obtención de probetas para su caracterización

Las probetas para realizar la caracterización de las pruebas obtenidas en la fusión del aluminio 6061T6 modificado con las aleaciones maestras, fueron vaciadas en un molde metálico que posteriormente solidificadas se les hizo un corte para ser analizadas en un microscopio, ensayo de dureza y ensayo de tensión. La figura 5 muestra la mufla utilizada para obtener las muestras para su caracterización y la figura 6 representa las diferentes muestras que se necesitaron para llevar a cabo la caracterización en este estudio.



Figura 5. Fusión de aluminio 6061T6
Modificado con aleación maestra.



Figura 6. Representación de probetas
obtenidas para realizar la caracterización.

Etapa V. Aplicación de Tratamientos Térmicos T6

Se aplico tratamiento térmico T6 de solubilizado y envejecido en el aluminio comercial 6061T6 modificado con la adición de las aleaciones maestras Al-Mg-Ce y Al-Li.

Los parámetros de tratamiento térmico fueron los siguientes:

- Solubilizado a 530°C por 1.5 horas.
- Temple en agua.
- Envejecido a 230°C por 1.5 Hr.
- Enfriamiento a temperatura ambiente.

La figura 7 y 8 muestran los tratamientos de solubilizado y envejecido realizado en aluminio 6061 modificado con las aleaciones maestras de Al-Mg-Ce y Al-Li.



Figura 7. Solubilizado y temple en agua.



Figura 8. Envejecido y enfriamiento al ambiente.

Etapa VI. Caracterización de muestras

El análisis químico se realizó en la muestra original del aluminio comercial 6061T6 mediante un **Espectrómetro de emisión por chispa** modelo **LAB LAVM11**, las muestras seleccionadas se prepararon metalográficamente para ser analizadas primeramente bajo un microscopio óptico, esto para observar la microestructura y analizar su evolución durante el tratamiento térmico aplicado, se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM, de Scanning Electron Microscopy) , el aluminio 6061T6 modificado fue ensayado mediante un durómetro Rockwell en la escala HR30T y fueron ensayados en una máquina para ensayos de tensión Tinius Olsen con capacidad de carga 10,000 kgf - 60,000 kgf. En este equipo se obtuvo la carga máxima a la ruptura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Análisis químico

El análisis químico se realizó en la muestra original del aluminio comercial 6061T6 mediante un Espectrómetro de emisión por chispa modelo LAB LAVM11. En base al resultado obtenido se considera que si cumple el análisis químico en base a la especificación del aluminio A- 6061T6.

Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Zn	Ti
0.62	0.7	0.29	0.95	0.09	0.15	0.009

Resultados de Microscopía Óptica

Las muestras preparadas metalográficamente se observaron en un microscopio óptico de marca KEYENCE, con los resultados obtenidos a 1000 X que se pueden observar en las fotomicrografías. Figura 9 y 10.

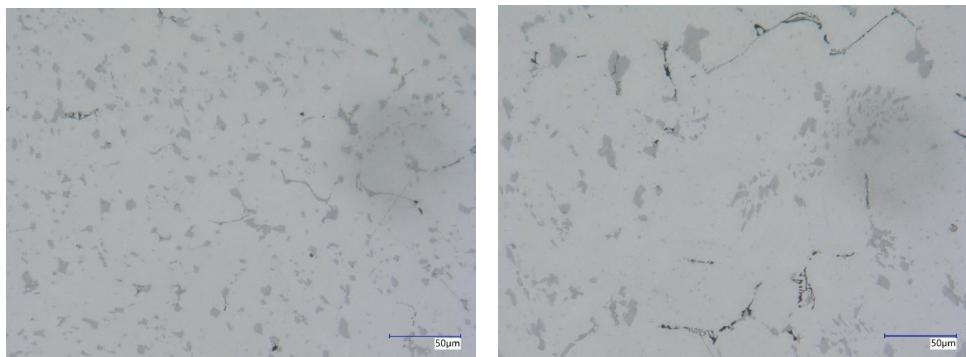


Figura 9 y 10. Fotomicrografías de aleación aluminio comercial A 6061T6 a 1000x. Matriz aluminio y silicio.

La figura 11 muestra la microestructura del aluminio A6061T6 modificado con una aleación maestra Al-Mg-Ce, la figura 12 muestra aluminio A6061T6 modificado con una aleación maestra Al-Li.

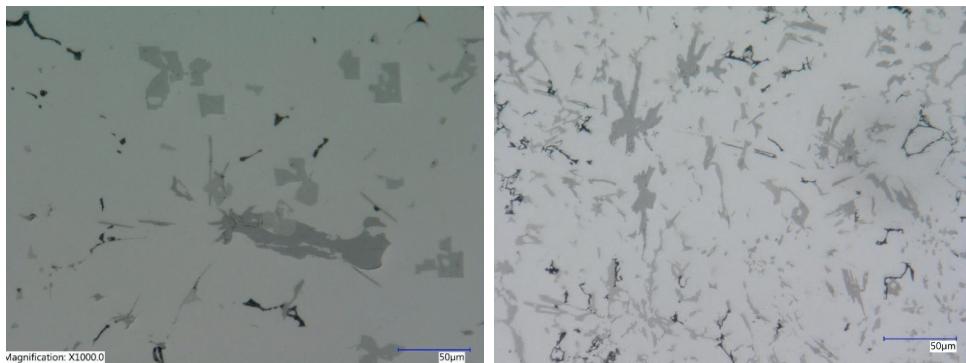


Figura 11 y 12. Fotomicrografías de aleación aluminio comercial A 6061T6 modificado 1000x. Matriz aluminio y cambio de morfología del silicio mostrando zonas oscuras de la fase de magnesio.

Resultados de Ensayos de dureza

Los siguientes resultados son de las durezas obtenidas en el aluminio A-6061T6 y el aluminio A-6061T6 modificado con la aleación maestra Al-Mg-Ce y Al-Li.

Identificación	Dureza HB
Aluminio A-6061T6	90
Aluminio A-6061T6 modificado con aleación maestra Al-Mg-Ce	96
Aluminio A-6061T6 modificado con aleación maestra Al-Li	84

Resultados de Ensayos de Tensión

Se muestran los resultados de carga máxima obtenidas en el aluminio A-6061T6 y el aluminio A-6061T6 modificado con la aleación maestra Al-Mg-Ce y Al-Li, las cuales se realizaron en una máquina de tensión Tinius Olsen 301 mediante la Norma ASTM E-8.

Identificación	Carga máxima Kgf
Aluminio A-6061T6	1195
Aluminio A-6061T6 modificado con aleación maestra Al-Mg-Ce	1214
Aluminio A-6061T6 modificado con aleación maestra Al-Li	868

CONCLUSIONES

Es posible preparar aleaciones maestras con diversos tipos de elementos tales como: Magnesio, Cerio, Litio, zinc, estroncio, y ser adicionadas en un aluminio comercial con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas de este. Se puede concluir en esta investigación lo siguiente.

- Se observo que en las microestructuras obtenidas en el aluminio A-6061T6 al cual se le adiciono aleación maestra Al-Mg-Ce y Al-Li la morfología del silicio fue modificada por estas aleaciones maestras.
- El mejor valor de dureza fue en el aluminio A-6061T6 modificado con la aleación maestra Al-Mg-Ce, mas no así con la aleación maestra Al-Li.
- El mejor valor en el ensayo de tensión fue en el aluminio A-6061T6 modificado con la aleación maestra Al-Mg-Ce, y el menor valor lo presento el aluminio A-6061T6 modificado con aleación maestra Al-Li.
- Se logro mejorar las propiedades mecánicas del aluminio comercial A-6061T6 con la adición de la aleación maestra Al-Mg-Ce, y con la otra aleación maestra Al-Li no supero las propiedades del aluminio comercial A-6081T6.
- La incorporación del litio en el aluminio comercial fue mínima atribuyo esto por que el litio es de muy baja densidad y tiende a oxidarse muy rápido se podría mejorar su incorporación a el aluminio mediante un proceso aplicando atmósfera protectora y agregar mas porcentaje de litio en el aluminio fundido.

REFERENCIA

ASKELAND, D. (2016). *Ciencia e Ingenieria de los Materiales*. SEPTIMA.

AVNER, S. H. (1988). *Introduccion a la metalurgia fisica*. Mexico: McGRAW-HILL.

Davis, J. (1993). *Aluminum and aluminum alloys*. ASM INTERNATIONAL

resno Abad, D. (2007). *Optimización de los Tratamientos Térmicos T5 y T6 para una*. España.