



# Estudio de las propiedades mecánicas a partir de tratamientos térmicos y deformación en una aleación de Al-Cu

M. E. Flores

ProInTec & ID, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

euge218@hotmail.com

Directores: A. L. Cozzarín, J. Lacoste

ProInTec & ID, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Grupo Colaborador: G. Álvarez, J. A. Davanzo, V. C. Pizzorno

ProInTec & ID, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Tópico: Metales y aleaciones.

## Resumen

Las aleaciones de aluminio de alta resistencia tienen un papel cada vez más importante en la industria aeroespacial. Tomando esto en cuenta, se considera fundamental el estudio de este tipo de materiales para piezas estructurales. En el presente trabajo se muestra la respuesta de una aleación de aluminio de la serie 2XXX, para comparar los efectos producidos sobre las propiedades mecánicas por la variación de los parámetros temperatura, tiempo (en los tratamientos térmicos) y deformación. Mediante una deformación en caliente se llega a espesores de 9,1 y 8 mm y luego, en frío, se lleva a ambas placas hasta 5 mm de espesor. A las mismas se las somete a diferentes tiempos de solubilizado, para posteriormente realizar envejecidos también a distintos tiempos. La evolución se puede visualizar mediante análisis metalográficos (micrografías) y ensayos mecánicos (medidas de dureza) gracias a los cuales queda de manifiesto la intensa variación de las propiedades mecánicas, obteniéndose las más altas luego de un solubilizado de 60 minutos y envejecido durante 9 horas, para la placa laminada en caliente hasta 9mm.

**Palabras clave:** aluminio, laminación, tratamientos térmicos, aleaciones.

**Keywords:** aluminum, lamination, heat treatment, alloys.

## 1. Introducción

El aluminio está tomando un rol cada vez más interesante como materia prima para aleaciones de alta resistencia que puedan servir para la fabricación de elementos de aeronaves. En este estudio se trabajó sobre una aleación de aluminio que tiene como aleante principal cobre. Estas aleaciones adquieren mayores propiedades mecánicas al ser tratadas térmicamente, a través de un endurecimiento por precipitación [1].

Asimismo, hay pocos autores que relacionen el porcentaje de deformación y la respuesta a tratamientos térmicos de solubilizado y envejecido realizados a diferentes tiempos.

En la investigación de esta aleación se controló la evolución de su dureza promedio mediante medidas en escala Brinell, a la vez que se hicieron micrografías para observar las variaciones que sufría la misma a nivel microestructural.

## 2. Metodología

### 2.1. Material empleado

Se utilizó una aleación de aluminio con un 6,8% de cobre y alrededor de 2% de otros aleantes, entre los cuales se destacan vanadio, titanio, zirconio y manganeso.

### 2.2. Procedimiento aplicado

En primer lugar, se llevó a cabo la fusión del material [2]. Luego de la colada se obtuvo una placa de 27 mm

de espesor, 320 mm de largo y 120 mm de ancho. Para obtener una microestructura susceptible de ser deformada en caliente, se la sometió a un homogeneizado durante 21 horas a  $520 \pm 5$  °C, con su posterior enfriamiento en agua a temperatura ambiente [3]. Para continuar, se calentó la placa, hasta alcanzar los  $520 \pm 5$  °C. A partir de ello se comenzó a realizar la reducción. En función de estudios y experiencias previas, se laminó en caliente una placa hasta un espesor de 8 mm y otra placa hasta 9,1 mm y se nombraron como placa A y placa B respectivamente. Luego se realizó en ambas placas laminación en frío, hasta un espesor final de 5 mm, lo cual provoca un porcentaje de deformación en frío para la placa A de 37,5 % y para la B de 45,05 %.

Una vez obtenidas las placas, se sometieron muestras de cada una de ellas a  $520 \pm 5$  °C por 15, 30, 45, 60 y 120 minutos respectivamente, con posterior enfriamiento en agua, logrando de esta manera el tratamiento térmico de solubilizado.

Finalmente, se estudió la respuesta al envejecido. Este tratamiento térmico se realizó durante 5, 7 y 9 horas, a  $170 \pm 2$  °C [4].

Para poder evaluar las condiciones del material en cada estado se tomaron medidas de dureza en las piezas solubilizadas y en las posteriormente envejecidas. Para ello se utilizó un durómetro Brinell con 62,5 kg de carga y penetrador esférico de 2,5 mm de diámetro.

### 2. 3. Preparación de las muestras

Luego de cada proceso, se extrajo una muestra mediante la cual se observó en el microscopio óptico la microestructura de la aleación. Para ello, fue necesario preparar la muestra. En primer lugar se extrajo una parte del material, el cual se desbastó mediante lijas de diferentes granulometrías, comprendidas desde 80 a 2000. Luego se pulió en paño con pasta de diamante de 6  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ . Finalmente se atacó con dos reactivos, los cuales son Reagent Graff y Keller con los tiempos correspondientes según el proceso al que fueron sometidas. Todas las micrografías observadas respetan el citado procedimiento.

**Tabla 1.** Composición de Reagent Graff.

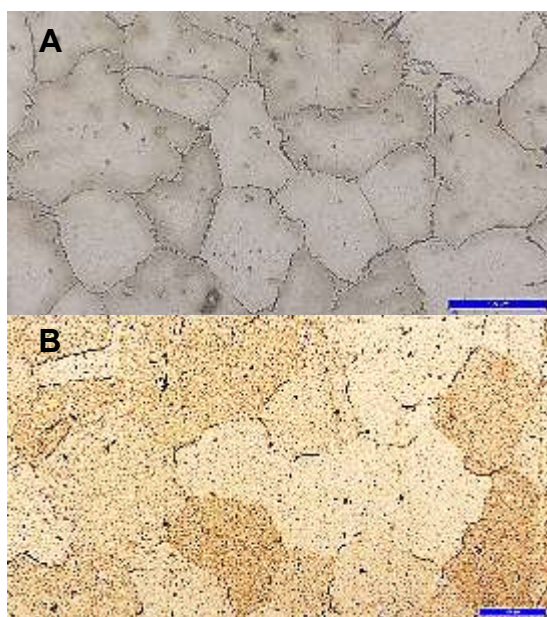
Componente	Cantidad
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 gr
H <sub>2</sub> O	84 ml
HF	0.5 ml
HNO <sub>3</sub>	15.5 ml

**Tabla 2.** Composición de Keller.

Componente	Cantidad [ml]
HCl	15
H <sub>2</sub> O	50
HF	10
HNO <sub>3</sub>	25

### 3. Resultados y Discusión

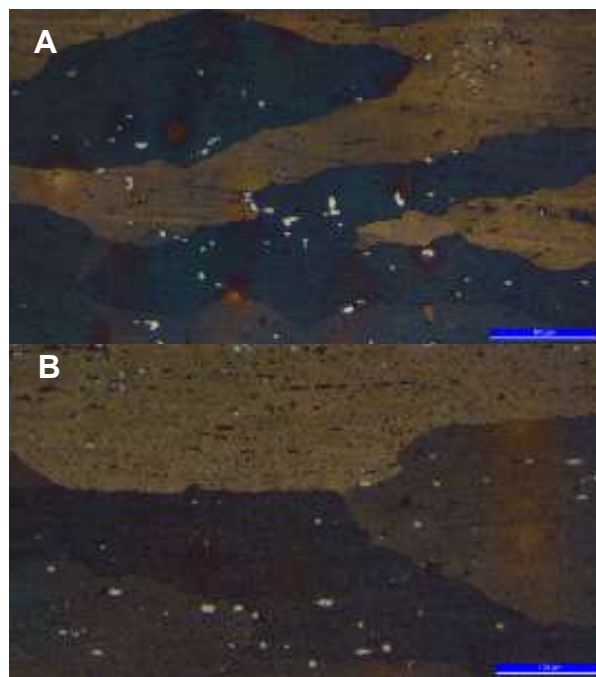
En primer lugar se observaron las muestras en condición de colada (Fig 1A y Fig 1B) y luego de realizarle el homogeneizado durante 21 horas a 520  $\pm$  5  $^{\circ}\text{C}$ , se observó la disolución de la segunda fase (Al<sub>2</sub>Cu) [4] ubicada en el límite de grano.



**Figura 1.A.** Muestra de colada. **B.** Muestra homogeneizada. Aumento 20 x.

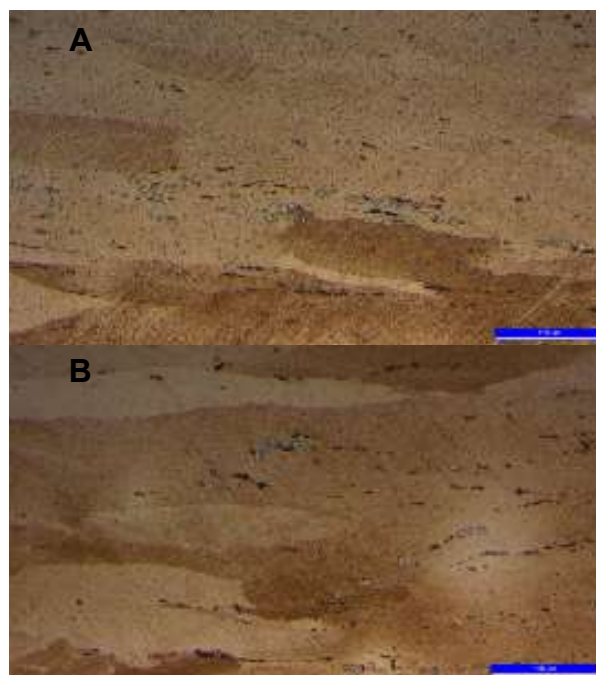
Luego de la laminación en caliente se obtuvieron las micrografías que se muestran en la Figura 2, en las

cuales se observan granos deformados en la dirección de laminación del material.



**Figura 2.A.** Muestra de placa A. **B.** Muestra de placa B. Aumento 20 x.

Para continuar se realizó la laminación en frío obteniéndose la microestructura mostrada en la Figura 3.

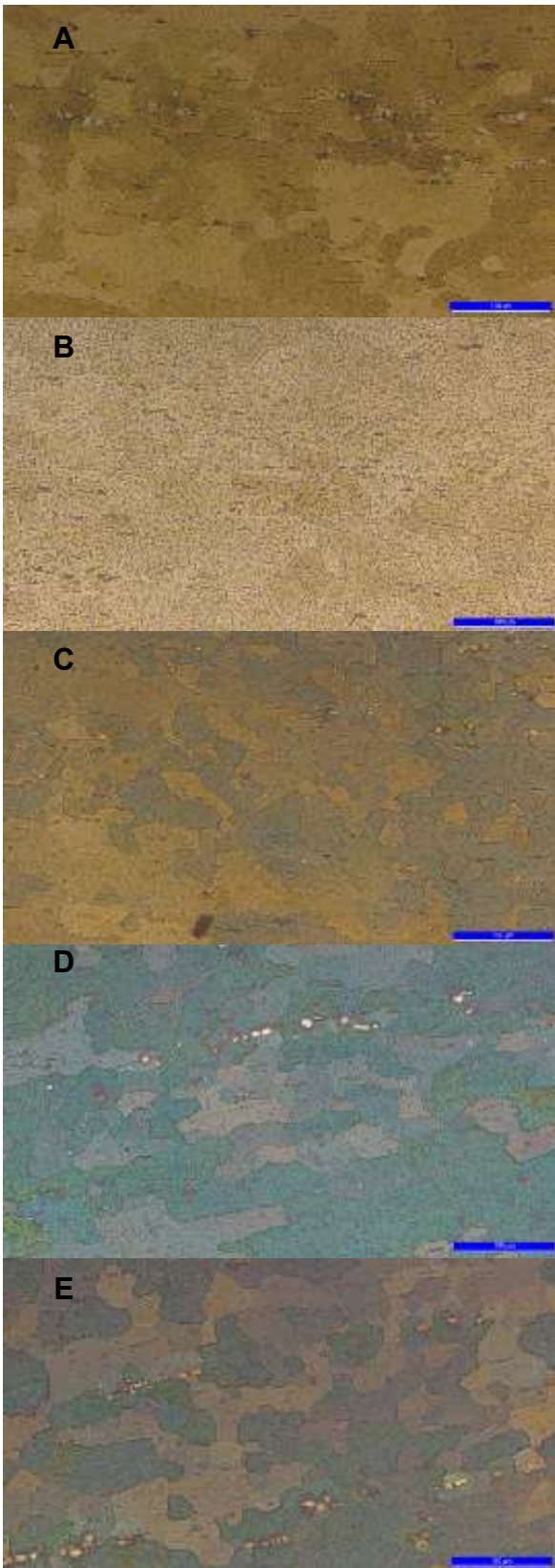


**Figura 3.A.** Muestra de placa A laminada en frío hasta 5 mm. **B.** Muestra de placa B laminada en frío hasta 5 mm. Aumento 20 x.

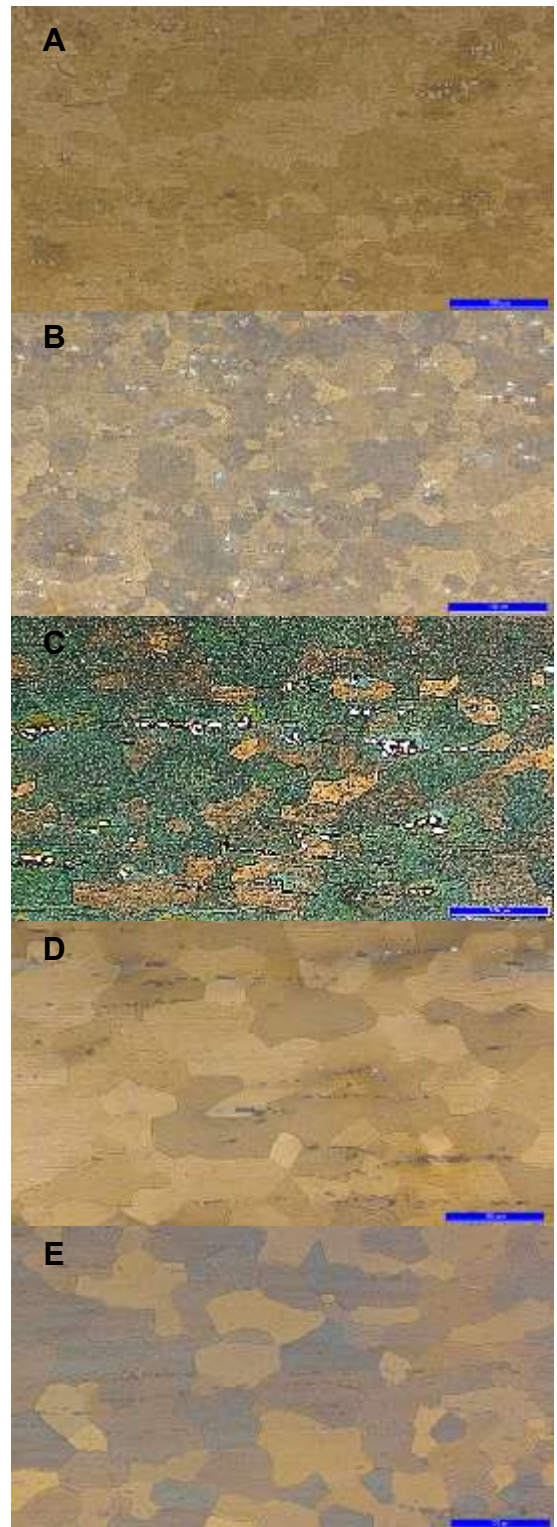
Los solubilizados se realizaron a las muestras de las placas A y B con posterior enfriamiento en agua, su resultado puede observarse en las Figura4, para la



placa A, mientras que en la Figura 5 se muestran las microestructuras obtenidas a partir de la placa B.



**Figura 4.** Placa laminada en caliente hasta 8 mm y en frío hasta 5 mm, con solubilizado: **A.** 15 min. **B.** 30 min. **C.** 45 min. **D.** 60 min. **E.** 120 min. Aumento 20 x.



**Figura 5.** Placa laminada en caliente hasta 9 mm y en frío hasta 5 mm, con solubilizado: **A.** 15 min. **B.** 30 min. **C.** 45 min. **D.** 60 min. **E.** 120 min. Aumento 20 x.

Como puede observarse en las figuras anteriores, el material en estudio recrystaliza rápidamente ya que en las primeras micrografías se observa un grano equiaxiado si se los compara con aquellos deformados plásticamente en frío. Por otro lado, no se observa diferencia entre las muestras tratadas térmicamente entre 60 y 120 minutos.

En la Figura 6 se pueden observar las medidas de dureza Brinell promedio luego del solubilizado en ambas placas.

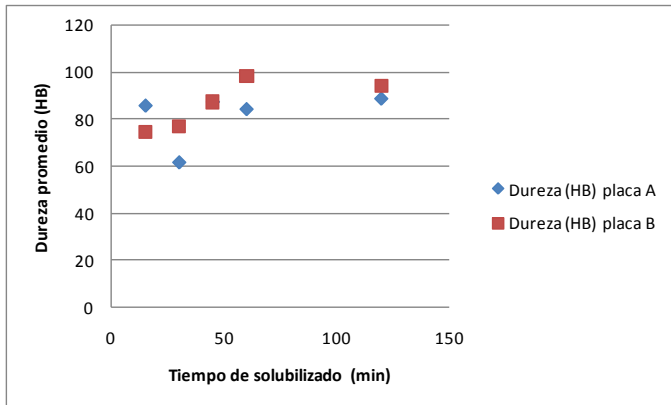


Figura 6. Medidas de dureza promedio para los diferentes tiempos de solubilizados para las placa A y B.

Finalmente se realizó el envejecido de las placas A y B, se obtuvieron los resultados de dureza promedio que se pueden observar en las Figuras 7 y 8.

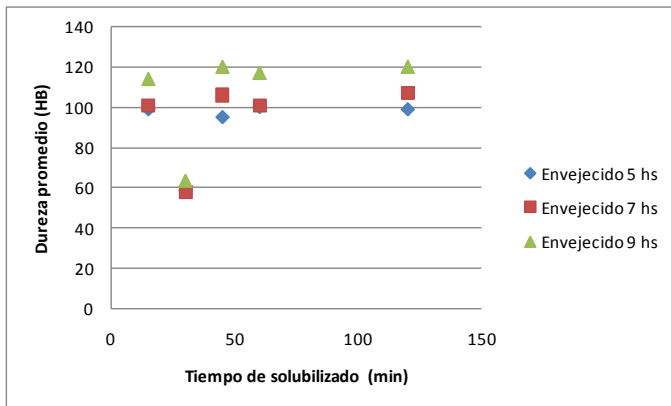


Figura 7. Medidas de dureza promedio luego de los envejecidos para las muestras provenientes de la placa A.

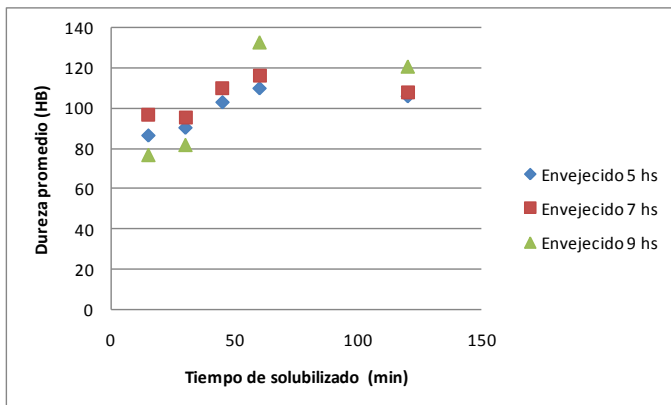


Figura 8. Medidas de dureza promedio luego de los envejecidos para las muestras provenientes de la placa B.

En las figuras anteriores se denota un aumento de la dureza promedio si se comparan con la Figura 6, este incremento se asocia al efecto que ejercen los

precipitados de segunda fase ( $Al_2Cu$ ) en la matriz de aluminio.

Por otro lado, la placa A tiene una deformación en frío inferior a la placa B, lo que le origina una dureza promedio inferior ya que esta influencia se mantiene a nivel microestructural durante todo el procesado posterior, quedando por debajo de la muestra B.

#### 4. Conclusiones

Si bien este trabajo se enmarca en un proyecto de mayor amplitud y, es por ello, que se trabaja con espesores predeterminados se puede afirmar:

1. Con las deformaciones en frío realizadas, y posteriores solubilizados a  $520 \pm 5 \text{ }^\circ C$ , se obtiene la recristalización completa del material hasta con los menores tiempos empleados.
2. No se observa un crecimiento de grano excesivo en ninguna de las placas estudiadas al incrementar los tiempos del solubilizado. Esto puede asociarse a que la aleación en estudio tiene elementos aleantes en solución que actúan de anclaje al crecimiento de grano. Esta última característica es beneficiosa ya que al poder realizar solubilizados de mayor tiempo se garantiza poder retener en solución más cantidad de  $Al_2Cu$  que es la fase endurecedora de esta aleación.
3. Analizando el material al final de todos los tratamientos termomecánicos efectuados se concluye que las mejores propiedades mecánicas fueron obtenidas a partir de la placa B (placa con mayor deformación plástica en frío), con un solubilizado de 60 minutos a  $520 \pm 5 \text{ }^\circ C$ , y posterior enfriamiento en agua, con envejecido de 9 horas, alcanzando un valor de dureza promedio de 133 HB.
4. Se destaca que no se observan cambios, tanto a nivel microestructural como de propiedades mecánicas, entre los solubilizados de 60 y 120 minutos, por lo cual se recomienda, por cuestiones principalmente de costos, realizar el tratamiento de menor tiempo entre ambos.
5. Con los envejecidos las durezas promedio aumentan entre un 10 y un 40%.

#### Bibliografía

- [1] J. H. Adams, M. Ammons, y otros. En *ASM Handbook* Vol. 2, ASM International, 2da. Edición (1992).
- [2] R. Menezes Nunes, G. J. Abbaschian, y otros. En *ASM Handbook* Vol. 15, ASM International, 2da. Edición (1992).
- [3] R. Menezes Nunes, T. Arai, y otros. En *ASM Handbook* Vol. 4, ASM International, 1ra. Edición (1991).
- [4] G. E. Totten, D. S. MacKenzie, En *Handbook of Aluminum* Vol. 1. "Physical, metallurgy and processes". Marcel Dekker Inc., 10ma Edición (2003).