

# EL ALUMINIO Y SU APLICACIÓN AL GRABADO

## *Aluminum Engraving*

Francisco LÓPEZ ALONSO\*  
Universidad de Zaragoza

### **Resumen**

El aluminio es un material blando, versátil, de incisión cómoda para grabar y muy ligero; con una densidad de 2,7 g/cm<sup>3</sup>, las planchas pesan menos de la tercera parte que las de cobre, acero y zinc. Su empleo en grabado es muy útil tanto con planchas de aluminio puro como en aleaciones. Se obtienen los mismos registros que con metales tradicionales y otros como resultados fotográficos exclusivos. Tiene otras ventajas como la nula reacción de las tintas con el metal en la estampación. Permite la impresión con el método Lasansky de un número alto de ejemplares. Destacan las placas de artes gráficas por la versatilidad de sus resultados. Son dúctiles, ligeras y de fácil transporte, recorte, collage y perforación. En impresión en plano presenta algunas ventajas respecto a la litografía.

*Palabras clave:* aluminio, grabado, método Lasansky, artes plásticas, grabado experimental.

### **Abstract**

Soft material with a comfortable incision to work it. By its nature it is very light. It has a density of 2,7 gs/cm<sup>3</sup>, and the plates weigh less than the third part that those of copper, steel and zinc. It is very useful to work with it in engraving as much with pure aluminum plates as with alloys plates. We get the same results with this process than with traditional metals and others as exclusive photographic results. It has other advantages such as zero reaction with the metal inks in printing. It allows printing with the Lasansky method with a high number of copies. The plates of graphical arts stand out by the versatility of its results. The plates are drilling. Printing in plane it has advantages with regard to lithography.

*Key words:* aluminum, engraving techniques, Lasansky method, plastic arts, experimental engraving.

---

\* Doctor en Bellas Artes, Grabado. Departamento de Expresión Musical, Plástica y Corporal, Facultad de Ciencias Sociales y Humanas, Universidad de Zaragoza. Correo electrónico: flopeza@unizar.es. Fecha de recepción del artículo: 20 de octubre de 2007. Fecha de aceptación: 22 de noviembre de 2007. Versión final: febrero de 2008.

## 1. INTRODUCCIÓN

Generalmente se emplea cobre y zinc para grabar, aunque los resultados que ofrece el aluminio son muy interesantes. Están surgiendo gran cantidad de técnicas y soportes nuevos que favorecen el aumento de registros experimentales, como sucede con este metal. Representa la aparición de recursos que con otros medios no son posibles y los diferentes procesos permiten la combinación entre soportes que fomentan la originalidad y creatividad. La facilidad de transporte y manipulación, su baja densidad y su precio en el mercado en comparación con el cobre y el zinc son algunas de las ventajas que lo hacen idóneo para grabar.

## 2. ANTECEDENTES DEL GRABADO Y ALUMINIO

La nula aplicación de este metal al grabado y la carencia de estudios, se debe a que en 1821<sup>1</sup> es la fecha en la que el aluminio se consigue obtener por primera vez del mineral de bauxita mediante electrolisis para la construcción de piezas, aunque no se logra ejecutar satisfactoriamente hasta 1953. Desde entonces se comienzan a desarrollar nuevos materiales y aproximadamente dos décadas después, se establece un grupo de aleaciones ligeras compuestas principalmente de aluminio que mejoran las cualidades del producto final. Su aplicación es muy reciente y se utiliza como plancha en artes gráficas desde 1950.

El cobre, mucho más antiguo, ha sido empleado desde antes de la aparición de la escritura. Hace 8.000 años los egipcios lo fundían y lo utilizaban para hacer herramientas y durante la Edad de Cobre, sobre el año 5000 a. C., se atestigua que se empleo y en la época de los romanos, en el reinado del emperador Augusto sobre el 1000 a. C. se le dio uso en la fabricación de monedas de latón. Después, unos 1000 años más tarde, cedió terreno al hierro. El zinc, empleado como aleante del cobre hace más de 2.000 años, se comenzó a fundir sobre el 1500 en India y China, y de allí fue exportado por los portugueses a Europa en el año 1600<sup>2</sup>. En 1869, cuando todavía no se fabricaban productos de aluminio, en Estados Uni-

- 
1. C. S. de Magarola y J. Beltrán, *Aluminium-Taschenbugh*, Dusseldorf, Aluminium Verlag GMBH, 1992.
  2. *Enciclopedia de Tecnología Química*, V. 4, México, Hispano Americana, 1962. pp. 577-625; F. R. Morral, E. Jimeno y P. Molera, *Metalurgia general*, I y II, Barcelona, Reverte, 1985; J. M. de la Poza Lleida, *El Aluminio: Características y aplicaciones*, Barcelona, Oikos-tau, 1991, pp. 11-24; A. P. Guliaev, *Metalografía*, tomo 2, Moscow, Mir, 1977, pp. 259 ss., 286 ss.

dos se producían unas 6.000 toneladas y en 1896 más de 45.000 t. En 1877, en las minas de Río Tinto en España, se llegó a una obtención de 25.000 t. En la actualidad, el consumo del cobre ha bajado y se sitúa cada vez más alejado del hierro y aluminio<sup>3</sup>.

En el último siglo, ha evolucionado enormemente la sociedad, las artes y la industria. Estos cambios se han aplicado a conocimientos científicos, químicos, electrónicos, mecánicos y a otros aspectos de la sociedad para mejorar la calidad de vida. El aluminio contribuye sustituyendo a otros materiales en la fabricación de productos y, de la misma manera, puede implantarse en grabado, al igual que el metal reemplazo los tacos de madera a finales del siglo XV, divulgándose el floreciente medio y las estampas sobre cobre desde el principio de la incursión del proceso<sup>4</sup>.

Un cambio similar sufrió el arte cuando las vanguardias tomaron el relevo generacional con las nuevas propuestas, como el diseño, la fotografía como modalidad artística, donde se dan unas innovaciones aplicables a la expresión plástica, adecuadas para las manifestaciones artísticas.

El término grabado deriva del griego «graphein» = escribir, y abarca en su acepción más amplia la transposición de formas a un sistema de líneas, puntos y planos. Es el paso de una idea a la creación artística libre sobre un soporte generalmente metálico, para obtener estampas sobre papel.

### 3. EL ALUMINIO

Pertenece al grupo de metales y dentro de este al de aleaciones ligeras. Son materiales que a temperatura ambiente, excepto el mercurio, son cuerpos sólidos, de aspecto brillante, buenos conductores eléctricos y térmicos, con resistencia alta, buena rigidez, ductibilidad y resistencia al impacto. Son útiles en trabajos de aplicaciones estructurales o de carga. Están formados por estructuras poliédricas complejas, separadas con superficies denominadas límite de grano.

---

3. P. Molera Sola, *Tratamientos térmicos de los metales*, Barcelona, Marcombo, 1991, pp. 113-118.

4. *Diccionario del Dibujo y la Estampa*, Madrid, Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, 1996; Michel Melot et alii, *El grabado*, Barcelona, Skira-Carroggio, 1981; T. Elexpuru, *Las resinas sintéticas y su aplicación al grabado*, Bilbao, Bilbao Bizkaia Kutxa, 1995; M. Rubio Martínez, *Ayer y hoy del grabado y sistemas de estampación*, Tarragona, Tarraco, 1979; Arthur M. Hind, *A History of Engraving and Etching from the 15th. Century to the year 1914*, New York, Dover, 1963, pp. 106 ss.; J. A. Ramírez, *Medios de Masas e historia del Arte*, Madrid, Cátedra (Cuadernos de Arte), 1997, pp. 27- 29.

En muchas ocasiones el aluminio se combina con otros metales formando aleaciones que aunque sean en cantidades muy bajas, siempre mejoran las cualidades del material. Existe una gama muy amplia, cada una preparada especialmente para una finalidad.

La microestructura de los metales está compuesta por muchos granos, que son una porción de material dentro del cual la composición es idéntica. La frontera de grano es la superficie que separa las partículas de metal. Es una zona donde los átomos no están correctamente repartidos, esto quiere decir que en algunos lugares están más juntos de lo normal, creándose una región de compresión, y en otros están más alejados creando una región de tensión. Por eso dos materiales idénticos pueden comportarse de modo diferente y pueden tener aspecto distinto<sup>5</sup>.

#### 4. ALEACIONES

El aluminio y las aleaciones ligeras conforman una serie de materiales nuevos y versátiles que pueden enriquecer el lenguaje gráfico. Supone un interés por la posibilidad de su aplicación a la gráfica, las artes plásticas y en concreto, al grabado con matrices de aluminio.

Un metal o aleación en estado sólido es un agregado coherente de los granos o cristales de las distintas fases presentes. La forma, tamaño, distribución y proporción de cada fase, que tanto importan a las propiedades del sistema, dependerá: a) de la composición del sistema; b) de las reacciones que tengan lugar durante la solidificación; c) de las reacciones que puedan verificarse, una vez en estado sólido, durante el enfriamiento subsiguiente; d) del trabajo mecánico y tratamiento térmico a que se halla sometido posteriormente el metal o aleación. (F. A. Calvo, *Metalografía Práctica*, Madrid, Alambra, 1972).

Es la adición de uno o más compuestos metálicos agregados generalmente a un metal por fusión, para formar un compuesto secundario que es la aleación. Su función es mejorar algunas de las propiedades del metal puro que dependen del elemento con el que se alee<sup>6</sup>.

Desde la Revolución Industrial, hasta la Primera Guerra Mundial, el acero fue el metal mayoritariamente empleado para fabricar piezas metáli-

---

5. W. D. Callister, *Ciencia de los Materiales*, Barcelona, Reverte, 1995-1996.

6. W. D. Callister, *Ciencia de los Materiales*, Barcelona, Reverte, 1995-1996; F. A. Calvo, *Metalografía Práctica*, Madrid, Alambra, 1972; *Nueva Enciclopedia Larousse*, Barcelona, Planeta, 1988, p. 265; J. R. Davis, ed., *Aluminum and Aluminum Alloys*, Materials Park Ohio, ASM International (ASM Speciality Handbook), 1996.

cas. A partir de 1914 comienza el desarrollo del aluminio, alcanzando en poco tiempo un crecimiento enorme por las excelentes prestaciones y por su mantenimiento. En poco tiempo se instaura tanto en el sector automovilístico como en la industria aeronáutica. La fabricación de piezas de aleaciones de aluminio, ofrece una *reducción de peso, buenas prestaciones, resistencia a la corrosión, así como el ahorro en pintura y mantenimiento*<sup>7</sup>.

## 5. HISTORIA

El aluminio es el segundo metal más abundante sobre la superficie de la tierra después del silicio (26,5%) y dobla la cantidad de hierro<sup>8</sup>. Su porcentaje en la corteza terrestre es aproximadamente del 8,13% y la fabricación se centra en la obtención de criolita y bauxita, de la que se extrae aproximadamente el 90% de aluminio, compuesta por óxido de aluminio, hierro y ocasionalmente óxido de silicio y otros compuestos procesados para la obtención del metal<sup>9</sup>.

El motivo principal por el que no se ha investigado sobre la utilidad y las aplicaciones del aluminio a las artes plásticas es por la relativa corta vida del material ya que su hallazgo data del primer cuarto del siglo XIX. Su origen se remonta a comienzos del siglo XIX, cuando Sir Humphrey Davy en 1807 tiene los primeros indicios de que de la combinación de alúmina junto con el oxígeno se extrae el metal de aluminio. Su investigación derivó en la obtención de una aleación ligera con hierro<sup>10</sup>. De manera paralela, Charles Martin Hall intentó obtener aluminio a través de procesos electroquímicos. Logró abaratar costes pues producirlo entonces era más caro que

- 
7. C. del Pino Vaquero, *Estudio tribológico de materiales compuestos con matriz de aluminio reforzados con cerámicos*, Madrid, Universidad Carlos III, Proyecto fin de carrera, Ingeniería Industrial, 2001, pp. 60 y 61; E. M. Ruiz Navas, *Materiales compuestos de matriz de aluminio reforzados con carburos. Optimización del proceso de obtención vía aleación mecánica*, Madrid, Universidad Politécnica, Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, 1999, pp. 35-38.
  8. Guliaev, *Metalografía*, 2, Moscú, Mir, 1977, pp. 222-225; F. King, *El aluminio y sus aleaciones*, México, Limusa, 1992, pp. 13-33.
  9. K. G. Budinski, *Engineering materials. Properties and selection*, New Jersey, Prentice Hall, 1979; F.R. Morral, E. Jimeno y P. Molera, *Metalurgia general*, 1, Barcelona, Reverte, 1982, pp. 405 ss.; C. del Pino Vaquero, *Estudio Tribológico de materiales compuestos con matriz de aluminio reforzados con cerámicos*, Proyecto fin de carrera, Ingeniería Industrial, Madrid, Universidad Carlos III, 2001, p. 52; W. F. Smith, *Structure and properties of engineering alloys*, New York, McGraw-Hill, 1981, pp. 176-182; <http://www.aughinish.com/manufacturing.html>; J. M. de la Poza Lleida, *El Aluminio: Características y aplicaciones*, Barcelona, Oikos-tau, 1991, pp. 17-24.
  10. F. Cardarelli, *Materials handbook. A concise desktop reference*, London, Springer, 2001, pp. 45-51.

la plata o el oro. Hoy día sigue siendo complicado obtener aluminio químicamente puro 99,99%. Actualmente se utilizan los procedimientos para la extracción del metal que en el siglo pasado y los mismos tratamientos industriales para fabricación de piezas aunque mejorados notablemente.

Desde hace varias décadas las aleaciones ligeras están en pleno auge y cada vez tienen más cabida en el mercado. Generalmente el aluminio se emplea aleado con compuestos metálicos porque su fragilidad en estado puro lo hace inútil para casi todas las aplicaciones.

## 6. PROPIEDADES

Se encuentra en forma de silicato de aluminio y pertenece a los metales no féreos. Tiene unas cualidades excelentes, es de aspecto y color blanco brillante similar al color plata. Es blando y antimagnético, tiene multitud de aplicaciones y fácil mecanización, es inodoro, inocuo e insípido. Débil a la resistencia mecánica y puede laminarse en capas tan finas como el pan de oro, hasta un espesor de 0,0004 mm (0,4  $\mu$ )<sup>11</sup>. Es muy fácil de trabajar y por su acabado con autoprotección externa, en muchas ocasiones no necesita aplicación de productos anticorrosivos, es económico y tiene una elevada relación resistencia-peso como principal ventaja<sup>12</sup>. De baja densidad 2,7 g/cm<sup>3</sup>, es muy ligero<sup>13</sup>, casi un tercio del hierro (densidad 7,87 g/cm<sup>3</sup>), siendo el peso una de las ventajas para trabajar con él. El único metal industrial con menos densidad es el magnesio<sup>14</sup>, con peso específico 1,74 g/cm<sup>3</sup>. Físicamente es electropositivo, con buenas condiciones eléctricas y térmicas, aunque le supera el cobre con un 40%. Su resistencia a la fatiga no es buena y se traduce en roturas por dobleces repetidos de las matrices si son demasiado finas.

---

11. J. F. Jiménez Colina, *Optimización de la sinterización con fase líquida de la aleación de aluminio AA2014 mediante la adición de trazas de Al-12Si*, Madrid, Universidad Carlos III, Proyecto fin de carrera, Ingeniería Industrial, 2004, pp. 9 ss.

12. J. R. Davis, ed., *Aluminum and Aluminum Alloys*. Materials Park Ohio, ASM International, 1996.

13. K. G. Budinski, *Engineering materials. Properties and selection*, New Jersey, Prentice Hall, 1979, pp. 571-577. J. R. Davis, ed., *Aluminum and Aluminum Alloys*. Materials Park Ohio, ASM International, 1996, pp. 3-7, 641-643; F. R. Morral, E. Jimeno y P. Molera, *Metalurgia general*, I y II, Barcelona, Reverte, 1985, pp. 405-409; I. J. Polmear, *Light alloys: Metallurgy of the light metals*, London, Edward Arnold, 1989, 2nd edition, pp. 1, 3 y 8; W. F. Smith, *Structure and properties of engineering alloys*, New York, McGraw-Hill, 1993, pp. 176-182.

14. F. King, *El aluminio y sus aleaciones*, México, Limusa, 1992, pp. 13-33 (13: pp. 45-51.), (15: pp. 3-7, 641-643).

Tiene una inmejorable relación calidad/precio, los costes de producción se abaratan por la poca energía que se necesita para llegar a la temperatura de fusión y por su ductibilidad. La temperatura de ebullición es alta y le hace muy apropiado para aleaciones y fundición. Cristaliza en red FCC o CCC<sup>15</sup>.

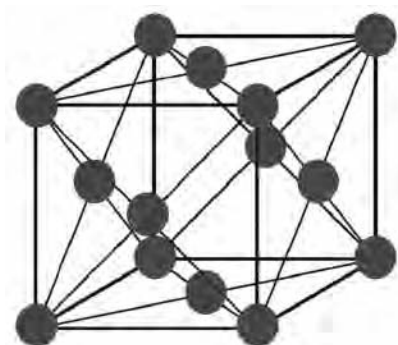


Figura 1. Estructura del aluminio. Cúbica Centrada en las Caras (CCC)

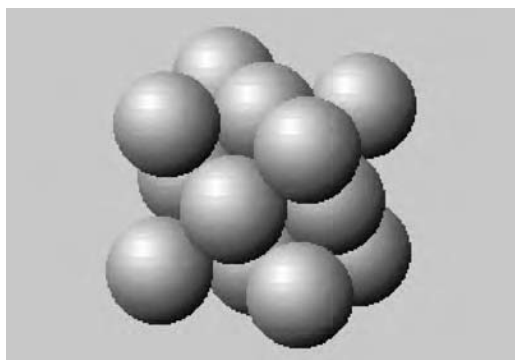


Figura 2. Modelo de Esferas Rígidas (CCC). Estructura que presenta el aluminio

Su límite elástico es bajo y no le hace adecuado para aplicaciones donde las piezas están sometidas a grandes esfuerzos. El aluminio químicamente puro tiene de un 0,0002 a 0,0005% de hierro e idéntica cantidad de

---

15. D. Hull, *Materiales Compuestos*, Barcelona, Reverte, 1987, p. 8.

silicio, cobre, zinc o magnesio. Estos porcentajes no se consideran aleación sino impurezas propias de la laminación y proceso de pulido del metal<sup>16</sup>.

Sus propiedades mecánicas son excelentes. Tiene altas prestaciones, es buen conductor de la temperatura y electricidad, es dúctil, maleable y fácilmente reciclable.

Su punto de fusión en estado puro es 660°C, temperatura baja en comparación con la de los aceros, que funden entre 1.200°C y 1.600°C. Esto repercute en el precio final del metal reduciendo costes, pues al emplearse menos energía para fundirlo resulta más económico<sup>17</sup>.

Metal	Símbolo	Densidad g/cm <sup>3</sup>	(lb/plg <sup>3</sup> )	Resistencia a la tensión (psi)	Resistencia específica (plg)
Aluminio	Al	2,70	(0,097)	83.000	8,6 x 10 <sup>5</sup>
Berilio	Be	1,85	(0,067)	55.000	8,2 x 10 <sup>5</sup>
Cobre	Cu	8,93	(0,322)	150.000	4,7 x 10 <sup>5</sup>
Plomo	Pb	11,36	(0,410)	10.000	0,2 x 10 <sup>5</sup>
Magnesio	Mg	1,74	(0,063)	55.000	8,7 x 10 <sup>5</sup>
Níquel	Ni	8,90	(0,321)	180.000	5,6 x 10 <sup>5</sup>
Titanio	Ti	4,51	(0,163)	160.000	9,8 x 10 <sup>5</sup>
Tungsteno	W	19,25	(0,695)	150.000	2,2 x 10 <sup>5</sup>
Zinc	Zn	7,13	(0,257)	75.000	2,9 x 10 <sup>5</sup>
Hierro	Fe	7,87	(0,284)	200.000	7,0x10 <sup>5</sup>

Tabla 1. Comparativa de densidad y resistencia del aluminio y otros materiales<sup>18</sup>

16. J. M. de la Poza Lleida, *El Aluminio: Características y aplicaciones*, Barcelona, Oikostau, 1991, p. 22; *Enciclopedia de Tecnología Química*, vol. 4, México, Hispano Americana, 1962, pp. 55-106; F. R. Morral, E. Jimeno y P. Molera, *Metalurgia general*, I y II, Barcelona, Reverte, 1985, p. 1213.

17. F. King, *El aluminio y sus aleaciones*, México, Limusa, 1992.

18. D. R. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, México, Iberoamericana, 1987, p. 367.



### *Dureza del aluminio*

Es una de las cualidades más importantes, porque de ella depende el número de ejemplares que se pueden editar. La escala de durezas Brinell muestra la dureza de diferentes metales, entre ellos el aluminio, latón, zinc y cobre, empleados en grabado. La escala establece el aluminio como más duro y resistente por fricción al desgaste que el zinc. Igual que el cobre y zinc las aleaciones ligeras, excepto aluminio anodizado y lacado, se pueden cromar, niquelar y acerar entre otros endurecimientos superficiales.

Estos acabados son finos revestimientos aplicados por baños electro-líticos generalmente de tres micras de espesor, que no modifican el grabado y recubren el metal, sin alterar la imagen. Endurecen la placa, haciéndola más resistente a la fricción, para lograr un mayor número de ejemplares y protege de posibles oxidaciones ambientales. Con el endurecimiento la porosidad superficial se recubre y la limpieza en el entintado es más cómoda, reduciéndose el tiempo con cada tinta.

METAL PLANCHAS	DUREZAS BRINELL MECANIZADO O FUNDIDO
ORO	6
ZINC	40 - 50
PLATA	25 - 75
ALUMINIO	52
COBRE	40 - 100
HIERRO	75 - 125
BRONCE FUNDIDO	98
BRONCE	127
LATÓN	75 - 140
NIQUEL	75 - 300
NIQUELADO DURO	150 - 200
ACERO BLANDO	280
ACERO DURO	900
CROMO DURO	900 - 1.200 <sup>2</sup>

Tabla 2. Escala de durezas Brinell.  
Muestra la dureza del aluminio y otros metales<sup>19</sup>

19. A. Paricio Latasa, *La plancha grabada. Recubrimientos electrogalvánicos*, Madrid, UCM, Tesis doctoral, 1984, p. 46.

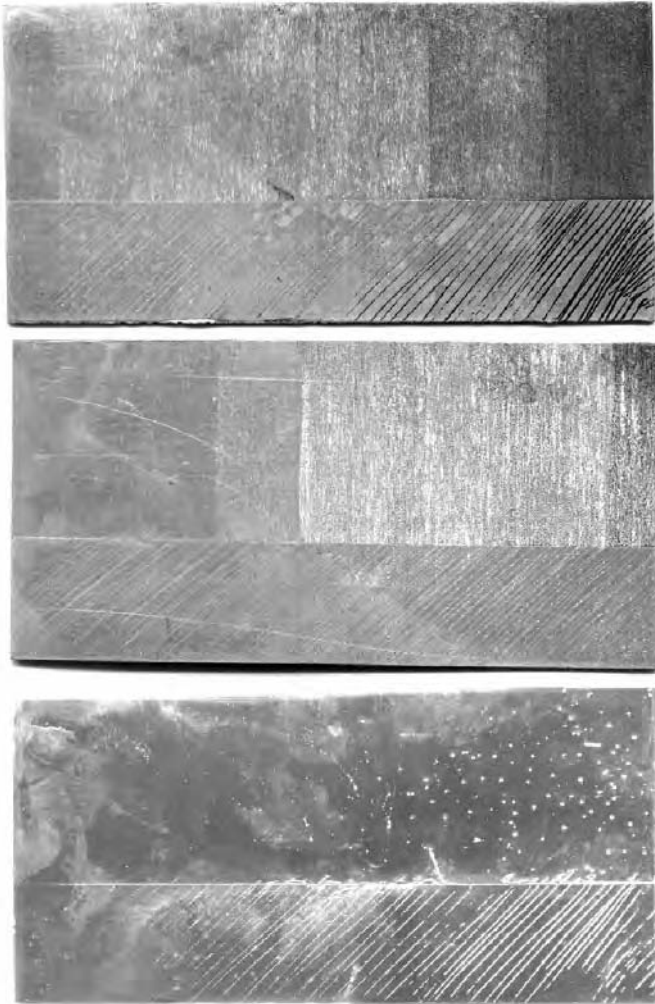


Figura 3. Cromado y niquelado de placas de aluminio.

Figura superior: Cromado de 3 m de espesor aplicado sobre una placa de aluminio puro de 63 x 125 mm de superficie

Figura central: Cromado de 15 m de espesor aplicado sobre una placa de aluminio puro de 6,3 x 12,5 mm de superficie

Figura inferior: Niquelado de 3 m de espesor aplicado sobre una placa de aluminio puro de 6,3 x 12,5 mm de superficie

## 7. RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES DEL ALUMINIO: ALUMINA Y BOHMITA

Con los recubrimientos electroquímicos se consigue un endurecimiento del metal que protege la superficie matriz de rayones, marcas y la humedad, que es el principal causante de la corrosión.

El aluminio es muy reactivo aunque estable a la corrosión y resistente, está protegido por una capa de óxido natural, formada por la reacción del oxígeno con el metal. Esta película es conocida como óxido de aluminio o alúmina, de composición  $Al_2O_3$ , tiene un mínimo de 99,6% de aluminio. Es de color blanco y aspecto semejante a la sal común y está constituido por células hexagonales yuxtapuestas que impiden la corrosión<sup>20</sup>.

Es una película uniforme y que se genera fácilmente. Es pasiva, estable, compacta, insoluble en agua, con un espesor aproximado que oscila entre los 20 y 100 Armstrong (0,00001 mm), y de apariencia cristalina y traslúcida. Es un velo impermeable, inocuo y con un poder de adhesión al metal muy alto, lo que hace que le proteja de los agentes ambientales. Actúa también como agente inhibidor, por tanto, las aleaciones de aluminio se encuentran dentro de los metales resistentes a la corrosión.

Si la capa de protección es eliminada, se forma casi al instante una nueva de 0,0000001 mm de espesor, al cabo de unas horas vuelve a proteger perfectamente al aluminio y en un plazo de 10 a 30 días la capa presenta el mismo aspecto. La temperatura, el viento y la humedad hacen que se genere bohmita (película más gruesa), Fig. 4, que protege más aún el metal de la corrosión. Tiene un aspecto uniforme, incoloro, lechoso y sin poros, lo que le confiere una total impermeabilidad. Para la obtención de la película, se recomienda decapar el metal eliminando el tono brillante superficial originado en el proceso de laminación, que presenta una capa de óxido estable que impide la formación de la película sobre el metal.

Este proceso también es conocido como colmatado y sirve para endurecer el aluminio de manera manual por inmersión en agua caliente. Se puede hacer de los siguientes modos:

- a) Calentando el metal humedecido. De esta manera la protección de la plancha aumenta y adquiere mayor resistencia.

---

20. <http://www.alu-stock.es/tecnica/proteccion.html>

- b) Aplicando agua o vapor de agua se genera sobre el metal una capa que lo protege del desgaste y la erosión. La película formada es de mayor espesor cuanto mayor es la temperatura del agua<sup>21</sup>.

Esta película genera una protección ante oxidaciones superficiales, como las producidas por la humedad ambiente o las que se transfieren a la plancha con los dedos al manipularla. El acabado se puede generar aplicando agua hirviendo o vapor entre 100°C y 400°C sobre el metal, como muestra la Figura 4, y dejándolo actuar. Esta membrana crece con rapidez formando 100 veces más espesor que la originada de alúmina y hace que el aluminio imponga una resistencia a la corrosión de 10 a 40 veces mayor que con el óxido natural. Para evitar la oxidación del aluminio la capa debe tener un espesor de al menos 0,5  $\mu$ .

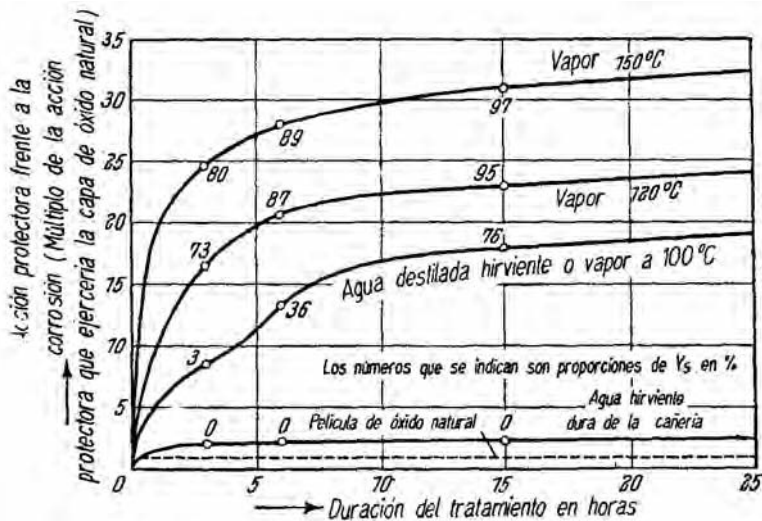


Figura 4. Representación esquemática de la acción protectora sobre la corrosión de las capas de böhmita sobre el aluminio puro<sup>22</sup>

21. D. A. Jones, *Principles and Prevention of Corrosion*, New York, Macmillan Publishing Company, 1992, pp. 13-33; A. P. Guliaev, *Metalografía*, Moscow, Mir, 1977, t. 2, pp. 222-225; V. M. Blázquez *et al.*, *Metalotécnica*, Madrid, Sección de Publicaciones de la UPM, 1993, pp. 385-403; F. Cardarelli, *Materials handbook. A concise desktop reference*, London, Springer, 2001, pp. 45-51; J. R. Davis, ed., *Aluminum and Aluminum Alloys*, Materials Park Ohio, ASM International, 1996, pp. 3-7 y 641-643.
22. C. S. de Magarola y J. Beltrán, *Aluminium-Taschenbugh*, Dusseldorf, Aluminium, 1992, p. 467.

## 8. OTROS TRATAMIENTOS

### 8.1. Endurecimiento del aluminio

Desde la década de los 50 hay varios modelos de endurecimiento para el aluminio y sus aleaciones, algunos de ellos bajo patentes y que hay que realizar con el uso de licencias. De entre los métodos más conocidos se encuentran el MBW, que sirve para tratar aleaciones sin cobre y el EW que protege al aluminio del desgaste y la erosión por frotamiento. Para recubrir el metal, la plancha debe ser uniforme, sin poros y de un mínimo espesor, ya que los metales utilizados para la protección son más estables que el aluminio y lo pueden oxidar<sup>23</sup>.

### 8.2. Cromado

Es el tratamiento más aplicado en grabado generalmente para endurecer cobre y zinc, por la resistencia con que recubre el metal, que puede alcanzar un endurecimiento de 1.400 en la escala de Brinell. Es muy utilizado para acabados decorativos.

### 8.3. Niquelado

Endurecimiento que se suele emplear debajo del cromoduro que tiene una dureza entre 150 y 200 en la escala Brinell. El acabado de la pieza es ligeramente amarillento similar al oro blanco y se puede aplicar en todos los espesores, aunque el recomendado son 3  $\mu$ . También se puede aplicar sobre aleaciones ligeras, aunque es preferible el cromado por la dureza que reporta<sup>24</sup>.

### 8.4. Fosfatado

Protección de las superficies metálicas mediante un baño de fosfatos. Realmente este tratamiento no endurece en gran medida el metal sino que se emplea generalmente para evitar oxidaciones atmosféricas. Se aplica sobre casi todos los metales y con menor frecuencia sobre aleaciones ligeras<sup>25</sup>.

---

23. C. S. de Magarola y J. Beltrán, *Aluminium-Taschenbugh*, Dusseldorf, Aluminium, 1992, pp. 473 y ss.

24. *Nueva Enciclopedia Larousse*, Barcelona, Planeta, 1988, vol. 14, p. 7.013.

25. C. S. de Magarola y J. Beltrán, *Aluminium-Taschenbugh*, Dusseldorf, Aluminium, 1992, pp. 465 y ss.

### 8.5. Bayerita

Método de protección formado al contrario que la böhmita, al aplicar agua fría sobre aluminio y dejándola reposar.

### 8.6. Adhesivos

Existen adhesivos con gran poder de unión, que cumplen unas exigencias máximas y se pueden emplear para encolar matrices, recortes de metales o elementos sueltos. Estos pegamentos se emplean en grabado sobre aluminio para técnicas aditivas, collagraph y variantes.

El mercado ofrece multitud de productos que permiten la unión de elementos plásticos y metálicos sobre aluminio. Existen fabricantes de este tipo de productos que no responden con total fiabilidad en aplicaciones a grabado, no sólo con aluminio, sino también con otros metales, porque al estampar, la presión del tórculo en sucesivas pasadas, hace que un ensamblaje se deteriore. En uniones de piezas metálicas de grande formato se tiene que reforzar el metal por detrás con una madera o soporte rígido. Se debe evitar que las planchas sufran cargas de tracción, manteniéndolas siempre en posición horizontal sin que estén sometidas a tensiones que repercutan en la aparición de grietas y en desprendimiento del material. En matrices creadas con adhesivos, soldaduras, aditivas, ready-made, taladros y variantes, los añadidos están condicionados a un máximo espesor, y los bordes de las planchas y objetos adheridos tienen que estar biselados para evitar cortes de las mantas en la estampación o la rotura del papel por la presión.

Los adhesivos más frecuentes son: Pegamentos de dos componentes y Barniz de poliuretano. El primero es específico para uniones y soldaduras de metal en frío y ofrece buenos resultados. El barniz de poliuretano, sirve para proteger y puede utilizarse para preservar las planchas. Hace de aislante, mantiene las formas unidas y las protege de posibles levantamientos. Impermeabiliza la superficie y la dota de mayor dureza y resistencia<sup>26</sup>.

---

26. C. S. de Magarola y J. Beltrán, *Aluminium-Taschenbugh*, Dusseldorf, Aluminium, 1992, pp. 389 y ss.

## 8.7. Soldadura, corte y taladrado

El aluminio, por sus cualidades, permite la soldadura, el corte, cincelado y taladrado, como técnicas de trabajo directas por la facilidad con la que se transforma el metal. Uno de los grabadores que presentó en su obra estos resultados fue el alemán Rolf Nesch, que realizó durante la Segunda Guerra Mundial fastuosos trabajos con recortables y soldadura. Su obra grabada es lo más importante y las imágenes que presentó entonces eran novedad. Grabó planchas atravesándolas con ácido, soldó metales e hizo trabajos con superposición de cables y ensamblajes de todo tipo, que el aluminio también permite.

Una particularidad del arte de Nesch es que además de imprimir el color sobre el papel también consigue un efecto de relieve muy interesante; los alambres de cobre y los pedazos de metal se destacan claramente en la superficie de la plancha. En otra fase de trabajo donde las planchas constituyen la integridad de la obra, superpone sobre el soporte principal, trozos de espejo, vidrio coloreado, madera, corcho, clavos, rejillas y malla metálica. Decía que si se pueden hacer cosas sobre la plancha, también se puede quitar algo, *quita pues con la sierra lo que no te haga falta*<sup>27</sup>.

El aluminio se recorta fácilmente tanto si tenemos placas de offset de cualquier grosor como otras que no superen el milímetro de espesor. Se

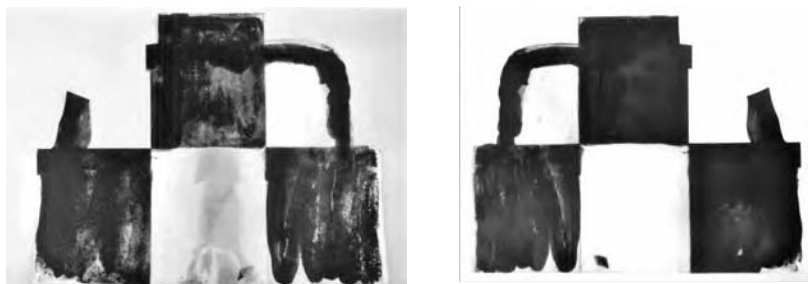


Figura 5. *Sin título*, Francisco López Alonso

Grabado al aguainta y recorte de matriz. A la izquierda, recorte de matriz de artes gráficas, formato 5650 x 700 mm. A la derecha, estampación calcográfica a una tinta. Negro de offset de secado lento y purpurina plata sobre papel Súper Alfa, formato 700 x 1000 mm

27. Catálogo de la exposición *Cinco decenios de obra gráfica en Rolf Nesch* Madrid, M.E.C., 1985, p. 19.

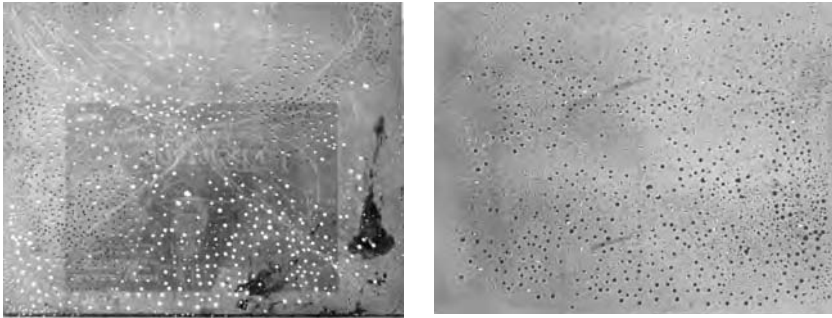


Figura 6. Francisco López Alonso

Perforaciones y taladros sobre aluminio de artes gráficas de 0,3 mm de espesor, con brocas.  
Taladrado y marcas lineales realizadas con brocas. Grabado a dos tintas.

Papel Super Alfa, formato: 700 x 1100 mm.

Figura izquierda: Plancha con recorte de matriz. Formato: 500 x 700 mm

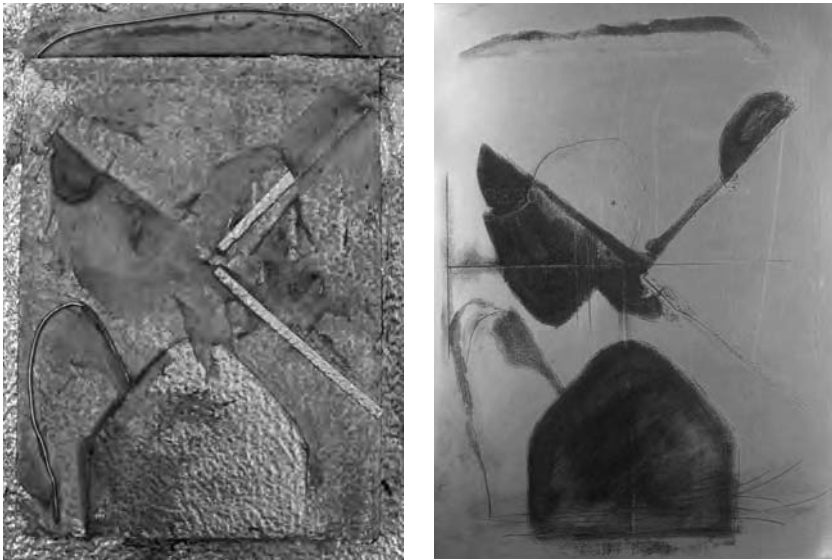


Figura 7. Imagen izquierda: ensamblaje realizado sobre matrices de aluminio estriadas de 190 x 250 mm, con resina de poliéster, empleando cables, recortes de metales de distintos grosores y aprovechando el volumen que se puede conseguir para lograr una estampa con más relieve. Imagen derecha: matriz grabada al aguafuerte y aguainta



puede trabajar con multitud de variantes en relación con la estructura del soporte. Se puede construir una plancha añadiendo recortes de materiales, soldándolos, taladrando la superficie o atravesándola por inmersión en un baño de ácido hasta que perfora el metal. Para estos trabajos se puede emplear la soldadura como sustituto de los adhesivos, que ofrecen menos fiabilidad en el proceso de edición ya que con la presión del tórculo se separan los elementos con facilidad. La soldadura es segura y compatible con adhesivos que permiten la combinación con una fina capa de barniz de poliuretano diluido al 50% con aguarrás.

## **9. REACCIÓN DE LAS TINTAS CON EL ALUMINIO**

El idioma del color en el tránsito de la historia ha sido siempre una materia compleja y más aún lo es en grabado, cuando el color es un medio que varía en la estampación y no refleja directamente el resultado inicial, como puede pasar en pintura, dibujo y otras disciplinas artísticas. Existen unos condicionantes que hacen que las tintas, por reacción química, puedan alterarse en ocasiones; sorprende desde el cambio tonal hasta los complejos resultados y las infinitas combinaciones cromáticas que se pueden lograr mediante diferentes tipos de superposición de tintas, el orden y el modo de estampación, las tintas empleadas, los pigmentos que se les pueden añadir, las diferentes lacas, barnices, suavizantes, aceites y demás aglutinantes.

Por la composición de las planchas de zinc y cobre, las tintas reaccionan y se alteran los colores resultando en la estampación tonos que no son los originales. Al trabajar con estos metales, es muy probable que colores claros como los amarillos, naranjas, verdes y otros reaccionen con el metal y se ensucien. La única manera de estampar tonos cálidos es recubrir electrolíticamente la plancha grabada; de esta manera el metal no reacciona con los compuestos de la tinta, no la modifica y se imprime el color deseado. Es una de las ventajas importantes que tiene el grabado sobre aluminio respecto a otros metales. No se necesita tratar el metal para que no modifique el color porque las alteraciones cromáticas de tintas —desde naranjas, pasando por rojos, verdes, azules y violetas hasta los negros— son nulas. Sobre aluminio la tinta se aloja en cavidades aisladas del metal por la película de alúmina que se forma en la superficie.

El comportamiento de las tintas en la estampación difiere del cobre y zinc a los resultados que se logran con aluminio porque los componentes de las tintas no reaccionan con el metal oxidándose y registrando el tono originario (fig. 8). Esta es la principal causa de los cambios tonales en las



Figura 8. *Sin título*, Francisco López Alonso. 2004

Reacción de las tintas con el metal. Grabado sobre aluminio. Aguatinta. Estampación a una tinta, sobre papel Súper Alfa. Tinta Amarillo Indio (calcografía) y purpurina dorada. Realizado sobre una matriz de aluminio puro de 190 x 250 mm. Estampación en hueco con velo

tintas de la impresión, por lo que los pigmentos deben ser compatibles con la composición química de las planchas o no reaccionar con ellas cuando entren en contacto en el entintado. Hay algunos colores que por su composición se oxidan al aire, y en el entintado con aluminio también se alteran.

En ocasiones, la reacción sobre el zinc hace que colores amarillos puedan alterarse hasta llegar a verdes, y aunque el cobre es más estable, sucede lo mismo. Este problema se puede amedrentar retirando del metal la mayor cantidad de tinta.

El zinc reacciona con la tinta porque está compuesto especialmente de blenda, que es sulfuro de zinc. La mayor parte de los otros minerales se han formado como productos de oxidación del sulfuro principal. Éste se encuentra con frecuencia asociado a compuestos de otros elementos, especialmente del cadmio, plomo, hierro y cobre, que en el entintado, reaccionan con los compuestos de la tinta y oxidan el color. El cambio de tono se produce cuando una tinta está compuesta de sulfatos u óxidos y por fricción con el metal reacciona, oxidando el color y atacando la plancha grabada, que se anula con el aluminio, porque la alúmina impermeabiliza la plancha e impide la reacción de la tinta con el metal.

En ocasiones las tintas que contienen azufre reaccionan formando ácido sulfhídrico  $\text{SH}_2$  y sulfuro de carbono  $\text{S}_2\text{C}$ , como el cinabrio y bermellón que contienen sulfuro de mercurio  $\text{HgS}$ , que reacciona con el cobre y zinc alterando los colores, excepto cuando las planchas tienen algún

tratamiento electroquímico que aísla la tinta del metal. Los blancos también presentan problemas en la impresión, se emplean generalmente en hueco para mezclas de otras tintas, ya que no se puede estampar fácilmente con él porque modifica el color inicial. En offset tampoco se suele emplear, generalmente se utiliza para conseguir colores secundarios. Las matrices se preparan para imprimir con magenta, cian, amarillo, negro y alguna otra tinta plana, metalizada o barnices UV. Cuando hay que recurrir a una impresión donde aparece la imagen en blanco se imprime una tinta plana sobre el papel y el fondo funciona como tinta, es decir, queda blanco. Incluso cuando se imprime sobre alguna tinta plana se suelen emplear antes que blanco, tintas metalizadas como dorados o plateados por su mayor poder cubriente. La serigrafía y litografía son los medios de impresión que generalmente se emplean para estampar en blanco. El aluminio también permite imprimir con fidelidad estas tintas, generalmente compuestas de óxido de zinc, plomo, sulfato de calcio, sulfuro de zinc o sulfato bórico que reaccionan con el cobre y el zinc oscureciendo los colores.

Los amarillos reaccionan fácilmente generando sulfuros en contacto con el metal y colores compuestos con cadmio. De igual manera las tintas con cromo, (metal de color blanco y azulado), cromatos, o plomo reaccionan con los metales oxidando las placas y alterando los colores originarios. El cromo puede oxidarse al aire fácilmente y generar óxido cromoso y sulfuro.

Los ocre y tierras están compuestos en gran parte por óxido de hierro, los rojos de cromato de plomo, sulfato de plomo y aluminio, que pueden reaccionar con el metal. Los azules generalmente están compuestos químicamente y suelen ser el ultramar, pigmento compuesto de silicato doble de sodio, aluminio, sulfuro sódico y en ocasiones de hierro. El azul de prusia que no tiene buen poder cubriente y decolora a la luz y el azul de cobalto, que se compone en parte de alúmina, pueden reaccionar con el metal hasta oscurecer tanto como para llegar al negro. Esta última es la única tinta que no presenta dificultad en la estampación aunque con el tiempo puede pardear. Cabe destacar que el entintado y la limpieza de las matrices de aluminio con tinta calcográfica difiere del resultado de las tintas de offset, cada vez más empleadas en talleres de estampación. Las tintas calcográficas y en concreto el amarillo, verde, naranja y colores cálidos se limpian más fácilmente que las de offset y al aislarse el color de la matriz, mantiene casi en su totalidad el tono planificado. La limpieza de la tinta blanca es complicada y el tono impreso puede alterarse algo debido al contacto entre los materiales de limpieza, como tarlatana o papel con la matriz, o al secado por oxidación con el aire, como puede suceder también con otras tintas.

Los tonos metalizados, plata y cobre sufren una mínima alteración con tinta. Estos colores son de limpieza sencilla pues se levantan fácilmente, y es complicado que se alteren porque el poder cubriente que tienen es muy alto, sobre todo el plata y cobre; y aunque en principio en la estampación el color cambie, cuando la tinta seca, por la densidad del pigmento del que están compuestos, generalmente polvo de aluminio, el color asciende a la superficie y recobra el plateado o cobrizo original. Los tonos dorados son más susceptibles al cambio aunque comparando el metal de estudio con cobre y zinc, la diferencia es claramente visible. Estas tintas permiten la adición de polvo metálico y purpurina que enriquecen el resultado final, apareciendo sobre el papel el tono de la tinta modificado con un ligero aspecto metálico-aterciopelado.

## BIBLIOGRAFÍA

- A.A. V.V., *El grabado*, Barcelona, Skira-Carroggio, 1981.
- ASKELAND, D.R., *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, México, Iberoamericana, 1987
- BLÁZQUEZ V. M. et al., *Metalotecnia*, Madrid, Sección de Publicaciones de la UPM, 1993.
- BUDINSKI, K. G., *Engineering materials. Properties and selection*, New Jersey, Prentice Hall, 1979.
- CALLISTER, W. D., *Ciencia de los Materiales*, Barcelona, Reverte, 1995-1996.
- CALVO, F. A., *Metalografía Práctica*, Madrid, Alambra, 1972.
- CARDARELLI, F., *Materials handbook. A concise desktop reference*, London, Springer, 2001.
- Cinco decenios de obra gráfica en Rolf Nesch*, Madrid, M.E.C., 1985.
- DAVIS, J. R., ed., *Aluminum and Aluminum Alloys*, Materials Park Ohio, ASM International (ASM Speciality Handbook), 1996.
- Diccionario del Dibujo y la Estampa: vocabulario y tesoro sobre las artes del dibujo, grabado, litografía y serigrafía*. Madrid, Calcografía Nacional/Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, 1996.
- ELEXPURU, T., *Las resinas sintéticas y su aplicación al grabado*, Bilbao, Bilbao Bizkaia Kutxa, 1995.
- Enciclopedia de Tecnología Química*, México, Hispano Americana, 1962, vol. 4.
- GULIÁEV, A. P., *Metalografía*, Moscow, Mir, 1977, tomo 2.
- HIND, Arthur M., *A History of Engraving and Etching from the 15th. Century to the year 1914*, New York, Dover, 1963.
- HULL, D., *Materiales Compuestos*, Barcelona, Reverte, 1987.
- JIMÉNEZ COLINA, J. F., *Optimización de la sinterización con fase líquida de la aleación de aluminio AA2014 mediante la adición de trazas de Al-12Si*, Madrid, Universidad Carlos III, Proyecto fin de carrera, Ingeniería Industrial, 2004.
- JONES, D. A., *Principles and Prevention of Corrosion*, New York, Macmillan Publishing Company, 1992.

- KING, F., *El aluminio y sus aleaciones*, México, Limusa, 1992.
- MAGAROLA, C. S. de y J. BELTRÁN, *Aluminium-Taschenbugh*, Dusseldorf, Aluminium Verlag GMBH, 1992.
- MOLERA SOLA, P., *Tratamientos térmicos de los metales*, Barcelona, Marcombo, 1991.
- MORRAL, F. R., E. JIMENO y P. MOLERA, *Metalurgia general*, Barcelona, Reverte, t. 1982; t. 2, 1985.
- Nueva Enciclopedia Larousse*, Barcelona, Planeta, 1988, vol. 14.
- PARICIO LATASA, A., *La plancha grabada. Recubrimientos electrogalvánicos*, Madrid, UCM, Tesis doctoral, 1984.
- PINO VAQUERO, C. del, *Estudio tribológico de materiales compuestos con matriz de aluminio reforzados con cerámicos*, Madrid, Universidad Carlos III, Proyecto fin de carrera, Ingeniería Industrial, 2001.
- POLMEAR, I. J., *Light alloys: Metallurgy of the light metals*, London, Edward Arnold, 1989 (2nd ed.)
- POZA LLEIDA, J. M. de la, *El Aluminio: Características y aplicaciones*, Barcelona, Oikos-tau, 1991.
- RAMÍREZ, J. A., *Medios de Masas e historia del Arte*, Madrid, Cátedra (Cuadernos de Arte), 1997.
- RUBIO MARTÍNEZ, M., *Ayer y hoy del grabado y sistemas de estampación*, Tarragona, Tarraco, 1979.
- RUIZ NAVAS, E. M., *Materiales compuestos de matriz de aluminio reforzados con carburos. Optimización del proceso de obtención vía aleación mecánica*, Madrid, Universidad Politécnica, Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, 1999.
- SMITH, W. F., *Structure and properties of engineering alloys*, New York, McGraw-Hill, 1981.
- <http://www.alu-stock.es/tecnica/proteccion.html>
- <http://www.aughinish.com/manufacturing.html>