

El aluminio es uno de los metales más usados y apreciados en la actualidad, gracias a su ligereza, resistencia a la corrosión y capacidad de reciclado, que permite enormes ahorros de energía y dinero. El valor añadido de los productos de aluminio procede de las aleaciones, ya que las propiedades mecánicas mejoran, en comparación con el aluminio puro. Las principales aplicaciones de los productos de aluminio se pueden encontrar en muchas aplicaciones industriales. El aluminio posee un elevado valor cuando es recuperado en forma de chatarra, para ser fundido y obtener nuevamente materia prima para el proceso industrial. El valor comercial del aluminio depende de la Bolsa de Metales de Londres.

### Introducción

El aluminio es considerado un metal ligero (*densidad = 2,7 gr/cm<sup>3</sup>*), comparado con otros como el zinc (*densidad = 7,2 gr/cm<sup>3</sup>*), acero (*densidad = 7,8 gr/cm<sup>3</sup>*), cobre (*densidad = 8,8 gr/cm<sup>3</sup>*), plomo (*densidad = 11,3 gr/cm<sup>3</sup>*), oro (*19,3 gr/cm<sup>3</sup>*), etc. Además de la ligereza, el aluminio presenta otras dos claras ventajas, que son la facilidad de reciclado y la resistencia a la corrosión. Las aplicaciones del aluminio en la industria actual son muy diversas, destacando la industria aeronáutica y naval, automoción, construcción y embalaje. La his-

THE ALUMINIUM IN THE ACTUAL WORLD: TECHNOLOGY, APPLICATIONS AND RECYCLING. Aluminium is one of the most used and appreciated metal in the actual industry thanks to its light weight, the good corrosion behaviour and the great capability to be recycle saving an enormous amount of energy and money. The aluminium products added value came from the alloys because of the mechanical properties are improved in comparison with the pure aluminium. The main applications of the aluminium products can be found in many industrial applications. Aluminium has a high value when is recovered from scrap for melting and get again raw material, for the industrial production process. The selling value of the aluminium depends on the London Metal Exchange.

toria del aluminio es bastante reciente: el químico danés **Hans Christian Oersted** aisló el aluminio por primera vez en 1825, por medio de un proceso químico que utilizaba una amalgama de potasio y cloruro de aluminio. Entre 1827 y 1845, el químico alemán **Friedrich Wöhler** mejoró el proceso de Oersted, utilizando potasio metálico y cloruro de aluminio. Wöhler fue el primero en medir la densidad del aluminio y demostrar su ligereza. En 1854, **Henri Sainte-Claire Deville** obtuvo el metal en Francia reduciendo cloruro de aluminio con sodio. Con el apoyo financiero de **Napoleón III**, Devi-

**José Luis Guillén**  
Doctor Ingeniero de Minas  
Novalis Market Center

# El aluminio en el mundo actual:

## tecnología, aplicaciones y reciclado

lle realizó la instalación de una planta experimental, y en la exposición de París de 1855 exhibió el aluminio puro.

Es un metal 100% reciclable, una y otra vez, gracias a su bajo punto de fusión (650°C), lo que permite un gran ahorro de costes con respecto a la primera fusión (proceso de obtención de aluminio metálico a partir de bauxita). Además, debido a su empleo tan extendido y generalizado en la sociedad moderna, el aluminio es fácilmente recuperable para su reciclado. En cuanto a su comportamiento frente a la corrosión, el aluminio expuesto a la in-

Palabras clave: Acritud, Aluminio, Aleación, Anodizado, Bauxita, Brillo, Corrosión, Criolita, Damero, Embutición, Extrusión, Forja, Fresado, Lacado, Laminación, Maduración, Poliamida, Poliéster, Polifluoruro, Poliuretano, Revenido, Temple, Trefilado.

Key words: Coil-Coating, Composite, Con-Casting, Epoxy, Fin, Foil, Mill, Paint, Scalping, Scrap, Shate.

temperie reacciona rápidamente con el oxígeno del aire, formando una capa superficial de óxido de aluminio o alúmina. La alúmina protege al metal de la corrosión ambiental por tiempo indefinido. Hay que señalar que este proceso natural de protección, se puede llevar a cabo de forma controlada mediante un tratamiento superficial denominado "anodizado".

El aluminio es un metal ligero, dúctil y maleable, pero aleado puede alcanzar resistencias de hasta 600 MPa a tracción. Es fácil de trabajar pudiendo ser laminado hasta 0,004 mm de espesor. Por otra parte, es un excelente conductor del calor y de la electricidad, puede ser soldado mediante sistemas TIG / MIG, es altamente reflectante a las ondas electromagnéticas (gracias a lo cual se utiliza como aislante en construcción y en envolventes de canalizaciones) y puede ser pulido, obteniendo el llamado "brillo espejo".

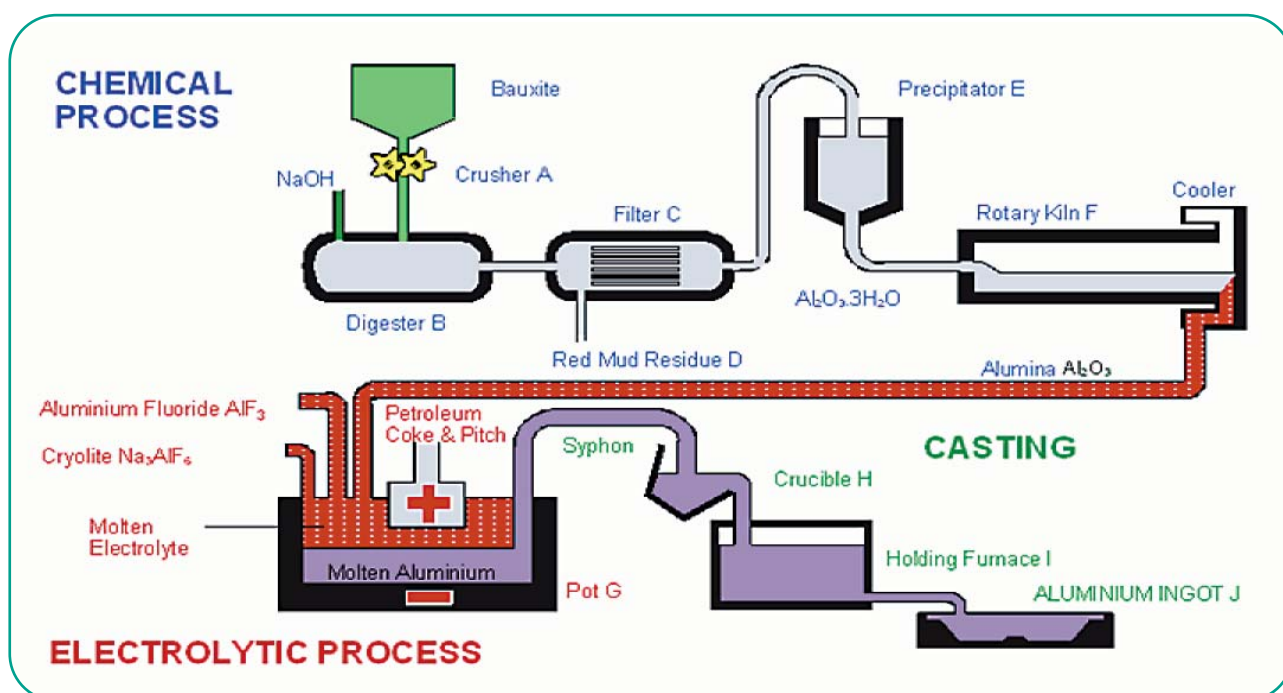
### Obtención y producción de aluminio

El aluminio es el tercer elemento químico más abundante de la corteza terrestre (8,1%), des-

**EL ALUMINIO ES CONSIDERADO UN METAL LIGERO COMPARADO CON OTROS COMO EL ZINC, ACERO, COBRE, PLOMO, ORO, ETC. ADEMÁS DE LA LIGEREZA, EL ALUMINIO PRESENTA OTRAS DOS CLARAS VENTAJAS QUE SON LA FACILIDAD DE RECICLADO Y LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.**

pues del oxígeno (47,3%) y del silicio (28,5%), pero es el metal más abundante. No se presenta en forma metálica, sino combinado principalmente con oxígeno, formando óxido de aluminio,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alúmina) y constituyendo aluminatos y aluminosilicatos. En forma pura y cristalizada, la alúmina es denominada rubí o zafiro, y ambos minerales gozan de un gran valor comercial, por ser gemas muy apreciadas. El corindón también es una forma mineral de la alúmina y es usado como abrasivo.

Además, la alúmina de gran pureza y micronizada es una materia prima muy importante para la industria cerámica. La especie mineral más interesante para la obtención de aluminio es la bauxita (principal mena de aluminio), la cual puede ser considerada como un óxido de aluminio hidratado  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . La concentración en alúmina de la bauxita "comercial" debe de ser al menos del 40%. Para obtener una tonelada de alúmina se requieren un mínimo de dos toneladas de bauxita. En 1886, **Charles Martin Hall**, en los Estados Unidos, y **Paul L. T. Héroult**, en Francia, descubrieron, por separado y casi simultáneamente, que el óxido de aluminio se disuelve en criolita fundida ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), pudiendo ser descompuesta electrolíticamente para obtener el metal fundido en bruto. El proceso Hall-Héroult sigue siendo el método principal para la producción comercial de aluminio, aunque se han desarrollado otros métodos. La pureza del producto se ha incrementado hasta un 99,5% de aluminio en un lingote comercialmente puro; posteriormente puede ser refinado hasta un 99,99 por ciento. En este proceso, pionero de pro-



Proceso químico y electrolítico.

ducción de aluminio metal, la alúmina se somete a un tratamiento electrolítico, en una solución de criolita (fluoruro de aluminio sódico) fundida y se lleva a cabo en un crisol de hierro revestido de carbón o grafito. Se hace pasar una corriente eléctrica por el electrolito, de bajo potencial, pero con una intensidad de corriente muy elevada (del orden de 150.000 amperios). La corriente eléctrica fluye entre el ánodo (positivo) que está hecho de carbono (realmente es una mezcla de coque y brea) y el cátodo (negativo), formado por el recubrimiento de grafito o carbón del crisol. El aluminio fundido se deposita en el fondo del crisol y se extrae periódicamente para ser llevado a un horno. La elevada reactividad del aluminio impide extraerlo de la alúmina mediante reducción, siendo necesaria la electrólisis del óxido, lo que exige, a su vez, que éste se encuentre en estado líquido. No obstante, la alúmina tiene un punto de fusión de 2.000°C, excesivamente alto para acometer el proceso de forma económica, por lo que al ser disuelta en criolita fundida, disminuye la temperatura de fusión hasta los 1.000°C. Actualmente, la criolita se sustituye cada vez más por la ciolita, un fluoruro artificial de aluminio, sodio y calcio. Para la producción de un kilogramo de aluminio se necesitan dos kilos de alúmina, que a su vez proceden de 4 kilos de bauxita, con un consumo energético de 8 kWh.

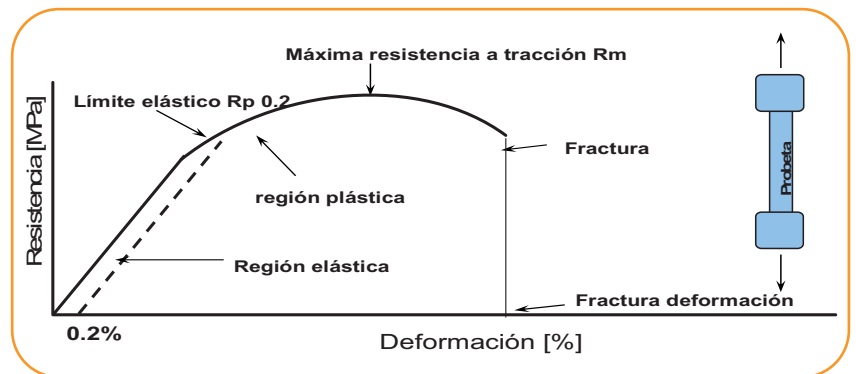
### Aleaciones de aluminio

Se define aleación como producto metálico que se obtiene por solidificación conjunta de dos o más metales fundidos y en algún caso incluyendo algún elemento no metálico, como el carbono (caso del acero). El aluminio se puede alea con ciertos elementos químicos, (elementos aleantes, por ejemplo Mn, Mg, Si, Zn, Cu, Fe) en pequeñas cantidades, obteniéndose las conocidas aleaciones de aluminio o "aleaciones ligeras". Las propiedades mecánicas de la aleación final vendrán determinadas por los elementos aleantes y sus concentraciones. El temple da un idea clara de las propiedades mecánicas más importantes del metal: *resistencia a tracción a rotura (Rm)*, *límite elástico (Rp0,2)* y *alargamiento (A50%)*. Estas propiedades se determinan realizando los correspondientes ensayos de tracción en una prensa con probetas normalizadas, según se aprecia en la figura.

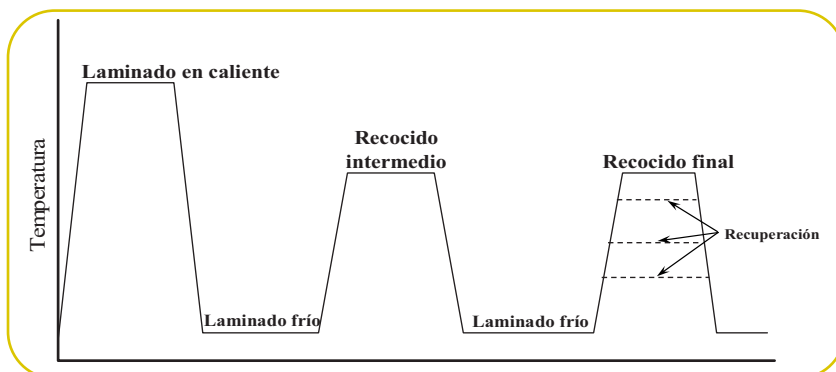
En general, se puede afirmar que los efectos de los elementos aleantes son los siguientes:

*Manganeso: aumenta la tenacidad y disminuye la cinética de recristalización; magnesio: aumenta la resistencia a la corrosión, buena soldabilidad, aumenta la resistencia mecánica; magnesio + silicio: resistencia media, buena conformación, aumenta la resistencia a la corrosión; silicio: baja la temperatura, aumenta la resistencia al desgaste; cobre: aumenta la tenacidad, disminución la resistencia a la corrosión; zinc: gran aumento de las propiedades mecánicas en combinación con otros elementos aleantes.*

Las aleaciones se definen, como se verá a continuación, mediante 4 números, y el temple con una letra (H o T), seguida de uno, dos o tres números. Los temples se consiguen mediante procesos y ciclos de calentamiento y enfriamiento. Por ejemplo, la aleación más básica (realmente no es una aleación sino aluminio puro) es la 1050, la cual presenta un 99,5% de aluminio. Si se indica 1050 H18, se tiene un metal con 99,5% de Al y un estado metalúrgico "duro" ( $R_m = 140 \text{ MPa}$ ,  $R_{p0,2} =$



Comportamiento mecánico del aluminio.



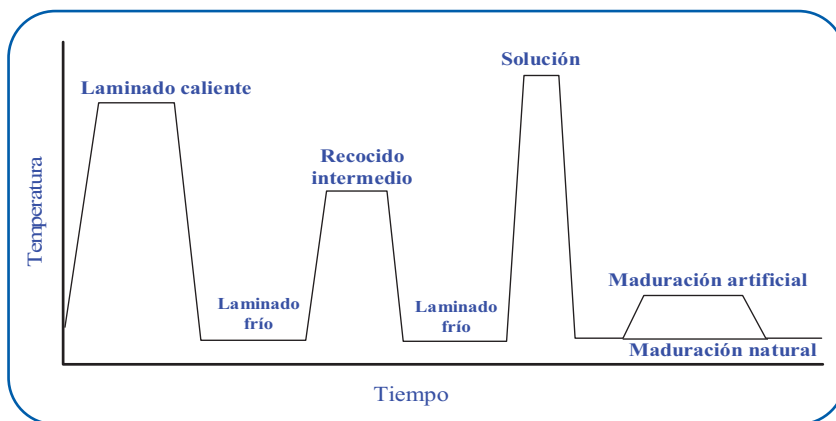
Aleaciones no tratables térmicamente.

120 MPa, A50% = 2, según normas EN AW). Las aleaciones de aluminio se dividen en dos grandes grupos bien diferenciados: *Forja* y *Fundición*. Esta división se debe a los diferentes procesos de conformado que puede sufrir el metal y sus aleaciones. Dentro del grupo de aleaciones de aluminio forjado existe una subdivisión clara, según se indica a continuación:

*Aleaciones no templables (no tratables térmicamente), con endurecimiento por acritud*

Son aquellas cuyas características mecánicas dependen de las distintas formas de laminación o estirado y de recocidos intermedios o finales, si son necesarios. Su dureza está caracterizada por el estado H y corresponden a las familias, 1XXX (Aluminio puro), 3XXX (Aluminio - Manganeseo) y 5XXX (Aluminio - Magnesio). Algunas de las aleaciones más frecuentes en industria y productos de construcción son la 1050, 3003, 3005, 3105, 5005, 5010, 5754 y 5083. La acritud es el endurecimiento obtenido por deformación plástica en frío, que produce un aumento de las características mecánicas y de la dureza del material. Se produce simultáneamente una disminución de su capacidad de deformación y una pérdida de maleabilidad. Este efecto es mucho más marcado cuanto mayor es la deformación sufrida o cuanto más elevada es la tasa de acritud. También depende de la composición del metal. Así por ejemplo, la aleación 5083, que contiene entre el 4 y el 4,9% de Mg, tiene unas características mecánicas más elevadas, pero una aptitud a la deformación más limitada, que la aleación 5754 que contiene entre el 2,6 y el 3,6% de Mg. El endurecimiento por acritud es un fenómeno que se produce en cualquiera de los modos de deformación utilizados: Laminado, estirado, plegado, martilleado, cintrado, embutido, entallado, etc.

**EL ALUMINIO ES UN METAL LIGERO, DÚCTIL Y MALEABLE, PERO ALEADO PUEDE ALCANZAR RESISTENCIAS DE HASTA 600 MPA A TRACCIÓN.**



*Aleaciones tratables térmicamente.*

*Aleaciones tratables térmicamente, con endurecimiento estructural*

Las aleaciones de endurecimiento estructural son las que sus características mecánicas dependen de tratamientos térmicos tales como puesta en solución (o solubilización), temple y maduración (natural o artificial). A este grupo pertenecen las familias 2XXX (Al + Cu), 6XXX (Al + Mg + Si) y 7XXX (Al + Zn + Mg). Estas aleaciones con endurecimiento estructural se obtienen según la secuencia de los tratamientos térmicos siguientes: *Puesta en solución a Temple a Revenido o maduración.*

El tratamiento de puesta en solución sólida consiste en disolver en el metal base, por un mantenimiento a temperatura elevada (> 500°C), los elementos de la aleación que se encuentran en fases separadas. Mediante un enfriamiento brutal de la solución sólida así obtenida, se obtiene un estado templado. La temperatura de puesta en solución óptima depende de la composición química de la aleación. La duración del tratamiento depende de la composición química, tipo de producto, de las tasas de acritud antes del temple, etc.

Es conveniente analizar los diferentes estados básicos del proceso de fabricación de los productos de aluminio, así como sus denominaciones: *F: Bruto de fabricación (Aplicado al proceso de*

*fabricación en el que no existen controles sobre las condiciones térmicas o procesos de deformación en frío empleados), O: Recocido (Aplicado a los productos de aluminio para obtener el estado de más baja resistencia), H: Acritud (Aplicado a los productos cuya resistencia ha aumentado mediante deformación en frío, con o sin tratamiento térmico), W: Tratamiento térmico de solución y temple (Aplicado únicamente a las aleaciones que maduran espontáneamente a temperatura ambiente, después de un tratamiento a solución y temple), T: Tratamiento térmico de endurecimiento (Se aplica en los casos en que la resistencia mecánica aumenta mediante tratamiento térmico, con acritud suplementaria o sin ella, para obtener estados estables. La letra T va siempre seguida de uno o más dígitos).*

Los estados básicos H (Acritud) de tratamiento de las aleaciones no templables se pueden subdividir del siguiente modo:

*H: Acritud solamente. Endurecimiento por deformación plástica en frío, hasta obtener la resistencia mecánica requerida, sin tratamiento térmico (laminación).*

*H2: Acritud y recocido parcial. Endurecimiento por deformación plástica en frío y aumento de la resistencia mecánica mediante un tratamiento de recocido parcial. En este estado, para una misma resisten-*

cia mecánica que el H, se obtiene un mayor alargamiento

**H3:** Acritud y estabilizado. Aplicado a los productos que son endurecidos por deformación plástica en frío y cuyas características mecánicas han sido estabilizadas posteriormente por un tratamiento térmico a baja temperatura. La estabilidad, generalmente disminuye la resistencia mecánica y aumenta la ductilidad.

El dígito que sigue a las designaciones H1, H2 y H3 indicará el grado final de acritud recibido:

**HX2:** Estado 1/4 duro. La resistencia a tracción se encuentra aproximadamente en la mitad entre la del estado recocido y la del semiduro

**HX4:** Estado 1/2 duro. La resistencia a tracción se encuentra aproximadamente en la mitad entre la del estado recocido y la del duro.

**HX6:** Estado 3/4 duro. La resistencia a tracción se encuentra aproximadamente en la mitad entre la del estado semiduro y la del duro.

**HX8:** Estado duro. Tiene el máximo grado de acritud y una resistencia a tracción superior a la de los estados anteriores.

**HX9:** Estado extraduro. La resistencia a tracción excede a la del estado duro.

Para estas aleaciones, puede colocarse una tercera cifra, dando lugar a los siguientes estados metalúrgicos:

**HX11:** Aplicado a los productos que después de un recocido final mantienen un endurecimiento por deformación en frío que impide calificarlo un estado recocido (O), pero no lo suficiente para que sea H(X). El alargamiento es del 3% aproximadamente

**H112:** Aplicado a los productos que pueden adquirir algún endurecimiento por

deformación a temperatura elevada.

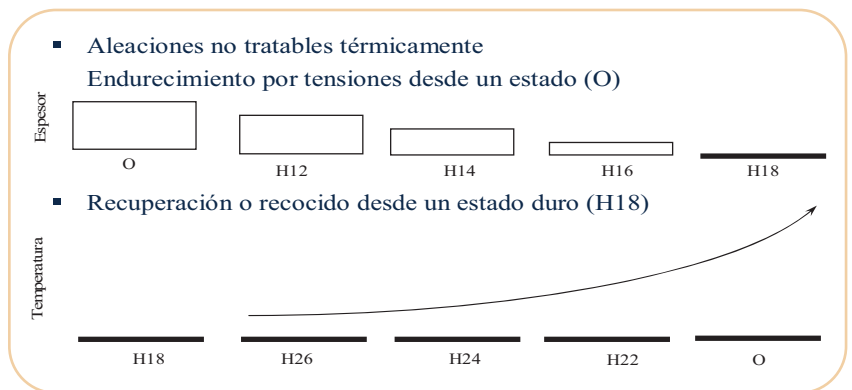
**H113:** Aplicado a los productos que después de un recocido final mantienen un endurecimiento por deformación en frío que impide calificarlo un estado recocido (O), pero no lo suficiente para que sea H(X). El alargamiento es del 3% aproximadamente.

En el esquema adjunto se aprecia el modo de alcanzar los diferentes estados metalúrgicos, bien por acritud (laminación) o por tratamiento térmico.

En el siguiente cuadro se adjunta a modo de ejemplo un comparativo de dos aleaciones, la

3005 (Al Mn1 Mg0,5, es decir, aluminio con 1% de manganeso en y 0,5% de magnesio) y la 5754 (Al Mg3, aluminio con 3% de magnesio), con sus estados metalúrgicos y las tres características mecánicas Rm (resistencia a rotura), Rp0,2 (límite elástico) y A50% (alargamiento).

El estado T hace referencia a las aleaciones templeables. Las cifras del 1 al 10 que siguen a la letra "T" indican las secuencias específicas de los tratamientos térmicos básicos, según se indica a continuación: T1 (Tratamiento de temple desde la temperatura de extrusión y maduración), T2 (Tratamiento de temple desde la temperatura de extrusión acritud y maduración natural),



Aleación	Temple	Rm (MPa)	Rp (MPa)	A50%
3005	O / H111	115 – 165	45	14
3005	H12	145 – 195	125	4
3005	H22	145 – 195	110	5
3005	H14	170 – 215	150	2
3005	H24	170 – 215	130	4
3005	H16	195 – 240	175	2
3005	H26	195 – 240	160	3
3005	H18	220	200	2
3005	H28	220	190	2
3005	H19	235	210	1
5754	O / H111	190 – 240	80	14
5754	H12	220 – 270	170	5
5754	H22 / 32	220 – 270	130	8
5754	H14	240 – 280	190	3
5754	H24 / 43	240 – 280	160	6
5754	H16	265 – 305	220	3
5754	H26 / 36	265 – 305	190	4
5754	H18	290	250	2
5754	H28 / 38	290	230	3

T3 (Tratamiento térmico de solución, temple, acritud y maduración natural), T4 (Tratamiento térmico de solución, temple y maduración natural), T5 (Tratamiento de temple desde la temperatura de extrusión y maduración artificial), T6 (Tratamiento térmico de solución, temple y maduración artificial), T7 (Tratamiento térmico de solución temple), T8 (Tratamiento térmico de solución, temple, acritud y maduración artificial), T9 (Tratamiento térmico de solución, temple, maduración artificial y acritud), T10 (Tratamiento térmico de temple desde temperatura de extrusión, acritud y maduración artificial).

### Productos de aluminio

Existen principalmente dos grandes procesos industriales para la obtención de productos de aluminio, que son el laminado y la extrusión, aunque también hay otros como son el moldeo por colada, la inyección y el trefilado.

### Laminación

Es un método de mecanizado utilizado para crear láminas de metal. Este proceso metalúrgico se puede realizar con diferentes tecnologías. La elección de la más adecuada dependerá del tipo de lámina que se desee obtener (espesor y longitud) y de la naturaleza y características del metal. La máquina más simple consta de unos rodillos (cilindros), por los cuales se introduce en metal a altas temperaturas y se deforma hasta obtener el espesor deseado.



Chapa damero.

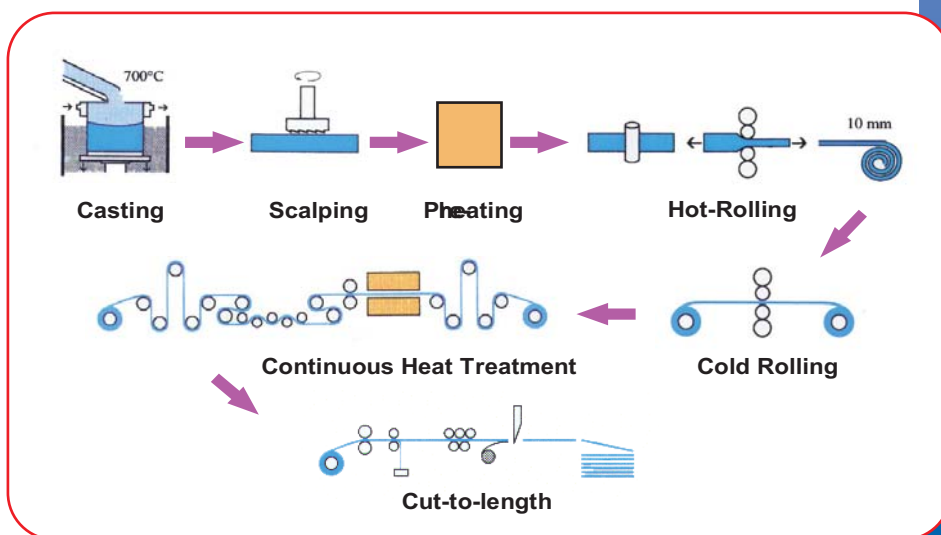
En la siguiente figura se observa con detalle el proceso completo, donde el aluminio fundido a 700°C, después de solidificar y obtener un lingote, se somete a un proceso de "scalping" (eliminación de impurezas mediante un fresado superficial) y posteriormente se calienta sin llegar a fundir, para proceder al laminado en caliente o "hot-rolling". Después de laminar en caliente se continúa el proceso térmico hasta preparar el material para el laminado en frío. Después de laminar en frío se obtiene el laminado en bobina (mill-finish), que podrá ser cortado en flejes y chapas.

Las denominaciones técnicas de los laminados de aluminio son las siguientes: *Plate*, Espesores superiores a 10 mm, principalmente para modelos y moldes (inyección de plásticos). *Shate*, Espesores entre 3 y 10 mm, para industria naval, carrocerías y calderería en general. *Standard Sheet*, Espesores entre 0,8 y 3 mm, para usos diversos (industria y construcción en general, para lacar o anodizar). *Paint-Stock*, Laminados para lacar en entre 0,4 – 3 mm, mediante coil-coating o powder – coating (lacado en polvo). *Fin-Stock*, Espesores entre 0,08 y 0,3 mm, para conductos de ventilación y aletas para baterías de intercambiadores de calor (material muy adecuado para embutir). *Foil-Stock*, Papel de aluminio con es-

pesores inferiores a 0,08 mm, para envases de alimentación y embalajes (packaging). *Anodizing quality*, Calidades anodizables, con aleaciones adecuadas para el proceso electroquímico de "anodización". *Embossed*, Laminados con relieve superficial, obtenido mediante un rodillo gofrador. *Deep - Drawing quality*, Material para embutición profunda (piezas especiales, puertas). *Damero o Tread Plate*, Material en relieve, obtenido mediante un rodillo estampador, que actúa como negativo (muy utilizado en industria, automoción, construcción, decoración, etc.).

(Nota: Las aleaciones de aluminio y los productos laminados están contemplados en las normas UNE-EN 485-1, UNE-EN 485-2, UNE-EN 485-3, UNE-EN 485-3, UNE-EN 485-4).

En la actualidad existe otro proceso denominado "Con-Casting" (continuous casting) o "Laminación por Colada Continua", en el que el aluminio fundido experimenta un enfriamiento muy rápido y solidifica directamente en una hoja de unos 4 mm, la cual se lamina posteriormente a gran velocidad en espesores finos. El con-casting es un proceso rápido y ventajoso pero tiene dos serias limitaciones: la variedad de aleaciones es limitada y el laminado que se obtiene no es adecuado



Proceso de laminación.



Las lanzadores del Prestige fabricadas con Shate Naval.

para anodizar, debido a su reducido espesor, que impide realizar la operación de fresado para eliminar las impurezas superficiales. El producto final de la laminación puede presentarse en bobinas o en chapas a medida. Las chapas se obtienen a partir de las bobinas, por medio de cizallas de corte transversal (cut to length), obteniéndose formatos a medida. Los laminados en bobina presentan una gran ventaja, que es la posibilidad de conformado o perfilado en continuo. Las chapas se pueden plegar o curvar en máquinas llamadas "plegadoras", siendo muy importante mantener un radio de plegado adecuado (para evitar fisuras en la arista de plegado), que será función del espesor de la chapa y del temple. En el mercado del aluminio hay tres laminados especiales que presentan un gran interés desde el punto de vista tecnológico y comercial, por su importante valor añadido; son los denominados "Shate", "Bright Finish" (brillo de laminación) y Fin-Stock.

El aluminio laminado **Shate** se centra básicamente en algunas aleaciones no templables de la serie 5000, tales como 5754, 5454, 5083, 5086 y la 5182. El temple más utilizado es el H111, que viene a ser prácticamente un recocido (HO), aunque también se utiliza el H116. Las aleaciones de la serie 5000, gracias a los elementos aleantes (Mg, Mn) poseen, además de una elevada resistencia mecánica, un magnífico comportamiento frente a la corrosión "marina". Se consideran shate los espesores de chapa de aluminio que van de 3 o 4 mm hasta un máximo de 10 mm. Las principales aplicaciones de la shate se centran en el sector de transporte (cisternas, cajas de volquetes), manipulación de graneles (silos) e industria naval. La industria naval, en lo que se refiere a determinadas embarcaciones, tales como yates, catamaranes, motoras y barcos de carga de tamaño medio, es una importante consumidora de este producto, barriendo toda la gama de espesores y utili-

zando ancho de laminación de hasta 2.500 mm. La "shate naval" se aplica tanto en el interior como en el exterior (casco) de las embarcaciones.

El aluminio laminado "**brillo de laminación**" o "**bright finish**" es un producto que posee una altísima reflexión de la luz hasta el punto de tener "efecto espejo". Se asemeja mucho al acero inoxidable, pero el aluminio posee incluso una mayor capacidad de reflexión. Este efecto espejo se obtiene directamente mediante un laminado especial en un "laminador de brillo". Existen muchas calidades de brillo según la mayor o menor capacidad de reflexión. Los parámetros que determinan la calidad del producto final son dos: DOI (distinction of Image) y el % de brillo o "gloss". Cuanto mayores sean ambos parámetros el aluminio brillo tendrá mejor calidad. Técnica-mente el brillo de laminación viene definido por aleaciones de gran pureza (1050, 1060, 1070, 1080).

El **Fin-Stock** se utiliza principalmente para la fabricación de "Intercambiadores Térmicos". Los intercambiadores de calor; principalmente evaporadores, condensadores, radiadores de automoción y equipos de aire acondicionado, están constituidos por grupos de placas muy finas de aluminio laminado, llamadas aletas, las cuales están atravesadas por conducciones de cobre, por las que circula un líquido refrigerante. El aluminio que constituye las aletas

EL ALUMINIO LAMINADO ES UN PRODUCTO QUE POSEE UNA ALTÍSIMA REFLEXIÓN DE LA LUZ HASTA EL PUNTO DE TENER "EFECTO ESPEJO". SE ASEMEJA AL ACERO INOXIDABLE, PERO EL ALUMINIO POSEE INCLUSO UNA MAYOR CAPACIDAD DE REFLEXIÓN.

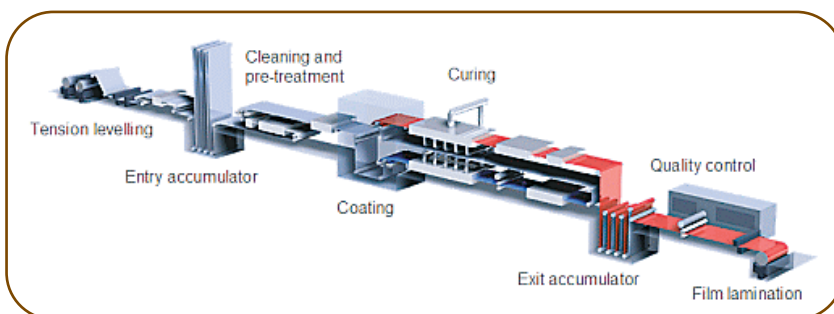
presenta unas características muy específicas, por lo que se engloba bajo la denominación de Fin – Stock. Las características que definen e identifican al Fin-Stock son las siguientes: Aleaciones (1050, 1100, 8006, 8011) y Temple muy maleables (O, H22, H24, H19). La principal característica que presentan estas aleaciones es su maleabilidad, la cual se incrementa notablemente con los temple “blandos” haciendo que las aletas de aluminio se puedan embutir mediante prensado. Las aletas están perforadas de forma que cada orificio de perforación presenta un auténtico “cuello de aluminio” con una determinada altura.

La **extrusión en prensa** es un procedimiento de conformación por deformación plástica, que consiste en moldear un metal, en caliente o frío, por compresión en un recipiente obturado en un extremo con una matriz o hilera, que presenta un orificio con las dimensiones aproximadas del producto que se desea obtener, y por el otro extremo, un disco macizo llamado disco de presión. Si el esfuerzo de compresión se transmite al metal por medio del disco de presión, al proceso de extrusión se le denomina extrusión directa y si se transmite por la matriz, se conoce por extrusión inversa. La facilidad para extrusionar un perfil (extrusionabilidad) que es lo que al final determina su precio, esta definida en la siguiente tabla:

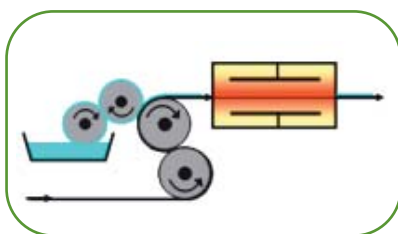
Aleación	Extrusionabilidad en %
1080	160
1050	135
1200	135
3003	120
6060	100
6063	100
6082	60
2011	35
5086	25
2014	20
5083	20
2024	15
7075	10

Las aleaciones ENAW 6060 / 6063 tienen el mejor índice de extrusionabilidad y se les ha aplicado el 100%, como base para el cálculo. De esta información se deduce, entre otras, la facilidad o dificultad para obtener perfiles de secciones

Lacado y Anodizado. Ambos tratamientos buscan un doble objetivo; de un lado, mejorar la estética, mediante colores y diseños y de otro, mejorar la protección, no sólo frente a la corrosión, sino también frente al desgaste superficial.



Esquema de una línea de Coil-Coating.



Coil-Coating (rodillos aplicadores).

complejas. Por una parte, las aleaciones con alto índice de extrusionabilidad, por ser muy blandas y no poderse endurecer por tratamiento térmico, harían que los perfiles que se pudiesen obtener se deformarían en su manipulación, además de no poder mantener las formas del diseño. En las aleaciones duras, su baja extrusionabilidad hace que el aluminio no fluya bien y, por lo tanto, no se puedan realizar perfiles de secciones complejas. Además de su baja productividad, este tipo de aleaciones requiere tratamientos térmicos de temple y maduración con un control muy estricto que hace también que en los perfiles de secciones sencillas el precio sea mayor.

#### Tratamientos superficiales del aluminio

Existen dos grandes tratamientos superficiales del aluminio:

#### Lacado

Este tratamiento consiste en aplicar un polímero orgánico o una mezcla de ellos, a modo de laca o pintura, mediante un proceso industrial. Una vez aplicada la laca sobre un laminado o un perfil, se somete el conjunto a un tratamiento térmico para que la laca se adhiera sobre el metal. El proceso de lacado de productos de aluminio se puede realizar industrialmente de dos formas: *Lacado unitario* (perfil a perfil o chapa a chapa según sea el caso) o *Lacado en continuo* (solo para bobinas). El lacado unitario se realiza con pinturas en polvo. El lacado en continuo, denominado industrialmente “coil-coating”, consiste en lacar las bobinas (por vía líquida) previamente desengrasadas, mediante un conjunto de rodillos aplicadores, en una línea que trabaja de modo continuo, de forma que la bobina se laca en toda su extensión, obteniendo un acabado superficial homogéneo. Es decir, mediante el coil-coating el aspecto y la tonalidad del color se mantienen uniformes y homogéneos en toda la superficie del laminado.

El coil-coating permite reproducir cualquier color, por ejemplo de la carta RAL y además, según sea la



aplicación del producto o uso final, se trabajará con diferentes tipos de polímeros orgánicos, tales como poliéster, poliamida, poliuretano, epoxy y polifluoruro de vinilo (PVdF). Los micrajes de laca por vía líquida oscilan entre 20 y 40  $\mu$ m. Para aplicaciones de interiorismo, tales como falsos techos desmontables, se utilizan generalmente lacas de base poliéster, mientras que para aplicaciones de exterior, como fachadas, cubiertas y canalones, que requieren una elevada resistencia a la radiación ultravioleta, se utilizan lacados en poliamida o PVdF. Además, la laca PVdF tiene la particularidad de que repele ciertos productos como otras lacas, tintes o pinturas, por lo que puede ser considerado como "antigraffiti", aunque es sensible al roce. La poliamida ofrece una buena resistencia a la abrasión, por lo que se emplea en aplicaciones que supongan importantes esfuerzos de desgaste superficial, como, por ejemplo, en el caso de las persianas enrollables. Además de lacar con un color determinado, se puede ajustar el brillo o "gloss", del color resultante, haciendo que sea más mate o más brillante, llegando incluso a gloss del 80%.

Una vez que la bobina ha sido lacada, se puede proceder a colocar un film plástico de protección, bien sea opaco o transparente, el cual es extraíble, pudiendo ser retirado antes o después de la aplicación. Posteriormente la bobina lacada se traslada a una línea de corte, para realizar las operaciones de corte requeridas, bien sea corte transversal (cut to length) o longitudinal (slitting operation), o ambas. Una gran ventaja del coil-coating es que los polímeros utilizados como lacas o pinturas son compatibles, gracias a su elasticidad, con las operaciones metalúrgicas de corte, plegado y perfilado.

Hay una variante del lacado en continuo que se puede llevar a



*Bobinas lacadas.*



*Lamas de persiana.*



*Perfiles ondulados.*



*Perfiles trapezoidales.*

cabo por vía seca, es decir en polvo. El aspecto de este material es prácticamente igual al lacado unitario "chapa a chapa" (siempre en polvo), ya que proporciona el mismo aspecto superficial de piel de naranja" y obtiene micrajes de lacado de hasta 60  $\mu$ m.

Para establecer una comparativa con el lacado en líquido, hay que señalar que la velocidad de lacado de una línea en líquido es muy superior a la de polvo y, además, la de líquido puede trabajar con diferentes lacas, según sea la aplicación, aunque la limpieza y el cambio de color en una de polvo son más rápidos. Igualmente, con el sistema líquido se pueden lacar espesores más finos (de hasta 0,20 mm) que con el polvo (que se llega en algunos casos a 0,5 mm).

Cualquier producto lacado en continuo, generalmente lleva una laca de protección o un "primer" en el reverso, que suele ser transparente o ligeramente coloreada. La finalidad de este primer es proteger el reverso del laminado (frente a la corrosión) y además favorecer la adhesión de aislantes u otro tipo de productos. No obstante, hay productos lacados mediante coil-coating por ambas caras, por necesidades técnicas o de

mercado; tal es el caso del canalón de aluminio lacado que siempre está lacado por ambas caras con colores diferentes, ya que la exigencia comercial es que sea un producto reversible, de forma que se pueda usar una cara u otra según exigencias del cliente final (en este caso el proyecto de arquitectura y la obra).

Es importante hacer mención a los estados metalúrgicos del coil-coating. El primer dígito (situado entre la H y el segundo dígito) cambia la nomenclatura, pasando de 1 (acritud) o 2 (recocido) a 4 (temple de coil-coating). Por ejemplo, si se toma la aleación 3105 con temple H14 o H24, pasará a ser 3105 H44. Las propiedades mecánicas se conservan en los productos lacados en continuo. Es decir, tomando el anterior ejemplo,  $R_m(H14) = R_m(H24) = R_m(H44)$ . Las aleaciones más frecuentes para el coil-coating son la 1050, las de la serie 3000 (sobre todo la 3003, 3005, 3105) y las de la serie 5000 (5005, 5010, 5754).

Las principales aplicaciones de los productos lacados mediante el sistema coil-coating se centran en tres grandes campos: productos de construcción, industria y transporte. Como productos de construcción, es preciso mencionar los siguientes: paneles de fachada (principalmente fachadas ventiladas) y accesorios de ventana (jambas, dinteles y vierteaguas), cubiertas y tejados (sistemas de engatillado), canalones, bajantes pluviales y remates de cubierta, persianas enrollables, falsos techos desmontables (lamas, bandejas, rejillas), paneles y divisorias de interior, tradosados, etc.

Las restantes aplicaciones del coil-coating se centran en la industria y el transporte. Dentro de la industria, las aplicaciones son muy variadas, destacando los equipos de refrigeración frigoríficos (tanto en el exterior como el interior). En cuanto al transporte, la principal aplicación del coil-coating es la fabricación de los "kits" para camio-

nes, carrocerías y caravanas, aunque algunas piezas de los carrocerías y parachoques de los automóviles se están haciendo con este sistema. Directamente relacionado con el transporte y la automoción, hay que señalar que las matriculas de los coches y las señales de tráfico (señalización vial) se están haciendo cada día más mediante aluminio lacado en continuo.

Las posibilidades del coil-coating son enormes, no sólo en construcción e industria, sino también, por ejemplo, en decoración (mobiliario, molduras, marcos, objetos, etc.) y en rotulación (serigrafía) en general. Hay lacas como el poliéster y sobre todo, el poliuretano que son idóneas como base de otro lacado o de impresión, para todo tipo de anuncios publi-



Señales de tráfico.

citarios, indicadores, señales e imagen corporativa. Un caso muy indicativo es el de las estaciones de servicio, en las que las fachadas del edificio, así como las marquesinas con los falsos techos incluidos y los monolitos, pueden ser de aluminio lacado coil-coating, con sus correspondientes colores corporativos.

Se conoce como **"anodizado"** a la capa de protección artificial que se genera sobre el aluminio, mediante la oxidación superficial, creando el óxido protector, conocido como alúmina. Esta capa se consigue por medio de procedimientos electrolíticos. El proceso consiste en obtener de manera artificial películas de óxido de mayor espesor y con mejores características de protección que las naturales. De esta manera, se consigue una mayor resistencia y

durabilidad del aluminio. Se pueden obtener películas coloreadas (anodizado plata, oro, colores) con espesores de 25/30 micras, siendo entonces el anodizado de tipo "protector o decorativo", o bien se pueden obtener películas de hasta 100 micras de espesor, obteniendo el llamado anodizado duro, ya que proporciona una dureza superficial similar a la de los aceros nitrurados. Existen tres tipos de anodizados, según el tipo de ácido usado como agente activo: crómico, sulfúrico, oxálico. El proceso de anodización consta de las siguientes fases: *Preparación de la superficie (pulido mecánico, fresado, lijado)*. *Desengrasado con disolvente*. *Decapado (eliminación de la capa de óxido natural, por ejemplo con sosa)*. *Lavado con agua circulante*.



Lingotes de aluminio reciclado.

*Neutralizado (por ejemplo con ácido nítrico diluido)*. *Lavado con agua a oxidación anódica (con sulfúrico al 20%, temperatura 20°C y densidad de corriente 1,5 A/dm<sup>2</sup>)*. *Lavado con agua circulante*. *Coloración (inmersión de colorantes)*. *Lavado con agua circulante*. *Sellado (agua desionizada, 95 – 100°C)*.

Para obtener un buen anodizado es imprescindible disponer de un aluminio que no contenga impurezas superficiales, para lo cual es fundamental, por una parte, realizar el fresado o pulido mecánico (en la cara que se vaya a anodizar),

reduciendo el espesor de la chapa, y, por otra parte, eliminar químicamente cualquier impureza, manchas de aceite, óxido, etc. De forma análoga al lacado, el anodizado se puede realizar chapa a chapa (batch-anodising) o en continuo (coil-anodising). Este último proceso presenta claras ventajas frente a anodizado chapa a chapa, ya que toda por toda la bobina se mantiene la uniformidad y el tono de anodizado de forma constante. Al cortar la bobina anodizada en chapas no habrá diferencias entre chapa y chapa. Este proceso se ha desarrollado en los últimos años, pero, dada la complejidad tecnológica y el elevado coste de la inversión, solo hay dos plantas industriales en Europa que operan a gran escala, estando ubicadas en Bélgica y Alemania.

Los sistemas de anodizado de mayor producción en la industria del aluminio son dos: de protección y duro. El *anodizado de protección* en medio sulfúrico es el procedimiento más utilizado,

debido a los costes ajustados de producción, a los resultados satisfactorios que se obtienen y a los medios necesarios y adecuados para ello. Con el *anodizado duro* pueden obtenerse capas anódicas considerablemente más duras que las que se consiguen con ácido sulfúrico u oxálico. El proceso se realiza a baja temperatura (0°C) en un medio electrolítico (10 – 15% de sulfúrico) con una densidad de corriente fuerte (3 A/dm<sup>3</sup>). La tensión, que inicialmente será de 10 V, puede llegar hasta 100V, según la aleación. Se pueden obtener capas anódicas muy espesas, de hasta 150 µ.

**EL ALUMINIO USADO LLEGA PRINCIPALMENTE POR DOS CANALES: LOS DESECHOS DEL CONSUMO YA SEA DOMÉSTICO O INDUSTRIAL Y LOS RECORTES Y VIRUTAS QUE SE PRODUCEN DURANTE LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE ALUMINIO.**

Las principales propiedades del anodizado duro son: *resistencia a la abrasión, gracias a la alúmina (dureza 9 en la escala de Mohs); resistencia eléctrica, debido a que la alúmina es un gran aislante eléctrico; resistencia química de la capa anódica frente a agentes agresivos; porosidad adecuada para la coloración; y capacidad de recuperación de piezas gastadas.*

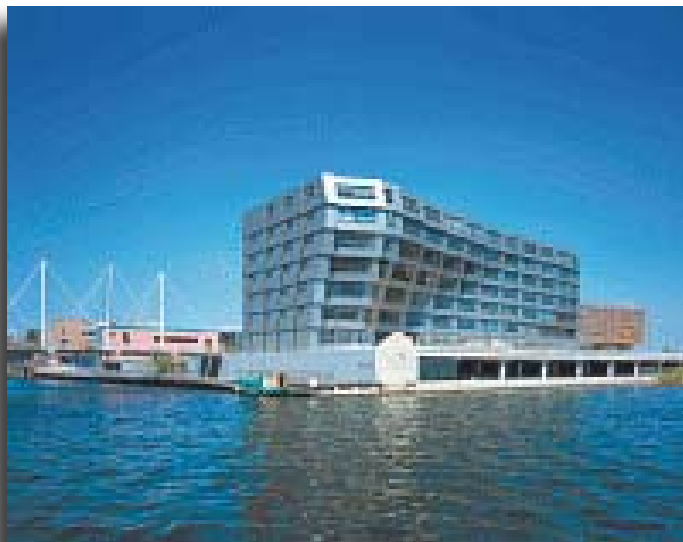
### Reciclado

Como ya se ha señalado al principio, una de las principales ventajas del aluminio metálico es la facilidad para el reciclado. La industria clasifica el aluminio en primario, cuando se extrae de su mena principal (bauxita), y de segunda fusión, cuando su materia prima básica son las chatarras y recortes provenientes de aluminio ya usado y de sobrantes y desechos de fabricación.

Se utiliza el término "chatarra" o "scrap" en sentido amplio, con los desechos de productos metálicos ya utilizados (principalmente a los desechos de productos de hierro y acero). El aluminio no cambia sus características químicas durante el reciclado. El proceso se puede repetir indefinidamente y los objetos de aluminio se pueden fabricar enteramente con material reciclado.

Muchos desechos de aluminio, como las latas, se pueden prensar fácilmente, reduciendo su volumen y facilitando su almacenamiento y transporte. Las latas usadas de aluminio tienen el valor más alto de todos los residuos de envases y embalajes, lo que es un incentivo para su recuperación.

Algunos beneficios del reciclaje de aluminio son: *Al utilizar aluminio recuperado en el proceso de fabricación de nuevos productos existe un ahorro de energía del 95% respecto a si se utilizara materia prima virgen (bauxita). El proceso de reciclado es normalmente fácil, ya que los objetos de aluminio desechados están compuestos normalmente sólo de aluminio, por lo que no*



*Edificio singular de chapa de aluminio lacado*

*se requiere una separación previa de otros materiales. El residuo de aluminio es, en general fácil de manejar: es ligero, no se rompe, no arde y no se oxida, y consecuentemente es también fácil de transportar.*

El aluminio usado llega principalmente por dos canales: Los desechos del consumo, ya sea doméstico o industrial (por ejemplo, cables eléctricos, planchas litográficas, botes de bebidas, otros envases y embalajes, desguace de vehículos, derribos, etc.) y los recortes y virutas que

se producen durante la fabricación de productos de aluminio. Existen muchos tipos de aluminio claramente diferenciados, que se comercializan en el mercado de la recuperación, pero se pueden agrupar básicamente en cuatro: *Productos laminados (planchas de construcción, planchas de imprentas, papel de aluminio, partes de carrocerías de vehículos, etc.), Productos extrusionados (perfiles para ventanas, piezas para vehículos, etc), Aluminios moldeados ya sea por gravedad o por inyección (piezas para motores, manubrios de las puertas, etc.), Trefilados para la fabricación de cables y otros usos.*

Una vez que el aluminio usado llega al recuperador, éste se encarga de darle la preparación óptima para su comercialización. En el caso de los mayoristas, por ejemplo, tratan de estandarizar la calidad del material para el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales que

existen en el sector. Para ello, el comerciante de chatarras tiene que preparar el aluminio, separándolo de los restos de otros metales y materiales por diversos métodos (manualmente, fragmentado, triturado, cizallado, etc.).

Es importante una buena clasificación del aluminio, para poder darle la mejor salida posible. La chatarra suele prensarse, ya que de esta forma el transporte resulta mucho más fácil. Tras estos necesarios procesos, se lleva el material a una fundición, que puede darle el

mismo uso de origen, o usarlo para fabricar otros objetos. Después, el fundidor o refinador lo convierte, mediante fusión, en lingotes, tochos, productos de desoxidación, etc.

Hay muchos tipos de aluminio recuperado, y cada calidad puede tener salidas diferentes. Según la pureza del material, éste será utilizado para una aplicación u otra. Dentro de los productos laminados, se pueden encontrar, por ejemplo, los botes y latas, que pueden ser usados para fabricar aluminio refinado (para volver a producir botes) si han sido muy bien clasificados a su llegada al recuperador. También dentro de los productos laminados, están los recortes de fabricación de muy diversas aleaciones, que pueden ser utilizados para fabricar lingotes de la misma o de diferentes aleaciones. El material de chapas litográficas y cables eléctricos, es un aluminio muy puro, por lo que su aplicación en el reciclado es bastante amplia, utilizándose para la fabricación de aleaciones de alta pureza o, mediante mezcla, para reducir los porcentajes de aleantes presentes en otras chatarras recuperadas. El aluminio procedente de llantas de coches, culatas, bloques o cárteres de motor, piezas de fundición, etc., se destina a la fabricación de lingotes con destino a ser fundidos y moldeados. La misma salida tienen las virutas de aluminio, procedentes del torneado de piezas fundidas. A la hora de comercializar con aluminio, hay que tener en cuenta los factores que influyen en su precio. A priori, el más cotizado será siempre el material más puro, como es el caso del aluminio cable, que contiene un 99,7% de pureza (Aleación 1070), por lo que se puede destinar para cualquier otro uso. También una parte del aluminio recuperado puede tener incorporados revestimien-



Imitación teja.

tos, lacados, etc., por lo que su precio será más bajo, por el efecto de las mermas y por los sofisticados sistemas de filtrado de humos, que encarecen el reciclado. Para fundir este tipo de materiales se necesitan hornos especiales, provistos de instalaciones de filtraje, que normalmente son más costosas que el propio horno.

Las refinerías de aluminio son el último eslabón de la cadena de reciclaje de este material. Cuando el material entra en la refinería, se analizan muestras de cada camión para evitar introducir en el horno sustancias no adecuadas para el proceso de producción de la refinería. En estas instalaciones, si funden botes de aluminio, por ejemplo, o cualquier otra chatarra con revestimiento, se produce la combustión de los mismos, siendo captados los productos de la combustión mediante unos filtros especiales por los que pasan los humos y así evitar la contaminación atmosférica. El producto final de las refinerías son los lingotes de aluminio, de medidas y aleación según la demanda del cliente.

#### ***Panorama mundial. Tendencias, conclusiones***

El aluminio es un hoy en día un metal cotizado y rentable, con un mercado muy importante a nivel

mundial. Cotiza diariamente en la BOLSA DE METALES DE LONDRES (LME), por lo que su valor, así como el de la chatarra, fluctúan. En el año 2006 el valor del aluminio en la LME (LONDON METAL EXCHANGE) experimentó, en los meses de mayo y junio, una subida que le hizo alcanzar máximos históricos (3.200 \$/ton).

El consumo del aluminio se está viendo incrementado, lo cual genera una situación de cierta "escasez", acarreando problemas de suministro, retrasos e incluso paradas de producción en los centros de consumo. Los principales "enemigos" que tiene el aluminio son dos: por una parte, los aceros (galvanizado e inoxidable) y, por otra, los materiales plásticos y polímeros compuestos de nueva generación. Hay diversas aplicaciones en las que los plásticos están compitiendo, e incluso desplazando, al aluminio. Tal es el caso de los revestimientos interiores de los frigoríficos, paneles industriales y kits de carrocerías, piezas de automoción, revestimientos, molduras, lamas de persiana y cajones, perfiles de ventanas y carpinterías, etc. En construcción, sobre todo en cubiertas, conviene mencionar que el aluminio (mill - finish, lacado, gofrado) compite duramente con otros metales tradicionalmente utilizados en tejados y cubiertas engatilladas, que son el zinc y cobre, y por supuesto también el acero.

Sin embargo, dentro de los materiales de construcción hay un caso en el que el aluminio y el plástico van juntos, creando lo que se puede considerar una "moda" o tendencia, además de ser una magnífica solución para las fachadas ligeras. El material se denomina "composite" y consiste en un panel compuesto por dos láminas de aluminio lacado de 0,5 mm y



Fachada ventilada de chapa de aluminio lacado.

un alma de plástico, generalmente polietileno de 3 o 5 mm. El plástico le proporciona una planitud excelente al panel, de forma que se así supera el problema de ondulaciones que pueden tener los laminados de aluminio de grandes dimensiones.

El aluminio es un material de uso cada vez mayor entre los fabricantes de automóviles. A lo largo de las últimas décadas, los motores, ruedas y otros componentes de fundición de aluminio se han convertido en un elemento habitual. En la actualidad, un punto realmente importante es el rápido incremento del aluminio en nuevas aplicaciones en el chasis y en las piezas de la carrocería. Hoy en día, prácticamente la totalidad de los principales fabricantes de automóviles utilizan productos laminados de aluminio, incluidos GM, FORD, CHRYSLER, HONDA, NISSAN, pero probablemente los principales lo-

gros en este campo se están produciendo en Europa, con gran actividad por parte de BMW, MERCEDES, AUDI, JAGUAR, VOLVO, LAND ROVER, ASTON MARTIN, RENAULT Y PEUGEOT. Estos fabricantes de automóviles utilizan una serie de aleaciones para distintas aplicaciones de chapa de aluminio, entre las que podemos mencionar chapas para carrocerías, agarraderos y estructuras de la carrocería. Muchas de dichas aplicaciones se fabrican actualmente en talleres especializados, con prensas tradicionales. Los fabricantes de automóviles aprecian cada vez más el valor añadido que el aluminio aporta a sus vehículos en cuanto a rendimiento, ligereza, manejabilidad, seguridad, placer en la conducción, ahorro de combustible y reducción de los gases de escape.

Como conclusión final se puede decir que el aluminio puede ser considerado como el metal del futuro, gracias a su ilimitada capacidad de reciclado, con un coste muy inferior al de la primera fusión. Debido a su baja densidad, es un material idóneo en aplicaciones como la automoción y el transporte en general, ya que se consigue un importante ahorro de combustible, con la consiguiente reducción de emisiones de gases de combustión. Está presente en la mayoría de las industrias y además, en la vida diaria, ya que aparece en las edificaciones residenciales y no residenciales, en los embalajes, en las latas de bebidas y en un sinnúmero de objetos y utensilios. Gracias a la tecnología existente, el aluminio puede ser aleado obteniendo productos con valor añadido y adecuados a las diferentes aplicaciones y requisitos técnicos. Las inversiones que se han realizado en los últimos años en los países industrializados y las que se siguen realizando en la actualidad, no solo en fabricación de productos de aluminio, sino en instalaciones para tratamientos superficiales dan una idea de la importancia económica y estratégica de este metal para el desarrollo y el progreso de la so-

ciudad. Los llamados países emergentes están igualmente realizando importantes inversiones en la industria del aluminio, para competir en un mercado cada día más difícil y exigente. *El aluminio es desde el siglo pasado y en la actualidad "un compañero de viaje del hombre" y posiblemente el camino que recorren juntos no haya hecho más que empezar.*

### Bibliografía

- Alcan Rolled Products.** Usine de Sierre, Manual Técnico.
- Urrutia, R.** Alu - Stock, S.A., Manual del Aluminio.
- Guillén J. L.** Aluminio en la Industria Naval (Revista Aluminio).
- Guillén J. L.** Aluminio Laminado en los Intercambiadores Térmicos (Revista Aluminio).
- Aluisse Sierre,** Rolled Products. Manual Técnico.
- ARPAL.** Documentación Técnica Bienvenidos al Futuro del Aluminio. Manual Técnico. *Novelis Market Center.*
- Guillén J. L.** Falsos Techos Desmontables de Aluminio (Revista Aluminio).
- Guillén J. L.** Falsos Techos Desmontables de Aluminio (Revista Aluminio).
- Gadner, J.** Rendimiento del Aluminio en la Conducción de Automóviles (Revista Aluminio).
- Guillén J. L.** Ventajas del Coil - Coating (Revista Aluminio).

EL ALUMINIO ES UN MATERIAL DE USO CADA VEZ MAYOR ENTRE LOS FABRICANTES DE AUTOMÓVILES. A LO LARGO DE LAS ÚLTIMAS DÉCADAS, LOS MOTORES, RUEDAS Y OTROS COMPONENTES DE FUNDICIÓN DE ALUMINIO SE HAN CONVERTIDO EN UN ELEMENTO HABITUAL.