

La producción de aluminio primario: una industria electrointensiva

En la producción de aluminio las materias primas principales son la energía eléctrica, la alúmina y el carbón. La transformación de alúmina en aluminio implica un consumo de aproximadamente 14 MWh por tonelada de aluminio producido. El proceso de obtención de aluminio consiste en la electrólisis de una solución de alúmina disuelta en criolita fundida.

De esta forma, el consumo de energía eléctrica de la planta de producción de aluminio de Aluar ubicada en Puerto Madryn, Chubut, representa el 5% de la generación total de energía de la Argentina. Para poder producir el aluminio, Aluar cuenta con un parque térmico que tiene una capacidad instalada de 290 MW. Pero no sólo consume electricidad sino también utiliza 109.000 toneladas/año de coque de petróleo, 1.500.000 m³/día de gas natural, 22.000 toneladas/año de brea y se importan unas 522.000 toneladas/año de alúmina de Brasil.

Dentro de la industria química, la industria electroquímica tiene características propias, por las magnitudes que requiere de energía eléctrica. Generalmente ésta se suministra como corriente continua de elevada intensidad y bajo voltaje, para producir la reacción a una velocidad apropiada.

El reactor, celda o cuba, es un dispositivo dentro del cual tiene lugar la reacción electroquímica. Comprende



Dr. Alfredo Calandra

un arreglo adecuado de ciertos elementos (contenedor, electrodos, conectores, electrolito, etc.) que facilitan el proceso, permiten el ingreso de los reactivos al reactor y la extracción de los productos. Dicho reactor puede operar en forma continua, intermitente o discontinua.

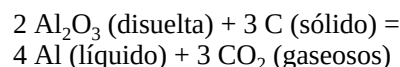
Toda reacción electroquímica resulta de la suma de dos hemi-reacciones que ocurren en cada electrodo de la celda (ánodo y cátodo) e implican la

Por Dr. Alfredo Calandra, Aluar

transferencia de cargas eléctricas impulsadas desde una fuente externa de electricidad. En consecuencia, en este tipo de procesos participan las sustancias involucradas (reactivos y productos) y la electricidad; de allí el nombre de reacciones electroquímicas.

Producción de aluminio

En la producción de aluminio los reactivos principales son la alúmina (Al₂O₃) y el carbón, y como productos se obtienen el aluminio y el dióxido de carbono. La transformación de alúmina en aluminio indicada en la siguiente reacción necesita el aporte de aproximadamente 14 MWh por tonelada de aluminio obtenido:



El proceso de obtención de aluminio consiste en la electrólisis de una solución de alúmina disuelta en criolita (F₆AlNa₃) fundida a unos 960°C, a la que se agregan aditivos, tales como trifluoruro de aluminio (F₃Al) y fluoruro de calcio (F₂Ca), para lograr el mejoramiento de algunas propiedades físicas del electrolito, en particular, el descenso del punto de fusión. La criolita y los aditivos, como todos

Figura 1 • Sección transversal de una cuba

los compuestos cristalinos iónicos, al fundirse liberan iones negativos y positivos, y se transforman así en un material conductor de la corriente eléctrica. Los iones más comunes presentes en el electrolito son: F_6Al^{3-} , F_4Al y Na^+ . La alúmina al disolverse aporta nuevos iones Al^{3+} y O^{2-} .

Como ánodos se utilizan electrodos de carbón que se consumen durante el proceso, por lo que el carbón y los materiales con los que se fabrican deben cumplir requisitos muy estrictos de pureza para evitar la contaminación del metal obtenido. El cátodo lo constituye el depósito de aluminio líquido que, al ser más denso que el electrolito fundido, se deposita en el fondo de la cuba electroquímica (figura 1).

Cuando se aplica un campo eléctrico conectando los polos o electrodos a una fuente de energía eléctrica de corriente continua, los iones presentes en el baño electrolítico comienzan a migrar. Al llegar al cátodo, los cationes Al^{3+} toman los electrones necesarios para neutralizar su carga eléctrica y se transforman en aluminio metálico que, por la temperatura existente en la cuba, permanece en estado líquido (el punto de fusión del aluminio es $660^{\circ}C$). Los otros cationes presentes también se mueven en la misma dirección, pero no sufren un proceso similar sobre la superficie del cátodo porque requieren más energía que el aluminio. De la misma manera, los

aniones O^{2-} migran hacia el ánodo, al llegar ceden sus electrones y se combinan con el carbón anódico para dar como resultado el desprendimiento de burbujas de anhídrido carbónico

(CO_2). También el resto de los aniones presentes se acercan al ánodo pero no reaccionan porque requieren más energía que aquéllos. Sólo cuando los iones provistos por la alúmina

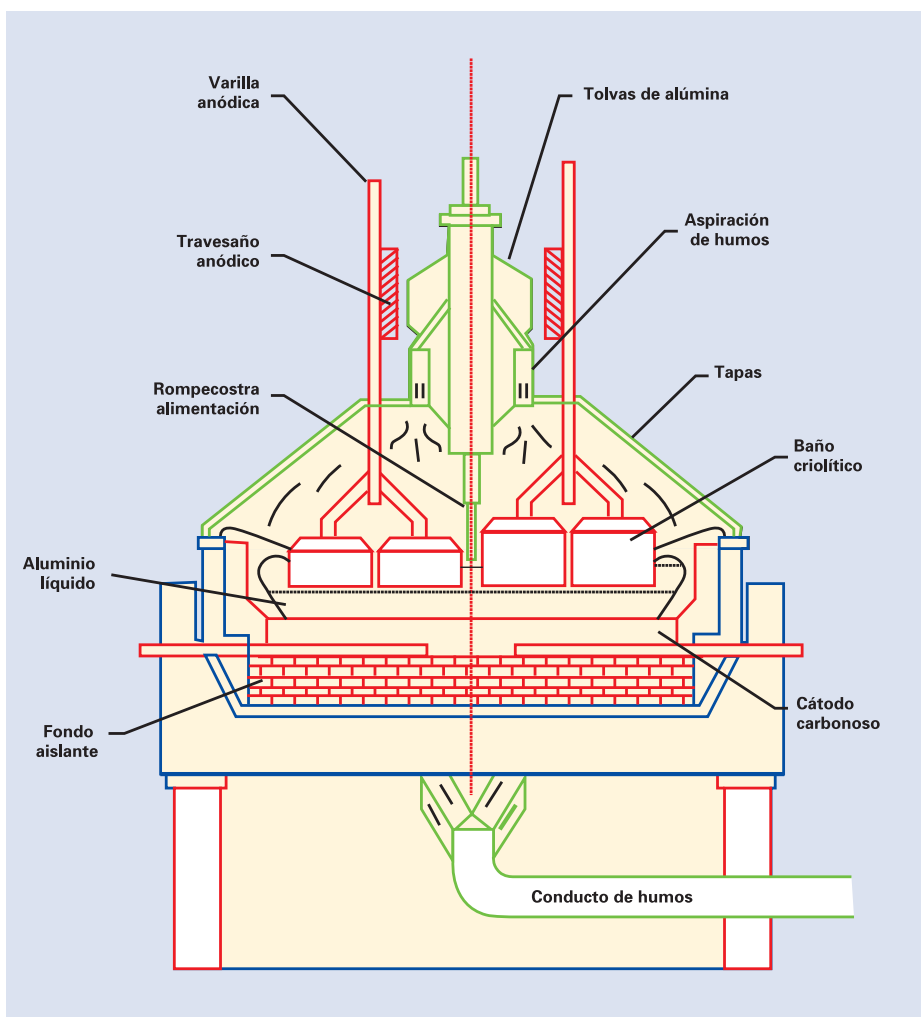




Figura 2 • Colada de metal

se agotan (su concentración cerca del ánodo se hace casi cero) se producirá la reacción de los aniones aportados por la criolita que contienen fluoruro (F^-). Este anión reacciona entonces con el carbón anódico y forma compuestos que quedan retenidos en la superficie del ánodo, lo cual provoca un aumento local de la resistencia eléctrica y en consecuencia del voltaje. Si la alúmina no es repuesta en la interfase anódica, se establece lo que se denomina efecto anódico con voltajes que pueden llegar a los 40 V. La medición de la evolución del potencial de la cuba al agotarse la alúmina es aprovechada para instrumentar lo que se ha dado en llamar alimentación por demanda. En efecto, cada celda tiene una microcomputadora que le permite reconocer, midiendo el potencial en función del tiempo, el momento oportuno del agregado de alúmina al electrolito. Esto se realiza ordenando a una serie de válvulas neumáticas que abran los mecanismos que liberan una cantidad dada de alúmina contenida en tolvas que se encuentran en la parte superior de la cuba. De esta forma, se mantiene la concentración de alúmina en el electrolito, dentro de un rango estrecho, sin que se produzca la reacción entre los aniones que contienen fluoruro y el carbón del ánodo.

El aluminio producido por las celdas de electrólisis se extrae periódicamente por medio de cucharas revestidas de material refractario (figura 2) que permiten succionar el metal de

las cubas y transportarlo a los talleres donde se le incorporan aleantes y se lo solidifica en diferentes formatos: lingotes, barrotes, alambrón, placas, etc. (figura 3).

La producción de aluminio en Aluar

La producción de aluminio de Aluar comenzó en 1974 con la puesta en marcha de su planta ubicada en la ciudad de Puerto Madryn, provincia del Chubut, a aproximadamente 1400 kilómetros al sur de Buenos Aires. La planta ocupa un predio de 270 hectáreas sobre las costas del Golfo Nuevo. Al ser la primera industria de envergadura que se estableció en esta región, el emprendimiento de la empresa Aluar, de capitales totalmente privados, se constituyó en el núcleo de un nuevo polo industrial. A medida que se han ido incrementando las operaciones de la planta, que actualmente cuenta con 940 empleados, la población de la

ciudad ha crecido de 5700 habitantes a comienzos de los años '70, a más de 65.000 en el año 2002.

Con un consumo de energía eléctrica que representa el 5% de la generación total energética de la Argentina, Aluar ha integrado su negocio aguas arriba reforzando su parque de generación de turbinas de gas con la adquisición del 59% de Hidroeléctrica Futaleufú S.A. Esta central, que fue privatizada en junio de 1995 por el Estado Nacional, tiene una capacidad de generación de 472 MW, está ubicada a 60 km de Esquel (noroeste de la provincia de Chubut) y satisface alrededor del 60% de la demanda energética de Aluar.

El parque térmico de Aluar, que se encuentra dentro del predio de la planta en Puerto Madryn, posee una capacidad instalada de 290 MW. Esta central térmica cuenta con cuatro turbinas Fiat de 23 MW modelo W-251A; dos turbinas de 39 MW marca General Electric, con sistema de reducción de emisiones de óxidos



Figura 3 • Productos de Aluar

de nitrógeno (NOx) y un ciclo combinado de 120 MW marca VEGA 206, con un sistema de reducción de NOx (figura 4).

En 1995, Trelpa S.A., empresa en la cual Aluar participa con el 40%, compró el 51% de Transpa S.A., la compañía distribuidora troncal de energía eléctrica de alta tensión de la Patagonia.

La central térmica de generación de energía y la participación en Hidroeléctrica Futaleufú S.A., junto con el control que tiene Aluar sobre el transporte de energía, le dan a la empresa independencia y capacidad de gestión sobre este insumo que es esencial para el proceso.

En sus comienzos, la planta de Aluar consistía en dos series electrolíticas de 150 kA, con dos salas por serie y 100 cubas por sala. La tecnología original de las primeras 400 cubas fue actualizada por Aluar, que llevó las series a 178 kA e introdujo el cerramiento para permitir la recuperación de los gases de reacción y la alimentación puntual de alúmina a las cubas. La producción actual de estas dos series es de 1361 kg/cuba/día.

A partir del año 1997, Aluar invirtió US\$ 347 millones en un proyecto de ampliación de su planta, que se completó en octubre de 1999. El proyecto consistió en la incorporación de una nueva serie electrolítica con 144

cubas alojadas en dos salas de 72 cubas cada una, una nueva planta de tratamiento de gases y un nuevo silo de almacenamiento de coque, así como en la modernización de los hornos de cocción y del taller de varillado de ánodos.

En dicho proyecto se utilizó tecnología Pechiney para la nueva serie de electrólisis, que incluía un diseño de cuba AP-18 modificado, la instalación de un nuevo sistema de control de proceso de última generación, y la incorporación de un sistema de fase hiperdensa para el transporte automático de alúmina a las tolvas de las cubas.

Con el objetivo de cumplir con los requerimientos de Aluar de tener ánodos de formatos compatibles entre las series existentes y la nueva, Pechiney modificó la cuba AP-18, originalmente con 16 varillas, y originó la cuba modelo AP-18A que im-

pone dos varillas adicionales; quedaron así 18 paquetes anódicos por cuba, con dos bloques de carbón por varilla. Las dos nuevas salas de electrólisis que hoy operan a 193 kA con cubas cerradas y alimentación puntual producen cada una 1492 kg de metal por día (figura 5).

El nuevo sistema de control de proceso está diseñado para mejorar el desempeño del proceso de reducción. El sistema consiste en una red de controles mediante microcomputadoras instaladas en cada cuba; adquisidores portátiles de datos y un sistema de computación central. A través de esta arquitectura, el sistema provee el control de las cubas e información técnica en tiempo real, que se puede integrar a los sistemas de la estación



Figura 4 • Central térmica.



Figura 5 • Sala de Electrólisis

de rectificación, al sistema de la planta de ánodos, a las operaciones de la fundición y al laboratorio. Esta capacidad ayuda a maximizar la eficiencia de corriente ajustando el control de la distancia ánodo/cátodo, la química del baño y la alimentación de alúmina. También controla el voltaje de operación de las cubas buscando un óptimo y bajo consumo de energía, reduce el promedio de efectos anódicos y con ello la emisión de gases asociados, y provee informes de datos.

El sistema de fase hiperdensa transporta alúmina automáticamente desde el silo a las tolvas de las cubas. Este sistema, que necesita muy poco mantenimiento, ayuda a reducir los costos operativos y, dado que transporta la alúmina a baja velocidad, minimiza la rotura y preserva el tamaño de las partículas de alúmina que llegan a la cuba, factor este que ayuda a mejorar su desempeño. A través de la combinación de estos sistemas de control de procesos y transporte de alúmina, el promedio de frecuencia de efecto anódico en la nueva serie es de sólo 0,006 por cuba por día; resulta ser uno de los mejores valores alcanzados en el mundo.

Para la producción de aluminio, Aluar consume 109.000 toneladas/año de coque de petróleo y 22.000 toneladas/año de brea y se importan unas 522.000 toneladas/año de alúmina de Brasil.

La composición química del aluminio primario de Aluar tiene una pureza promedio de 99,82% de aluminio, con un promedio de 0,04% de silicio y 0,07% de hierro. Al completar la

modernización y la ampliación de su planta, la capacidad original del año 1974, que era de 140.000 toneladas por año, se vio prácticamente duplicada, dado que la producción actual es de 272.000 toneladas por año.

Medio ambiente y calidad

Además de la dedicación hacia la calidad de sus productos, Aluar se encuentra comprometida con el cuidado del medio ambiente. Junto con las autoridades ambientales de la provincia del Chubut, Aluar cuenta con diez estaciones de monitoreo permanente de la calidad del aire en Puerto Madryn y sus alrededores. La empresa tiene plantas para el tratamiento de los gases generados por las series electrolíticas y los hornos de cocción de ánodos. Todas estas plantas requieren de una potencia de 10 MW (figura 6). Los efluentes líquidos generados por Aluar son tratados y se utilizan para el riego de espacios verdes dentro del predio de la empresa. También se realiza un monitoreo permanente de la vegetación local, la calidad de suelo y



Figura 6 • Planta de Tratamiento de humos

de sedimentos marinos.

En junio de 1997, la empresa recibió la certificación ISO-9002 por parte de Bureau Veritas Quality International (BVQI). En julio de 2001, Aluar recibió la certificación ISO 9001:2000. En julio de 2002, la empresa fue certificada como ISO/TS 16949:2002 e ISO 14001.

Mercados

La estrategia de crecimiento de Aluar es la de incrementar las exportaciones de sus productos con valor agregado. Actualmente Aluar exporta el 78% de su producción, de los cuales 36% se envía a EE.UU., 23% a Europa, 30% a Asia y 11% a Latinoamérica. El éxito alcanzado por Aluar se debe en gran parte a la fabricación de productos de alta calidad, el respeto de las especificaciones contractuales y el empeño en lograr relaciones a largo plazo con sus clientes.

Esta estrategia se extiende a un nuevo proyecto de expansión para realizarse en tres etapas. La primera, que está próxima a iniciarse, agregará 91.400 toneladas anuales a su actual producción y una nueva inversión en el parque térmico. ■■■

Alfredo J. Calandra realizó su doctorado en Ciencias Químicas en la Universidad Nacional de La Plata, donde también fue profesor adjunto, e hizo un posdoctorado en la Universidad de Pennsylvania.

Fue investigador del CoNICET y en 1974 ingresó en Aluar como jefe de Procesos Electroquímicos. En 1982 fue nombrado gerente de Investigación y Desarrollo, cargo que actualmente desempeña.

El Dr. Calandra escribió más de 60 trabajos que figuran en publicaciones científicas nacionales e internacionales.