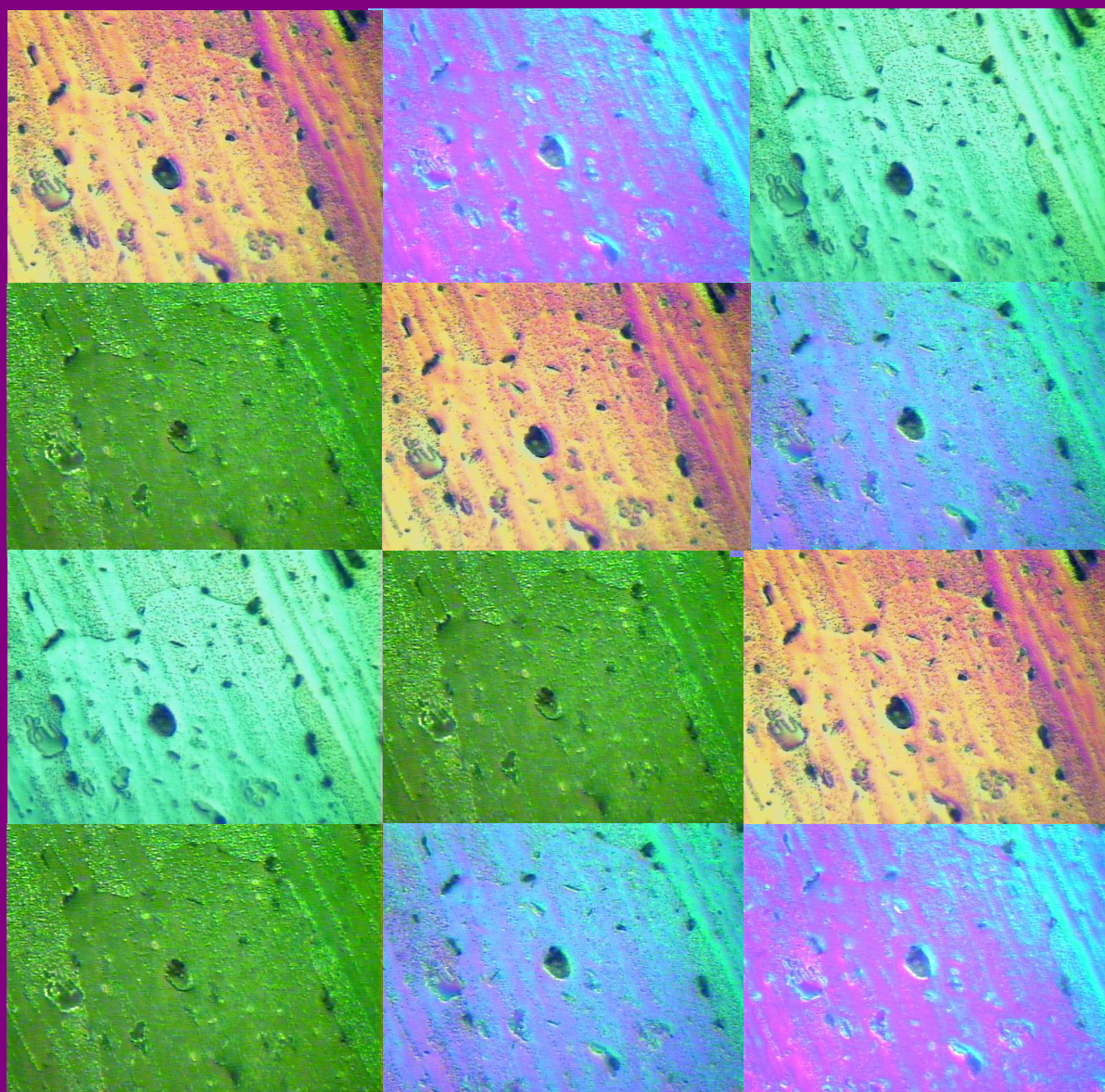




PUBLICACIÓN DE LA ASOCIACIÓN
ARGENTINA DE MATERIALES

Julio 2010 - Volumen 7 N°1



- ⊗ El Aluminio y sus aleaciones, historia y tecnología - Dr. Carlos Castellano
- ⊗ Cámara Argentina de la Industria del Aluminio y Metales Afines – Subcomisión de Ciencia y Tecnología y Capacitación – Breve reseña de actividades - Ing. Mauricio Gurski, Dr. Carlos Castellano
- ⊗ Fabricación y caracterización de nanoporos ordenados de Al_2O_3 obtenidos por anodización electroquímica del aluminio. - Felipe A. Garcés, Leandro N. Acquaroli, Roberto D. Arce
- ⊗ Reciclado de aleaciones de aluminio - Dra. Adela Cuniberti



Comisión Directiva de la SAM

Presidente: Dr. Carlos Schvezov
Vice Presidente: Dr. Ricardo Romero
Secretaria: Dra. Alicia Ares
Pro Secretaria: Dra. Sonia P. Brühl
Tesorero: Mg. Mario Rosenberger
Pro Tesorera: Dra. Elena Brandaleze
Vocales Titulares: Dr. Rubén González
Dr. Marcelo Stipcich
Ing. Juan Pérez Ipiña
Vocales Suplentes: Ing. Alberto Lucaioli
Dr. C. González Oliver
Dr. Mirco Chapetti
Revisor cntas: Dra. Graciela Alvarez
Revisor cntas sup: Ing. Julio Gaitán

Delegados Regionales

Bahía Blanca Alberto Lucaioli
Bariloche, Jorge Pelegrina
Buenos Aires CNEA Paula Alonso
Buenos Aires UBA Hernán Sbovoda
Buenos Aires CITEFA, Víctor Fierro
Córdoba Reinaldo Manzini
Entre Ríos Sonia Brühl
Buenos Aires INTI E. de Las Heras
La Pampa Rogelio Hecker
La Plata Daniel Culcasi
Mar del Plata Silvia Simison
Misiones Mario Rosenberger
Neuquén Juan Pérez Ipiña
Río Cuarto Osvaldo Oviedo
Rosario Alberto Armas
San Nicolás Mabel Ramini
Santa Fe José Bisang
Tandil Alejandro Ges
Tucumán Nicolás Nieva

Comité Científico

Dr. Esteban Aglietti
Dr. Manfred Ahlers
Dr. Numa Capiatti
Dr. Eduardo Dvorkin
Dr. José R. Galvele
Dr. Roberto J. Williams

Revista SAM

PUBLICACION DE LA ASOCIACION ARGENTINA DE MATERIALES

Editor

Dr. Ricardo Romero

Co-Editor

Dr. Carlos Schvezov

Secretaria Editorial

Dra. María Luján Castro

Asistente Editorial:

Dra. Carina Morando

Dra. Alicia Ares

Volumen 7 N°1 - Julio 2010

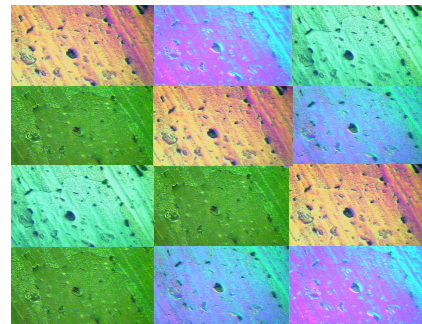


Foto de tapa:

**Partículas Mg₂Si en Aleación AW6061
Arreglo efectuado con una micrografía óptica con
interferómetro (800x).**

Dra. María Luján Castro (IFIMAT, UNICEN, Argentina)

Revista cuatrimestral de divulgación científica.
Propiedad intelectual: Asociación Argentina de
Materiales



INDICE DE CONTENIDOS

NOTA EDITORIAL

Bicentenario 3

El Aluminio y sus aleaciones, historia y tecnología

Dr. Carlos Castellano 5

*Cámara Argentina de la Industria del Aluminio y Metales Afines –
Subcomisión de Ciencia y Tecnología y Capacitación – Breve reseña de
actividades*

Ing. Mauricio Gurski – Dr. Carlos Castellano 14

*Fabricación y caracterización de nanoporos ordenados de Al₂O₃ obtenidos
por anodización electroquímica del aluminio.*

Felipe A. Garcés, Leandro N. Acquaroli, Roberto D. Arce 19

Reciclado de aleaciones de aluminio

Dra. Adela Cuniberti 27



NOTA EDITORIAL

Bicentenario

Queremos manifestar nuestra calurosa adhesión a los festejos correspondientes al Bicentenario de la formación de los primeros gobiernos patrios, tanto en Argentina como en otros países hermanos. También desde este lugar queremos compartir la inmensa alegría manifestada por nuestro pueblo en las bellísimas jornadas del Mayo último. Mucho se puede esperar de un pueblo que no olvida sus raíces, dado que allí se encuentra el germen de su futuro. Por el contrario, no hay mañana de grandeza para aquellos pueblos que no recuerdan el ayer.

Continúa exitosa y entusiastamente la organización del Tercer Encuentro de Jóvenes Investigadores. Consideramos este tipo de actividad muy importante dado que convoca al grupo humano que constituye, sin ninguna duda, el futuro de nuestra actividad. Se recibieron 143 trabajos, 34% de grado, 13% de fin de grado, 53% postgrado, que en este momento se encuentran en la fase de evaluación. Siendo los tópicos más numerosos: Materiales Compuestos y nanoestructurados (25), Polímeros (20), Materiales de Construcción (20), Biomateriales (18). Es muy interesante esta distribución temática dado que nuestra asociación nació como la Sociedad Argentina de Metales y durante muchos años los trabajos trataron preferentemente sobre metales y aleaciones, luego progresivamente se fueron incorporando nuevos materiales, y en este encuentro que constituye una muestra del presente con vistas al futuro vemos como se ha ido expandiendo y bifurcando la investigación en materiales en nuestro país.



Es imposible no relacionar este tema con el primero mencionado, el del Bicentenario, dada la cuota de confianza y optimismo que trae el entusiasmo demostrado por nuestros jóvenes investigadores, y lo que ello significa para la continuidad y el progreso de la actividad.

Carlos Schvezov
Co-editor

Ricardo Romero
Editor



El Aluminio y sus aleaciones, historia y tecnología

Dr. Carlos Castellano

Presidente de la Subcomisión de Ciencia, Tecnología y Capacitación
Cámara Argentina de la Industria del Aluminio y Metales Afines. C.A.I.A.M.A
cytecnologia@aluminioaiama.org – www.aluminioaiama.org

RESUMEN

El aluminio en el mundo, sus propiedades y aplicaciones, la evolución de los procesos de fabricación y el consecuente incremento de los volúmenes de producción. Etapas de sus procesos de transformación. El Aluminio en la Argentina y su relación con el resto del mundo. Oportunidades y conclusiones

ABSTRACT

Aluminum in the world. Properties and applications. Manufacturing processes evolution and the consequent increase in production volumes. Stages of their transformation processes. Aluminium in Argentina and its relationship with the rest of the world. Opportunities and conclusions

Introducción

El Aluminio es un metal liviano y el más abundante entre los metales. En la naturaleza no se encuentra en estado metálico, se halla combinado, formando compuestos. Es necesario aplicar una importante cantidad de energía para lograr su extracción a partir de los minerales que naturalmente lo contienen. Sin embargo, sus propiedades hacen que esta energía tenga un excelente retorno de valor por cuanto se trata de un metal muy noble (alta resistencia a la corrosión) y totalmente reciclable.

Ambas propiedades, además de conferirle una vida interminable y un sinnúmero de aplicaciones, lo posiciona como un metal sumamente amigable con el medio ambiente. Posee excelentes propiedades mecánicas y es por esto que se utiliza extensamente en infinidad de aplicaciones: los cerramientos de aberturas de edificios (puertas, ventanas, fachadas), estructuras de gran complejidad (estadios, templos, salones para usos

múltiples, estructuras industriales, etc.), aplicaciones en aeronáutica, náutica, autopartes, transporte, aplicaciones de uso eléctrico (conductores de líneas de alta tensión, condensadores, luminarias, etc.), infinidad de envases para alimentos y productos varios, vajillas y otros elementos para el hogar, etc.

Un poco de historia

La metalurgia en la historia de la humanidad comenzó desde tiempo inmemorial con el uso del oro y la plata. El cobre se conoce desde hace 7000 años, el bronce desde hace 5500 años y el hierro desde más de 3000 años. El aluminio pudo ser aislado en un laboratorio recién en 1827.

Fue descubierto en el año 1825 por Hans Oersted y aislado por primera vez por Wöhler en 1827 en Copenhague.



Sin embargo, no fue hasta 1886 en que se pudo desarrollar una tecnología que permitió su obtención de manera práctica y realizable.

En el año 1886 dos científicos que no se conocían, uno en Francia (Paul Louis Toussaint Heroult) y el otro en Estados Unidos de Norteamérica (Charles Martin Hall), desarrollaron simultáneamente el método de obtención de aluminio por electrólisis.

Gracias a este proceso, que desde entonces se usa universalmente, el aluminio pasó de ser un poco más que una curiosidad metalúrgica en el siglo XIX, a ser el “metal del siglo XX”.

Cuando hace 110 años atrás se consiguió obtener por primera vez una pequeña cantidad de este metal brillante, del color de la plata, nadie pudo pensar sobre el papel tan importante que habría de desempeñar en la vida del hombre en tan corto tiempo. Su producción creció de 13 toneladas en 1886 a los 37 millones de toneladas del año 2009 y a las más de 40 millones toneladas que se estima alcanzar en el 2010.

Fue necesario que la humanidad alcance el desarrollo tecnológico adecuado – particularmente relacionado con las fuentes de energía eléctrica - para llegar a extraer y comenzar a aplicar este prodigioso metal a mejorar la calidad de vida del hombre.

Cómo se obtiene el Aluminio

El proceso de obtención presentó enormes dificultades. A principios del siglo pasado se obtuvo aluminio por la electrólisis de compuestos de aluminio, fundidos a altas temperaturas. Fue allí cuando comienza el desarrollo del método electrolítico para la obtención industrial del aluminio y fue en ese entonces que gracias a la electrólisis, este metal adquirió una vertiginosa y amplia utilización.

El mineral más adecuado para la producción de aluminio es el hidróxido de aluminio (óxido hidratado de aluminio), que se encuentra en la naturaleza formando las bauxitas. Este mineral contiene gran cantidad (del 50 al 70%) de

óxido de aluminio (alúmina) que es la principal materia prima para los procesos industriales electrolíticos de fabricación de aluminio.

La casi totalidad de la alúmina requerida para la fabricación del aluminio es obtenida a través del proceso Bayer para la refinación de la bauxita. En este proceso la bauxita es deshidratada y transformada en óxido anhidro de aluminio (alúmina).

La alúmina debe ser disuelta en un solvente conformado por una mezcla de sales inorgánicas (criolita), permitiendo de esta forma, la liberación de iones aluminio y óxido. La solución así obtenida es sometida al proceso de electrólisis.

Por el pasaje de la corriente eléctrica a través de esta solución, los iones aluminio son reducidos eléctricamente a aluminio metálico. Es por esto que se considera que la segunda materia prima para la obtención del aluminio es la energía eléctrica.

El desarrollo de tecnología moderna para la electrólisis, la generación y el transporte de la energía y las mayores disponibilidades de energía, han hecho posible que el aluminio sea el último metal de uso masivo aislado por el hombre. Es por esto que el crecimiento de la industria del aluminio está fuertemente asociado al desarrollo de las fuentes de energía.

El proceso para la obtención del aluminio es conducido en reactores - las cubas electrolíticas - que son recipientes capaces de alojar a la solución conformada por el solvente (criolita) y el soluto (alúmina), que debe estar en estado líquido para permitir el pasaje y la acción de la corriente eléctrica a través de ella. El cátodo de esta cuba de electrólisis es el mismo aluminio y el ánodo está conformado por bloques de carbono fabricados a partir de coque de petróleo y brea.

La corriente eléctrica que circula a través de estos electrodos y la solución, por efecto Joule produce una temperatura elevada (alrededor de los 900° C). La solución en estas condiciones se mantiene en estado líquido, permitiendo la “electro-lisis” (electro separación) de la alúmina en aluminio metálico, puro y oxígeno. Este oxígeno,

reacciona con el carbono de los ánodos y genera dióxido de carbono.

El aluminio, líquido a esta temperatura, se va acumulando en el fondo del reactor (la cuba) y es extraído de allí a través de una operación de colado del metal acumulado.

Este metal líquido debe ser transportado a hornos, donde será conducido a su solidificación en diferentes aleaciones y formas semielaboradas en función del destino final que se desea para el metal.

Los principales productos de esta etapa de semielaboración, está dirigidos a los procesos necesarios para la fabricación de las diferentes aplicaciones:

Barrotes: están destinados a los procesos de extrusión para usos en carpintería metálica, estructuras de aluminio, aplicaciones industriales (perfiles para llantas de vehículos livianos, tubos para intercambiadores de calor, otras autopartes, etc.), transporte, etc.

Placas: destinadas a los procesos de laminación en caliente y en frío. Se aplica para la obtención de chapas para recubrimientos, aeronáutica, náutica, transporte, silos cisternas, discos para menajes y otros. Continuando este proceso, a través de laminación en frío, se pueden alcanzar otras aplicaciones como son: papel fino de aluminio para uso doméstico, envases flexibles, aplicaciones industriales, etc.

Lingotes: destinados a ser refundidos para conformarlos en moldes a través de diferentes tecnologías. Aplicaciones en la fabricación de múltiple formas y piezas para industrias: llantas de aluminio para automotores, autopartes, accesorios para motores y artículos para el hogar, etc.

Colada continua de alambre: para uso eléctrico, particularmente para cables de alta tensión y otras aplicaciones mecánicas.

En la Figura 1 se presenta un esquema de las etapas descriptas.

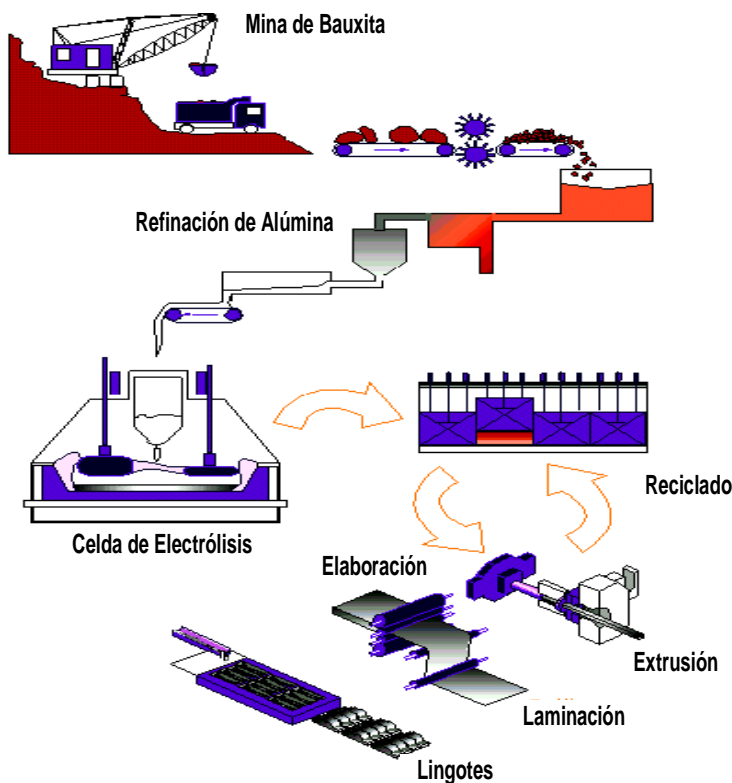


Figura 1 - Esquema de las etapas de producción de los principales productos. (*) World – Aluminum – Internacional Aluminum Institute



Cómo se convierte el Aluminio en productos

El aluminio tiene muchas excelentes propiedades entre las que se destacan las siguientes:

Baja densidad con muy buenos valores de resistencia mecánica.

Es fuertemente resistente a la corrosión aún sin recubrimientos.

Puede ser procesado utilizando diferentes procesos (incluyendo a la extrusión).

Es reciclable.

Puede ser soldado utilizando técnicas comunes.

Todos los productos semielaborados (Barrotes, Placas, lingotes) que provienen tanto de fuentes de aluminio primario como del reciclado y refinación, son conformados en su composición química y formas, de acuerdo a los requerimientos de los procesos que de los que finalmente se obtendrán los productos finales: Extrusión, Laminación, Moldeado (Fundición), Forjado.

Extrusión: para la obtención de perfiles, planchuelas y tubos. Esta propiedad de las aleaciones de aluminio de poder ser extruídas, le confieren al material una enorme gama de posibilidades de aplicaciones, debido a las múltiples formas en la que se pueden obtener perfiles y piezas y por las excelentes propiedades mecánicas que estos poseen.

Los barrotes de aluminio obtenidos en la electrólisis de la alúmina (aluminio primario) o por reciclado (refusión) de recortes o partes en desuso (scrap), son conducidos al proceso de Extrusión. Los barrotes, una vez cortados, son sometidos a la acción de una prensa de extrusión forzando al aluminio a pasar a través de una matriz con la forma del perfil que se desea obtener.

Estos perfiles están diseñados para conformar las diferentes líneas de carpintería de aluminio, construir estructuras de edificios, aportar soluciones industriales, fabricar partes para vehículos, intercambiadores de calor, artefactos del hogar y muchas otras aplicaciones.

Laminación: para la obtención de chapas de diferentes espesores, hasta papel (foil) de aluminio.

Las placas obtenidas en la electrólisis de la alúmina (aluminio primario) o por reciclado (refusión) de recortes o partes en desuso (scrap), son sometidas al proceso de Laminación en Caliente y usualmente, continuado por procesos de Laminación en Frío. De esta forma, se obtienen chapas y bobinas de aluminio de diferentes espesores. Estos procesos son conducidos por laminadores que permiten reducir el espesor de la chapa de aluminio hasta valores del orden de los seis micrones.

Otra forma de material de partida para estos procesos, son las chapas producidas por "colada continua". Las sucesivas reducciones de espesores y tratamientos térmicos a los cuales se someten ambos tipos de materiales de partida, son similares.

Estos materiales, las chapas de mayores espesores, son utilizados en la construcción, techado y recubrimientos de fachadas, en transporte, industria aeronáutica, ferroviaria, náutica, aplicaciones marinas, plataformas offshore, y superestructuras y casco de barcos. Los espesores menores, se aplican en la fabricación de vajilla descartable, envases rígidos (latas, aerosoles) o flexibles, otras aplicaciones industriales, etc.

Los productos de laminación, y foil constituyen alrededor del 50% del uso y aplicaciones de aleaciones de aluminio.

También en la actualidad se está registrando un incremento sustancial de la aplicación de chapas de aluminio en la fabricación de automóviles y camiones. Se espera que en los años venideros este consumo, en la industria automotriz y del transporte, se acrecienta de manera significativa.

En Norte América y en Europa Occidental, la industria del envase consume la mayor parte de las chapas y foil para la fabricación de envases rígidos (latas, aerosoles), flexibles y papel para múltiples usos.

Lingotes: Son productos que se obtienen como lingotes de aluminio puro o aleado en diferentes formas y tamaños, a partir de la



solidificación del aluminio que proviene de la electrólisis de la alúmina (aluminio primario) o por reciclado (refusión) de recortes o partes en desuso (scrap).

Estos lingotes deben ser refundidos para ingresar en procesos de conformado en moldes ("casting").

Las tecnologías de conformado en moldes son muy variadas y van desde la fundición por gravedad a complejos procesos de fundición por inyección a alta presión.

Las piezas obtenidas tienen excelentes propiedades y encuentran aplicación en un extremadamente amplio segmento de la industria. Desde las autopartes a la fabricación de elementos de artículos del hogar.

Forjado: Este es un proceso por el cual un material, aluminio sólido, es deformado de manera controlada por acción de presas sobre matrices para obtener la conformación y las propiedades requeridas.

Una de las más importantes características del aluminio es su magnífica adaptación a estos procesos, razón por la cual es posible obtener excelentes propiedades mecánicas y complejas formas geométricas en piezas conformadas a través del forjado.

Sus principales aplicaciones están en las autopartes, industria aeroespacial, transporte, náutica, etc.

Colada Continua de alambre de aluminio: se aplica fundamentalmente a la fabricación de cables para las instalaciones de transmisión de energía de alta potencia. Otras aplicaciones de menor extensión, son la de usos mecánicos y la de fabricaciones de aleaciones especiales para electrodos de soldaduras.

Los productos obtenidos por cualquiera de estos procesos, frecuentemente requieren de transformaciones subsecuentes a fin de alcanzar las formas y propiedades requeridas por los sistemas donde serán aplicados. Nos referiremos a cada una de ellas:

Tratamientos Térmicos: las diferentes aleaciones de aluminio que se pueden obtener pueden ser sometidas a distintos tratamientos

térmicos para modificar sus propiedades: Homogeneizado, Recocido, Solubilizado y Envejecido.

Maquinado: se aplica para definir formas precisas con exigentes niveles de tolerancia y acabado superficial.

Uniones: existe un amplio espectro de técnicas desarrolladas para la vinculación de piezas de aluminio. Desde las uniones mecánicas hasta múltiples formas de soldaduras: TIG, MIG, Láser, Plasma, Plasma-MIG, Arco, Proyección, Fricción, etc.

Reciclado: el aluminio está siendo reciclado desde el momento en el que fue comercialmente producido. Hoy, un tercio del consumo mundial de aluminio proviene del reciclado. El reciclado es una parte esencial de la Industria del aluminio dado que es conveniente y efectivo tanto técnicamente como desde el punto de vista ecológico y económico. Al final de su vida útil, cualquier pieza de aluminio garantiza mantener un valor ya que a través del reciclado puede volver a formar parte de nuevos productos.

El Aluminio en la Argentina - Su relación con el resto del mundo.

Actualmente, la producción total de aluminio en el mundo es de más de 37 millones de toneladas.

En Argentina hay una sola fábrica productora de aluminio primario que abastece a compañías elaboradoras de aluminio del país y del exterior.

La Planta de ALUAR en Puerto Madryn, produce 420.000 toneladas anuales de aluminio primario que entrega al mercado nacional e internacional en las diferentes formas y aleaciones requeridas para los procesos de extrusión, laminación, fundición, forjado, para fabricación de cables y otros.

En las tablas 1 y 2 se puede observar la distribución de la producción de aluminio alrededor del mundo, la evolución en los

últimos años y el consumo que se registra en cada una de estas regiones.

Tabla 1 - Producción de Aluminio Primario por regiones

REGIÓN	2003	2008	2009	2010 [Estimado]
AFRICA	1764	1715	1681	1700
ASIA	2391	17921	18367	23000
AUSTRALIA - N. ZELANDA	2184	2296	2211	2200
EUROPA	4521	9757	8144	7900
NORTE AMÉRICA	7071	5783	4759	4500
AMÉRICA LATINA	2320	2659	2507	2700
ARGENTINA	270	380	410	425
TOTALES	17931	37472	35162	39300

Tabla 2 - Consumo de Aluminio Primario por regiones

REGIÓN	2008	2009	2010 [Estimado]
AFRICA	573	497	536
ASIA	20200	21084	23500
AUSTRALIA - N. ZELANDA	348	315	280
EUROPA	8775	6432	7000
NORTE AMÉRICA	5990	4547	4900
AMÉRICA LATINA	1410	1300	1400
ARGENTINA	117	121	131
TOTALES	37413	34296	37747

(*) datos de archivos de C.A.I.A.M.A.

La evolución del consumo de aluminio en nuestro país, desde el año 1999 a la fecha, sufrió variaciones significativas. En la Figura 2 se puede observar estas variaciones, donde se destaca que en el curso del año 2004 se alcanzó el nivel de consumo que se había registrado en 1999. A partir del año, 1999 se nota una caída muy importante en el consumo que se extiende hasta el año 2004, año en el que se inicia un proceso de recuperación, llegando al 2009 con un consumo de 125.000 toneladas y se estima un valor superior a las 180.000 toneladas para el año 2010.

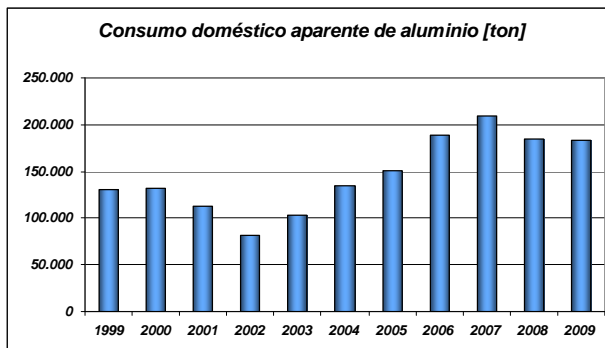


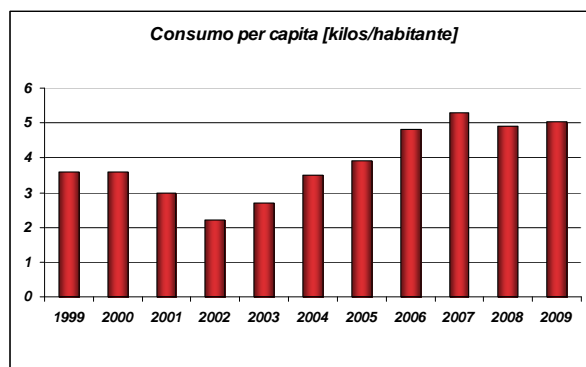
Figura 2 – Evolución del Consumo de aluminio primario en Argentina

(*) datos del Anuario de la C.A.I.A.M.A.

Más del 60% de la producción de aluminio primario de la Argentina se exporta a diferentes países del mundo. El 40% restante, se distribuye en un importante número de empresas que elaboran el aluminio a través de los procesos de Extrusión, Laminación, Fundición, Forjado y Trefilación.

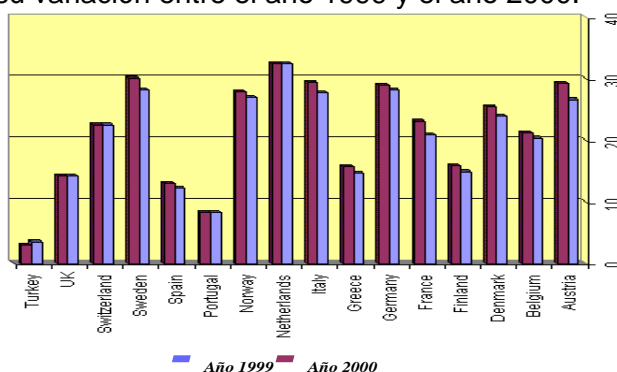
El consumo “per cápita” de aluminio es un indicador del nivel de desarrollo de los países. En la Argentina, el consumo de aluminio “per cápita” está muy por debajo de los valores que se registran en los países más desarrollados y aun en países de nuestro mismo nivel de desarrollo.

En el siguiente gráfico se muestra la evolución del consumo “per cápita” de aluminio en Argentina entre los años 1999 y 2009.





A modo de comparación, se presenta el consumo específico [Kgr/hab.] en otros países de diferente nivel de desarrollo de Europa, y su variación entre el año 1999 y el año 2000.



Se puede apreciar que el actual consumo per cápita de Argentina del orden de los 5 kg/hab. es solamente comparable al valor de Turquía del año 2000.

Distribución del consumo en Argentina

Como se vio, existen diferentes productos de aluminio semielaborado (laminado, extruído, lingote, alambón y otros) que son aplicados al consumo de distintos sectores (construcción civil, envases, transporte, industria eléctrica bienes de consumo, máquinas y equipos, acerías y otros).

Analizaremos a continuación, (tabla 5) la distribución del consumo de aluminio por producto y sector y por origen (nacional o de importación), en Argentina.

Consumo Doméstico de Aluminio

Consumo de producción nacional en el mercado interno por producto y sector [en toneladas] - Año 2009 (*)

Producto	Sector	Construcción Civil	Envases(**)	Transporte	Industria Eléctrica	Bienes de Consumo	Máquinas y Equipos	Acería	Otros	Consumo Total
Chapas y Rollos [Espesor ≥ 0,2 mm]		682	13.224	520	13	3.761	494	0	485	19.179
Chapas Finas y Foil		758	5.537	406	0	692	167	0	22	7.582
Extruídos		25.481	0	1.931	326	2.141	1.648	0	4.119	35.646
Alambón y Cables		0	0	0	33.560	0	0	916	64	34.540
Fundidos		4.200	0	23.080	440	3.945	641	6.499	386	39.191
Otros		0	0	0	0	0	0	0	1.319	1.319
Distribución al Mercado Interno		31.121	18.761	25.937	34.339	10.539	2.950	7.415	6.395	137.457
Participación total		22,6%	13,6%	18,9%	25,0%	7,7%	2,1%	5,4%	4,7%	100,0%

(*) Fuente: empresas productoras(datos suministrados por C.A.I.A.M.A.)

(**) No incluye latas para bebidas

Consumo total por producto y origen [en toneladas] - Año 2009 (*)

Producto	Consumo de Producción Nacional	Importación	Consumo Total Mercado Interno	Participación Total
Chapas y Rollos Espesor ≥ 0,2 Mm.	19.179	4.238(**)	23.417	13,6%
Chapas Finas y Foil	7.582	10.367	17.949	10,4%
Extruídos	35.646	3.911	39.557	22,9%
Alambón Y Cables	34.540	720	35.260	20,4%
Fundidos	39.191	7.336	46.527	26,9%
Otros	1.319	8.624	9.943	5,8%
Consumo Total Mercado Interno	137.457	35.196	172.653	100,0%
Participación total	79,6%	20,4%	100,0%	

(*) Fuente: empresas productoras, INDEC

(**) No incluye 10865 toneladas de rollos para fabricación de latas para bebidas.

Tabla 5

La mayor parte del aluminio primario o reciclado se aplica en los procesos de fundición de piezas. En las figuras 2 y 3 se puede observar el porcentaje relativo de cada uno de los procesos a los que se somete al aluminio (figura 2) y su aplicación en los diferentes sectores para la obtención de los productos requeridos por el mercado (figura 3).

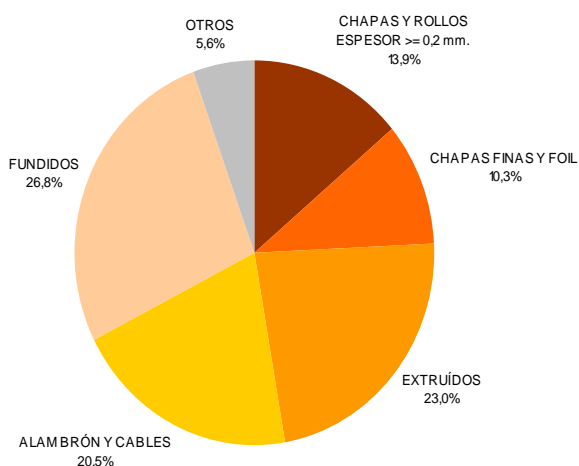


Figura 2: Consumo doméstico total por producto

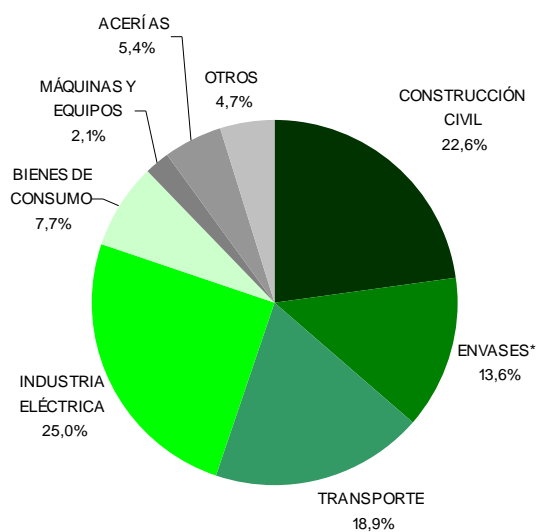


Figura 3: Consumo doméstico de producción nacional por sector

En las figura 4 se puede observar el porcentaje relativo de la aplicación de aluminio primario de producción nacional y el porcentaje de aluminio importado como productos terminados o semielaborados.

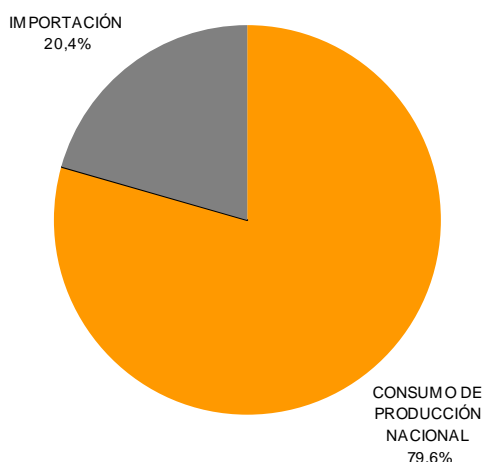


Figura 4: Consumo doméstico total por origen

Conclusiones

El consumo de Aluminio en Argentina es muy inferior a lo que indican sus parámetros de desarrollo.

La Argentina produce aluminio primario de alta calidad, con tecnología para ofrecer al mercado de la elaboración (Laminación, Extrusión, Fundición, Forjado, Trefilación) materia prima de la mejor calidad para la fabricación de los productos terminados y cubre alrededor del 80 % de las necesidades del mercado interno. El 20 % restante corresponde a aluminio que ingresa en forma de productos semielaborados y terminados que no se han fabricado en el país.

El volumen de aluminio primario que se produce en el país y el bajo consumo del mismo, deja una cuota exportable que sugiere la posibilidad de incrementar y desarrollar los procesos de transformación a realizar por la



industria nacional dirigidos a exportar productos elaborados con muy alto agregado de valor.

La industria de la elaboración del aluminio, en cualquiera de los procesos mencionados, requiere de tecnología para generar negocios sustentables.

Estas tecnologías registran una evolución continua, forzada por la necesidad de ofrecer productos de mejores propiedades y costos para satisfacer los requerimientos del mercado y competir exitosamente con otros materiales.

Es importante entonces atender al desarrollo e implantación de estas nuevas tecnologías, en especial en los procesos de laminación y de colada de piezas por inyección a alta presión, para mantener la oferta de productos que están siendo requeridas por el mercado.

Es por esto que la Cámara Argentina de la Industria del Aluminio y Metales Afines y

alguna de sus Empresas asociadas, realizan acciones sistemáticas dirigidas a interesar e involucrar a grupos de I+D que están relacionados con proyectos de investigación y desarrollo en temas vinculados con el aluminio, para profundizar el conocimiento básico de estas tecnologías que permitan la implantación efectiva de las mismas en la industria local.

Referencias

Los datos estadísticos de las tablas y figuras fueron tomados de información documental en archivos de la Cámara Argentina de la Industria del Aluminio y Metales Afines (C.A.I.A.M.A.) y del anuario de libre acceso público en www.aluminiocaiama.org.



CÁMARA ARGENTINA DE LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO Y METALES AFINES SUBCOMISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Y CAPACITACIÓN BREVE RESEÑA DE ACTIVIDADES

Ing. Mauricio Gurski – Dr. Carlos Castellano

Subcomisión de Ciencia, Tecnología y Capacitación
Cámara Argentina de la Industria del Aluminio y Metales Afines
cytecnología@alumiocaiaama.org – www.alumiocaiaama.org

Origen

Las restricciones a las importaciones de productos elaborados durante las dos guerras mundiales ocurridas el siglo pasado combinado con las oleadas de inmigrantes provenientes principalmente desde Europa antes y después de cada una de esas guerras trayendo consigo sus oficios y herramientas, creó una incipiente industrialización particularmente en los alrededores de los centros urbanos.

Así, el aluminio como metal nuevo, comenzó a utilizarse particularmente en la fabricación de utensilios para la cocina (ollas, cacerolas, pavas, sartenes, etc.) y por su condición de barrera de luz y humedad, en los envases flexibles para productos medicinales, alimentos y cigarrillos.

El fortalecimiento de los gremios como así también la intervención de los poderes públicos del gobierno en las decisiones de las actividades industriales, produjo la necesidad de conformar grupos gremiales empresarios que atendieran los problemas planteados y permitieran la interlocución ordenada con dichos organismos.

Bajo este contexto es que el 8 de junio del año 1949 nació la Cámara de la Industria del Aluminio y Metales Afines adherida a la Federación de Industrias Metalúrgicas Livianas, con los siguientes objetivos:

- ❖ Atender a todo lo relativo a intereses del Sector
- ❖ Asumir representación ante los poderes públicos y privados.

- ❖ Gestionar medidas en defensa de los intereses del sector.
- ❖ Fomentar la asociación, colaboración y solidaridad entre los miembros y ofrecer un ámbito de reunión y discusión.
- ❖ Mantener a los asociados informados.
- ❖ Propender a la Capacitación técnico-profesional de los asociados.
- ❖ Difundir e incentivar el uso del aluminio a través de la participación en muestras, exposiciones y congresos.
- ❖ Incentivar el desarrollo de tecnología de los procesos industriales relacionados con el sector.
- ❖ Publicar estadísticas, datos e información sobre la evolución del sector.
- ❖ Participar en el desarrollo y recomendaciones de normas.

En el año 1958 la Cámara adquiere la personería jurídica con sede propia que ocupa hasta la actualidad, en la calle Paraná 467 -1° "3" de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Acompañando el proceso de expansión

Con la llegada a nuestro país de las principales firmas internacionales de Aluminio entre ellos ALCAN, PECHINEY, KAISER ALUMINIO, se incorpora la moderna tecnología de procesamiento de semielaborados de aluminio con lo cual se



comienzan a fabricar productos laminados, extruídos y trefilados, destacándose la calidad de los mismos.

En 1971 se inicia la construcción en Puerto Madryn de la planta de ALUAR para la producción de aluminio primario y tres años después, inicia la fabricación de lingotes que, hasta ese año, eran totalmente importados.

Esta presencia, permite que la industria transformadora cobre un nuevo impulso al contar con la seguridad de una provisión confiable y de la mejor calidad.

Las empresas industriales asociadas a la Cámara se agruparon formando Ramas para atender los problemas y cuestiones específicos de cada sector: Laminación, Extrusión, Refinación, Fundidores, Menajeros, Manijeros.

Desde su fundación, la Cámara mantuvo una constante información a sus asociados a través de periódicos boletines que se distribuían por los medios existentes en cada momento, fue en la década del noventa que las comunicaciones sufren una expansión significativa con la aparición de las nuevas tecnologías electrónicas.

Aprovechando estos nuevos medios es que CAIAMA logra un mayor acercamiento tanto con sus socios como así también con todos los sectores que de una manera u otra estaban vinculadas con el sector.

Con el inicio del nuevo siglo, la Cámara sube a Internet su página www.aluminiocaiama.org que contiene la información completa de su conformación, la publicación de su boletín quincenal con novedades, el Anuario Estadístico, etc.

Vinculación con entidades nacionales e internacionales

La cámara ha puesto especial énfasis en establecer fuertes lazos con las entidades del país, con las que mantiene intereses comunes:

Con el IRAM, colaborando activamente en la elaboración de normas técnicas de aplicación en el sector de producción y elaboración del aluminio

Con el INTI para el desarrollo de nuevas tecnologías.

Con el CIRSOC, para el desarrollo de Reglamentos para las estructuras de Aluminio,

Con las Universidades para incluir en sus currículas las materias que estudian el aluminio y sus aplicaciones.

Acuerdos con los centros de I&D e innovación, para vincular efectivamente a los investigadores y tecnólogos con los sectores de producción.

También se han elaborado acuerdos y vinculaciones con otras cámaras empresarias del país y del exterior, la UIA (Unión Industrial Argentina) y ABAL (Asociación Brasileira del Aluminio) en Brasil.

A través de la Subcomisión de Ciencia, Tecnología y Capacitación, integrada por profesionales de las empresas socias y algunos integrantes de las Universidades Nacionales de Buenos Aires, La Plata, Del Centro de la Provincia de Buenos Aires y la Universidad Tecnológica Nacional y otros centros de investigaciones, se conformó un grupo de trabajo que, apoyados por las autoridades de la Cámara. además de las actividades mencionadas más arriba, organizaron Seminarios, Exposiciones y Cursos de Capacitación.

Seminarios:

1984 Puerto Madryn: Tratamiento del baño líquido del aluminio y sus aleaciones.

1988 Tandil: Argentino de Tecnología del Aluminio

1992 Buenos Aires: argentino y latinoamericano de Tecnología del Aluminio.

1993 Córdoba: El Aluminio metal indispensable en la vida Moderna.

1997 Mar del Plata: El aluminio en la Construcción



1998 Mendoza: El aluminio en la Construcción

2000 Buenos Aires: Extrusión de Aluminio. Desafío del siglo XXI

2006 Tandil: TALMA'06 – Primer Taller del Aluminio y Metales Afines.

2009 Puerto Madryn: TALMA'09 – Segundo Taller del Aluminio y Metales Afines

Exposiciones:

1992 Buenos Aires

1997 Mar del Plata

1999 Buenos Aires Mercolaluminio 1999

2001 Buenos Aires ALUVI 2001

2002 Buenos Aires Batimat Expovivienda

2003 Buenos Aires ALUVI 2003

2004 Buenos Aires Batimat Expovivienda

2005 Buenos Aires ALUVI 2005

2006 Buenos Aires Batimat Expovivienda

2007 Buenos Aires ALUVI 2007

2008 Buenos Aires Batimat Expovivienda

2009 Buenos Aires ALUVI 2009

Cursos de Capacitación:

Septiembre 1998: Soldadura de aluminio y sus aleaciones

Noviembre de 1998: Aleaciones de aluminio listas para colar

Abril de 1999: Fundición de Aluminio por gravedad

Julio de 1999: Materiales Refractarios.

Agosto de 1999: Evaluación del Impacto ambiental en la industria del Aluminio

Octubre de 1999: Fundición a presión de aleaciones de Aluminio

Junio 2000 : Herramientas para la optimización del Aluminio Líquido.

Octubre de 2006/7/8/9: Curso Carpintería de Obra. Aberturas y Fachadas Integrales de Aluminio.

Octubre de 2006/7/8/9: Curso Costos de Carpintería.

Años 2007/8/9: Horas en las Cátedras de Construcciones de Arquitectura de las Universidades de Palermo, Belgrano y Buenos Aires.

2003: En el ámbito de Posgrado de UTN Regional Buenos Aires se dictó el curso de Actualización de la Tecnología del Aluminio.

2004/5/7/8: Se firma entre la Cámara y la Universidad Nacional de San Martín un Convenio marco para el dictado dentro de la sede Capital de la Universidad, el curso de Actualización de la Tecnología del Aluminio.

2009: Por convenio con la Universidad Nacional de Buenos Aires, se dicta el curso de Especialización: "TECNOLOGÍA DEL ALUMINIO Y SUS APLICACIONES", en la sede del Departamento de Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Buenos Aires.

2009: Curso de Defectos en la Inyección a presión de piezas de aluminio. Se dictaron tres módulos del mismo curso.

Construyendo los próximos años:

En el año 2009, en que se cumplieron los primeros 60 años de sus actividades, CAIAMA redobla el compromiso con el sector y renueva su espíritu de trabajo, tanto en el plano de servicios a sus socios como su imagen institucional.

Para esto se continuará con las actividades mencionadas y se desarrollarán otras dirigidas a satisfacer los objetivos planteados en los estatutos de la Cámara. Se continuarán las actividades en tres áreas de trabajo:

- ❖ Normativas y reglamentos
- ❖ Transferencia de tecnología y desarrollo
- ❖ Capacitaciones

A) Normativas y Reglamentos

Objetivo: desarrollar y/o actualizar normas que impactan en el desarrollo y/o mercado de nuestros productos.

Para esto, se trabaja en la actualización y desarrollo de Normas IRAM, adecuándolas a normativas internacionales (Europea, Americana, etc.).

Entre las más importantes Normas que se actualizaron el este último año se destacan la norma IRAM 11988 – Criterios para la



selección de ventanas. Esta norma, basada en los Reglamentos del CIRSOC para el efecto de los vientos. El objetivo es que esta norma sea incorporada al código de edificación de la CABA.

Se han desarrollado normas nuevas y se gestionó el desarrollo de los reglamentos para estructuras de Aluminio, dentro del CIRSOC. Estos reglamentos, ya finalizados, se encuentran en etapa de discusión pública. Es un trabajo muy importante. Sirve de elemento de cálculo para la construcción de grandes estructuras de aluminio.

La Cámara participa como miembros de la Comisión Directiva del Comité Ejecutivo del Centro de Construcciones del INTI y formamos parte de los Comités de Carpintería y de Fachadas Integrales del IRAM y de la Comisión del CIRSOC.

B) Transferencia de tecnología y desarrollo

Objetivo: crear las condiciones y medios para alcanzar el acercamiento entre los grupos de I&D e innovación de las Universidades y Centros de Tecnología con los Industriales del Sector.

Para esto se realizan relevamientos y se mantienen contactos con Científicos y Tecnólogos para conocer sus líneas y proyectos de trabajo a los efectos de vincularlos o redirigirlos hacia necesidades de los industriales del Sector.

Se organizan seminarios y talleres donde se logra la confluencia de industriales con los científicos y tecnólogos. Se realizó el primer Taller en el año 2004, en Buenos Aires, con la participación de cinco grupos de trabajo. En la Edición del año 2006, en Tandil (TALMA'06) organizado en conjunto con el IFIMAT, se registró la concurrencia de 18 trabajos y el último encuentro TALMA' 09, en Puerto Madryn, se presentaron 26 trabajos.

Hasta este momento ya se han registrado importantes aportes técnicos que estimamos se irán incrementando en el tiempo. Lo más

significativo, es el deseo y la inquietud de los grupos de desarrollo, de interactuar con la industria y ofrecer sus conocimientos.

Otro tema también dentro de este bloque de actividades, es el desarrollo del "Manual de Instaladores" de carpintería. Esto apunta a mejorar las capacidades y la calidad de trabajo de la tarea de "colocar" la carpintería, última etapa del proceso de completar el cerramiento de la abertura. Surge esta inquietud, por cuanto el mal cierre de este proceso, desvirtúa toda la calidad que pueda haberse alcanzado en todas las etapas anteriores (desde la calidad del aluminio, los perfiles y la carpintería).

C) Capacitaciones

Objetivos:

- Instalar al aluminio como el material que es y con la importancia que tiene, demostrando sus propiedades y ventajas frente a otros materiales.
- Capacitar al personal de planta industrial y comercial en temas de la gestión.

Para el primero de estos objetivos, se mantienen cursos dentro de las cátedras de "Construcciones" de las carreras de Arquitectura, de las Universidades de Palermo, Belgrano y la UBA, desde el año 2005.

Se está preparando un material de "Contenidos Mínimos" para formar y reforzar los conocimientos de los Docentes de Carreras de Ingeniería. Se espera contar con este material, en el curso del año 2010.

Par el segundo objetivo, se han realizado y se continúan realizando, los siguientes cursos (en el aula de nuestra Cámara):

- ✓ Carpintería de Obra – Accesorios y Selladores.
- ✓ Pautas de Costos en la fabricación de Carpintería
- ✓ Cursos de Defectos de piezas obtenidas por Inyección a Presión



- ✓ Buenas prácticas de matricería de extrusión

Además desde el año 2004 se está realizando el curso de “Tecnología del Aluminio y sus Aplicaciones”. Este curso, que en sus dos primeras ediciones fue de un año, en este momento se diagramó para realizarlo en el período de un cuatrimestre.

Se dictó en la Universidad tecnológica (UTN – Medrano), en la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM) y en este año, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Buenos Aires (FI – UBA).

D) Otros temas

En el inicio del corriente año 2010, la Comisión Directiva de C.A.I.A.M.A. propuso en Asamblea y esta decidió y ejecutó la compra

de un inmueble – localizado en el mismo edificio de la actual sede de la calle Paraná 467, de la C. A. De Buenos Aires – que será destinado al dictado de cursos y capacitaciones.

Otro tema dentro de los objetivos planeados, es el de instituir un Premio al Diseño en Aluminio.

Entre estos objetivos, será de máxima prioridad profundizar todas aquellas actividades que permitan vincular a los sectores de I&D e innovación de tecnología con los sectores de producción.

Se continuará con el dictado de los cursos de especialización incrementando la temática de cursos para atender al creciente interés y necesidades del sector,



FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPOROS ORDENADOS DE Al_2O_3 OBTENIDOS POR ANODIZACIÓN ELECTROQUÍMICA DEL ALUMINIO

Felipe A. Garcés^{1,*}, Leandro N. Acquaroli¹, Roberto D. Arce^{1,2}

¹ Grupo de Física de Semiconductores INTEC (UNL-CONICET), Güemes 3450, 3000 Santa Fe, Argentina.

² Depto. Materiales, Facultad de Ing. Química (UNL), Sgo. Del Estero 2829, 3000 Santa Fe, Argentina

* *Correspondencia:* fgarcés@intec.unl.edu.ar

RESUMEN

Se estudiaron las características morfológicas de estructuras porosas ordenadas fabricadas sobre láminas de aluminio. Las estructuras se obtuvieron por ataque electroquímico utilizando un electrolito de carácter ácido. El diámetro de los poros generados varió entre 40 y 80 nm, con un espaciamiento en el rango de 85 a 115 nm. Las distribuciones de distancias y tamaños fueron obtenidas con mediciones de microscopía de fuerza atómica y microscopía electrónica de barrido. Se encontró una fuerte dependencia del diámetro de poro con el voltaje aplicado, la cual fue contrastada con resultados de otros autores. Se estudió la aplicación de esta metodología de fabricación de la estructura porosa para el caso de usar películas delgadas de aluminio.

Palabras claves: anodizado electroquímico, electrolitos ácidos, alúmina porosa.

ABSTRACT

Ordered porous structures fabricated onto aluminum ribbons have been studied. The structures were obtained by an electrochemical attack using an acid electrolyte. The pore sizes were between 40-80 nm and the spacing between them were in the range of 85 to 115 nm. The size and length distributions were determined with atomic force microscopy and scanning electron microscopy. We confirmed a strong dependence of the pore diameter with applied voltage. These results are compared with results previously reported by other authors. We studied the application of this fabrication methodology when using aluminum thin films as base material.

Keywords: electrochemical anodize, acids electrolyte, porous alumina



INTRODUCCIÓN

Los óxidos anódicos pueden ser clasificados según el electrolito involucrado en la reacción, dado que este último es determinante para la formación de una estructura porosa. Si el electrolito utilizado posee poca habilidad para disolver el óxido, el resultado será una película sin poros que se formará rápidamente, y el espesor de la misma dependerá del voltaje aplicado. Otro tipo de electrolito es aquel que ejerce una acción sobre la película de óxido, actuando en la interfase del sistema óxido-solución de manera que se disuelva el material en donde el campo eléctrico es más alto. Las películas de óxido como el Al_2O_3 generalmente se fabrican con este tipo de electrolito, como por ejemplo, ácido oxálico, ácido maleico y ácido malónico [1].

El ordenamiento de estructuras porosas ha tenido gran interés en los últimos años debido a la variedad de sus potenciales aplicaciones y bajos costos de producción. Dentro de este grupo de estructuras se encuentra el óxido de aluminio, el cual se obtiene a través del anodizado electroquímico del aluminio y puede utilizarse, por ejemplo, como máscara precursora para la transferencia de un patrón poroso a otros materiales. Esto posibilita la fabricación de diferentes nanoestructuras como puntos cuánticos ordenados [2, 3], nanohilos, nanotubos [4], y silicio poroso ordenado [5]. Esta versatilidad da lugar a una diversificación en las propiedades ópticas, electrónicas y magnéticas de estos sistemas.

Teniendo en cuenta el tipo de electrolito que se utiliza para la formación de alúmina porosa, algunos investigadores [6] propusieron que la nucleación del poro es debida al craqueo y auto-sellado de la capa de óxido en algunas crestas preexistentes sobre la superficie de aluminio, lo que da lugar a una capa de óxido de espesor no uniforme denominada capa barrera [7]. H. Masuda et al. [7] fueron los primeros en crecer películas de alúmina con un perfecto ordenamiento hexagonal de los poros. El procedimiento empleado en este caso consiste en un primer anodizado del aluminio durante 10 hs, seguido de la disolución de la capa de alúmina

formada, para posteriormente repetir el anodizado por unos minutos.

Una vez elegido el sistema a utilizar para la formación de estas estructuras, es posible monitorear el curso de la reacción por medio de la medición de la densidad de corriente a través del tiempo [8], ya que el crecimiento de los óxidos porosos incluye varias etapas que son fácilmente detectadas por este medio. En el caso del óxido de aluminio, estas etapas están representadas por cuatro procesos: formación del óxido, iniciación de poros, disolución del óxido y prolongación del poro. Cabe mencionar que estos procesos se ven afectados en gran medida por el potencial aplicado, modificando así la estructura final del material. De esta manera, por medio del monitoreo de la corriente, se puede llegar a un ajustado control en la fabricación de la nanoestructura. De esta forma es posible encontrar las condiciones ideales para generar patrones con alto grado de ordenamiento que eventualmente puedan ser transferidos sobre otros materiales como el silicio cristalino.

Dada la diversidad de resultados reportados en la bibliografía en relación con la dependencia de la morfología con el voltaje aplicado [1, 5, 9, 10], se decidió investigar este parámetro fabricando muestras con distintos voltajes de anodizado de manera de poder apreciar una tendencia de los tamaños de poros y distancias entre poros en función de este parámetro. En este trabajo se presentan resultados obtenidos durante la fabricación de nanoestructuras ordenadas de óxido de aluminio, variando los voltajes y tiempos de anodización. Se analizaron los efectos sobre tamaño de los poros, diámetro de las celdas y formación de dominios. La caracterización de estas estructuras se realizó por medio de la utilización de técnicas de microscopía de fuerza atómica (AFM, Atomic Force Microscopy) y microscopía electrónica de barrido (SEM, Scanning Electronic Microscopy).

DETALLES EXPERIMENTALES

Las muestras se prepararon siguiendo la metodología propuesta en la referencia [7] con ligeras modificaciones que se detallarán a continuación. La concentración del electrolito

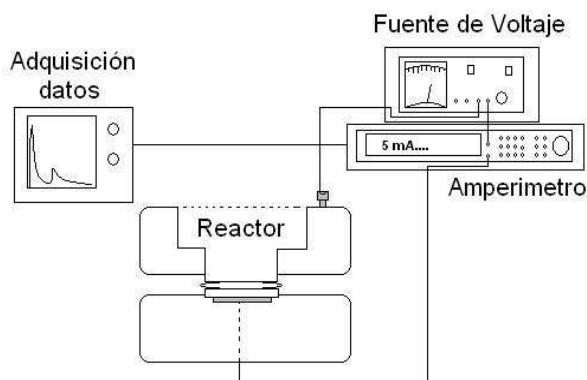


Fig. 1: Esquema del sistema de anodizado

utilizada en este trabajo se modificó con respecto a la empleada por H. Masuda, tal como se detalla mas adelante. Como sustratos se utilizaron láminas de Al de 1 mm de espesor con un área de 13X13 mm² y 99% de pureza, estos fueron desengrasados con una solución de NaOH 10% durante 30 segundos y lavados con agua desionizada. Posteriormente los sustratos fueron neutralizados en una solución de HNO₃ 10% por varios segundos. Con el objeto de eliminar rugosidades sobre la superficie, se realizó un ataque electroquímico (electropulido) sobre el sustrato de Al utilizando una solución de HClO₄/C₂H₅OH al 25%, aplicándose un voltaje de 20 V durante 20 minutos manteniendo la temperatura constante en 5 °C.

Finalmente se procedió al anodizado de la superficie electropulida de Al. Este anodizado se hizo en tres etapas usando una solución de H₂C₂O₄ 0.5 M a una temperatura de 5 °C durante 20, 30 y 10 minutos, respectivamente. Además, entre cada etapa de anodizado se realizó un decapado de la película de óxido formada, utilizando una mezcla de K₂Cr₂O₇/H₃PO₄ a 60 °C durante 5 minutos. Como paso final se sumerge la película de alúmina en una solución de H₃PO₄ 2% con una temperatura de 60°C durante 15 minutos, con el objetivo de ajustar el diámetro del poro.

En el esquema de la Fig.1 se observa el sistema utilizado para el proceso de anodizado. Este cuenta con un reactor de teflón, en el cual se introduce el electrolito. El cátodo del reactor lo constituye el propio sustrato de Al. El otro electrodo es un alambre

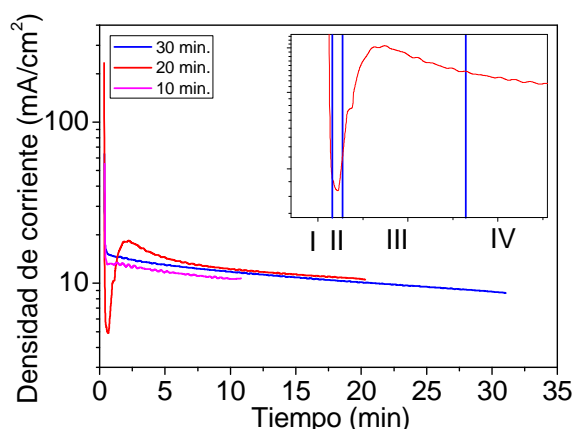


Fig. 2: Tasa de anodizado de los tres pasos de crecimiento del óxido.

de platino, que junto con el cátodo van conectados a la fuente de voltaje que entrega el potencial necesario para el anodizado. A fin de determinar la tasa de anodizado a partir de una curva corriente-tiempo, se utilizó un amperímetro Picotest M3500A durante el proceso de formación de la alúmina porosa. Debido a que durante el proceso de anodizado es necesario mantener la temperatura por debajo de la temperatura ambiente, se recurrió a un dispositivo que utiliza un elemento Peltier como principio de funcionamiento, manteniendo el reactor en valores de 5°C±1 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 2 se muestra la evolución de la corriente en función del tiempo a medida que progresa el anodizado sobre la superficie del aluminio para las muestras preparadas a 40V. La tasa de anodizado en todo el proceso de fabricación es discriminada por etapas. De las diferentes curvas de la Fig. 2 se destaca el primer anodizado que fue realizado durante 20 minutos (ver el inserto de la figura). Allí se aprecian cuatro zonas: la primera (zona I) se caracteriza, según V. Parkhulik [11] por el inicio de la formación del óxido y consecuentemente la disminución de la densidad de corriente sobre los primeros 45 segundos a 6 mA/cm². En la zona II se mantiene esta capa de óxido dando lugar a un mínimo en la curva de densidad de corriente indicando que el crecimiento del óxido ha

culminado [7]. Este punto marca la transición de formación del óxido a la disolución de la interfase óxido/solución para dar paso a la propagación de los poros en la zona III, identificada por un aumento exponencial de la corriente con un tiempo característico que depende del voltaje aplicado. Finalmente estos poros se propagan alargándose hasta alcanzar la zona IV, en donde el flujo de corriente va decayendo lentamente, indicando que la formación y ordenamiento de los poros ha cesado [11].

Finalizado el proceso de anodizado se realizó la caracterización superficial utilizando un Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) Asylum Research modelo MFP-3D-SA con punta de nitruro de silicio, y un Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) Zeiss Gemini® Technology modelo SUPRA 40, para así confirmar la presencia de estas estructuras ordenadas de Al_2O_3 sobre la superficie de la lámina de aluminio.

Del análisis realizado con las diferentes microscopias sobre todas las muestras fabricadas observamos la formación de poros con algún ordenamiento a través de la superficie. En las muestras que se fabricaron en el rango de 60 a 90 V no se logró un ordenamiento homogéneo, aunque igualmente presentan las celdas hexagonales mencionadas por D. Crouse [5]. En la Fig. 3, se muestran imágenes tomadas con el AFM donde es posible visualizar la formación de los poros para voltajes aplicados de 40, 50, 80 y 90 V, distinguiéndose las dos situaciones extremas. Para las muestras crecidas a 40 y 50 V se aprecia que el ordenamiento es mucho mayor y la formación de la celda hexagonal está presente a través de toda la superficie. En cambio para las muestras etiquetadas con 80 y 90 V se observa una estructura menos ordenada, y distancias entre poros mucho mayor.

Microscópicamente, las muestras fabricadas con 80 y 90 V son mucho más rugosas que la de 40 V. Esto, según Feiyue Li et al. [12] es debido al aumento de la temperatura en espacios localizados, como lo es la base del poro. Por lo tanto, la tasa de disipación de calor no es uniforme en toda la superficie, lo que provoca una fuerte disolución de estos espacios resultando en la

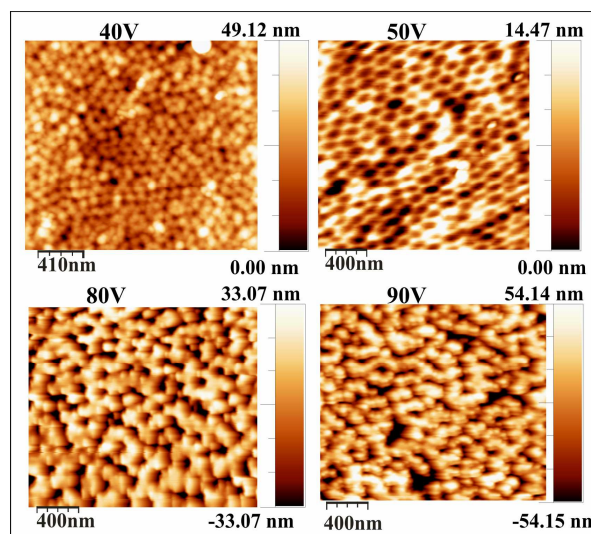


Fig. 3: Imágenes AFM de alumina porosa con diferentes voltajes de anodizado.

formación de estructuras poco homogéneas superficialmente.

Otra información interesante que se puede obtener a través del tratamiento de estas imágenes es la evolución de la estructura con la variación del voltaje. En este caso la celda de óxido que rodea a cada poro en la superficie se ve fuertemente influenciada al cambio en el voltaje. Esto se puede apreciar claramente en la Fig. 4, donde se muestra la dependencia con el voltaje del diámetro de poro y el tamaño de la celda. El aumento en el tamaño de la celda y del poro se incrementa a

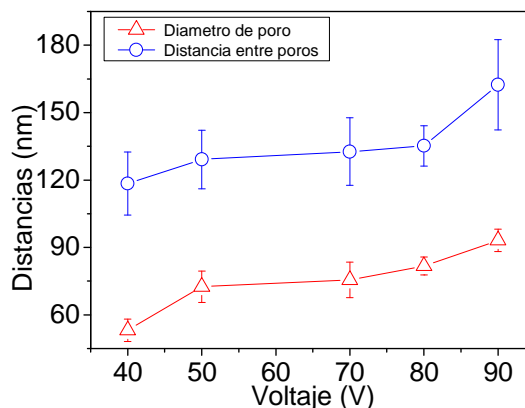


Fig. 4: Dependencias del diámetro de poro y la distancia entre poros con el voltaje aplicado.

medida que el voltaje aplicado aumenta en coincidencia con lo informado por otros autores [1-3].

El comportamiento descrito previamente se ve reflejado en el gráfico de la Fig. 4. El mismo puede explicarse en el marco del modelo propuesto por V. Parkhulik [11] y en el trabajo experimental realizado por S.Y. Jeong [10]. Estos proponen que si la superficie es suficientemente plana la distribución de carga eléctrica será homogénea y por lo tanto la acumulación de estas tenderá a ser una distribución mas ordenada. Pero si esta distribución de campo eléctrico en la película de alúmina no es uniforme las cargas se concentrarán en algunos puntos, siendo mas rápida la disolución del óxido en estos sitios de mayor concentración. En consecuencia cuando el voltaje aplicado es alto la cantidad de cargas se incrementa y la distancia promedio entre poros será proporcional a la cantidad de estas cargas eléctricas. Según Keller et al. [1] el hecho de que la curva en la Fig. 4 no es totalmente recta y no pasa por el origen, asegura que el tamaño de la celda es afectado por otros factores durante la formación del óxido.

En la figura 5 se aprecian las micrografías SEM para las muestras fabricadas con 40V y 80V, en estas se confirma de una manera mas clara lo observado por medio de las imágenes de AFM. En este caso la técnica de SEM permite apreciar más explícitamente la formación y ordenamiento de la estructura porosa para

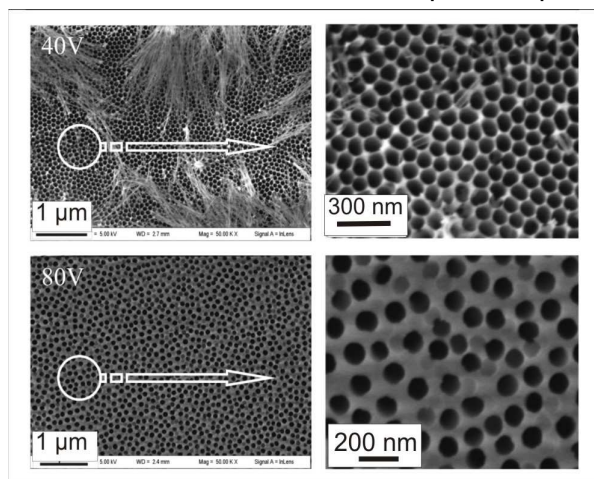


Fig. 5: Imágenes SEM de alumina porosa obtenida a 40 y 80 V.

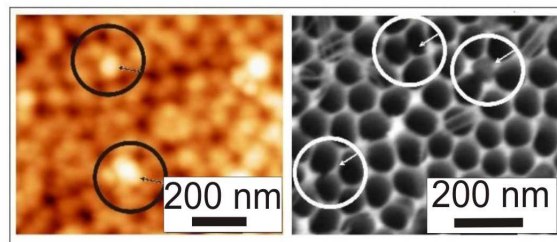


Fig. 6: Detalle de los tipos de defectos (islas y dislocaciones)

voltajes bajos, apreciándose una red hexagonal sobre toda la superficie, mientras que para voltajes altos es claro el poco orden que presentan los poros.

Otras características relevantes en la fabricación de estas películas porosas son los dominios formados en la estructura a través del tiempo de anodizado. Esto se puede visualizar en la ampliación de una zona de las imágenes tomadas por AFM y SEM que se muestran en las Fig. 6, donde es posible distinguir dos tipos de defecto. En esta figura se ha resaltado con círculos negros (imagen AFM) y blancos (imagen SEM) los dos tipos de defectos que se presentan durante el crecimiento de estas películas de alúmina. Estos defectos en el caso de las islas resaltadas en la imagen de la izquierda, interrumpen el ordenamiento periódico de los poros derivando en la formación de dominios. La formación de estos dominios según Feiyue Li. [12], es una función del tiempo, lo que significa que el dominio puede crecer a medida que el tiempo de anodizado aumenta.

Del lado derecho de la imagen de la Fig 6 se muestra el detalle de las fronteras de dominio. El origen de estas se debe a que el crecimiento del poro se inicia con irregularidades, formando ramificaciones que tienden a alinearse de tal manera que se fusionan a medida que avanza la disolución del óxido, resultando la formación de fronteras de dominio que distorsionan el ordenamiento de la red porosa. Entonces al realizar un decapado de la película anodizada se observará la formación de una frontera producida por el movimiento de estos en el fondo de los poros [12,13]. Por lo tanto a tiempos largos de anodizado la eliminación de estas fronteras será mas evidente, resultando

en la formación de dominios ordenados de mayor extensión. La formación de estos se puede detallar claramente en la Fig.7, en donde se resaltan los dominios producidos sobre la superficie.

Se puede obtener una idea del tamaño de dominio a través del análisis de la transformada de Fourier sobre las imágenes obtenidas por las diferentes microscopías utilizando el software WXSM4 de NANOTEC en regiones de diferentes tamaños. Los resultados de estos análisis se pueden observar en la Fig. 8, donde se presentan barridos desde 3 μm hasta 500 nm. Cuando el barrido se realiza para un tamaño de 500 nm y 1 μm se observa la formación de una estructura que pertenece a un hexágono, pero al aumentar el barrido a 2 μm y 3 μm se va produciendo una distorsión en la posición de dicho hexágono. Por lo tanto todas las posiciones son posibles a partir de 2 μm ya que no hay una geometría definida.

De estos datos se puede inferir que el tamaño de dominio para estas estructuras porosas, fabricadas con las condiciones experimentales antes mencionadas se encuentra entre 0.5 y 1 μm . Comparando estas dimensiones con resultados de otros autores [13, 14, 15], encontramos que el tamaño de los dominios hallado en estas estructuras es inferior a los datos reportados previamente. Es posible que esto se deba a que los tiempos de anodizado empleados en este trabajo son inferiores a los de otras publicaciones.

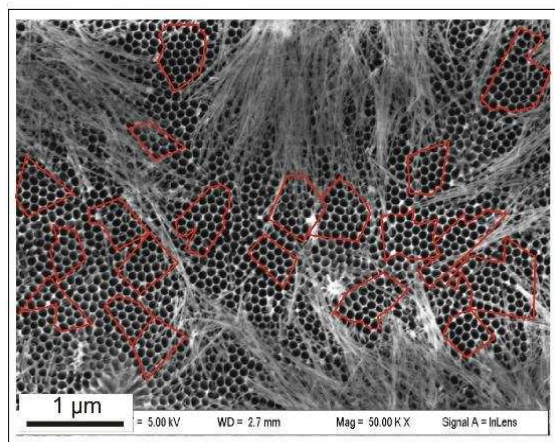


Fig. 7: Dominios formados a través de la superficie.

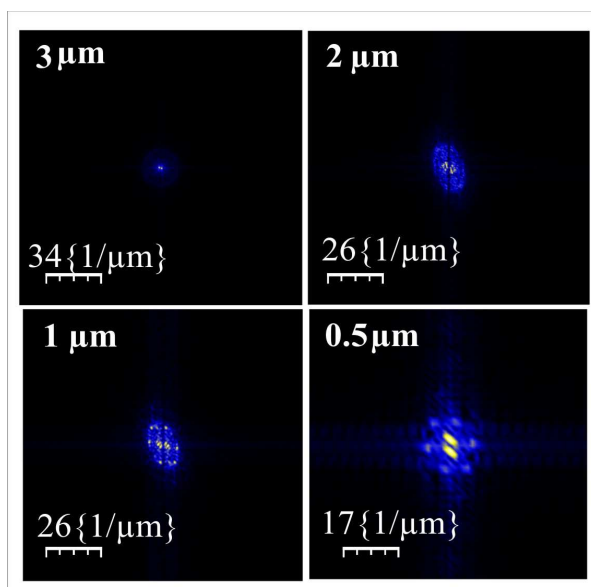


Fig. 8: Transformada de Fourier para diferentes barridos sobre la muestra de Al_2O_3 .

En la Fig. 9 se presentan las respuestas temporales de la corriente para distintos voltajes aplicados, durante el primer proceso de anodizado de una lamina de aluminio. Los mayores cambios en la corriente para todos los voltajes aplicados se producen entre la primera y tercera etapa.

El inicio del poro en la superficie, se ve representado en la gráfica por un aumento considerable en la tasa de disolución de la interfase óxido/solución con un tiempo característico que depende del voltaje aplicado. Es notable, además, la presencia de

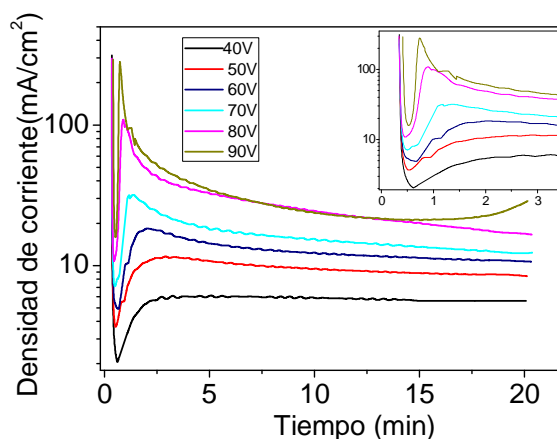


Fig. 9: Tasas de anodizado para los diferentes voltajes aplicados.

un pico (overshoot) en la corriente que es fuertemente dependiente del voltaje utilizado (zona III). El pico es claramente distinguido en el inserto de la Fig. 9. Es sabido que cuando el voltaje aplicado aumenta entonces aumenta la concentración de carga en cada centro de acumulación[10]. Este aumento de la carga genera una repulsión coulombiana mayor entre centros, dando lugar a que la distancia entre los mismos aumente. Al mismo tiempo un centro con mayor densidad de carga resultará en zonas de campo muy intenso que provocarán una aceleración en la disolución del óxido formado inicialmente. Finalmente una vez establecido el inicio del poro, solo queda la capa barrera entre el metal y el electrolito, consecuentemente la intensidad del campo baja localmente y la corriente se estabiliza en un valor casi constante. Esta situación corresponde a la prolongación del poro y su valor es dependiente de la tensión aplicada.

Se observan también en la Fig. 9 reiteradas oscilaciones de la corriente a medida que transcurre el tiempo de anodizado. Esto se debe al control de temperatura que se implementó por medio del elemento Peltier. Estas fluctuaciones de la densidad de corriente por el ascenso y descenso de la temperatura se atribuirían según Feiyue Li.[12], a la poca dispersión del calor durante la reacción, produciéndose un aumento de la temperatura y una aceleración de las tasas de disolución del óxido. Por lo tanto, cuando el dispositivo controlador de temperatura interrumpe la alimentación del Peltier para subir la temperatura, la densidad de corriente aumenta y luego disminuye cuando el dispositivo se enciende de nuevo.

De la observación de la curva de densidad de corriente que corresponde al voltaje de 90V en la Fig. 9 se ve que al final del anodizado presenta un aumento en la corriente. Sabemos que para voltajes altos la densidad de corriente tiende a aumentar debido al ascenso en las temperaturas locales que ocurre en el fondo del poro, resultando en una disipación de calor poco uniforme. Esto podría dar origen a una estructura porosa inhomogénea.

Según S. Shingubara [3] la concentración del electrolito es un factor que

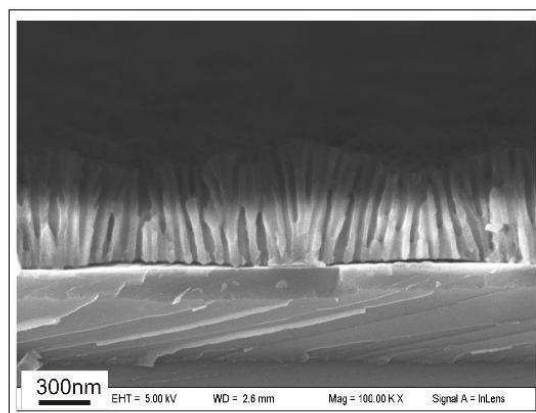


Fig. 10 Imágenes SEM del perfil de la muestra de alumina.

influye apreciablemente sobre la homogeneidad de la superficie porosa. Entonces se infiere que el agotamiento del electrolito sería una razón del aumento en la corriente al final del anodizado para el voltaje de 90V. Teniendo en cuenta esto y el efecto de la temperatura mencionado antes, la estructura tiende a ser poco homogénea y desordenada. Lo que coincide con la imagen de AFM que se presentó en la Fig. 3 para este voltaje.

Al utilizar estas películas de alúmina porosa sobre sustratos como el silicio cristalino, es posible hacer un marcado de esta plantilla. Por medio de este procedimiento se pretende mejorar las propiedades fotónicas del silicio poroso [5]. En la Fig. 10 se muestra la imagen obtenida por SEM, de una capa de aluminio que fue evaporada sobre un sustrato de silicio cristalino y que posteriormente fue anodizado, para así hacer efectiva la transferencia de poros sobre el silicio. Se observa como la estructura aún no alcanzó el ordenamiento, ya que los poros no han logrado un desarrollo perpendicular a la superficie. En parte esto puede deberse a que la capa de aluminio depositada es muy delgada (aproximadamente 600 nm para la capa de la foto de la Fig. 10). En consecuencia el procedimiento planteado en el presente trabajo requiere de la deposición de capas de aluminio de mayor espesor para lograr la estructura ordenada.



CONCLUSIONES

Se obtuvieron películas delgadas de alúmina porosa modificando los métodos convencionales de fabricación planteados en la literatura. Se hizo un monitoreo continuo de la corriente, que permite identificar cada etapa del proceso de formación de la alúmina porosa.

El óxido poroso formado presenta alto ordenamiento en su estructura y tamaño de dominio entre 0,5 y 1 μm sobre los sustratos del tipo láminas de aluminio. Estos valores corresponden a voltajes de 40, mientras que para voltajes mayores el ordenamiento se deteriora.

Se obtuvieron tamaños de poro y distancias entre los poros similares a los informados por otros autores. Finalmente se discuten las dificultades obtenidas para la transferencia de poros ordenados sobre silicio cristalino.

REFERENCIAS

- [1] Structural Features of oxide coatings on Aluminium, F. Keller, M.S. Hunter, D.L. Robinson, J. Electrochem. Soc. 100 (9) (1953) 411-419.
- [2] Fabrication and structural characterization of highly ordered sub-100-nm planar magnetic nanodot arrays over 1cm² coverage area, Chang-Peng Li, Igor V. Roshchin, Xavier Battle, Michel Viret, Frédéric Ott, Ivan K. Schuller, Journal of Applied Physics 100 (2006) 0743181-0743187.
- [3] Ordered Two-Dimensional Nanowire Array Formation Using Self-Organized Nanoholes Of Anodically Oxidized Aluminum, S. Shingubara, O. Okino, Y. Sayama, H. Sakae, T. Takahagi, Jpn. J. Appl. Phys. 36 (1997) 7791-7795.
- [4] Fabrication of Alumina Nanotubes and Nanowires by Etching Porous Alumina Membrana, Z. L. Xiao, Y. Han Catherine, U. Welp, H. H. Wang, W. K. Kwok, G. A. Willing, J. M. Hiller, R. E. Cook, D. J. Miller, and G. W. Crabtree, Nano Letters 2(11) (2002) 1293-1297.
- [5] Self-ordered pore structure of anodized aluminum on silicon and pattern transfer, D.Crouse, H.Y Lo, A. E. Miller, M. Crouse, Applied Physics Letters, 76 (49) (2000) 49-51.
- [6] Anodic Films on Aluminium, Corrosion: Aqueous Process and Passive Films, G.E. Thompson, G.C., Wood; Academic Press, chapter 5 (1983) 205-239
- [7] Ordered Metal Nanohole Arrays Made by a Two-Step Replication of Honeycomb Structures of Anodic Alumina, H. Masuda; K. Fukuda, Science 268(9) (1995) 1446-1468.
- [8] The initial stages of aluminium porous anodization studied by Auger electron spectroscopy, V. P. Parkhutik, Corros. Sci. 26 (4) (1986) 295-310.
- [9] Alumina nanotemplate fabrication on silicon substrate, N.V. Myung, J.Lim, J-P. Fleurial, M. Yun, W. West, D. Choi, Nanotechnology 15(7) (2004) 833-838.
- [10] Preparation of anodic aluminium oxide templates on silicon substrates for growth of ordered nano-dot arrays, S.Y. Jeong, M.C. An, Y.S. Cho, D.J. Kim, M.C. Paek, K.Y. Kang, Current Applied Physics 9(1), (2009) S101-S103.
- [11] Theoretical modelling of porous oxide growth on aluminium, V.P. Parkhutik, V.I. Shershulsky, J. Appl. Phys. D. 25 (1992) 1258-1263.
- [12] On the Growth of Highly Ordered Pores in Anodized Aluminum Oxide, Feiyue Li, Zhang Lan, M. Metzger Robert, Chem. Mater., 10(9) (1998) 2470-2480.
- [13] Highly ordered nanochannel-array architecture in anodic alumina, H. Masuda, H. Yamada, M. Satoh, H. Asoh, Appl. Phys. Lett. 71 (19) (1997) 2770-2773.
- [14] Influence of anodizing conditions on the ordered pore formation in anodic alumina, B. Long, L. Wei Sang, J. Phys. D: Appl. Phys. 33 (2000) 2527-2531.
- [15] Self-ordered porous alumina membranes with large lattice constant fabricated by hard anodization, L. Vojkuvka, L.F. Marsal, J. Ferre-Borrull, P. Formentin, J. Pallares, Superlattices and Microstructures 44(2008)577-582.



RECICLADO DE ALEACIONES DE ALUMINIO

A.Cuniberti

Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Pinto 399, 7000 Tandil, Argentina.
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina.
e-mail: adelac@exa.unicen.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta una breve compilación de datos acerca del estado y desarrollo del reciclado de aleaciones de aluminio a nivel global.

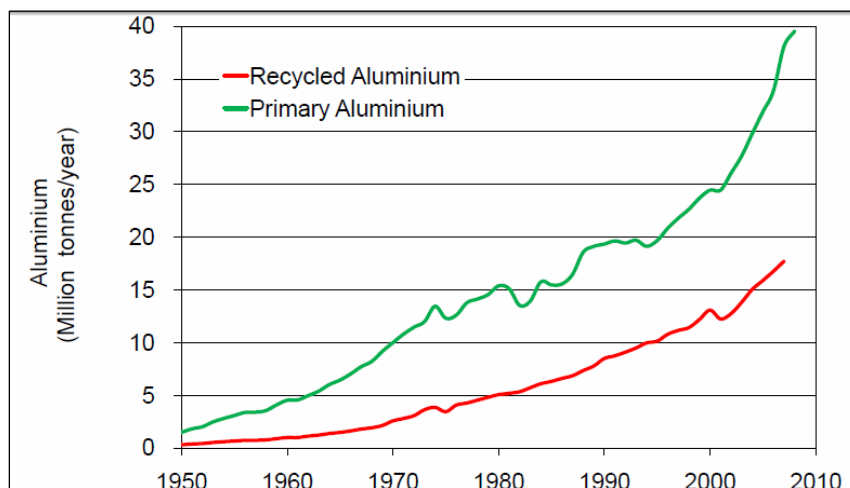
ABSTRACT

A brief compilation of data about the status and development of global aluminum alloys recycling is exposed in the present work.

El aluminio y sus aleaciones constituyen materiales de utilización intensiva y en crecimiento en diversas aplicaciones tales como transporte, construcción y envases. Como ejemplo, en 2002 un automóvil promedio contenía entre 100 y 120Kg de aluminio*, mientras que en 2009 se estima entre 120 y 150Kg [1]. Si el aluminio utilizado

proviene de material reciclado, la energía necesaria para producirlo puede ser reducida significativamente, un ahorro de un 95% de la energía requerida para producir el aluminio desde el mineral. Por otra parte, la cotización de aleaciones provenientes de reciclado puede alcanzar valores tan altos como el 90% del precio de la aleación primaria [2]. Así es

Figura 1: Evolución de la producción global de Aluminio primario y reciclado [1].



* Se dice Aluminio para designar en forma genérica el

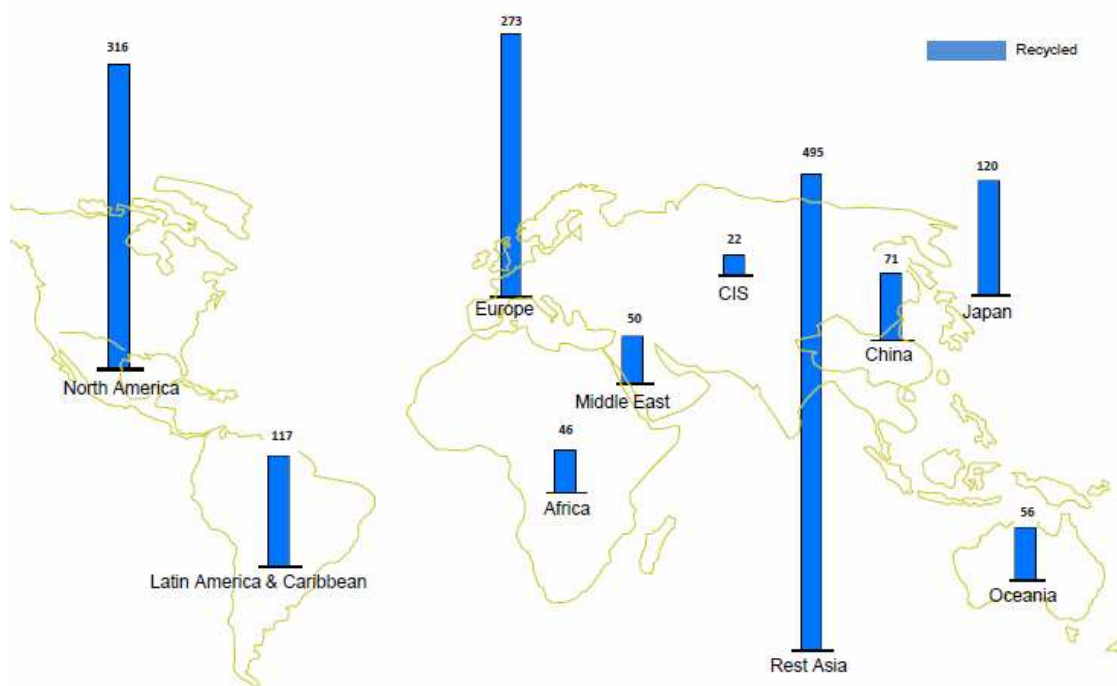


que además de las ventajas de disminución de consumo de energía y polución, los sistemas de reciclado resultan por demás atractivos económicamente. Dada la alta calidad posible de obtener por reciclado, se plantea que el ciclo de vida de los productos de Aluminio es circular, en lugar del tradicional “de la cuna a la tumba” puede aplicarse “de la cuna a la cuna”.

En la Figura 1 se muestra la evolución de la producción global de Aluminio, superando actualmente la producción de reciclado el 30% del total de Aluminio producido. Debido al uso creciente, se dispone de un volumen cada vez mayor de productos de aluminio con vida útil agotada para ser utilizados como material de reciclado. La vida media de los productos puede variar entre unas semanas para latas de bebidas hasta unos 30 años para marcos de ventana, y mucho de este aluminio podrá ser re-utilizado tarde o temprano. Se estima que el reciclado del metal en uso actualmente equivale a unos 16 años de producción de aluminio primario [1].

En la Figura 2 se muestra la distribución regional de plantas de reciclado en 2008. La chatarra de Aluminio es colectada y reciclada en todo el mundo estableciéndose una red compleja de actores. Las refinерías y fundiciones juegan un rol central, aunque dependen de la actividad de recolectores, desarmaderos y comerciantes de metales. En la Tabla 1 se presenta la producción correspondiente al año 2007 en cinco regiones.

Figura 2: Cantidad de plantas de producción de Aluminio reciclado en el año 2008 [1].





Región	Producción Total (10 ⁶ ton)	Producción de Reciclado (%)
Europa	9.4	46
América del Norte	9.8	44
América del Sur y Central	3.4	20
China	15	17
Japón	1.6	100

Tabla 1: Producción total de aluminio y porcentaje de producción de reciclado (datos obtenidos de Ref.1).

América del Norte ha generado cantidades de chatarra suficiente como para desarrollar una industria del reciclado rentable y técnicamente avanzada. Para Europa el procesamiento de chatarra de aluminio implica una vía de solución al problema constante de provisión de aluminio primario, y para cubrir el déficit de materia prima se recurre a la importación de chatarra, siendo Rusia un gran proveedor [3]. En los 80's Japón dejó de producir Aluminio primario para producir exclusivamente reciclado [1], siendo además importador de chatarra. Países con alta producción de chatarra optan también por exportar parte de la misma hacia donde existe capacidad instalada de reciclado. En regiones como América del Sur y África el reciclado no es aún importante, posiblemente dado que no contamos con suficiente producción propia de chatarra, y la recolección no es eficiente aún.

Como puede observarse, el reciclado de Aluminio tiene un desarrollo muy desigual en las distintas regiones, y también según los productos reciclados dentro de una misma región. Por ejemplo, en EEUU el reciclado de

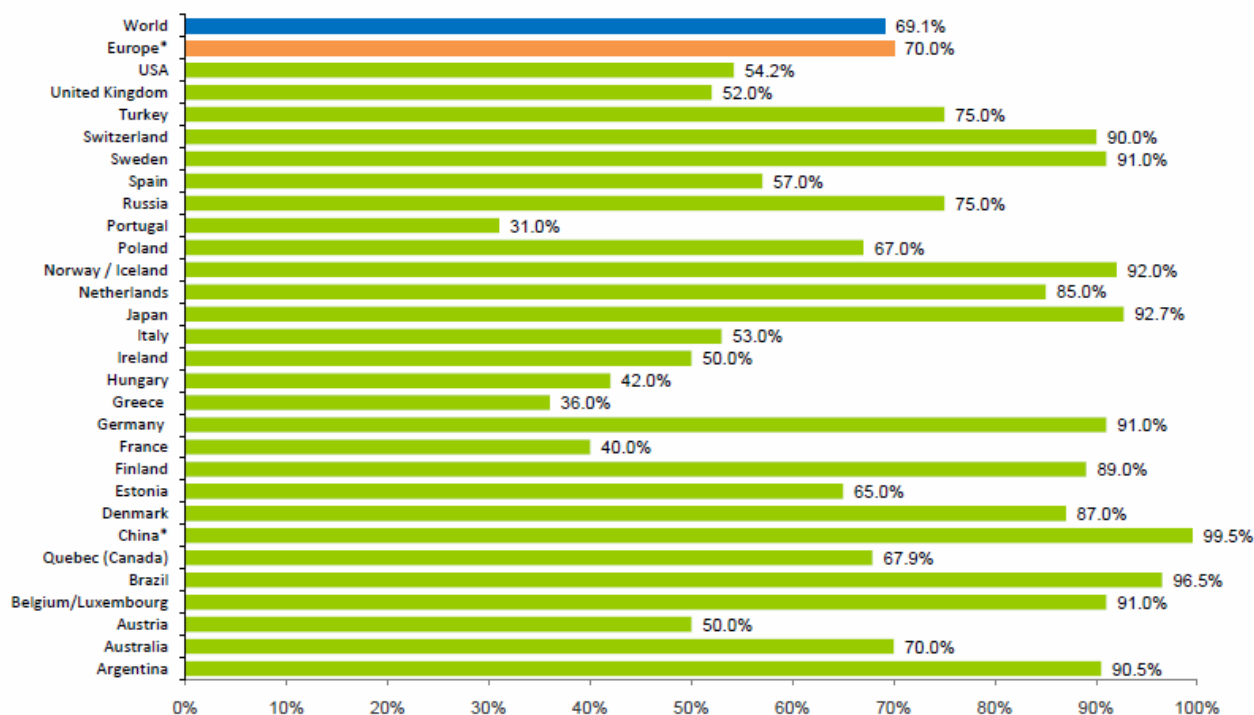


Figura 3: Indices de reciclado de latas de bebida [1]



latas de bebida es de un 54%, mientras que de partes de automóviles es mayor de 90%. Esto es atribuido a que el reciclado de latas es voluntario, mientras que el de autopartes, si bien es altamente complejo, está reglamentado [4]. Valores similares se dan en Europa [3]. El reciclado de latas de bebida es el más simple, y varía en el mundo entre un 30% y 100%, con un promedio global de 70%, Figura 3 [1]. Un caso cercano es Brasil, con un índice de reciclado de latas de 96%, superior incluso al de países con legislación rígida sobre reciclaje de materiales como Dinamarca, Finlandia, Noruega y Suiza. Según la Asociación Brasileña del Aluminio [5], esto está sustentado por un conjunto de factores: la adhesión de la clase media, la formación de cooperativas dedicadas al reciclado distribuidas en buena parte del país y con buena gestión, el alto valor del material como chatarra, y la educación ambiental. Nuestro País aparece con una tasa de 90.5% [1], sin embargo de acuerdo con la experiencia cotidiana parece ser un valor excesivo.

Lamentablemente, en Argentina no se cuenta con registros históricos de reciclado de aluminio u otros materiales. De acuerdo con el Observatorio Nacional para la Gestión de

Residuos Sólidos Urbanos (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación), el mercado de materiales reciclados tuvo un impulso fuerte a partir de la crisis de 2001. Sin embargo los sistemas actuales de recuperación presentan escasa eficiencia, sólo se recupera parte de los materiales, no cubren todo el territorio, y no existe un mercado afianzado entre otros problemas [6]. Puede señalarse que en el territorio nacional alrededor del 15% de las localidades más pequeñas, de entre 2.000 y 10.000 habitantes, tiene recolección selectiva y plantas de tratamiento de los residuos para su posterior reciclado, si bien es creciente el número de comunidades que adhieren a este tipo de manejo [7]. El Observatorio mencionado publica una lista de empresas recicladoras por rubro con el objetivo de fortalecer el mercado, en la que figuran cinco para el Aluminio.

REFERENCIAS

- [1] Global Aluminium Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development, International Aluminium Institute (www.world-aluminium.org).
- [2] London Metal Exchange (www.lme.com)
- [3] European Aluminium Association (www.eaa.net)
- [4] S.K.Das, J.A.S.Green, J.G.Kaufman, Light Metal Age February 2010, 42.
- [5] Asociación Brasileña del Aluminio (www.abal.org.br)
- [6] S.Solda, ALUMINIO, Revista de la Cámara Argentina de la Industria del Aluminio y Metales Afines, Abril 2010, p.44.
- [7] Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (www.ambiente.gov.ar)