

## AVANCES EN EL DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE COMPOSITE AL+AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (MMCs) OBTENIDO POR NANOTECNOLOGIA A PARTIR DE ESCORIA DE ALUMINIO

Gerardo González<sup>1</sup>, Gema González<sup>2</sup> Rafael Villalba<sup>2</sup> Antoni Monsalve<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”

<sup>2</sup> Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

[ggonzale@unexpo.edu.ve](mailto:ggonzale@unexpo.edu.ve)

**RESUMEN.** El objetivo de este trabajo fue desarrollar un composite de Aluminio-Alúmina (MMCs) obtenido por molienda mecánica (MA) utilizando como materia prima productos de escorias de Aluminio. Para ello se evaluaron las escorias de Aluminio de la empresa VENALUM, se realizaron probetas usando la técnica de aleaciones mecánicas, variando los tiempos de molienda entre 5 y 20 horas, manteniendo constante el porcentaje de Aluminio (80%) y de escoria (20%) en la mezcla, se sinterizaron parcialmente las mezclas procedentes de 20 horas de molienda, siendo analizadas por difracción de rayos X, microscopía óptica y electrónica de barrido. Se obtuvieron mezclas de polvos de Aluminio + Alúmina con tamaños de grano muy diversos, las fases encontradas en los difractogramas fueron básicamente Aluminio y Alúmina. Por microscopía óptica se observó la microestructura de trozos de Aluminio puro caracterizado por granos dendríticos con una gran cantidad de poros. La microscopía electrónica de barrido efectuada sobre mezclas de 20 horas de molienda permitió observar una morfología de partículas laminares y otras redondeadas de tamaño nanométrico. Se concluye que es factible utilizar las escorias de Aluminio para la fabricación de materiales compuestos mediante molienda mecánica.

---

**Palabras clave:** Nanotecnología, Composites, Aluminio – Alúmina

## PROGRESS IN THE DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITE AL + AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (MMCS) OBTAINED FROM NANOTECHNOLOGY ALUMINUM SLUDGE

**ABSTRACT.** The aim of this work was to develop an aluminum-alumina composites (MMCs) obtained by mechanical milling (MA) products used as raw material for aluminum dross. This slag were evaluated Aluminum Company VENALUM, specimens were performed using the technique of mechanical alloying, milling times varying between 5 and 20 hours, keeping the percentage of Aluminium finds (80%) and slag (20% ) in the mixture, partially sintered mixtures from 20 hours of milling, being analyzed by X-ray diffraction, optical microscopy and scanning electron. Powder mixtures were obtained Aluminium + Alumina with very different grain sizes, the phases found in the diffractograms were basically Aluminium and Alumina. Was observed by optical microscopy the microstructure of pure aluminum pieces of dendritic grains characterized by a large number of pores by scanning electron microscopy performed on mixtures of 20 hours of milling allowed to observe a lamellar morphology and other rounded particles of nanometer size. It concludes that it is feasible to use slag for manufacturing aluminum composite materials by mechanical milling.

---

**Keywords:** Nanotechnology, Composites, Aluminum – Alumina

## 1. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos denominados Composites, representan una alternativa dentro de la Nanotecnología para la fabricación de piezas en la industria moderna, por otra parte las escorias de Aluminio generadas en las plantas de reducción de este metal constituyen un grave problema de contaminación ambiental. Este proyecto de investigación plantea el estudio de la factibilidad de producir nuevos materiales tales como los compuestos de Aluminio reforzado con Alúmina utilizando materiales de desechos industriales como es el caso de las escorias de Aluminio, lo cual significaría un aporte importante para la gama de nuevos materiales fabricados en nuestro país y a la vez una solución para la eliminación de los desechos contaminantes de la industria del Aluminio.

Se define por materiales compuestos aquellos formados por dos o mas materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos, en todos los materiales compuestos se distinguen dos componentes: La Matriz; componente que se presenta en fase continua, actuando como ligante, El Refuerzo; en fase discontinua, que es el elemento resistente [1]. En el caso de los composites de Aluminio Alúmina, en el que la matriz es un metal y el refuerzo son partículas de duras de oxido de aluminio, estos se clasifican como MMCs, de sus siglas inglesas *Metal Matrix Composites*.

El proceso de Molienda Mecánica (*Mechanical alloying*, MA) es una técnica aplicada a materiales sólidos en polvo que involucra soldadura en frío, fractura y re-soldadura por alta energía utilizando un molino de bolas [2]. Con este proceso de molienda se quiere reducir el tamaño de las partículas monolíticas de los materiales que conforman la matriz y el refuerzo, para conseguir una mezcla muy fina de ambos constituyentes y producir posteriormente por sinterizado un Composite o material compuesto, con propiedades físicas y mecánicas mejoradas.

## 2. METODOLOGÍA

Para ello se evaluaron las escorias de Aluminio derivadas de la empresa VENALUM, realizando una molienda manual con mortero hasta obtener un tamaño uniforme (ver figura 1), se realizaron probetas de composites de Aluminio-Alúmina mediante la técnica de aleaciones mecánicas (*Mechanical Alloying*) utilizando un molino de bolas (Ver figura 2), variando los tiempos de molienda entre 5 y 20 horas, manteniendo constante el porcentaje de Aluminio (80%) y de escoria (20%) en la mezcla, la relación bola-polvo fue de 7:1 y se sinterizaron parcialmente las mezclas procedentes de 20 horas de molienda, siendo analizadas por difracción de rayos X, microscopía óptica y electrónica de barrido.



FIGURA 1. Preparación de la escoria con mortero



FIGURA 2. Molino de bolas

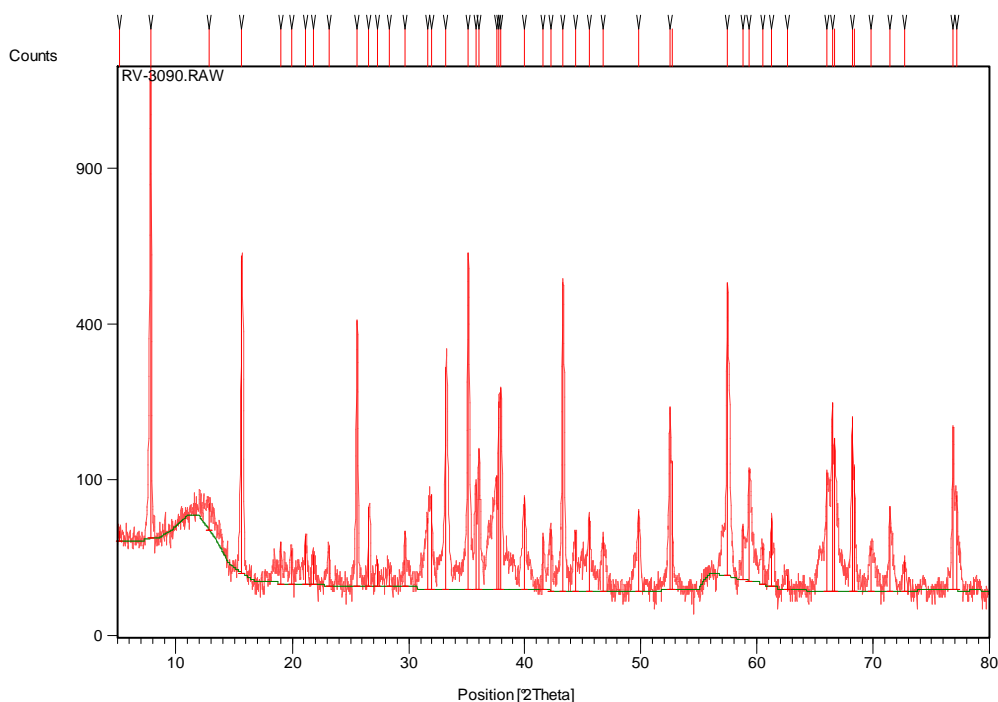
Las mezclas de Aluminio en trozos y escoria tamizados a 100 Mesh fueron encapsulados en viales en una cámara de atmosfera inerte utilizando nitrógeno para evitar la oxidación de los productos de molienda (ver figura 3) y se aplico Acido Esteárico como controlador de proceso (PCA).



FIGURA 3. Cámara de atmosfera inerte

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de 20 horas de molienda se obtuvieron mezclas de polvos de Aluminio + Alúmina con tamaños de grano muy diversos, el análisis de difracción de Rayos X arrojó la presencia de las fases Aluminio y Alúmina, detectándose Mg, Ca y Fe en menor proporción, los cuales fueron identificados en el difractograma correspondiente (ver figura 4).



**FIGURA 4.** Difractograma de la mezcla Aluminio + Escoria.

Por microscopía óptica se observó la microestructura de trozos de Aluminio puro caracterizado por granos dendríticos con una gran cantidad de poros y cavidades interdendríticas típicas de materiales solidificados fuera de un molde (Ver figura 5), los polvos analizados por esta técnica presentaron una gran dispersión de tamaños de partículas y presencia de material de montaje (resina), las partículas de Aluminio en forma de laminas son producto de la deformación plástica por molienda de los trozos

iniciales de Aluminio en la escoria que pasaron por el tamiz 100 Mesh y posteriormente fueron laminados por efecto del choque entre las bolas y el vial (Ver figura 6).

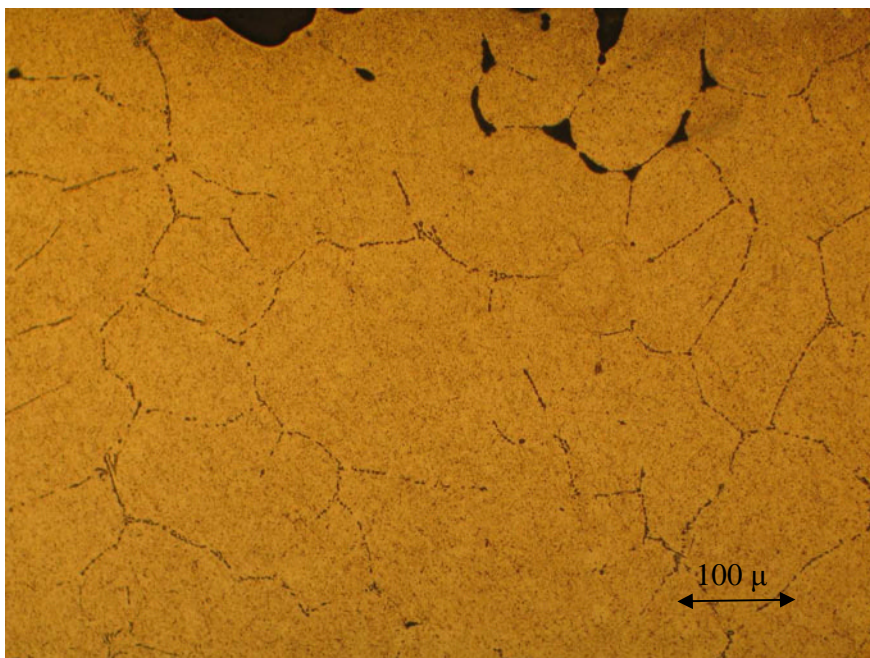


FIGURA 5. Micrografía óptica de Aluminio puro procedente de la escoria, pulido sin ataque, aumento 100X.

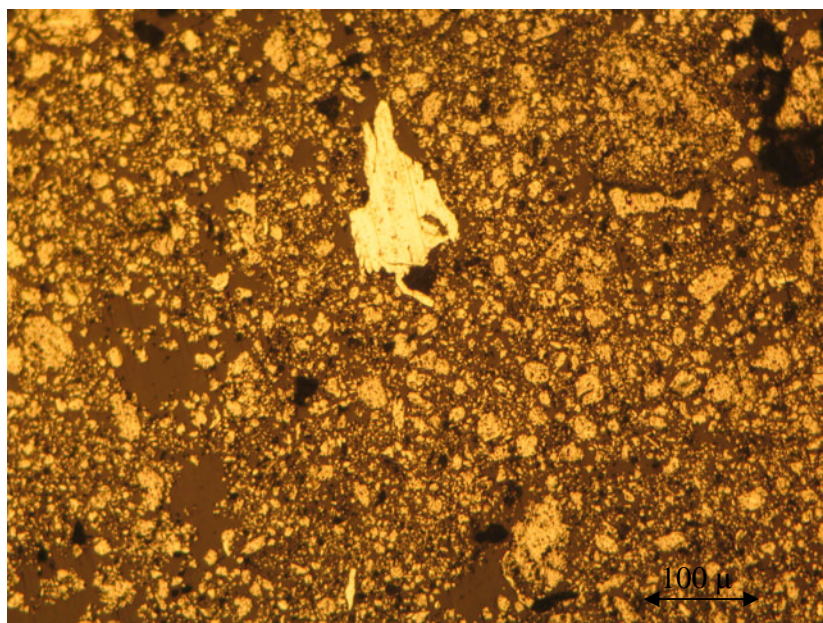
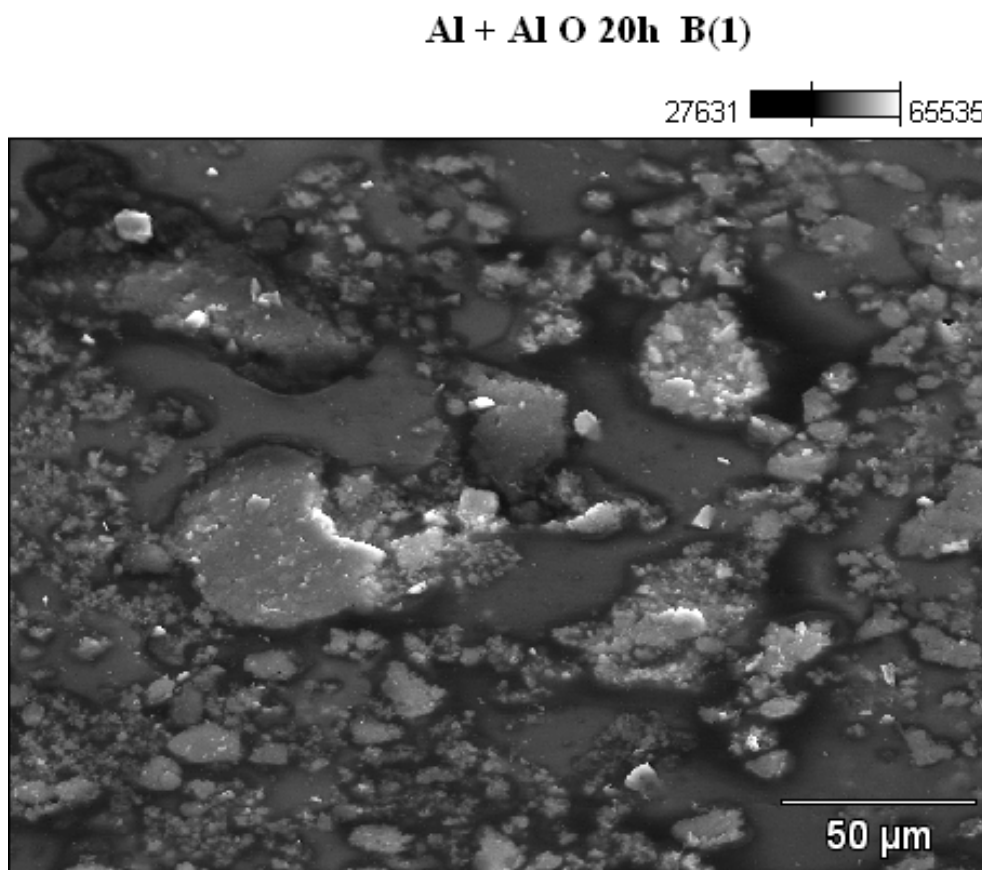


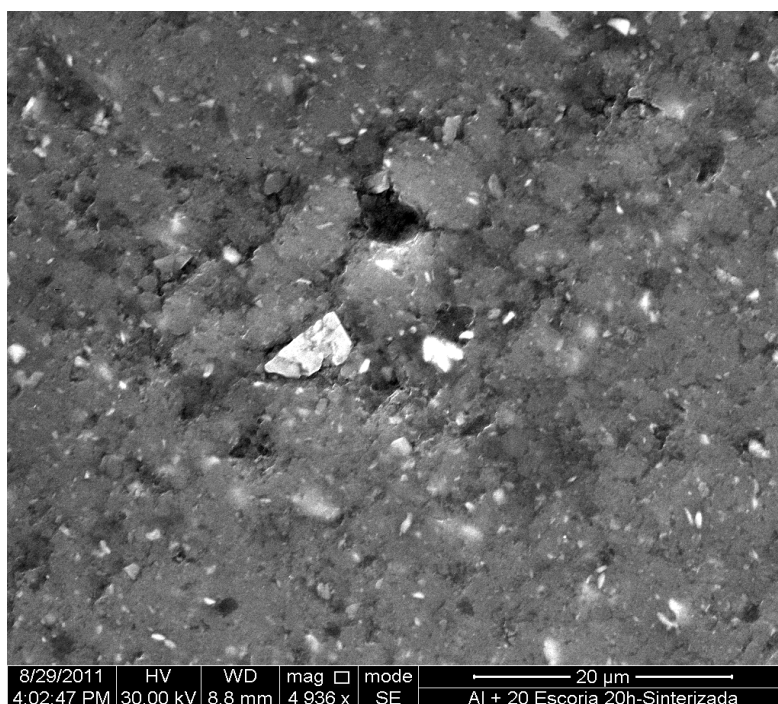
FIGURA 6. Micrografía óptica de Mezcla Aluminio (80%) + Escoria (20%) montada en resina, pulida sin ataque, aumento 100X.

La microscopia electrónica de barrido efectuada sobre mezclas de 20 horas de molienda permitió observar una morfología de partículas laminares y otras redondeadas de tamaño nanométrico (ver figura 7).



**FIGURA 7.** Micrografía por MEB de mezclas de Aluminio + Alúmina a 20 horas de molienda antes del sinterizado, montado en resina, pulido sin ataque.

En las muestras sinterizadas parcialmente se observaron partículas de Aluminio y Alúmina muy dispersas pudiéndose ver claramente que no hubo sinterización completa de los productos de la mezcla, esto se evidencia al constatar la presencia de cavidades en toda la superficie de la muestra sinterizada (pastilla) (ver figura 8). Hasta los momentos no fue posible detectar la inclusión de Alúmina en la matriz de Aluminio por lo que se estima necesario realizar una sinterización completa de las mezclas obtenidas a 20 horas de molienda.



**FIGURA 8.** Micrografía por MEB de la mezcla de Aluminio Escoria a 20 horas de molienda, sinterizada a 500 °C por 10 minutos, probeta pulida sin ataque, 4.936 X.

## CONCLUSIONES

La molienda mecánica permite disminuir el tamaño de las partículas monolíticas de la escoria triturada en mortero y de las virutas de Aluminio provenientes de cortes mecánicos de trozos de gran tamaño de Aluminio puro presentes en la escoria.

El ácido esteárico como controlador de proceso permitió una buena molienda de los elementos mezclados y evito la soldadura del Aluminio al vial.

Luego de 20 horas de molienda se logra un polvo fino con partículas nanométricas, pero con una dispersión de tamaños considerable.

Se concluye que es factible utilizar las escorias de Aluminio para la fabricación de materiales compuestos mediante molienda mecánica.



## REFERENCIAS

- [1]. Santiago Paveda Martínez. Presentación normalizada de piezas de materiales compuestos. Visual Graphis Goup. España 2011.
- [2]. C. Suryanarayana. Mechanical alloying and milling. Progress in Materials Science 46 (2001) 1±184
- [3]. R. Medina et al. Resistencia al desgaste de un composito de matriz Aluminio y reforzado con  $Al_2O_3$ . Facultad de Ciencias Químicas de Coahuila, Universidad Autónoma de Coahuila; Blvd. V. Carranza y J. Cárdenas s/n, 25280; Saltillo, Coah., México, 2010.