

## Caracterización de aleaciones de aluminio NTC-Au obtenidas por Mecanosíntesis

ALCÁNTARA-CÁRDENAS, Juan Alberto\*†, MELO-MÁXIMO, Dulce Viridiana, CHÁVEZ-ALCALA, José Federico y CRUZ-GALVÁN, Azcayacatl Gamaliel

*Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, Av. Emiliano Zapata S/N, El Trafico, 54400 Villa Nicolás Romero, Méx.*

*Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales, Instituto Politécnico Nacional (ESIQIE-IPN), México City, c.p. 07738, México.*

*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus estado de México, Av Lago de Guadalupe 3.5 Km, Margarita Maza de Juárez, 52926 Cd López Mateos, Méx.*

Recibido 7 de Octubre, 2017; Aceptado 15 de Diciembre, 2017

### Resumen

En la actualidad se utilizan diversos materiales para las instalaciones eléctricas, el cobre es un buen conductor eléctrico, pero el costo en comparación a otros materiales conductores como es el Aluminio, nos permite pensar en fabricar nuevas aleaciones en específico tomando como material base el Aluminio. Por tal motivo una manera de poder reducir este costo es usando una aleación de Aluminio con NTC ya que su método de elaboración es muy barato, además de que al incorporar Au se pretende obtener propiedades superconductoras. En el presente trabajo se realiza la caracterización de este tipo de aleaciones con un porcentaje de nanotubos del 0.35%. La incorporación fue por medio de mecano-síntesis durante un periodo de molienda de 24 horas finalmente se realizó análisis por Microscopia Electrónica de Barrido para observar la morfología de la aleación además de la distribución de los elementos, se realizaron análisis por difracción de rayos X para observar los compuestos, adicionalmente se realizó mediciones de conductividad eléctrica y finalmente por microdureza Vickers para determinar las propiedades mecánicas del material.

**Nanotubos de carbono (NTC), Mecanosíntesis, Oro, Aleación**

### Abstract

Nowadays different materials are used for electrical installations, copper is a good electrical conductor, but the cost compared to other conductive materials such as aluminum, allows us to think of making new alloys in specific aluminum based material. For this reason, one way to reduce this cost is to use an aluminum alloy with NTC since its method of elaboration is very cheap; in addition to that incorporating Au is intended to obtain super conductive properties. In the present work, the characterization of this type of alloys with a percentage of nanotubes of the 0.35% is carried out. The incorporation was by means of Mechanosynthesis during a period of milling of 24 hours. The characterization was realized by analysis by Scanning Electron Microscopy to observe the morphology of the alloy in addition to the distribution of the elements, also were realized analyzes by X-ray Diffraction To observe the compounds, additionally measurements of electrical conductivity and finally by Vickers microhardness to determine the mechanical properties of the material

**Carbon Nanotubes (CNTs), Mechanosynthesis, Gold, Alloy**

**Citación:** ALCÁNTARA-CÁRDENAS, Juan Alberto, MELO-MÁXIMO, Dulce Viridiana, CHÁVEZ-ALCALA, José Federico y CRUZ-GALVÁN, Azcayacatl Gamaliel. Caracterización de aleaciones de aluminio NTC-Au obtenidas por Mecanosíntesis. Revista de Innovación Sistemática. 2017. 1-4:40-48

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jaacotrebla@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor

**Introducción**

Las aleaciones de aluminio tienen características muy diversas que las hacen especialmente interesantes para el desarrollo de aleaciones de altas propiedades. (Knippling, 2006)

El desarrollo de materiales con matriz metálica además de la incorporación de NTC es muy poco investigado, debido al problema de la distribución adecuada de los nanotubos en la matriz de aluminio pero se ha observado que al aumentar el número de horas de molienda mejora esta distribución. (Lin Wan, 2014)

Las excelentes propiedades de los nanotubos de carbono son ideales para ser utilizados como material de refuerzo en materiales metálicos aumentando sus propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas entre otras disminuyendo el desgaste de la aleación y reduciendo el peso de la aleación por su baja densidad. (A. Esawi, 2007), (Tao Peng, 2014)

El auge de la nanotecnología en los últimos tiempos se debe a su gran potencial en la solución de problemas en distintas áreas de la ciencia, por ejemplo: materiales, electrónica, medicina, catálisis, etc. En particular, el diseño y síntesis de materiales porque permite modificar algunas de sus características preservando casi todas las propiedades intrínsecas del mismo. (P. Schifani, 2008)

**Justificación**

Se realizó el proyecto con el propósito de obtener un material con bajo costo, más ligero que se aproxime a las propiedades del cobre que se utiliza actualmente.

Se enfoca en las aleaciones de aluminio, ya que son viables para cumplir las características de alta resistencia mecánica y bajo peso, de igual manera un óptimo desempeño en condiciones de alta temperatura, ya que son ampliamente demandadas en las industrias aeronáuticas, aeroespaciales y automotrices y de la generación de energía. Y ya que algunas de estas aleaciones presentan baja ductilidad a temperatura ambiente, suelen adicionarse diferentes elementos químicos para mejorar sus propiedades, en este caso los NTC como agentes aleantes del sistema mediante un proceso de mecano-síntesis

**Problema**

Es de gran interés el desarrollo de nuevos materiales para diversas aplicaciones en este caso se pretende mejorar las propiedades del aluminio para su aplicación eléctrica, debido a que en la actualidad se utiliza ampliamente el Cobre por ser excelente conductor pero es más caro que el aluminio en el presente trabajo se incorporó nanotubos de carbono decorados con oro para aumentar la conductividad eléctrica, además de sus propiedades mecánicas.

**Hipótesis**

Se pueden mejorar las propiedades de los NTC al doparlos con nanopartículas de Au y adicionalmente incorporarlos a una matriz de Aluminio, dándole mejores propiedades conductoras volviéndolo una mejor opción para las instalaciones eléctricas en comparación al cableado de cobre usado normalmente.

**Objetivos****Objetivo General**

Evaluar las propiedades eléctricas de la aleación de NTC-Au-Al en comparación de una muestra de puro de Aluminio usado en instalaciones eléctricas convencionales.

### Objetivos específicos

- Sintetizar nanopartículas de Au de color amarillo (5-10 nm)
- Dopar los NTC con las nanopartículas de Au y Al
- Caracterizar por DRX, Micro dureza y resistencia eléctrica.

### Marco Teórico

El tipo de materiales y nanomateriales con los que se combina al aluminio permiten obtener nuevos nanocompositos con propiedades muy competitivas como las del cobre, pero con la ventaja de la ligereza del aluminio. (Cesar Edil da Costa, 2011)

El agente reforzante en este trabajo son los NTC con la finalidad de estudiar su comportamiento y lograr el pleno potencial de este material como refuerzo en la matriz del compuesto metálico. Varios temas críticos tienen que ser resueltos tales como: la dispersión homogénea de los NTC en gran concentración de la matriz metálica ya que es el principal obstáculo.

Se conoce que la adición de nanotubos de carbono para aleaciones de aluminio aumenta su dureza y la resistencia al desgaste, a la temperatura ambiente y a temperaturas elevadas. Pero es esencial tener una distribución homogénea y uniforme del refuerzo en tales compuestos para alcanzar la capacidad de carga efectiva de refuerzo. De lo contrario la aglomeración o la distribución no homogénea del agente reforzante puede conducir a menor ductilidad, menor resistencia, y menor tenacidad de los, materiales compuestos. (P.P, 2013)

Los NTC tienen una fuerte tendencia a la aglomeración, debido a que sus dimensiones promueven interacciones de gran área superficial.

Por lo tanto, un obstáculo para dispersar a los NTC en matrices metálicas ha sido la aglomeración (dando como resultado no muy buenas propiedades mecánicas), esto se da por la mala distribución o dispersión y la falta de control sobre la alineación de los nanotubos de carbono dentro de la matriz mecánica. (C.Suryanarayana, 383-502)

Sin embargo investigaciones han observado que en los materiales compuestos de la matriz deben permitir la dispersión adecuada de los nanotubos, la cual en el caso de matrices metálicas impone cierta dificultad. En los metales y las aleaciones, son grandes las dificultades en alcanzar una distribución homogénea de los NTC dentro de las matrices del metal sin reaccionar (Maziasz, 1999)

El carbono integrado en el metal proporciona comportamientos distintos del material original. Los nanotubos de carbono modifican la matriz del aluminio mejorando sus propiedades mecánicas. (Jae-Min Myoung, 2014)

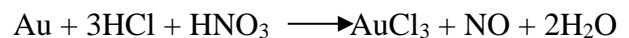
### Metodología

#### Síntesis Np-Au

Para obtener las nanopartículas de oro realizamos el método de oxido-reducción de cianuro de oro con borohidruro de sodio

Esto para obtener  $\text{Au}[\text{CN}]_2$

#### REACCION DE DISOLUCION



Se realizó una solución con el 25% de cianuro de oro en 7.5mL agua destilada, y se preparó una solución 0.1 molar de  $\text{NaBH}_4$  en 30 ml. esta sirvió como agente reductor para el Au

Se agregó  $\text{Au}[\text{CN}]_2$  en la solución de  $\text{NaBH}_4$ , aproximadamente 0.5 mL de  $\text{Au}[\text{CN}]_2$  a 30ml de  $\text{NaBH}_4$ .

Se debe de mantener en una cama de hielo y en agitación el  $\text{NaBH}_4$  y se agregara por goteo el  $\text{Au}[\text{CN}]_2$ . Así al término de la agregación del  $\text{Au}[\text{CN}]_2$  se observa cómo se empiezan a crear las nanopartículas de AU.

### Síntesis para la incorporación de Np-Au en los NTC

Ya obtenidas las NP's en solución de 30.5ml se pesó 0.0702g de NTC para agregarse en la solución. Una vez agregados los NTC a la solución se coloca en la punta ultrasónica a 450 Hz ( $1\text{Hz} = 1\text{v/s}$ ) y se programa a 10 min. Esto es para lograr la incorporación de los NTC con las NP's de Au

Posteriormente de la punta ultrasónica se observa como las NP's fueron adheridas a los NTC. Después de esto se centrifugo nuestra solución 20 min. Lo que se obtuvo del centrifugado lo ponemos a secar en foco ultra violeta a 24 horas.

### Síntesis por Mecanosíntesis

La molienda mecánica es una técnica de procesamiento de polvos en el que los mismos son mezclados en un molino de bolas, donde el polvo es sujeto a colisiones a alta energía con las bolas. El proceso generalmente se lleva a cabo en una atmósfera inerte. Durante la molienda mecánica se involucra la soldadura y fractura de las partículas de manera repetitiva un número elevado de veces en un molino de bolas de alta energía. (L.Lü, 1995).

Se pesaron 14.9475g del polvo de aluminio y 0.0525g de NTC para meter al vial de molienda durante un periodo de 24 horas.

Se prepara el contenedor para su uso. En este caso por el tipo de material se va a realizar una molienda en condiciones húmedas. Así que a 15g se le agrego 2 ml de Alcohol Isopropílico a 150R/m a 24 horas.

### Empastillado y Sinterizado

En este proceso en el cual la pieza adquiere la resistencia y fuerza para realizar su función. El sinterizado implica la fusión de las partículas, la reducción de volumen, disminución de porosidad y el aumento de tamaño de grano. (Anonimo, 2009)

El propósito fundamental de este proceso es el de establecer por contacto íntimo entre las partículas de polvo una unión por difusión de los átomos en los puntos de contacto, lo que elimina los límites de grano entre una y otra partícula, lográndose una unión rígida de gran fortaleza entre las partículas, sin necesidad de fundir el material, por lo tanto se puede considerar que la mayoría de los metales permanecen sólidos durante el proceso.

Para obtener las propiedades óptimas es importante el buen control de la atmosfera del horno. Es esencial una atmosfera libre de oxígeno para prevenir la oxidación de los polvos. Los mecanismos de sinterizado dependen de la composición de las partículas metálicas y parámetros de los procesamientos. Al aumentar la temperatura dos partículas adyacentes comienzan a formar una liga por el mecanismo de difusión.

Se pesa 3g de polvo para preparar empastillado. Se somete a  $1500\text{Kg/cm}^2$ .

Para sinterizar ambas pruebas se someten a un horno de temperatura controlada a  $610^\circ\text{C}$  por 2 horas.

### Metalografía

La metalografía consiste en el estudio de la constitución y la estructura de los metales y aleaciones. La forma más sencilla de hacer dicho estudio es examinando las superficies metálicas a simple vista, pudiendo determinar de esta forma las características macroscópicas.

Este examen se denomina micrográfico del cual se pueden obtener datos sobre el tratamiento mecánico sufrido en el material. En el examen micrográfico es posible determinar el tamaño de grano, el tamaño, forma ya distribución de las distintas fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del material.

1. Se toma la pastilla y se le quitan las impurezas más resaltantes de la superficie con una lija 600. Y se desbasta posteriormente hasta llegar a la lija 800 Y 1200.
2. Después de concluir el desbaste se lava con jabón líquido se enjuaga y se seca con una secadora manual esto es para evitar la oxidación.
3. Posteriormente se pule, con un paño para pulir de terciopelo adicionando alúmina de 0.3 micras y al terminar se realiza nuevamente el secado para evitar la oxidación.
4. Finalmente se observa en el microscopio electrónico de barrido.

## Resultados

### MEB

#### Micrografía

En la figura 1 se muestra la micrografía que se realizó para la caracterización por medio de Microscopia Electrónica de Barrido de los tres componentes fundamentales de nuestra aleación base en primera instancia se analizó los polvos de aluminio en los cuales se pudo observar tamaños que van de 20 micras a 150 micras esperando obtener tamaños nanométricos con la molienda de mecano-síntesis la cual se realizó con el molino fabricado

En la figura 2 se muestra la micrografía realizada a los nanotubos de carbono en el cual se puede observar claramente los nanotubos de carbono de tamaño manométricos el objetivo de la incorporación de este material es mejorar las propiedades mecánicas para lo cual la molienda debe de ser adecuada para la distribución homogénea en toda la matriz adicionalmente puede ayudar a mejorar las propiedades de conductividad eléctrica del aluminio.

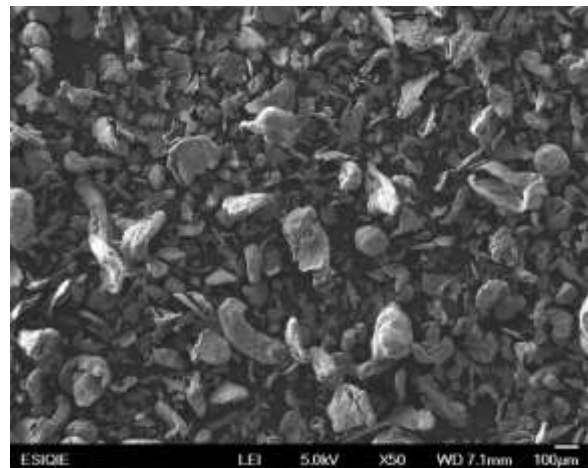


Figura 1 Micrografía superficial polvo de Aluminio.

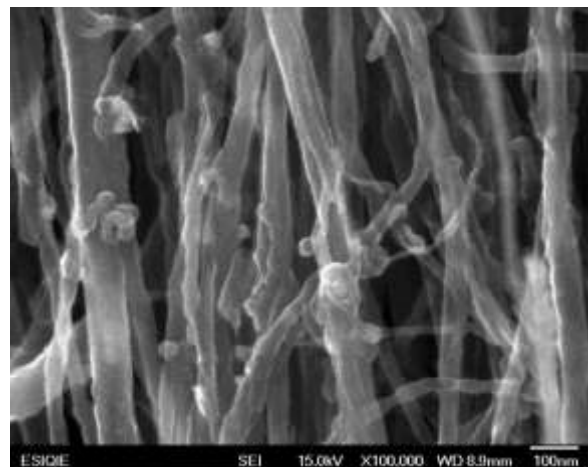
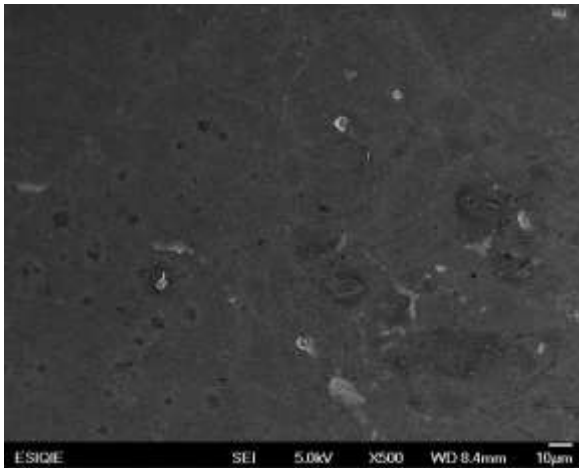


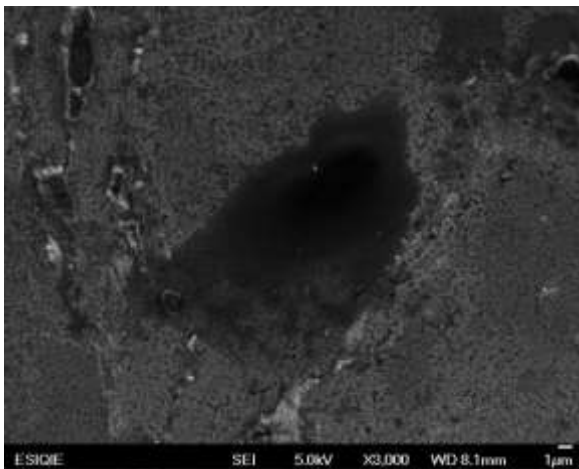
Figura 2 Micrografía nanotubos de carbono con incorporación de nanopartículas de Oro.

### Micrografías Superficiales y Análisis Puntual

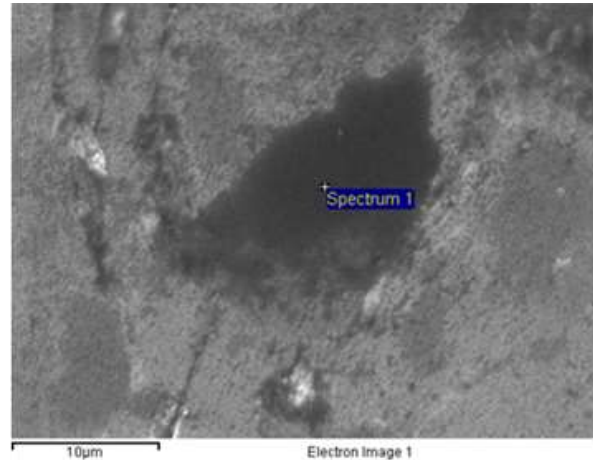
Para poder tener un punto de referencia se analizó una pastilla de aluminio sin elementos de aleación al cual se le realizó la caracterización microestructural en la cual se puede observar una segunda fase presente en el material, además de observar que la muestra presenta muy pocas discontinuidades en su superficie todo lo anterior se observa en la figura 3.



**Figura 3** Micrografía superficial de pastilla de Aluminio.



**Figura 4** Micrografía superficial de la aleación Aluminio-NTC-Au.

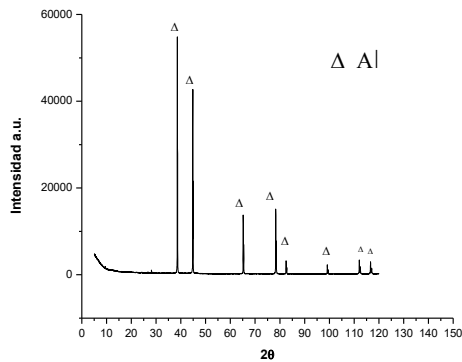


**Figura 5** Micrografía de Analisis Puntual de la Aleación Aluminio-NTC-Au.

En las micrografías de la figura 4 se puede observar claramente la presencia de una segunda fase más oscura la cual al realizar un análisis puntual el cual se muestra en la figura 5 resultando la presencia de aluminio y carbono en una relación estequiométrica de 50 % Al y 40% de C el porcentaje faltante fue detectado de Oxígeno que es normal debido a que la muestra se oxida lo cual indica la posible formación de un carburo de aluminio esto es corroborado con el análisis de DRX la presencia de este carburo de Aluminio.

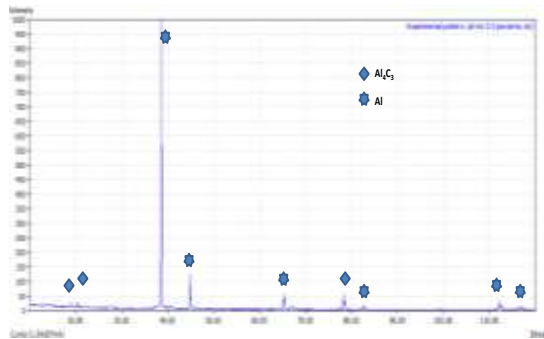
### Análisis de DRX

En la figura 6 se muestra el análisis de DRX a la muestra con elementos de aleación es decir al Aluminio puro observándose claramente los picos característicos del elemento esto con el fin de poder determinar que efectivamente se cuenta con un punto de comparación entre aluminio puro y otro con la aleación con Nanotubos de Carbono-Au.



**Figura 6** Difractograma de la pastilla sin Elementos de aleación.

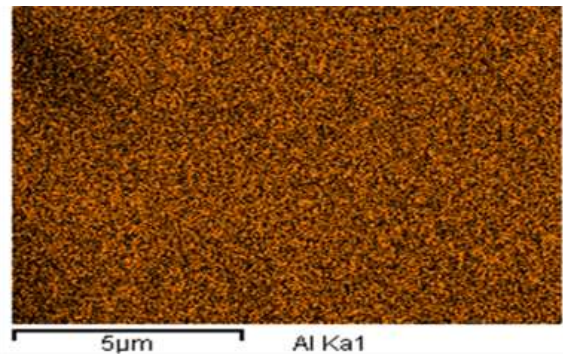
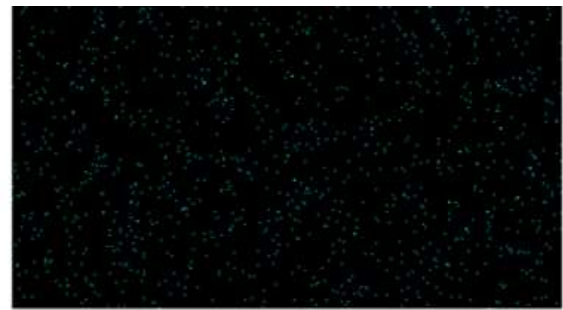
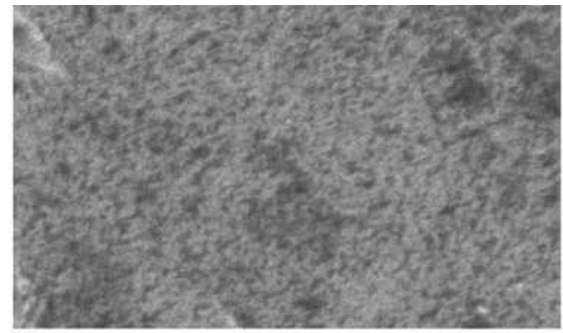
Por otra parte, se puede observar en la figura 7. El difractograma de la aleación de Aluminio-NTC-Au en el cual se puede observar la presencia de un carburo de Aluminio el cual se formó en la parte de la mecano-síntesis.



**Figura 7** Difractograma de la pastilla con Aluminio NTC-Au.

**Mapeo EDS por MEB**

En la figura 8. Se puede observar la presencia de elementos de la aleación, no se puede observar la presencia de oro debido a que las nanopartículas de oro no rebasan el 5% mínimo para ser detectadas, claramente se observa más la presencia de aluminio que de carbono en la aleación además de que está distribuido homogéneamente los dos elementos de aleación.

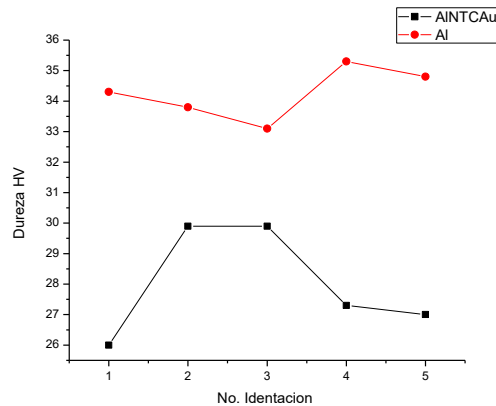


**Figura 8** Mapeo superficial de la aleación Aluminio NTC-Au

**Microdureza**

Al realizar Microdureza a las aleaciones claramente se observa que al incorporar los nanotubos de carbono hubo una mejora en la propiedad de dureza en el material, esto corrobora la hipótesis de que al incorporar los NTC el cual es un material no metálico si aumenta las propiedades del material esto puede mostrarse en la Figura 9.

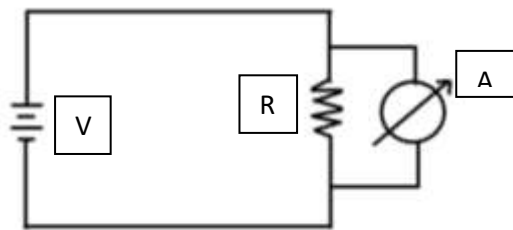




**Figura 9** Gráfica de Microdureza de las muestras analizadas

### Conductividad

Se realizó medición de conductividad eléctrica mediante la técnica de los dos puntos el arreglo de medición se puede observar en la Figura 10 obteniendo una conductividad eléctrica para la pastilla de Aluminio de  $3.6 \times 10^7 \Omega^{-1}m$  y para el caso de la pastilla de Aluminio NTC-Au fue de  $4.0 \times 10^7 \Omega^{-1}m$ .



**Figura 10** Arreglo de medición de resistividad y conductividad eléctrica.

A= amperímetro

R= material

V= voltaje

### Conclusiones

Se logró obtener aleación de aluminio – nanotubos de carbono con la incorporación de nanopartículas de oro, dicha incorporación se realizó por medio de la punta ultrasónica y finalmente se realizó una molienda en un molino vertical fabricado de forma artesanal, obteniendo una aleación con mejores propiedades mecánicas esto al realizarle pruebas de dureza se incrementó esta en comparación con una muestra que solo contiene aluminio de 26 HV a 36 HV de la aleación con nanotubos de carbono decorados con oro, adicionalmente se realizó la prueba para la determinación de resistividad del material y así determinar la conductividad del material obteniéndose una mayor conductividad en la aleación de nanotubos de carbono con la incorporación de nanopartículas de oro con un valor de  $4 \times 10^7 \Omega^{-1}m$ , pero es factible seguir aumentando la cantidad de nanotubos de carbono para observar si puede aumentar la conductividad eléctrica además de aumentar el número de horas de molienda para mejorar la distribución de los NTC en la matriz metálica.

### Referencias

A. Esawi, K. M. (2007). Dispersion of carbón nanotubes (CNTs) in aluminum powder. *composites : Part A* 38, 646-650 .

Anonimo. (17 de 04 de 2009). Obtenido de Xatakafoto:

<http://www.xatakafoto.com/fotografos/micrografia>

C.Suryanarayana, N. A.-A. (383-502). Mechanically alloyed nanocomposites. *Elsevier*, 2013.

Cesar Edil da Costa, F. V. (2011). Materiales compuestos de matriz metálica. *Madrid España*



Jae-Min Myoung, W. L. (2014). Mechanical alloying of multiwalled carbon nanotubes and aluminium composite powder. *Powder technology* 266, 7-15.

Knipling, K. E. (2006). Development of a Nanoescale Precipitation-Strengthened Creep-Resistant Aluminium Alloy Containig Trialuminide Precipitates. *NORTHWESTERN UNIVERSITY*, 20.

L.Lü, M. S. (1995). Modeling of the mechanical-alloying process. *Journal of Materials Processing Technology*, 539-546.

Lin Wan, H. C.-M. (2014). Mechanical alloying of multiwalled carbon nanotubes and aluminium composite powder. *Powder technology* 266, 7-15(2014)., 7-15.

Maziasz, C. (1999). Microstructural control and mechanical properties of dualphaseTiAl alloys. *Intermetallics* 6, 653-661.

P. Schifani, C. B. (2008). SINTESIS DE NANOPARTICULAS METALICAS SOPORTADAS SOBRE NANOTUBOS DED CARBONO SOLUBLES. *SAM*, 16-17.

P.P, A. D. (2013). The Science and Engineering of Materials. *4th Ed. Thomson ch. 13*, 592-600.

Tao Peng, I. C. (2014). Mechanical alloying of multi-walled carbon nanotubes reinforced aluminum composite powder. *Powder technology* 266, 7-15.