

## **EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES. Casos particulares**

Lázaro Abdiel Falcón Franco

Sergio García Villarreal

Isabel Araceli Facundo Arzola

Coordinadores



*Facultad de Metalurgia ISBN 978-607-506-202-0*



*Universidad Autónoma de Coahuila*



# **EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES.**

## **Casos particulares**

Lázaro Abdiel Falcón Franco

Sergio García Villarreal

Isabel Araceli Facundo Arzola

Coordinadores



*Facultad de Metalurgia ISBN 978-607-506-202-0*



## **Presentación**

Una institución educativa, apegada a su historia y a su compromiso con la sociedad, debe refrendar su compromiso con la divulgación de la ciencia y la tecnología, de tal manera que los avances en dichas áreas, estén al alcance de la sociedad en general y no solo de la comunidad científica y universitaria.

El compromiso de divulgar el conocimiento, debe ser el uno de los puntales sobre los que descansa el quehacer universitario, pues todo el conjunto de actividades realizadas al interior de la universidad, deben estar encaminadas de una u otra manera a impactar a la sociedad, ya sea enseñando, reafirmando o simplemente motivando a cada uno de sus miembros a conocer sobre los avances que se gestan dentro de la comunidad científica de este país.

Ha sido tema, más o menos general en las discusiones, que la idea en la sociedad mexicana, es la búsqueda de la mejora en los procesos educativos, que lo transformen en un proceso integral y continuo, independientemente de los niveles en los cuales se aplique dicho proceso.

Para lograr dichos objetivos es indispensable lograr un crecimiento progresivo y constante en la infraestructura, y en los recursos humanos, que garantice la oferta educativa y los espacios tanto para los jóvenes como para los adultos en proceso de actualización, eliminando las limitantes que el género y edad puedan representar.

Con gran satisfacción, me permito presentar 21 trabajos de investigación, de diferentes instituciones que corresponden al quehacer de sus Cuerpos Académicos, quienes mantienen una sólida participación en las tareas de modernización e innovación de los procesos de enseñanza-aprendizaje, de investigación, de atención a los alumnos y de participación en redes y grupos colegiados. Y que mediante esta publicación, con gran sustento científico y teórico llega a conclusiones dignas de análisis y de consideración para alcanzar mejoras en los diversos procesos que aquí se expone.

Sin duda este documento, muestra la calidad de los docentes e investigadores mexicanos, así como de las instituciones a las que pertenecen, dando una clara muestra del compromiso tanto personal como institucional con la sociedad a la que pertenecen.

<b>EVALUACION DE POLÍMEROS INTELIGENTES FOTOCURABLES CON MEMORIA DE FORMA</b>	
Maria Lydia Berlanga Duarte, Ricardo Acosta Ortiz, Aida E. García Valdez.....	75
<b>EVALUACIÓN DE REACTIVIDAD POR FT-IR (NIR) EN TIEMPO REAL DE RESINA EPÓXICA DE BADGE EN PRESENCIA DEL SISTEMA TIOL-ENE</b>	
Aída E. Garcia Valdez, Ricardo Acosta, Lydia Berlanga. ....	85
<b>EFECTO DE LA DEFORMACIÓN EN FRIO ANTES DE LA SOLDADURA SOBRE EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y A LA CORROSIÓN DE LA ZAT DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO</b>	<b>304</b>
R. García, A. Flores, V. H. López .....	92
<b>EFECTO DE LA INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE BAJA INTENSIDAD EN EL PERFIL DE SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE DÚPLEX</b>	<b>2205</b>
M.A. García , V.H. López , R. García. , F.F. Curiel , J. Lemus .....	101
<b>OBTENCIÓN DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS PARA IMANES</b>	
Gregorio Gonzalez Zamarripa, Jose R. Parga Torres, Juan Ramos Cano, Maria De Jesus Soria Aguilar, Francisco Raul Carrillo Pedroza, Maria G. Gonzalez Zamarripa, Fernando Martinez V.....	115
<b>COMPORTAMIENTO DEL CONTENIDO DE CENIZA Y DE AZUFRE DURANTE EL PROCESO DE FLOTACIÓN DE CARBÓN EN CELDA TIPO DENVER EN FUNCIÓN DEL TIEMPO Y DIFERENTE RANGO DE TAMAÑO DE PARTÍCULA: CINÉTICA DE FLOTACIÓN</b>	
Martínez Carrillo D., López Saucedo F.J., Batista Rodríguez J.A., Camacho Ortega L.F., Galicia Reyna J.F.....	128
<b>ACTIVIDAD ANTIFUNGICA DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE Y ÓXIDO DE ZINC-PLATA CONTRA Botrytis cinerea</b>	
Corrales Flores Jorge, Hernández Suárez Marcela, Betancourt Galindo Rebeca, García Cerda Luis Alfonso, Puente Urbina Bertha, Lira Saldivar Ricardo Hugo. ....	138

## INDICE

### **CRECIMIENTO DE ESTRUCTURAS LUMINISCENTES DE ZnO TIPO FLOR POR EL MÉTODO DE ADSORCIÓN Y REACCIÓN SUCESIVA DE CAPAS IÓNICAS**

Raquel Garza Hernández, Víctor H. Martínez Landeros, Martha E. Rivas Aguilar, Nayely Pineda Aguilar<sup>1</sup>, Guillermo E. Acosta-Gonzalez<sup>1</sup>, Manuel Quevedo López, Francisco S. AguirreTostado..... 1

### **OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PELÍCULAS DELGADAS DE ÓXIDO DE ZIRCONIO SOBRE SUSTRATOS DE VIDRIO SÓDICO-CÁLCICO POR SOL-GEL E INMERSIÓN**

Jesús Gutiérrez Menchaca, Rodrigo Mayen Mondragón, Eduardo Martínez-Guerra, Francisco S. Aguirre Tostado ..... 10

### **DISEÑO DE UN MICRO-COSECHADOR DE ENERGÍA BASADO EN TECNOLOGÍA MEMS Y MATERIALES PIEZOELÉCTRICOS PZT C.R.**

Ascencio Hurtado, J. Ramos Cano, R.C. Ambrosio Lázaro, P. Amézaga Madrid, M. Miki Yoshida, J. González Hernández , F. Espinosa Magaña y A. Hurtado Macías..... 22

### **PELÍCULAS DELGADAS FERROELÉCTRICAS BASE PB-TI-ZR UNA NUEVA ERA EN LA INDUSTRIA MICROELECTRÓNICA**

Ramos Cano J., Amézaga Madrid P., Hurtado Macías A., González Hernández J., González Zamarripa G., Soria Aguilar M. de J., Carrillo Pedroza Fco. R., Miki Yoshida M.. ..... 46

### **CARACTERIZACIÓN DE ESPUMAS POLIMÉRICAS EN BASE A DIFERENTES POLIOLES OBTENIDOS A PARTIR DE ACEITE DE RICINO MODIFICADO POR TRANSESTERIFICACIÓN CON PENTAERITRITOL Y ALMIDON DE MAIZ**

Enrique Adalberto Fuentes Montemayor, Citlalli Donaji Salinas Ovalle, Jorge Arturo Cañas Montoya, Felipe Avalos Belmontes, F. Servando Aguirre Tostado,..... 66

**SÍNTESIS Y EVALUACIÓN ANTIMICROBIANA DE NANOPARTÍCULAS DE ZNO PARA DETERMINAR SU POSIBLE APLICACIÓN EN DISPOSITIVOS DE USO MÉDICO**

Rebeca Betancourt Galindo, Bertha Puente Urbina, Sonia Ramírez Barrón, Juan Carlos Rodríguez Carrillo. .... 146

**MODIFICACIÓN SUPERFICIAL DE NANOPARTÍCULAS DE ZNO Y SU ESTUDIO ANTIMICROBIANO**

Ramírez Barrón S. N., Betancourt Galindo R., Sánchez Valdés S., Puente Urbina B. .... 155

**CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL Y MECÁNICA EN SOLDADURAS DE PENETRACIÓN PARCIAL UNIDAS POR EL PROCESO GMAW PARA APLICACIONES AUTOMOTRICES**

M.C. Ramírez, F. F. Curiel, J. A. Cabral, R.R. Ambriz, M.A. García, P. Zambrano ..... 165

**CINÉTICA DE LA REACCIÓN DE PARTÍCULAS DE TIC EN ALUMINIO FUNDIDO**

Victor H. López, Andrew R. Kennedy, Jorge A. Verduzco ..... 174

**EFFECTO DEL NANOCOMPÓSITO AlZnSi EN LA MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES Al-Zn POR ALEADO MECANICO**

S. García Villarreal, A. Arizmendi Morquecho, L. Falcón Franco, A. Rodríguez Campos; Rangel Hernández Y.M.; Garcia Yrigoi M., Facundo Arzola I.A. .... 189

**OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES ELECTRICAS PARA UN ACERO AL SILICIO DE GRANO NO ORIENTADO POR MEDIO DE UN TRATAMIENTO TÉRMICO DE RECOCIDO**

A. Dávalos Sánchez., M. G. Rosales Sosa., S. García Villarreal, I.A. Facundo Arzola., G. B. Escalante Ibarra, G. G. Treviño Vera., M. Arredondo E ..... 202

**OBTENCION DE FERRITAS DE ESTRONCIO BAJO CONDICIONES HIDROTÉRMICAS**

Campos Hernández E., Rangel Hernández Y. M., Rosales Sosa M.G., Piedad Sánchez Noe, Garcia Yregoi M., Rosales Sosa B.I, Hernández de la Rosa J. .... 218

**DETERMINACION DE TAMAÑO DE NANOPARTICULAS MAGNETICAS  
MEDIANTE LA LA ECUACION DE SCHERRER**

Facundo Arzola I. A., García Guel Y. Y., Saade Hened, Rosales Sosa Ma.G.,  
Escalante Ibarra G.B., Manuel Yregoi M., Range Hernández Y.M., Noé Piedad-Sánchez,  
Rosales Sosa B.I., Dávalos Sánchez A..... 226

**PROPIEDADES MECÁNICAS, TÉRMICAS Y MORFOLÓGICAS DE  
BIOESPUMAS RÍGIDAS A PARTIR DE MDI CON ACEITE DE RICINO  
MODIFICADO CON ALMIDÓN DE MAÍZ CEROSO GLUCOSILADO**

Enrique Adalberto Fuentes Montemayor, Citlalli Donaji Salinas Ovalle, Jorge Arturo Cañas  
Montoya, Felipe Avalos Belmontes, Francisco S. Aguirre Tostado ..... 233

# EFFECTO DEL NANOCOMPÓSITO AlZnSi EN LA MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES Al-Zn POR ALEADO MECANICO

**S. García □ Villarreal<sup>a\*</sup>, A. Arizmendi □ Morquecho<sup>b</sup>, L. Falcón-Franco<sup>a</sup>,  
A. Rodríguez-Campos<sup>a</sup>; Rangel-Hernández Y.M.<sup>a</sup>; Garcia-Yrigoi M.<sup>a</sup>;  
Facundo-Arzola I.A.<sup>a</sup>.**

<sup>a</sup>Facultad de Metalurgia, UAdeC, Carr. 57, Km 4.5, 25710 Monclova, Coah., México. \*sergio\_garcia@uadec.edu.mx

<sup>b</sup>Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C.U. Monterrey, Alianza Nte. 202, 66600 Apodaca, NL, Mexico

## **Resumen.**

El efecto en una aleación de AlZn con diferentes contenidos de nanocompuestos AlZnSi, fueron preparadas por el proceso de molienda mecánica. Se ha encontrado que el tiempo de molienda tiene un efecto de incrementación de microdureza con la refinación del polvo, pero al agregar el nanocompuesto de AlZnSi actúa como reforzador de la matriz metálica incrementado la microdureza y la modificación del punto de fusión. En esta investigación, las propiedades mecánicas de la aleación Zn-Al con adición de nanocompuesto de AlZnSi fueron evaluadas con ensayos de microdureza Vickers (HVN) los valores son más altos en mayor contenido de NP Si. Se ha encontrado un punto de saturación que existe en microdureza con el reforzamiento de NC AlZnSi

## **1. Introducción.**

Aleaciones basadas en Aluminio-Zinc (Al-Zn) han encontrado un uso industrial considerable. Dentro de sus aplicaciones han competido eficazmente contra el cobre, aluminio y fundiciones a base de hierro <sup>[1]</sup>. La adición de Silicio en la aleación Al-Zn mejora la resistencia al desgaste así como su estabilidad dimensional <sup>[2]</sup>. Las aleaciones Al-Zn más comercialmente empleadas son las conocidas como ZA. La adición de silicio a la aleación ZA50 (50%e.p Z y 50% Al) no produce cambio en la morfología de las aleaciones

para concentraciones  $<1\%$  <sup>[3]</sup>. Estas aleaciones inicialmente fueron fabricadas mediante proceso de colado por gravedad. Sin embargo una alternativa para mejorar las propiedades mecánicas es la dispersión de partículas de otro material mediante el proceso de aleado mecánico. Mediante esta técnica se pueden obtener lo que se conoce como materiales compuestos los cuales reúnen las ventajas combinadas de sus constituyentes, las cuales no son posibles cuando se emplean solos <sup>[4]</sup>. Recientemente el termino nanocompósito es usado cuando la fase dispersa está en el rango de nanómetros. Uno de los procesos utilizados para obtener un nanocompósito, el cual está formado por nanoparticulas dispersas en una matriz metálica (NCsMM) es el aleado mecánico <sup>[5-10]</sup>. Recientemente una considerable cantidad de investigación en síntesis de nanocompósitos novel ha sido dirigida hacia los materiales reforzantes de tamaño manométrico <sup>[11]</sup>. La idea más allá del incremento en la resistencia en materiales endurecidos conduce a la introducción de una fase dispersa de alta resistencia dentro de la matriz. Esta fase puede ser introducida en la matriz desde el exterior o puede ser formada “insitu” durante la molienda.

El presente trabajo está dirigido a mejorar las propiedades de la aleación base Al-Zn, mediante la dispersión de nanoparticulas de Silicio dentro de la matriz metálica por molienda mecánica (MM). Se realizó caracterización microestructural y mecánica.

## **2. Procedimiento experimental.**

El estudio en este trabajo fueron aleaciones de aluminio aleaciones ZA55% y ZA55%-Si (nm) en varios % e.p.; como materiales de partida. De la aleación ZA se obtuvo rebaba y luego fue pulverizada, con tamaño inicial de la aleación ZA variando de 800-1000  $\mu\text{m}$ . La aleación ZA se molió mecánicamente en diferentes intervalos de tiempos 0, 5, 10, 15 y 20 horas para observar la evolución microestructural en función del tiempo de molienda. El aleado mecánico de la aleación ZA (rebaba) con adición de 0.3 - 1.5% e.p. de nanoparticulas de Si, los tiempos de molienda 5 y 10 horas, para hacer este proceso se llevó a cabo utilizando un molino Spex de alta energía, las muestras fueron preparadas a partir de rebaba y polvo respectivamente, cada una de estas aleaciones fue colocada en un vial de acero en el molino de alta energía, agregando etanol como agente de transformación de

control adecuado (molienda húmeda). El vial fue colocado dentro de un recipiente donde se agregó argón como gas de desplazamiento previniendo la oxidación antes de ser cerrado. La relación de molienda de bolas a peso de polvo se fijó en 4 a 1. El peso total de la muestra, 10g. La caracterización morfológica se realizó en un microscopio electrónico de barrido (MEB) es un equipo de la marca FEI (Modelo Nova NanoSEM 200) de alta resolución., operado a 10 kV. y el análisis químico por espectroscopia de dispersión de rayos X característico de la energía (EDXS). ). El análisis microestructural del producto de la molienda fue caracterizado por TEM en modo de barrido (STEM), las imágenes se obtuvieron con un equipo HRTEM JEOL JEM-2200FS con corrector de aberración esférica y aceleración de 200 kV y con la técnica EDXS (Oxford Instruments modelo Inca Sight). Caracterización microestructural se realizó mediante difracción de rayos X en un difractómetro Philips, operado a 40 kV y 30 mA, con una radiación de Cu ( $K\alpha = 1,54 \text{ \AA}$ ). Un modo de paso de escaneo  $0.02^\circ$  y con un contador de tiempo de 1 s, se utilizó una gama de exploración de  $2\theta = 10^\circ$  a  $120^\circ$ . La caracterización mecánica de polvos producidos de la molienda se realizó por un micro durómetro de pruebas de microdureza Vickers (MMT-X7), utilizando un tiempo de indentación de 10s y una carga máxima de 10 gr.

### **3. Resultados y Discusión.**

#### **3.1 Morfología y análisis microestructural.**

Se realizó una caracterización a las moliendas en cada uno de sus tiempos y porcentajes de NP Si. La figura 1a-e muestran la evolución morfológica como polvo molido de la aleación ZA55% sin modificar en varios tiempos de molienda; 0, 5, 10,15 y 20. Bajo ciertas condiciones de molienda empleadas. La pulverización de polvo es evidente; como el tiempo de molienda aumentó se observó un tamaño menor en polvo. La figura 1.6a corresponde a la aleación inicial (rebaba del metal a 0h de molienda) muestra una morfología irregular, en forma de hojuela. 1b-e muestran la evolución morfológica en función del tiempo de molienda. Tiempos más largos de molienda como resultado una forma más equiaxial en productos de la molinería. Después de 5 h de molienda, la morfología cambia a una forma irregular, con un tamaño promedio de  $\approx 70 \mu\text{m}$ . Después de

15 h de molienda se obtuvieron polvos de forma equiaxial con un tamaño promedio de  $\approx 40 \mu\text{m}$ . El efecto de la Molienda Mecánica (MM) sobre la morfología y el tamaño de los polvos obtenidos han sido ampliamente estudiados [12].

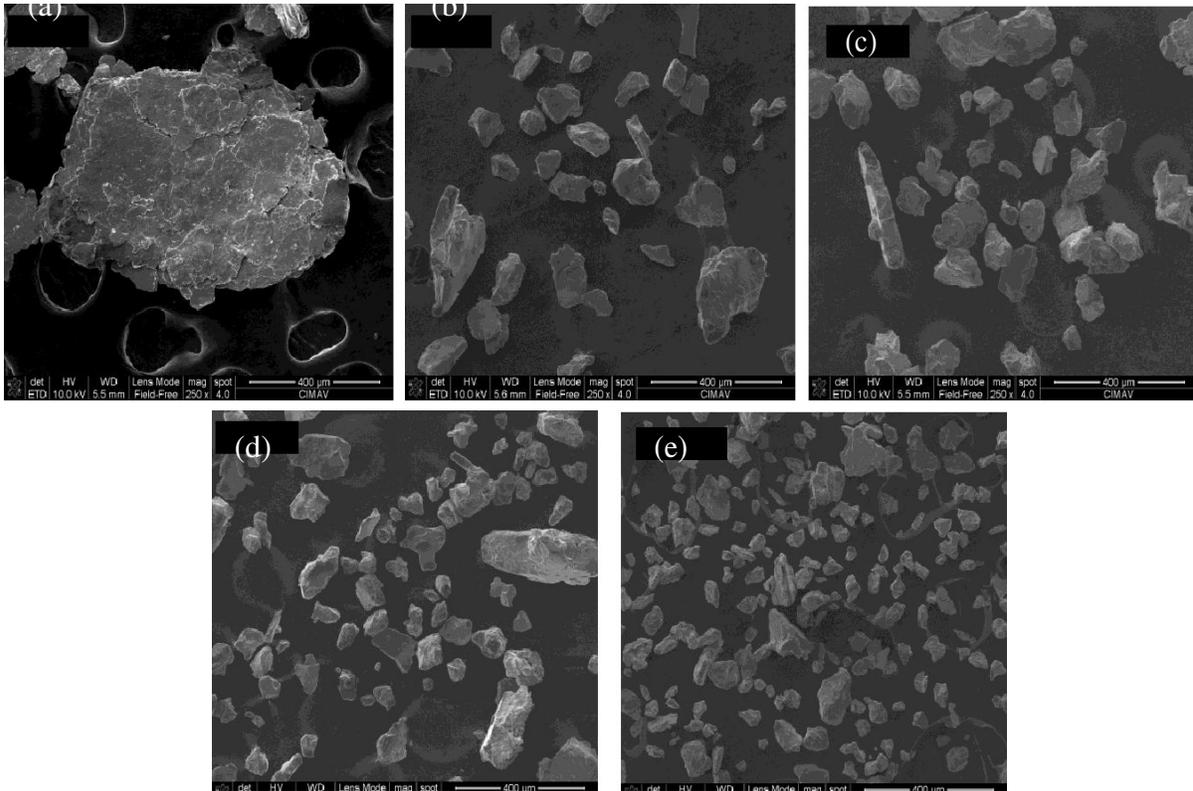


Figura 1 Micrografías SEM muestra la morfología de las partículas en función del tiempo de molienda. (a) 0 h, (b) 5 h, (c) 10 h, (d) 15 h y (e) 20 h de molienda.

La Tabla 1 muestra la composición química de la aleación ZA55% sin modificar a partir de rebaba de diferentes tiempos de molienda mecánica 0, 5, 10, 15, 20 hrs. Mediante la técnica EDX

<b>Elemento (% Peso)</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>
Al	51.42	47.07	50.92	46.74	49.06
Zn	42.20	48.79	41.93	49.55	45.83
O2	6.38	4.14	7.15	3.71	5.11
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Tabla 1. Composición química aleación ZA55%, diferentes tiempos de molienda

### Tiempos de Molienda (Hrs)

La Figura. 2 muestra ZA con diferentes concentraciones de Si NP por 5 h de molienda. Dado que el contenido de Si NP es mayor, el tamaño de las partículas disminuye. Menor tamaño de las partículas se obtuvieron en los compuestos con mayor cantidad de Si NP (Fig. 2e, de 1.5 %e.p. de Si NP). De la figura. 2 se puede observar la existencia de un cambio en la disminución de tamaño de las partículas con contenidos superiores a 0.6 %e.p. de Si NP. Con 0, 0,9 y 1,5 % en peso del tamaño de partícula cambia poco a poco, con un contenido más alto el cambio es más rápido, hasta un tamaño de partícula de  $\approx 20 \mu\text{m}$ .

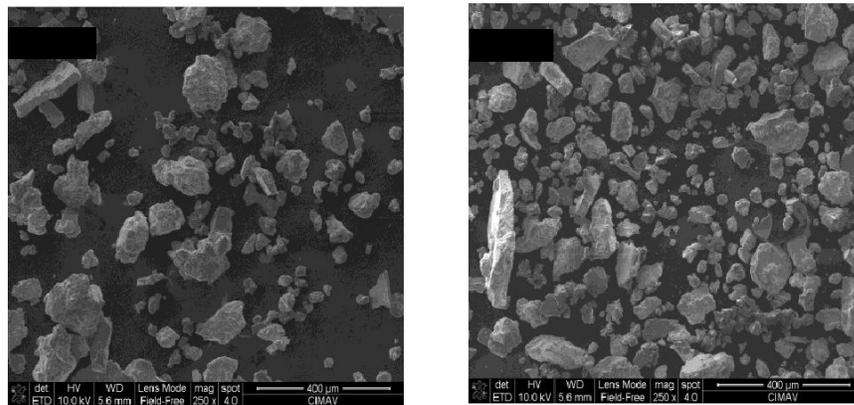


Fig. 2 Micrografías del SEM muestra la morfología de las partículas en función del contenido de Si NP. (a) 0.3%, (b) 0,6%, (c) 0.9%, (d) 1.2% y (e) 1.5% de Si NP, elaborado durante 5 h de molienda.

La Tabla 2 muestra la composición química mediante la técnica EDXS, de la aleación ZA55%- adicionándole Si NP (nanoparticulas) de diferentes 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2%, y 1.5% en peso de nanoparticulas de Si; y 5 horas de molienda mecánica.

Tabla 2. Composición química aleación ZA adicionando Si NP (0.3 – 1.5%e.p.) con 5 horas de molienda

<b>% Si NP (5 h molienda)</b>					
<b>Elemento (% Peso)</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>
Al	48.59	55.20	48.80	47.54	60.96
Zn	46.07	41.04	46.18	46.42	25.58
O2	5.34	3.76	5.02	3.87	11.19
Si	---	---	---	2.17	2.27
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

La Figura. 3 muestra ZA con diferentes concentraciones de Si NP por 10 h de molienda. Dado que el contenido de Si NP se incrementó en de 0.3 – 1.5 % en peso, de la figura. 3a- e no se observan cambios en el tamaño de partícula manteniéndose con un promedio de  $\approx 45 \mu\text{m}$ .

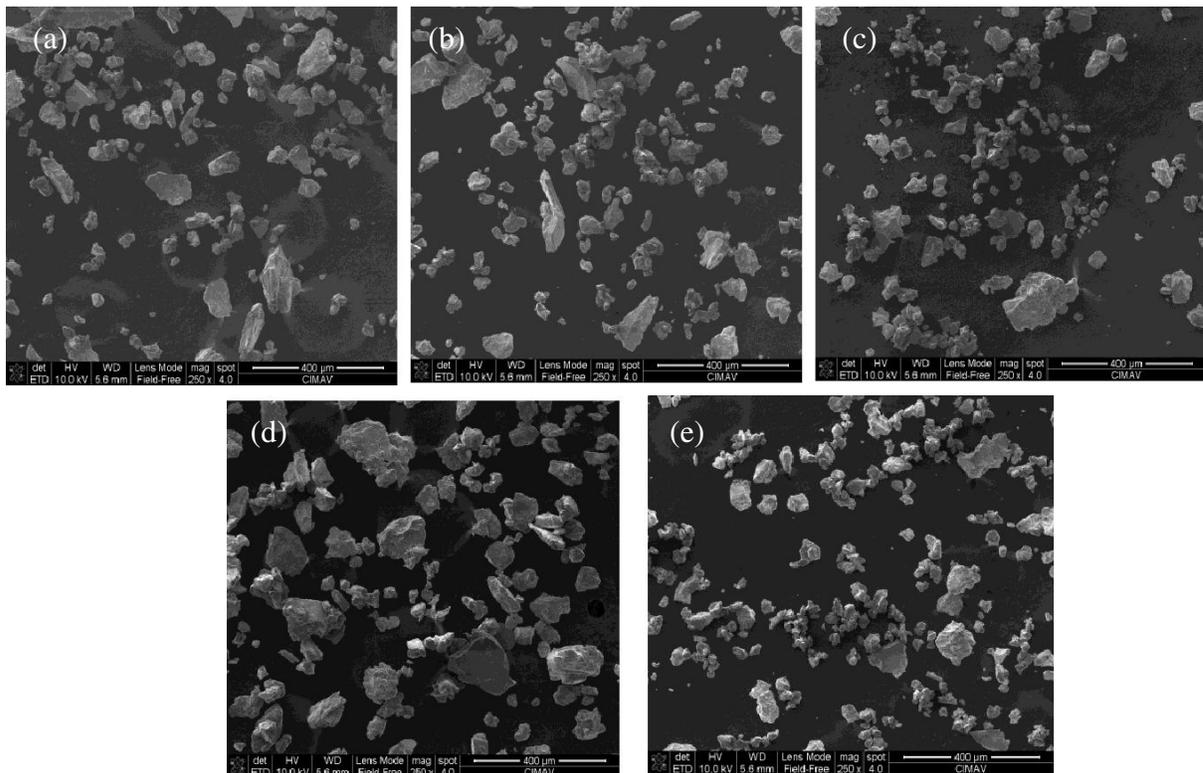


Fig. 3 Micrografías del SEM muestra la morfología de las partículas en función del contenido de Si NP. (a) 0.3%, (b) 0,6%, (c) 0.9%, (d) 1.2% y (e) 1.5% de Si NP, elaborado durante 10 h de molienda.

La Tabla 3 muestra la composición química mediante la técnica EDXS, de la aleación ZA - adicionándole Si NP (nanoparticulas) de diferentes 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2%, y 1.5% en peso de nanoparticulas de Si; y 10 horas de molienda mecánica.

Tabla 3. Composición química aleación ZA adicionando Si NP (0.3 – 1.5%e.p.)

<b>% Si NP (10 h molienda)</b>					
<b>Elemento (% Peso)</b>	<b>0.3</b>	<b>0.6</b>	<b>0.9</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>
Al	48.97	50.37	50.68	50.41	47.27
Zn	44.93	43.77	44.55	42.21	46.69
O2	6.10	5.86	4.77	4.74	4.36
Si	---	---	---	2.64	1.68
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

La Fig. 4 presenta mapeos obtenidos por EDXS mostrando las distribuciones de Si, Al y Zn en las microestructuras producidas por aleado mecánico de los nanocompuestos Al□Zn con adiciones de Si NP de 1.2% e.p. y con un tiempo de molienda de 10h. A través de EDXS se pudieron identificar las partículas del Si observándose con tamaños de ~100nm asociados a la matriz metálica Al□Zn después de 10h de molienda y de ~50 nm. Como se puede apreciar en cada caso se revela la imagen del STEM de campo claro del nanocompuesto, independientemente de la cantidad de Si adicionada, el Si se distribuye muy bien en la matriz metálica, sin embargo en algunas partes aparece aglomerado. Con 10h de molienda el Si se dispersa aún más en la matriz metálica y los agregados se presentan en menor cantidad. En todos los casos se puede apreciar que el Al y Zn forman una solución sólida homogénea.

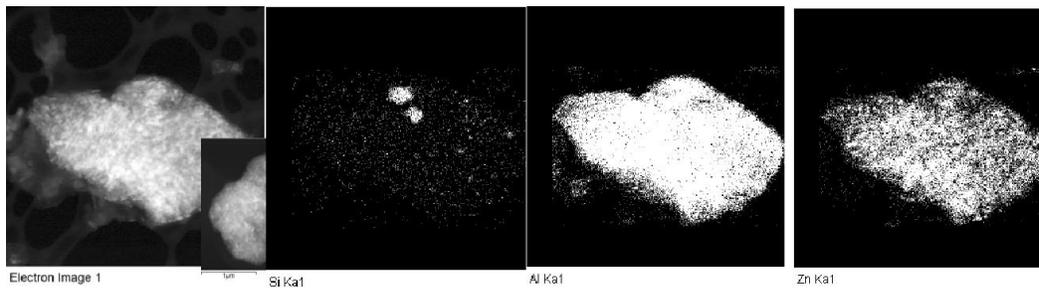


Fig. 4. Mapas de distribución elemental de nanocompuestos Al□Zn□Si producidos por molienda mecánica durante 10 horas.

### 3.2 Patrones de difracción de rayos X

El aleado mecánico en polvos compuestos sufre cambios morfológicos y microestructurales. La deformación plástica severa de las partículas puede producir la refinación de tamaño, variación de tamaño de cristal, acumulación de tensiones internas y de los parámetros de red sobre sistemas aleados y la formación de fases amorfas [13]. La Figura 5 muestra los diferentes picos de difracción en la muestra de la aleación ZA55%, variando el tiempo de molienda de 0, 5, 10, 15 y 20 horas. Observándose la evolución estructural durante la molienda de mezcla del polvo y el efecto del tiempo de molienda en espectro DRX, la difracción algunos picos fueron ampliando e incrementando su intensidad como el tiempo de molienda, denotando una microestructura refinada, este comportamiento es típico en el proceso de molienda mecánica.

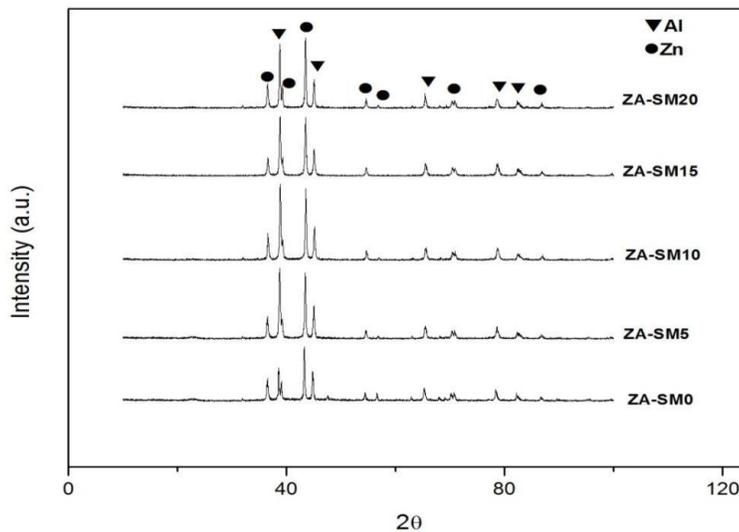


Figura 5. Patrón de difracción de rayos-X de la aleación ZN

La Figura 6 muestra el espectro DRX de ZA con Si NP (1.5, 1.2, 0.9, 0.6 y 0.3% e.p.) considerando 5 horas de molienda. Presentando las mismas fases en el resto de las moliendas con respecto al % de Si NP agregado a la aleación maestra.

Figura 6 Patrón de difracción de rayos-X de la aleación ZA-Si NP con el proceso de aleado mecánico por 5 horas.

La figura 7 muestra los espectros de DRX ZA con Si NP (1.5, 1.2, 0.9, 0.6 y 0.3% e.p.) de la evolución durante la molienda de la mezcla del polvo elaborado por 10h. Al comparar el tiempo de molienda en la figura 6 “vs” 7 donde esta última da lugar a nuevos picos de la fase  $Al_{0.79}Zn_{0.29}$ . Sin embargo debido a la baja concentración de Si NP no era evidente en los espectros de difracción de rayos X. Es importante mencionar que a mayor tiempo de molienda aparecen nuevas fase dando lugar a modificaciones con respecto a las propiedades mecánicas.

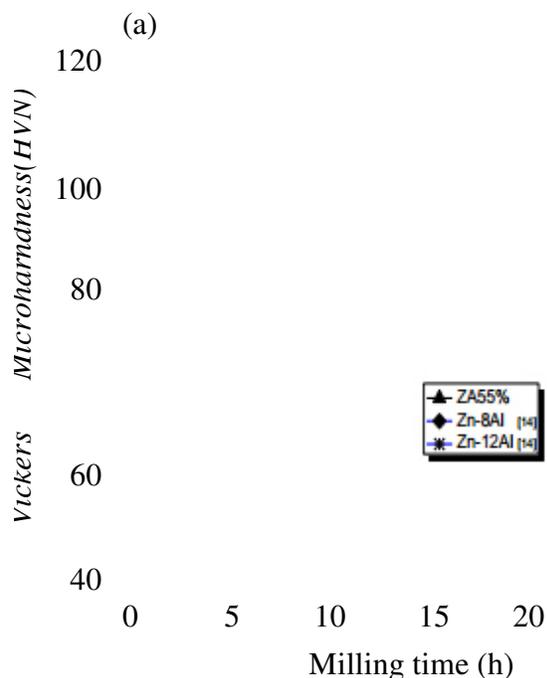
Figura 7 Patrón de difracción de rayos-X de la aleación ZA-Si NP con el proceso de aleado mecánico por 10 horas.

La figura 8 muestra los resultados de las microdurezas del producto pulverizado. La figura 8a muestra la variación de microdureza como una función del tiempo de molienda. Es evidente el endurecimiento del trabajo del producto de molienda, el incremento fue obtenido cerca del 240%, para tiempos de molienda a 20 h.

Los valores de microdureza fueron más altas posterior a las 10 horas de molienda que los reportados de la aleación Zn-8Al y Zn-12Al respectivamente <sup>[14]</sup>. La figura 8b muestra la variación de microdureza como una función del contenido de nanopartículas de Si manteniendo constante el tiempo de molienda (5 y 10 h), para mayores contenidos de Si NP tiende a incrementar la microdureza. Pero para el tiempo de 5 h se observa un incremento de microdureza con el 0.6% e.p. de Si

NP, que el mismo reportado en este trabajo de la (figura 8a) a 5h molienda ZA55%. Y mayor que las aleaciones Zn-8Al <sup>[14]</sup>, lo que representa un incremento de 22% y 40%

respectivamente de cada aleación. Es significativo observar que del tiempo de molienda 5 h y 10 h un aparente punto de saturación es observado en 1.2% e.p de Si NP. Para 10 h de tiempo de molienda se encontraron las microdurezas más altas. Se observó que 1.5% e.p. representa un incremento cerca de 31 HVN comparada con el de 5h, y más 40 HVN que la molienda mismo tiempo reportado en este mismo trabajo de la (figura 8a). El valor más alto en microdureza se obtuvo con 1.5% e.p. de Si-NP y 10 h de tiempo de molienda (fig.8b)



La figura 8 muestra los resultados como una función de (a) tiempo de molienda y (b) contenido Si NP durante la molienda de 5 h y 10 h.

#### 4. Conclusiones.

El aleado mecánico mejora la distribución de NP Si en toda la matriz de la aleación ZA55% e.p.; Disminuye el tamaño de las partículas de refuerzo durante la molienda y se ve afectado por el tiempo de molienda detectando una nueva fase en periodos de 10 h. La

microdureza de la aleación ZA se incrementa con el tiempo de molienda de 0 a 20 h. La microdureza aumenta en el nanocompuestos a medida que aumenta el tiempo de molienda. Mediante el proceso de aleado mecánico y dispersión de nanoparticulas es posible obtener mejores propiedades que los alcanzados por las aleaciones ZA55%e.p., Zn-8Al y Zn-12Al. Concentraciones Si NP superiores al 1.5% e.p. no tienen efecto importante sobre la microdureza en tiempos de 5 h. Pero para tiempos de molienda mayores de 10 h. en concentraciones de Si NP con 1.5% e.p. presenta un incremento en la microdureza. La presencia de nanoparticulas de refuerzo acelera el proceso de aleación mecánica debido a la deformación más alta impuesta a la matriz solo el 0.6% e.p. de Si NP en el tiempo de 10h produce alrededor del 50% de reducción de tiempo en comparación con el de la aleación ZA no reforzada sometida a molienda mecánica. El reforzamiento de la aleación ZA con la dispersión de Si NP tiene importantes aplicaciones potenciales en aleaciones de aluminio.