

Santiago de Cali, 3 de mayo de 2017



04 MAY 2017

Ingrid
RECIBIDO

Profesora

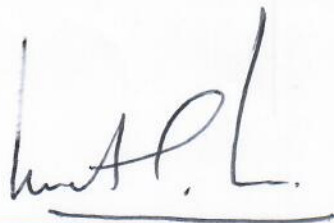
PATRICIA TORRES LOZADA

Vicedecana de investigación y Postrado

Asunto: Remisión del informe final del proyecto CI 2762.

Remitimos el informe final del proyecto “EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS TERMO-MECÁNICOS EN LA RESPUESTA TRIBOLÓGICA DE UNA ALEACIÓN Fe-Mn-Al-C PARA APLICACIONES INDUSTRIALES” de la convocatoria interna No 2- 2013, CI 2762.

Atentamente,



MARTÍN MORENO SANTANDER

Investigador principal

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año **1. Datos generales del Proyecto**

Código del proyecto: 2762			
Título del proyecto: EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS TERMO-MECÁNICOS EN LA RESPUESTA TRIBOLÓGICA DE UNA ALEACIÓN Fe-Mn-Al-C PARA APLICACIONES INDUSTRIALES			
Facultad o Instituto Académico: INGENIERÍA			
Departamento o Escuela: Escuela De Ingeniería Mecánica y Escuela de Ingeniería de Materiales			
Grupo (s) de investigación: Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS) de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el Grupo de Tribología, Polímeros, Metalurgia de Polvos y Transformación de Residuos Sólidos (TPMR) de La Escuela de Ingeniería de Materiales y el Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial (GIMI) de la Escuela de Ingeniería Mecánica			
Entidades: Universidad del Valle			
Palabras claves: Aleación Fe-Mn-Al-C, tratamiento termo-mecánico, carburo-k, desgaste abrasivo			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Martin Alonso Moreno	8 h/ semana	8 h/ semana
Coinvestigadores	Yesid Aguilar Castro	4,6 h/semana	4,6 h/semana
	Jairo Antonio Valdés Ortiz	8 h/semana	8 h/semana
	John Jairo Coronado	4,6 h/semana	4,6 h/semana
	Sara Aida Rodríguez	4,6 h/semana	4,6 h/semana
Otros participantes	Fabián Andrés Terán Correa	4 h/semana	4 h/semana
	Oscar Alexander Zambrano	20 h/semana	20 h/semana

2. Resumen ejecutivo:

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

El desgaste severo en elementos de máquinas y sistemas mecánicos es una problemática persistente a nivel nacional y mundial, la cual requiere ser atendida de forma integral y frontal mediante soluciones innovadoras. El desarrollo de nuevos materiales que satisfagan requerimientos de mínimo costo, gran durabilidad y un satisfactorio desempeño mecánico-tribológico para diferentes condiciones de uso en la industria, es la motivación que ha impulsado grandes revoluciones en la ingeniería lo cual es esencial para una solución integral al problema vigente. Así, surge la idea de desarrollar y reemplazar parcial o totalmente gran cantidad de materiales convencionales por nuevas aleaciones resistentes al desgaste. Las aleaciones del sistema Fe-Mn-Al-C prometen ser uno de estos materiales sustitutos, principalmente por sus propiedades mecánicas que en algunos casos son superiores a las de los aceros inoxidables y aceros Hadfield. Las propiedades mecánico-tribológicas logradas tradicionalmente en estas aleaciones provienen de tratamientos térmicos particulares, y en menor medida de tratamientos termo-mecánicos, sin embargo, son pocas las investigaciones realizadas hasta la fecha en donde se estudia la relación entre la microestructura y el comportamiento tribológico de este sistema de aleación. En este proyecto se analizó *i)* el efecto del tiempo de envejecimiento en la dureza del Fe-Mn-Al-C, *ii)* el efecto de la temperatura y la tasa de deformación de tratamientos termo-mecánicos en la microestructura y dureza del Fe-Mn-Al-C, *iii)* el efecto de los elementos aleantes en los mecanismos de deformación, *iv)* el efecto de la carga normal sobre la resistencia al desgaste abrasivo y *v)* el efecto de los tratamientos termo-mecánicos y de envejecimiento en la resistencia al desgaste abrasivo de la aleación Fe-Mn-Al-C y su comparación con otras aleaciones convencionales. Para lograrlo se realizaron ensayos de desgaste abrasivo (configuración pin-lija), ensayos de compresión en caliente (Gleblee 3800) y modelamiento matemático de la energía de falla de apilamiento. Todas las variables se correlacionaron usando métodos estadísticos. Los resultados permitieron incrementar el conocimiento del fenómeno de desgaste y de la metalurgia física de estas aleaciones, así como entender la influencia de cada una de las variables evaluadas en la microestructura, lo cual favorece la potencial aplicación de estas aleaciones en la industria. Este proyecto contribuyó al fortalecimiento de la línea de investigación de tribología de los grupos de investigación involucrados.

Abstract



The severe wear in machine elements and mechanical systems is a persistent problem at national and global levels, which needs to be addressed fully and frontally through innovative solutions. The development and evaluation of new materials to meet minimum requirements of cost, durability and satisfactory mechanical and tribological performance for different conditions of use in the industry, is the motivation that has driven great revolutions in engineering, which it is essential for an integral solution to the current problem. Thus, the idea come up of developing and replacing partially or totally large number of conventional components with new wear-resistant alloys. The alloys of the Fe-Mn-Al-C system promise to be one of these substitute materials, mainly because of their mechanical properties, which in some cases are superior to those of stainless steels and Hadfield steels. The mechanical-tribological properties achieved in these alloys come traditionally from heat treatments, and to a lesser extent from thermo-mechanical treatments. Little research on the relationship between microstructure and tribological behavior of this alloy system have been done. In this project, was analyzed: i) the effect of aging time on the microstructure and hardness of the Fe-Mn-Al-C steel, (ii) the effect of temperature and rate of deformation of thermo-mechanical treatments on the microstructure and hardness of Fe- Mn-Al-C steel, iii) the effect of the alloying elements on the deformation mechanisms, iv) the effect of the normal load on the abrasive wear resistance and (v) the effect of the thermo-mechanical and aging treatments on the abrasive wear resistance of the Fe-Mn-Al-C alloy and its comparison with other conventional alloys. To achieve this, abrasive wear tests (pin-abrasive paper configuration), hot compression tests (Gleblee 3800) and mathematical modeling of stacking fault energy were performed. All variables were correlated using statistical methods. The results allowed to increase the knowledge of the wear phenomenon and about the physical metallurgy of these alloys, as well as to understand the influence of each one of the evaluated variables on the microstructure, which favors the potential application of these alloys in the industry. This project contributed to the strengthening of the tribology research line of the research groups involved.

3. Síntesis del proyecto:

3.1 Tema

Desgaste de materiales.

3.2 Objetivos: general y específicos

Los objetivos planteados en la propuesta de investigación fueron:

Objetivo general

Analizar el efecto de los tratamientos termo-mecánicos sobre la microestructura de envejecimiento de la aleación Fe-20Mn-10Al-1,1C y su correspondiente respuesta tribológica.

Objetivos específicos

Los resultados de la investigación desviaron los objetivos específicos para profundizar en aspectos de mayor relevancia para lograr el objetivo general. Los objetivos se modificaron así:

Objetivos específicos en la propuesta original	Objetivos específicos alcanzados
Obtener la aleación Fe-20Mn-10Al-1,1C a partir de ferroaleaciones y chatarra mediante el proceso de fundición en atmosfera controlada.	Obtener la aleación Fe-20Mn-10Al-1,1C a partir de ferroaleaciones mediante el proceso de fundición con arco en atmosfera controlada.
Diseñar y construir un laminador en caliente.	Diseñar y construir un laminador en caliente.
Lograr los niveles de deformación en caliente establecidos por el diseño experimental en el material homogenizado.	Lograr los niveles de deformación en caliente establecidos por el diseño experimental en el material homogenizado.
Determinar los efectos de los distintos tratamientos termo-mecánicos sobre la distribución y cantidad de los microconstituyentes.	Determinar los efectos de los distintos tratamientos termo-mecánicos sobre la distribución y cantidad de los microconstituyentes.

Determinar los efectos de los distintos tratamientos termo-mecánicos sobre el desempeño mecánico-tribológico (desgaste por abrasión y erosión en húmedo) de las aleaciones obtenidas.	Determinar los efectos de los distintos tratamientos termo-mecánicos sobre el desempeño mecánico-tribológico (desgaste por abrasión) de las aleaciones obtenidas.
Relacionar las características microestructurales con la resistencia al desgaste.	Relacionar las características microestructurales con la resistencia al desgaste.
-	Determinar el rol de la energía de falla de apilamiento de aceros austeníticos en la resistencia al desgaste.
-	Determinar la energía de falla de apilamiento de aceros Fe-Mn-Al-C mediante el empleo de un modelo termodinámico que permita su cálculo a un bajo costo y de manera sencilla.
-	Determinación de los mecanismos de deformación en aceros Fe-Mn-Al-C mediante el empleo de la técnica de nano indentación

3.3 Metodología

- La aleación objeto de estudio se obtuvo por medio de un horno de inducción eléctrica (Fe-20Mn-11Al-1.5C-2Si), con la ayuda del laboratorio de fundición del instituto de investigación metalúrgica de la universidad de Michoacán, en Morelia México.
- Debido al retraso de más de un año en la compra de los elementos del laminador en caliente por parte de la vicerrectoría de investigaciones, no se pudo realizar los tratamientos termo-mecánicos de los aceros Fe-Mn-Al-C en Univalle. Sin embargo, se creó una alianza con la Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL) en Suiza, donde se realizaron mediante una pasantía de investigación los tratamientos termo-mecánicos.



- Se diseñó y se construyó el laminador en caliente para realizar tratamientos termo-mecánicos de materiales metálicos.
- Se estudió el efecto de la velocidad y la temperatura de deformación del acero Fe-Mn-Al-C, en un ensayo de compresión según estándar ASTM E209.
- El efecto de los tratamientos termo-mecánicos en la microestructura se estudió mediante microdureza, metalografía, microscopia electrónica de barrido (SEM), retrodispersión de difracción de electrones (EBSD), nano indentación, y curvas esfuerzo vs deformación en caliente.
- Para el análisis del efecto de la energía de falla de apilamiento de los aceros austeníticos en el desgaste, se empleó un acero Hadfield (0.61 C, 13.8 Mn, 2.61 Cr), un inoxidable AISI 316L y Fe-Mn-Al-C (Fe-20Mn-4Al-1C-1Cr). Se realizaron ensayos de desgaste abrasivo a dos cuerpos (configuración pin-lija) a temperatura ambiente usando abrasivos de granate. Este estudio fue realizado mediante una pasantía de investigación en la Universidad de Sao Paulo en Brasil.
- Para el efecto de los tratamientos termo-mecánicos y de los tratamientos de envejecimiento en el acero Fe-Mn-Al-C. Se realizaron ensayos de desgaste abrasivo a dos cuerpos (configuración pin-lija) a temperatura ambiente usando abrasivos de alúmina.
- En todos los ensayos de desgaste abrasivo los pines se obtuvieron por electroerosión con hilo y fueron realizadas por lo menos tres repeticiones por cada condición de ensayo.
- Se midió la pérdida de masa usando una balanza analítica para cada condición analizada en abrasión.
- Se utilizaron microscopios óptico, estereográfico y electrónico de barrido (SEM) para la caracterización de las superficies desgastadas y del debris.
- Los mecanismos de desgaste se analizaron por medio microscopía electrónica de barrido.
- Se correlacionaron las variables y los resultados de todos los ensayos con la técnica

estadística ANOVA.

3.4 Resultados obtenidos

Como producto de este proyecto se diseñó y construyó un laminador en caliente para realizar ensayos sobre distintas aleaciones como acero, aluminio, bronce etc. En el laminador se podrá deformar materiales metálicos usando diferentes porcentajes de reducción, así como diferentes velocidades de deformación. Usando este equipo, se podrán realizar tesis de pregrado, maestría y doctorado, y también realizar prácticas de laboratorio para los cursos de procesos de manufactura del pregrado en ingeniería mecánica y de materiales.

Desde el punto de vista del fenómeno de desgaste analizado se identificó una relación entre la energía de falla de apilamiento y la resistencia al desgaste en abrasión a dos cuerpos para los aceros austeníticos endurecibles por deformación, los aceros con las menores energías de falla de apilamiento mostraron las mejores resistencias al desgaste. El FeMnAlC tiene mayor resistencia que el 316L pero menor resistencia que el acero Hadfield. Sin embargo, a la mayor carga todos los materiales tienen similar tasa de desgaste. Los principales micromecanismos de desgaste fueron microcorte y microarado con transiciones entre el microarado y el microcorte cuando se incrementa la carga, este resultado fue presentado en el artículo [1].

Debido a que la energía de falla de apilamiento (SFE) es un parámetro de vital importancia en las aleaciones Fe-Mn-Al-C, ya que éste se relaciona directamente con los mecanismos de deformación. Se adaptó un modelo termodinámico que puede ser aplicado fácilmente para determinar la SFE, en principio, de cualquier acero Fe-Mn-Al-C. Este modelo fue comparado con datos experimentales reportados en la literatura, obteniendo buenos resultados, los resultados fueron incluidos en el artículo [2]. El objetivo de la realización de este modelo fue que determinar la SFE requiere generalmente del uso del microscopio electrónico de transmisión (TEM) o análisis de difracción de rayos-X (XRD), los cuales son relativamente costosos, no siempre están disponibles y se requiere conocimiento especializado del tema para realizar los análisis. Estos resultados podrán ser empleados como base para siguientes investigaciones en aceros Fe-Mn-Al-C.

Los tratamientos termo-mecánicos del acero Fe-Mn-Al-C se realizaron mediante una pasantía



de investigación en el laboratorio de tratamientos termo-mecánicos en la Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) en Suiza. Estos tratamientos se realizaron satisfactoriamente usando el diseño experimental propuesto que incluye temperatura y velocidades de deformación como variables. De igual manera, se realizó la caracterización microestructural para cada condición mediante SEM y EBDS y se analizó la trabajabilidad de este acero en el rango de temperaturas evaluadas (se crearon mapas de inestabilidad plástica y eficiencia disipadora para tal fin). Con los resultados obtenidos de este trabajo, se redactó un artículo en colaboración con el grupo de investigación en Suiza y los grupos involucrados de la Universidad del Valle, el artículo fue publicado en una revista Q1 [3]. Adicionalmente, durante la estadía de investigación en Suiza, se presentaron resultados importantes en el Simposio/Congreso de Escuela de verano de caracterización de materiales el 26 de Agosto del 2015 en la Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)-Suiza.

Finalmente, se realizaron tratamientos convencionales de envejecimiento para comparar los resultados de los tratamientos termo-mecánicos. Se obtuvieron durezas similares, sin embargo, los tratamientos termo-mecánicos permitieron tener este incremento de la dureza en una fracción de segundo, en contraposición a los tratamientos convencionales que tomaron entre 4 y 15 horas para obtener un incremento apreciable de la dureza. Se realizaron cortes por electro erosión para las probetas con ambos tratamientos y se realizaron ensayos de desgaste. Los resultados preliminares fueron presentados en el congreso más importante de desgaste a nivel mundial (Wear of Materials 2017 -WOM 2017) el cual se llevó a cabo en Los Angeles, California, USA.

De los análisis finales, se encontró que el tratamiento termo-mecánico y el tratamiento de envejecimiento otorgaron una resistencia al desgaste mucho mejor en comparación a la muestra solamente solubilizada. Adicionalmente, las muestras Fe-Mn-Al-C con estos tratamientos, mostraron resultados de resistencia al desgaste superiores a los aceros convencionales evaluados (AISI 1045, Hadfield, AISI 316L). Estos resultados demuestran que la aleación evaluada en este proyecto de investigación, tiene potencial para ser evaluado en condiciones de campo y su posible comercialización.

Lista de artículos referenciados

1. Zambrano, O.A., Y. Aguilar, J. Valdés, S.A. Rodríguez, and J.J. Coronado, *Effect of*

- normal load on abrasive wear resistance and wear micromechanisms in FeMnAlC alloy and other austenitic steels. Wear, 2016. 348–349: p. 61-68.*
2. Zambrano, O.A., *Stacking Fault Energy Maps of Fe–Mn–Al–C–Si Steels: Effect of Temperature, Grain Size, and Variations in Compositions. Journal of Engineering Materials and Technology, 2016. 138(4): p. 041010.*
 3. Zambrano, O.A., J. Valdés, Y. Aguilar, J.J. Coronado, S.A. Rodríguez, and R.E. Logé, Hot deformation of a Fe–Mn–Al–C steel susceptible of κ -carbide precipitation. *Materials Science and Engineering: A, 2017. 689: p. 269-285.*

3.5 Principales conclusiones y/o recomendaciones

Se logró obtener la aleación Fe-20Mn-10Al-1,1C a partir de ferroaleaciones mediante el proceso de fundición con arco en atmosfera controlada.

Se diseñó y se construyó un laminador en caliente para realizar tratamientos termo-mecánicos.

Se lograron realizar los niveles de deformación en caliente establecidos por el diseño experimental en el material homogenizado. Así, como determinar los efectos de los distintos tratamientos termo-mecánicos sobre la distribución y cantidad de los microconstituyentes.

Se determinó que la energía de falla de apilamiento de los aceros austeníticos afecta directamente la resistencia al desgaste abrasivo de estos, pues la SFE afecta directamente la velocidad de endurecimiento del material. De igual manera, se determinó la energía de falla de apilamiento de aceros Fe-Mn-Al-C mediante el empleo de un modelo termodinámico que permitió su cálculo a un bajo costo y de manera sencilla y se pudo evidenciar las características principales de los mecanismos de deformación en aceros Fe-Mn-Al-C mediante el empleo de la técnica de nano indentación.

Se realizó mapa de procesabilidad de esta aleación, lo cual no se había reportado en la literatura y servirá para controlar la microestructura al procesar dicho material a escala industrial. Además de determinó la influencia de los parámetros de procesamiento en la evolución microestructural del presente acero.

Finalmente, se determinaron los efectos de los distintos tratamientos termo-mecánicos sobre el desempeño mecánico-tribológico (desgaste por abrasión) de las aleaciones obtenidas. Donde se concluye que los tratamientos termo-mecánicos y los tratamientos de envejecimientos otorgaron una resistencia al desgaste mucho mayor a la de las muestras solamente solubilizada o los aceros convencionales, básicamente por la precipitación de los carburos kappa, los cuales

otorgan una elevada dureza a la aleación. Con estos resultados, se redactará un artículo científico para someterlo a la revista más importante de desgaste.

4. Impactos actual o potencial:

El desarrollo de este proyecto proporcionó a la universidad un equipo de laboratorio robusto y confiable que permitirá el desarrollo de muchas investigaciones en el área de tribología y metalurgia física. En cuanto al impacto del proyecto a nivel académico y educativo, básicamente se dieron pasos importantes en la comprensión de la metalurgia física de estos aceros; dependencia de la energía de falla de apilamiento con los elementos aleantes y tamaño de grano, su relación con la resistencia al desgaste, el procesamiento de estas aleaciones a elevadas temperaturas, su evolución microestructural y los mecanismos de deformación operantes posteriores al procesamiento. Estos tópicos no habían sido investigados y los resultados del proyecto fueron socializados en revistas de alto impacto que permitirán a la comunidad científica y técnica el uso de estos resultados. Adicionalmente, para el desarrollo del proyecto se requirió desde el punto de vista educativo, el aprendizaje y socialización de técnicas de caracterización tribológica y se formaron un doctor y dos estudiantes de pregrado. Este proyecto de investigación se socializó en tres simposio/congreso internacional, y se socializó en el simposio de ingeniería. Adicionalmente, se realizaron dos pasantías internacionales y trabajos de colaboración, lo cual facilitará la creación de nuevos proyectos con dichos grupos reconocidos internacionalmente. Lo cual muestra el impacto investigativo, académico y educativo del proyecto.

5. Productos:

Tabla No. 1. Cantidad y tipo de productos pactados en el *Acta de Trabajo y Compromiso* y productos finalmente presentados

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Artículo completo publicado en	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C



TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
revistas indexadas	1	1			1	1		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación	-				-			
Capítulos en libros que publican resultados de investigación	-				-			
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados	-				-			
☐ Prototipos y patentes	-				-			
☐ Software	-				-			
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial	-				-			
Normas basadas en resultados de investigación	-				-			
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados		No. de tesis		No. De estudiantes Vinculados		No. De tesis	
Estudiantes de pregrado	2		2		2		2	
Semillero de Investigación	2		2		3		3	
Estudiantes de maestría	-		-		-		-	
Estudiantes de doctorado	1		-		1		-	
Joven investigador	-		-		-		-	
Productos de divulgación								
Publicaciones en revistas no indexadas	-				-		-	
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales 1		No. de ponencias internacionales 1		No. de ponencias nacionales 0		No. de ponencias internacionales 3	
Propuesta de investigación	-		-		-		-	



TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS	No. de PRODUCTOS PRESENTADOS
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1	1

* Aunque no se presentó la ponencia nacional, sí se presentaron dos ponencias internacionales adicionales a las comprometidas y 3 trabajos en total en el 9no Simposio de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle.

Tabla No. 2. Detalle de productos

Producto #1

Tipo de producto:	Artículo en revista A2
Nombre General:	Journal of Engineering Materials and Technology (A2) doi:10.1115/1.4033632
Nombre Particular:	<i>Stacking fault energy maps of Fe–Mn–Al–C–Si steels: effect of temperature, grain size, and variations in compositions</i>
Ciudad y fechas:	ASME, octubre de 2016
Participantes:	O.A. Zambrano
Síto de información:	The American Society of Mechanical Engineers (ASME)
Formas organizativas:	Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS) Tribología, Polímeros, Metalurgia de Polvos y Transformación de Residuos Sólidos (TPMR)



Stacking Fault Energy Maps of Fe-Mn-Al-C-Si Steels: Effect of Temperature, Grain Size, and Variations in Compositions

O. A. Zambrano

Research Group of Fatigue and Surfaces (GIFS);
Research Group of Tribology,
Polymers, Powder Metallurgy and
Processing of Solid Waste (TPMR),
Materials Engineering School,
Universidad del Valle,
Cali 760033, Colombia
e-mail: oscar.zambrano@correounivalle.edu.co

A subregular solution thermodynamic model was employed to calculate the stacking fault energy (SFE) in Fe-Mn-Al-C-Si steels with contents of carbon 0.2–1.6 wt.%, manganese 1–35 wt.%, aluminum 1–10 wt.%, and silicon 0.5–4 wt.%. Based on these calculations, temperature-dependent and composition-dependent diagrams were developed in the mentioned composition range. Also, the effect of the austenite grain size (from 1 to 300 μm) on SFEs was analyzed. Furthermore, some results of SFE obtained with this model were compared with the experimental results reported in the literature. In summary, the present model introduces new changes that shows a better correlation with the experimental results and also allows to expand the ranges of temperatures, compositions, grain sizes, and also the SFE maps available in the literature to support the design of Fe-Mn-Al-C-Si steels as a function of the SFE. [DOI: 10.1115/1.4033632]

Keywords: Fe-Mn-Al-C-Si steels, stacking fault energy, subregular solution model, temperature, grain size

Producto #2

Tipo de producto:	Artículo en revista A1
Nombre General:	<i>Materials Science & Engineering A</i>
Nombre Particular:	Hot Deformation of a Fe-Mn-Al-C Steel Susceptible of k-carbide Precipitation
Ciudad y fechas:	Febrero 17 de 2017.
Participantes:	O.A. Zambrano, Y. Aguilar, J. Valdés, S.A. Rodríguez, J.J. Coronado
Sitio de información:	http://ees.elsevier.com/msea/
Formas organizativas:	Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS) Tribología, Polímeros, Metalurgia de Polvos y Transformación de Residuos Sólidos (TPMR)



Hot deformation of a Fe-Mn-Al-C steel susceptible of κ -carbide precipitation



O.A. Zambrano^{a,b,*}, J. Valdés^a, Y. Aguilar^b, J.J. Coronado^a, S.A. Rodríguez^a, Roland E. Logé^c

^a Research Group of Fatigue and Surfaces (GIFS), Mechanical Engineering School, Universidad del Valle, Cali, Colombia

^b Research Group of Tribology, Polymers, Powder Metallurgy and Processing of Solid Waste (TPMR), Materials Engineering School, Universidad del Valle, Cali, Colombia

^c Thermomechanical Metallurgy Laboratory – PX Group Chair, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-2002 Neuchâtel, Switzerland

ARTICLE INFO

Key words:
Fe-Mn-Al-C steel
 κ -carbides
Hot deformation
Dynamic recrystallization
Instrumented indentation test

ABSTRACT

The mechanical properties of Fe-Mn-Al-C steel are significantly enhanced after κ -carbide precipitation via aging; however, most aging treatments are energy demanding because they require relatively high temperatures and extended holding times. This research determined that the precipitation of these carbides can also occur within a few seconds of thermomechanical treatments (TMTs). This behaviour has not been reported post-TMTs for this steel group. Hot compression tests were performed on Fe-21Mn-11Al-1.5C-2Si wt% specimens at test temperatures ranging from 900 °C to 1150 °C and strain rates varying from 0.01 s⁻¹ to 1 s⁻¹. The effects of strain rate and test temperature on dynamic recrystallization behaviour were evaluated. The microstructures were characterized by scanning electron microscope and electron backscatter diffraction. Hardness tests were performed before and after applying processes studied i.e., TMT and aging treatment to determine the change in hardness induced. Particularly, nanoindentation tests were also used to collect indirect evidence about the deformation mechanisms. The load-displacement curves $P-h$ and $(P/h)-h$ showed the occurrence of several pop-ins and slope changes related to the nucleation of dislocations and strain-induced phase transformations. The occurrence of these phenomena is discussed.

Producto # 3

Tipo de producto:	Evento Científico – Congreso Internacional
Nombre General:	Determination of the deformation mechanism, elastic modulus and nano-hardness of a FeMnAlC steel using nano-indentation.
Nombre Particular:	Determination of the deformation mechanism, elastic modulus and nano-hardness of a FeMnAlC steel using nano-indentation
Ciudad y fechas:	Suiza- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). 24-26 Agosto, 2015.
Participantes:	O.A. Zambrano, Y. Aguilar, J. Valdés, S.A. Rodríguez, J.J. Coronado
Sitio de información:	Biblioteca de la EPFL en Suiza
Formas organizativas:	Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS) Tribología, Polímeros, Metalurgia de Polvos y Transformación de Residuos Sólidos (TPMR)

Determination of the deformation mechanism, elastic modulus and nano-hardness of a FeMnAlC steel using nano-indentation.

O.A. Zambrano^{1,2}, Yesid Aguilar², Jairo Valdés¹, S.A. Rodríguez¹, J.J. Coronado¹

¹-Research Group of Tribology, Polymers, Powder Metallurgy and Processing of Solid Waste (TPMR), Materials engineering school, Universidad del Valle, Cali, Colombia

²-Research Group of Fatigue and surfaces (GIFS), Mechanical Engineering School, Universidad del Valle, Cali, Colombia

OBJECTIVE

Nanoindentation tests were performed on a FeMnAlC steel to obtain evidence of the main deformation mechanism as well as the elastic modulus and nano-hardness.

MATERIAL

The high manganese austenitic steel (FeMnAlC) used in this study was smelted in an open induction furnace and cast to an ingot. Then, submitted to solubilization treatment for 6 hours at 1200°C in a furnace with argon atmosphere to destroy the as cast microstructure and was cooling inside the furnace. Then, samples of 43 mmx40 mm were cut using an electro-discharge machining. Finally, the FeMnAlC samples were submitted to a solubilization treatment for 2 hours at 1200°C in the same furnace with argon atmosphere (to reduce as possible the dislocation content) with a final quench in water to avoid any phase transformation. The chemical composition of the steel is shown in the Table 1 and was determinate with an optical emission spectrometer with inductively coupled plasma (ICP) VARIAN model MPX.



Fig. 1. Microstructure obtained after quenched in water

Fe (%)	C (%)	Mn (%)	Al (%)	Cu (%)	Ni (%)	Si (%)	Br (%)	STF (mJ/m ²)
FeMnAlC	1.07	19.80	3.49	1.28	0.12	0.53	0.01	42

Table 1. Chemical composition and stacking fault energy of the studied alloy

NANO-INDENTATION TEST

Instrumented indentation tests were performed with a commercial Hysitron model TI 950, equipped with a Berkovich diamond indenter with a theta angle (θ) 65.35°. Load (mN) and displacement of the indenter (μm) were obtained for the FeMnAlC sample. Prior to indentation, sample was cut transversely and cold-mounted in resin. The samples were wet ground down to grit 1500 and mechanically polished using 1 μm, 0.1 μm and 0.05 μm diamond paste. One indentation cycle consisted of an initial loading stage (up to 1000 μN) followed by a holding stage 10 s at peak load, with the aim of reducing creep effects. A holding time of 10 s was also applied at the end of the unloading stage (10% of maximum load) to reduce thermal drift. For each stage in the cycle, loading, holding and unloading, an acquisition rate of 60 points per 0.1 s was used. Hardness and elastic modulus were calculated using the Oliver and Pharr method.

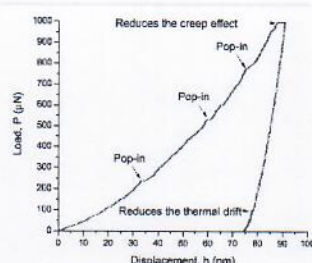


Fig. 2. Load vs the average displacement of the indenter for the FeMnAlC at 1000 μN

RESULTS

The first pop-in event is related to the nucleation of dislocations [1], the second and subsequent pop-ins could be related to the strain transfer across the grain boundaries (STAGB) or could be related to strain-induced martensite during the indentation [1,2]. However, in this study there is a coarse grain structure and the indentations were carefully selected to be in the middle of the grains. Therefore the possibility of STAGB is excluded. These results suggest the occurrence of strain induced transformation effect on this FeMnAlC steel (despite of the apparent high SFE). Mainly because, the estimated value for SFE does not take into account the reduction effects induced by the austenitic grain size [3], Cr addition [4] or the local depletion of Carbon [5]. Then, it is very likely to obtain a SFE value that promote the strain-induced transformation effect.

The elastic modulus of the FeMnAlC steel was found to be 183 ± 5.3 GPa which is consistent with the values of the elastic modulus reported by other authors using macro tensile testing in similar FeMnAlC steels (179 ± 3 GPa for 22% Mn Alloys and 179 ± 5 GPa for 25% Mn alloys) [6], and the indentation hardness was found to be 3.5 ± 2 GPa, this value has not been reported yet.

CONCLUSIONS

- The curve of load vs average displacement show evidence of the deformation mechanism in the FeMnAlC steel.
- The elastic modulus calculated by nano-indentation shows a good consistency with the values reported by other authors using macro tensile tests in FeMnAlC steels.
- The nano-hardness in this family has not been reported yet.

REFERENCES

- [1] Sudekshmi, S., A. Kernaingur, and A. Najafzadeh. *Mater. Sci. Lett.*, 2014, 61(2): p. 214-216.
- [2] Ahn, T.H., C.S. Oh, D.J. Kim, K.T. Oh, H. Bui, F.P. George, and H.N. Han. *Scr. Mater.*, 2010, 62(5): p. 540-543.
- [3] Dini, G., A. Najafzadeh, S.M. Morini-Vaghefi, and R. Teiji. *J. Mater. Sci. Technol.*, 2010, 26(2): p. 181-186.
- [4] Dumay, A., J.P. Chazotte, S. Allain, S. Migot, and O. Bouaziz. *Mater. Sci. Eng., A*, 2008, 483-484(0): p. 184-187.
- [5] Herbig, M., M. Kramlin, C. Haase, R.K.W. Mroosau, I. Gutierrez-Urrutia, D. Haley, D.A. Molodov, P. Choi, and D. Raabe. *Acta Mater.*, 2015, 98(0): p. 37-47.
- [6] Pisco, D.T., K. Nowag, A. Monnaghe, J.A. Jiménez, J.E. Wiliig, and R. Glisleni. *Mater. Sci. Eng., A*, 2013, 578(0): p. 134-139.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge to Universidad del Valle, Cali, Colombia through the Project No. 2762, the fund for Ph. D. Program COLCIENCIAS (Colombia), Santander Bank and for the help of the Laboratorio de Fenómenos de Superficie, Universidad de São Paulo, Brazil.



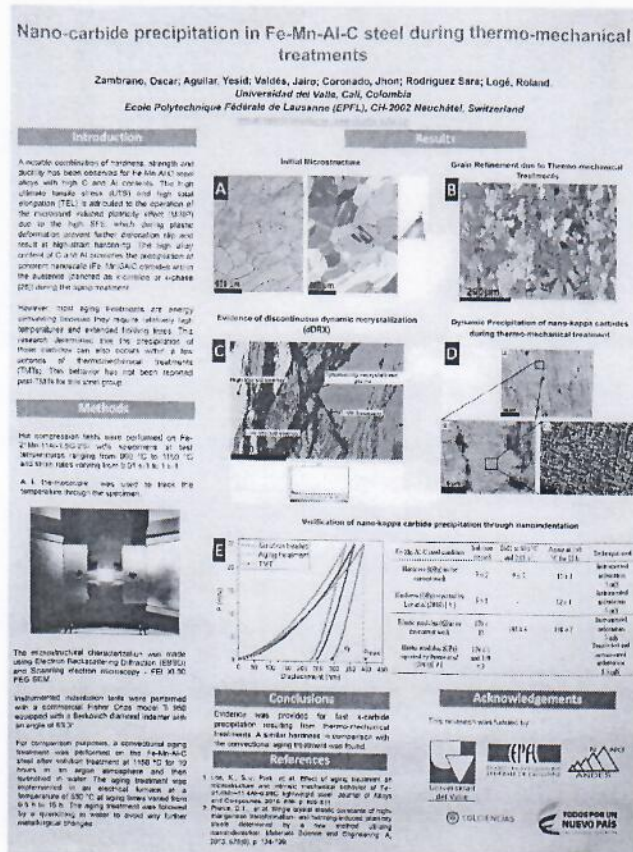
Producto #4

Tipo de producto:	Evento Científico – Congreso Internacional
Nombre General:	<i>21th International Conference on Wear of Materials</i>
Nombre Particular:	<i>Effect of Aging and Thermo-Mechanical Treatment on the Abrasive Wear of a Fe-Mn-Al-C Lightweight Steel with High-Aluminum and High-Carbon Content</i>
Ciudad y fechas:	California, USA, 26-30 March, 2017.
Participantes:	O.A. Zambrano, Y. Aguilar, J. Valdés, S.A. Rodríguez, J.J. Coronado
Sitio de información:	http://www.wearofmaterialsconference.com/
Formas organizativas:	Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS) Tribología, Polímeros, Metalurgia de Polvos y Transformación de Residuos Sólidos (TPMR)



Producto #5

Tipo de producto:	Evento Científico – Congreso Internacional
Nombre General:	NanoAndes 2016
Nombre Particular:	Nano-carbide precipitation in Fe-Mn-Al-C steel during thermo-mechanical treatments
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia– Noviembre 7-9 de 2016
Participantes:	O.A. Zambrano, Y. Aguilar, J. Valdés, S.A. Rodríguez, J.J. Coronado, R. Logé
Sitio de información:	http://www.nanoandes.org/
Formas organizativas:	Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS) Tribología, Polímeros, Metalurgia de Polvos y Transformación de Residuos Sólidos (TPMR)



**Producto #6**

Tipo de producto:	Proyecto de grado – Ingeniería mecánica
Nombre General:	Verificación del diseño de un laminador en caliente para su construcción y puesta a punto
Nombre Particular:	Verificación del diseño de un laminador en caliente para su construcción y puesta a punto
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Juan Felipe Dávalos cod. 1125448
Sitio de información:	-
Formas organizativas:	Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS)

Producto #7

Tipo de producto:	Proyecto de grado – Ingeniería mecánica
Nombre General:	Efecto de la carga normal y la distancia de deslizamiento sobre la transformación inducida por deformación de aceros Fe-Mn-Si, Hadfield y Fe-Mn-Al-C.
Nombre Particular:	Efecto de la carga normal y la distancia de deslizamiento sobre la transformación inducida por deformación de aceros Fe-Mn-Si, Hadfield y Fe-Mn-Al-C.
Ciudad y fechas:	Santiago de Cali
Participantes:	Fabian Teran 1225568-3748
Sitio de información:	-
Formas organizativas:	Grupo de Investigación en Fatiga y Superficies (GIFS)



Producto #8

Tipo de producto:	Propuesta de investigación externa /Aprobada y en Ejecución
Nombre General:	Diseño de la composición química de un nuevo acero Fermanal (FeMnAlC) y un tratamiento térmico adecuado para maximizar el rendimiento de cuchillas con aplicación en máquinas cosechadoras de caña
Nombre Particular:	Propuesta presentada en la convocatoria de Colciencias, 715 - 2015 CONVOCATORIA PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INGENIERÍAS
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia– Julio 24 de 2015
Participantes:	O.A. Zambrano, Y. Aguilar, J. Valdés, G.P Alcázar
Sitio de información:	COLCIENCIAS
Formas organizativas:	Tribología, Polímeros, Metalurgia de Polvos y Transformación de Residuos Sólidos (TPMR) Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial (GIMI) Grupo de Metalurgia Física y Teoría de Transiciones de Fase (GMTF)



20163900050521

PNCTeIING

Bogotá, 13-04-2016

Señor

Germán Antonio Pérez

Investigador Principal del proyecto con código 1106-715-51419

UNIVERSIDAD DEL VALLE

Calle 13 No. 100-00- Cali Valle del Cauca

Teléfono Fijo: 3212100

Correo Electrónico: german.perez@correounivalle.edu.co

Asunto: Carta de inicio proyecto "Diseño de la composición química de un nuevo acero Fermanal (FeMnAlC) y un tratamiento térmico adecuado para maximizar el rendimiento de cuchillas con aplicación en máquinas cosechadoras de caña". Código 1106-715-51419. Contrato 032-2016.

Estimado Investigador,

El contrato mencionado en el asunto, suscrito entre la Fiduprevisora S.A. actuando como vocera y administradora del fondo nacional de financiamiento para la CTeI-Fondo Francisco José de Caldas y la Universidad del Valle como entidad ejecutora ha cumplido los requisitos de perfeccionamiento para el inicio de la ejecución del proyecto. Por tanto, nos permitimos precisar algunas consideraciones de importancia para la adecuada ejecución del proyecto:

Producto #9

Tipo de producto:	Semilleros de investigación
Nombre General:	Jefferson Caicedo Sepúlveda Rubén Darío Gualtero Vargas Andrés Felipe Cardona
Nombre Particular:	Jefferson Caicedo Sepúlveda Rubén Darío Gualtero Vargas Andrés Felipe Cardona
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia– Agosto - Diciembre de 2014



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES

ELABORACIÓN DE INFORMES FINALES - PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Participantes:	Jefferson Caicedo Sepúlveda Rubén Darío Gualtero Vargas Andrés Felipe Cardona
Sitio de información:	Facultad de ingeniería
Formas organizativas:	Programa académico Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería



El Director del Programa Académico de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle

CERTIFICA

Que los estudiantes Jefferson Caicedo Sepúlveda código 1130816, Rubén Darío Gualtero Vargas código 1123432 y Andrés Felipe Cardona Gutierrez código 1130704, del Programa Académico de Ingeniería Mecánica, cursaron la asignatura **Pasantía de Investigación - Ingeniería 999034M** en el período académico agosto – diciembre de 2014.

Los estudiantes estuvieron vinculados al proyecto de investigación **"EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS TERMO-MECÁNICOS EN LA RESPUESTA TRIBOLÓGICA DE UNA ALEACIÓN Fe-Mn-Al-C PARA APLICACIONES INDUSTRIALES" CI 2762**.

La presente se firma en Santiago de Cali, el día treinta (30) del mes de junio de 2016.



HUGO CÉNEN HOYOS ESCOBAR
Director del Programa de Ingeniería Mecánica.

Escuela de Ingeniería Mecánica
Programa Académico de Ingeniería Mecánica
Universidad del Valle
Ciudad Universitaria Meléndez - Apartado Aéreo 26265
Teléfono: (57-2) 333 45 99 - Correo: 321 21 00 - Ext. 2133
Santiago de Cali - Colombia - América del Sur

Producto #10



Tipo de producto:	Simposio de investigaciones
Nombre General:	Verificación del diseño de un laminador en caliente para su construcción y puesta a punto
Nombre Particular:	Verificación del diseño de un laminador en caliente para su construcción y puesta a punto
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia– Octubre de 2016
Participantes:	Juan Felipe Dávalos, Sara Aida Rodriguez, John Jairo Coronado
Sitio de información:	Facultad de ingeniería
Formas organizativas:	Programa académico Ingeniería Mecánica

**Certifica que:**

*Juan Felipe Dávalos,
Sara Rodríguez y John Jairo Coronado*

Presentaron la ponencia titulada "Verificación del diseño de un laminador en caliente para su construcción y puesta a punto" en el marco del
9º Simposio de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería,
realizado en Cali del 18 al 21 de Octubre del 2016.


Carlos Arturo Lozano Moncada
Decano

Producto #11

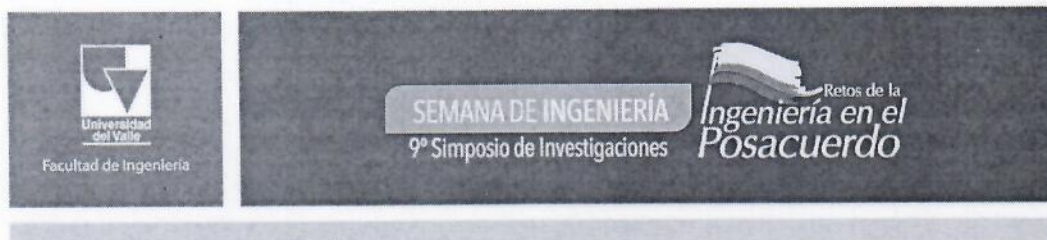
Tipo de producto:	Simposio de investigaciones
-------------------	-----------------------------



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES

**ELABORACIÓN DE INFORMES
FINALES - PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN**

Nombre General:	Comportamiento en caliente de un acero Fe-Mn-Al-C con alto contenido de aluminio y carbono
Nombre Particular:	Comportamiento en caliente de un acero Fe-Mn-Al-C con alto contenido de aluminio y carbono
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia– Octubre de 2016
Participantes:	O.A. Zambrano, Y. Aguilar, J. Valdés, S.A. Rodríguez, J.J. Coronado, R. Logé
Sitio de información:	Facultad de ingeniería
Formas organizativas:	Programa académico Ingeniería Mecánica



Certifica que:

*O. A. Zambrano, Yesid Aguilar, Jairo Valdés, J. J. Coronado,
S. A. Rodríguez y Ronald E. Logé*

Presentaron la ponencia titulada "*Comportamiento en caliente de un acero fe-mn-al-c con alto contenido de aluminio y carbono (hot working behaviour of fe-mn-al-c lightweight steel with high aluminium and carbon content)*" en el marco del
9º Simposio de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería,
realizado en Cali del 18 al 21 de Octubre del 2016.


Carlos Arturo Lozano Moncada
Decano

Producto #12

Tipo de producto:	Simposio de investigaciones
Nombre General:	Determinación de los mecanismos de deformación y propiedades mecánicas de un acero Fe-Mn-Al-C mediante nano-indentación



VICERRECTORIA DE INVESTIGACIONES

**ELABORACIÓN DE INFORMES
FINALES - PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN**

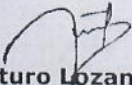
Nombre Particular:	Determinación de los mecanismos de deformación y propiedades mecánicas de un acero Fe-Mn-Al-C mediante nano-indentación
Ciudad y fechas:	Cali, Colombia– Octubre de 2016
Participantes:	O.A. Zambrano, Y. Aguilar, J. Valdés, S.A. Rodríguez, J.J. Coronado, R. Logé
Sitio de información:	Facultad de ingeniería
Formas organizativas:	Programa académico Ingeniería Mecánica



Certifica que:

Oscar Zambrano, Yesid Aguilar, Jairo Valdés, Jhon Jairo Coronado, S.A. Rodríguez y Ronald E. Logé

Presentaron la ponencia titulada "*Determinación de los mecanismos de deformación y propiedades mecánicas en un acero Fe-Mn-Al-C mediante nano-indentación*" en el marco del **9º Simposio de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería**, realizado en Cali del 18 al 21 de Octubre del 2016.


Carlos Arturo Lozano Moncada
Decano

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones



FACULTAD DE INGENIERIA
Coordinación Académica
Programa Académico de INGENIERIA MECÁNICA-PREGRAD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

INFORMACIÓN GENERAL

Título del trabajo	FECHA	DÍA	MES	AÑO
"Reconstrucción Micro Estructural de Materiales Metálicos para Análisis por Elementos Finitos"		25	10	2016
	HORA	2:00 p.m		
Estudiante(s)	Código			
Carlos Andrés Solarte Portela	824758			

Nombre del director 1	Firma
SARA AIDA RODRIGUEZ PULECIO	
N/A	Nombre del director 2
	Firma
JOHN JAIRO CORONADO MARÍN	
N/A	Nombre del Asesor 1
	Firma
N/A	Nombre del Asesor 2
	Firma

COMITÉ EVALUADOR

Nombre del evaluador	Firma
JAIRO ANTONIO VALDÉS ORTÍZ	
GONZALO FERNANDO CASANOVA GARCÍA	

EVALUACIÓN

Escala de evaluación

Excelente	Muy bueno	Buena	Regular	Aceptable	Deficiente
5.0 - 4.8	4.7 - 4.5	4.4 (4.0)	3.9 - 3.5	3.4 - 3.0	2.9 - 1

	Nota	Ponderación	Total
Nota definitiva documento final (a diligenciar por el director del programa académico)			
Sustentación (a diligenciar por el jurado evaluador)			
NOTA FINAL	4.0		

OBSERVACIONES

--

DEFINICIÓN Y COMPROMISOS MENCIÓN

Como evaluadores y de común acuerdo consideramos que, una vez realizada la sustentación, el trabajo merece mención y nos comprometemos a completar el trámite correspondiente para solicitarla.

SI ☐

NO ☒

MERITORIA ☐

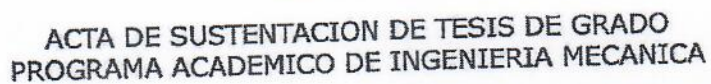
LAUREADA ☐

La decisión anterior queda sujeta a la revisión del cumplimiento de todos los requisitos establecidos en la Resolución 028 de Febrero de 2016

Firma del Director de Programa



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECTOR
PROGRAMA DE
INGENIERIA MECÁNICA



- Director: Ing. John Jáiro Coronado Marín
- Co-directora: Ing. Sara Aida Rodríguez Pulecio
- Jurados: Ing. Jorge Emilio Lopera
Ing. Adolfo León Gómez Perlaza

1. Juan Carlos Chamorro Piarpuzán con código 200734052

"COMPARACIÓN DE LUBRICANTES EN EL COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DEL PAR BRONCE-ACERO A DIFERENTES PRESIONES Y VELOCIDADES USANDO UN TRIBÓMETRO DE DESLIZAMIENTO BLOQUE-ANILLO".

Regístrese esta calificación:

Cuatro ruidos (4.2)

Distinción: SI _____ NO X

El estudiante debe acogerse a las recomendaciones del jurado y presentar nuevamente el documento ante el director de trabajo. () Requiere (X) No requiere nueva sustentación.

El plazo para nueva sustentación y/o para presentación del documento final es el

John Jairo Coronado Marín Ph.D.
Director del Trabajo

Jorge Emilio Lopera MSc.
Jurado

Sara Aida Rodríguez-Pulecio Ph.D.
Co-directora

Adolfo León Gómez Perlaza MSc.
Jurado

Santiago de Cali, Octubre 2 de 2014

Santiago de Cali, Mayo 15 de 2017

Señores
VICEDECANATURA DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DEL VALLE

Referencia: Certificado de participación de estudiante de doctorado en el proyecto de convocatoria interna 2762 titulado "Efecto de los tratamientos termo-mecánicos en la respuesta tribológica de una aleación Fe-Mn-Al-C para aplicaciones industriales".

De manera atenta, como investigador principal del proyecto de convocatoria interna titulado "Efecto de los tratamientos termo-mecánicos en la respuesta tribológica de una aleación Fe-Mn-Al-C para aplicaciones industriales" con centro de información C.I 2762, certifico que el estudiante de Doctorado Oscar Alexander Zambrano Zambrano con código de estudiante 1204322 y perteneciente al programa de Doctorado en Ingeniería de Materiales (plan 9704) estuvo vinculado en el proyecto en mención durante todo su desarrollo.

Cordial saludo,



Prof. Martin Alonso Moreno
Investigador principal del proyecto de convocatoria interna 2762
Email: martin.moreno@correounivalle.edu.co
Universidad del Valle
Santiago de Cali
Colombia

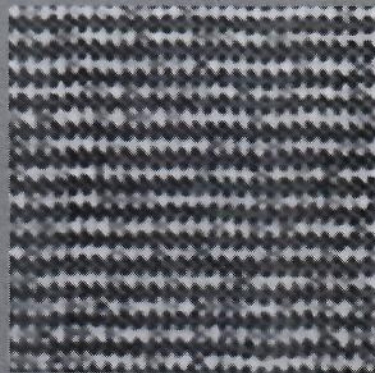
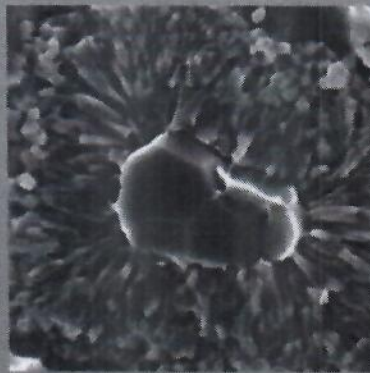


CCMX

Competence Centre for
Materials Science and Technology

CCMX SUMMER SCHOOL

Characterisation of Materials



24–26 August 2015

EPFL, Lausanne

Certificate

This is to certify that

Oscar Zambrano Zambrano
has attended the

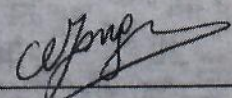
CCMX Summer School
«Characterisation of Materials»

held in Lausanne, Switzerland on 24-26 August 2015

Subjects presented:

- Characterisation of visco-elastic materials
- Analytical SEM: EDX and FIB
- Instrumented nanoindentation
- Rietveld method for powder diffraction analysis
- Transmission electron microscopy & microanalysis
- Challenges in the characterisation of nanoparticles
- Scanning probe microscopy
- Introduction of surface analysis by electron spectroscopy
- Synchrotron-based X-ray tomographic microscopy
- Introduction to electron backScatter diffraction
- Raman spectroscopy
- Time-of-flight secondary ion mass spectrometry
- Challenges facing the analyst in the characterisation of coatings and interfaces
- Atom probe tomography – 3-D elemental mapping of materials
- X-ray and neutron diffraction
- X-ray fluorescence techniques
- Elements of fracture mechanics

Lausanne, 26 August 2015



Dr. Nathalie Jongen
CCMX Managing Director



Sexta Escuela NanoAndes

Nanomateriales Síntesis y Toxicología



La Universidad del Valle y el comité
organizador de NanoAndes 2016 certificó que:

Oscar Alexander Zambrano

Participó como ponente en la Sexta Escuela de NanoAndes,
desarrollado en Cali, Colombia, Noviembre 7 al 12, 2016

María Elena Gómez
Presidente del Comité Académico
Sexta Escuela NanoAndes

Robert Baptist
Coordinador Comité Internacional
Sexta Escuela NanoAndes

Walter Torres Hernández
Decano Facultad de Ciencias Naturales y Exactas
Universidad del Valle



Sexta Escuela NanoAndes

Nanomateriales; Síntesis y Toxicología



Universidad
del Valle



OSCAR ZAMBRANO

Universidad del Valle

Colombia

**Cali, Colombia,
Noviembre 7 al 12, 2016**
www.nanoandes.org

