



Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año

Datos generales del Proyecto

Código del proyecto: 2791			
Título del proyecto: FABRICACION DE RECUBRIMIENTOS UTILIZANDO LA TECNICA DE PROYECCION TERMICA PARA REDUCIR EL DESGASTE EN TURBINAS HIDRAULICAS			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería de Materiales			
Grupo (s) de investigación: Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	Arturo Jurado Montaña	10 h/semana	10 h/semana
Coinvestigadores	Federico Sequeda Osorio	5 h/semana	5 h/semana
Otros participantes			

1. Resumen ejecutivo:

Por medio de un molino planetario se realizó una mezcla de polvos de Níquel (Ni) y Carburo de Silicio (SiC), incrementando el porcentaje de Ni con 4 porcentajes distintos (30, 50, 70 y 80%), con el fin de obtener una aleación mecánica para formar un material compuesto, que será utilizado para elaborar un recubrimiento capaz de reducir el desgaste y la corrosión mediante la técnica de proyección térmica. El material obtenido se analizó a través de microscopia electrónica de barrido y espectroscopia de energía dispersiva (SEM/EDS), con el fin de determinar la morfología y el tamaño de partícula, al igual que la composición elemental; de igual forma se empleó la técnica de difracción de rayos X (XRD) para el análisis cristalográfico, Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA) con el fin de observar si se presentó formación de nuevas fases durante el proceso de molienda. Se determinó que las mezclas con alto porcentaje de Níquel (70% y 80%) presentaron partículas con

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.

morfologías esféricas, lo cual es ideal para mejorar la fluidez del material hacia el sistema de proyección térmica.

2. Síntesis del proyecto:

Tema: Proyección Térmica –Thermal Spray

Objetivos:

Objetivo General

- Evaluar la viabilidad de aplicar recubrimientos cermets por medio de la técnica de proyección térmica para mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión, y su posible aplicación en turbinas hidráulicas.

Objetivos Específicos

- Estandarización del proceso de proyección de la pistola TeroDyn 2000, que permitan obtener reproducibilidad de los recubrimientos, con el fin de obtener las variables óptimas de este proceso.
- Obtención del material compuesto a partir de los polvos precursores de Ni y SiC por medio del proceso de mecanofusión en un molino planetario.
- Caracterizar la morfología de los recubrimientos por medio de MEB (Microscopia Electrónica de Barrido) y la formación de las partículas después de impactar el sustrato.

Metodología

El procedimiento fue el siguiente:

1. Búsqueda y revisión bibliográfica de todo lo relacionado con la técnica y los materiales a utilizar.
2. Automatización del equipo de proyección Térmica.
3. Aleación mecánica de los materiales precursores de Ni y SiC, y su posterior caracterización morfológica y química por medio de SEM/EDS

4. Preparación de los sustratos de acero AISI 4130 por medio de chorro abrasivo de arena ("Sandblasting"), con el fin de generar un patrón de anclaje del recubrimiento. Posteriormente, se realiza una limpieza ultrasónica en acetona durante 15 minutos.
5. Deposición de los recubrimientos de Ni-SiC con el mejor porcentaje de la aleación mecánica, (70%Ni-30%SiC , 80%Ni-20%SiC , 90%Ni-10%SiC , 100%Ni), a una distancia de proyección de 12 cm; temperatura de la llama 1100°C; relación de gases O₂: 70 SCFM y C₂H₂: 30 SCFM;
6. Análisis de la morfología y composición química de los recubrimientos por medio de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), TGA/DSC y Espectroscopia Raman.
7. Análisis y discusión de los resultados, evaluando el efecto del porcentaje de refuerzo en cada uno de los recubrimientos.

Resultados obtenidos

Este proyecto se divide en 2 fases, la primera en automatización del equipo y la segunda fase son los análisis de los polvos tipo cermets.

FASE 1, AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO DE PROYECCIÓN TÉRMICA-THERMAL SPRAY.

Sistematización del equipo TeroDyn 2000, para obtener variables adecuadas y estándares se construyó una base para su mejor funcionamiento, el proceso fue el siguiente:

1. Equipo proyección térmica.



Figura 1, Equipo therodyn 2000, thermal spray.

2. Adecuación y montaje



Figura 2, Portasustrato, medición de distancia de proyección y montaje del Equipo therodyn 2000, thermal spray.



Figura 3, Montaje y adecuación Equipo therodyn 2000, thermal spray.

3. Proyección

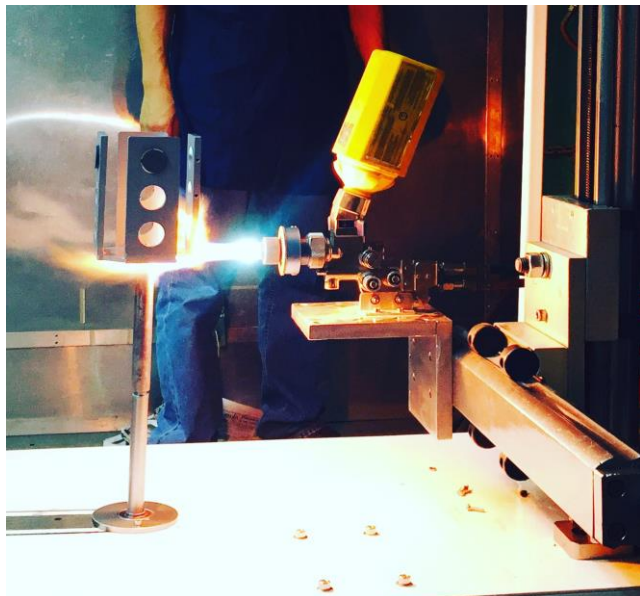


Figura 4, Proyección de Recubrimientos, Equipo therodyn 2000, thermal spray.

FASE 2, ANALISIS DE LOS POLVOS TIPO CERMETS.

En la Figuras 5a y 5b se observan micrografías SEM del polvo de Ni antes de la molienda, el cual presenta morfología esférica, distribución y tamaño de partícula obtenido de $66.6 \pm 33.1 \mu\text{m}$, la cual se encuentra dentro del rango de la distribución obtenida a través de la ficha técnica ($90 \pm 45 \mu\text{m}$) [1]. Para este material y sus características en un proceso de proyección, se verá propiciada la alimentación del material, la cual se realiza por gravedad, haciendo que fluya mejor por las recámaras. En el paso por la llama, la superficie de la esfera estará en contacto con el calor del proceso de combustión, fundirá parcialmente las partículas y mejorará el anclaje en la superficie del sustrato. Dichas partículas se deforman debido a la velocidad adquirida en el proceso hasta generar formas de lamelas uniformes, conformes a su morfología inicial y así generar un recubrimiento homogéneo y denso [2].

El SiC (figuras 3c y 3d) muestra una morfología angular típica de un material duro y frágil, con una distribución y tamaño de partícula obtenido de $25 \pm 11.7 \mu\text{m}$, la cual se encuentra dentro del rango del valor determinado a través de la ficha técnica del material ($26 \pm 15 \mu\text{m}$) [3].

Durante el proceso de proyección térmica se pueden presentar inconvenientes en la alimentación del material, debido a que su morfología reduce el flujo en las recamaras del equipo. Para este material cerámico de alta dureza, alto punto de fusión y poca permanencia en la llama, difícilmente se anclará al sustrato, reduciendo la probabilidad de adherirse sin deformarse. Ésta es la principal razón de realizar la aleación de este material con Ni, de tal forma que se logren mitigar las desventajas del SiC en el momento de ser proyectado.

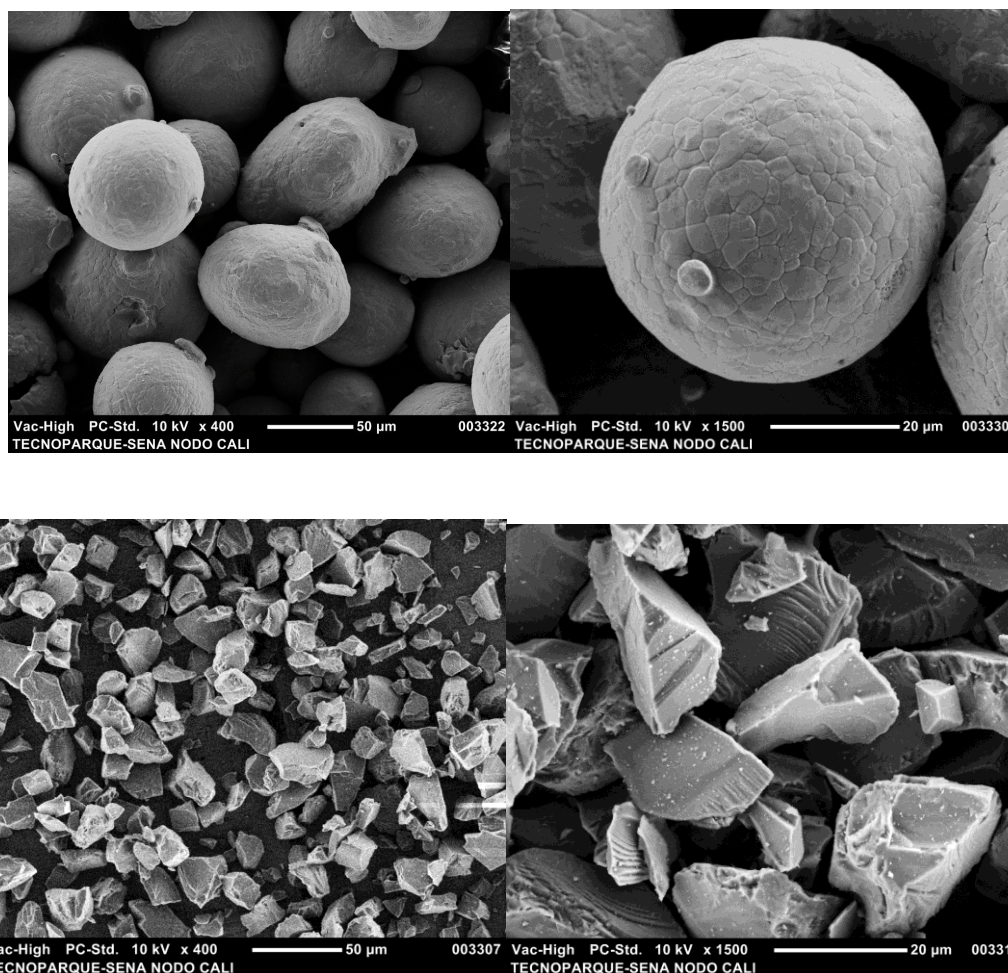


Figura 5. Micrografía SEM de polvos precursores: a, b) Ni y c, d) SiC

La figura 4a muestra los resultados obtenidos de la termogravimetría (TGA). Se observa que los compuestos analizados no presentan cambios considerables en el peso. Este comportamiento es esperable, debido a que las temperaturas de fusión del Ni y del SiC son de 1455 y 2300 °C

respectivamente [4, 5]. Al incrementar la temperatura se observa un pequeño aumento en la masa, que es poco significativo y puede ser atribuido a desplazamientos del material dentro del crisol, debido a su baja granulometría y dificultad de compactación.

Los resultados obtenidos por medio de calorimetría diferencial (figura 6b) muestran una respuesta sinusoidal, con un periodo de liberación de calor hasta alcanzar una temperatura de 220 °C. Posteriormente un periodo de absorción de calor que se mantiene hasta los 650 °C. Finalmente se observa un nuevo periodo de liberación de calor que continúa hasta los 900 °C. Se ha reportado una reacción entre el Al y SiC a 720°C, en donde se observa que los polvos de SiC no son termodinámicamente estables en una matriz de aluminio, formando una fase de Al_4C_3 y SiO_2 . A pesar de que el polvo de Ni contiene un 5 wt% de Al, la baja cantidad y la ausencia de oxígeno inhiben la formación de las fases. [6]

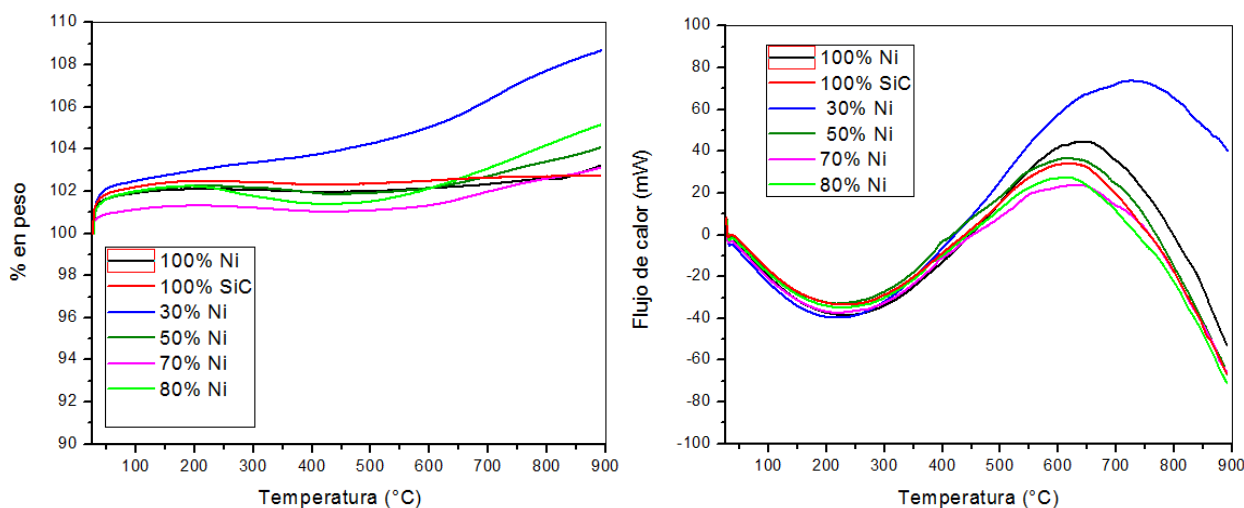


Figura 6. (a) Curvas de TGA y (b) Curvas de DSC, a 900°C para distintos porcentajes

De igual manera se realizó una caracterización microestructural por medio de difracción de rayos X (Figura 7), con el fin de observar que en la aleación mecánica no se presentan cambios de fase. El difractograma de SiC presenta una estructura hexagonal, grupo espacial $P6_3mc$ y una distribución policristalina, con presencia de los picos correspondientes a la familia de planos $\langle 10\bar{1} \rangle$. El material no posee orientación preferencial, mostrando coeficiente de textura inferior al 5% en la dirección más intensa (102), dicha tendencia se mantiene al realizarse las mezclas con Ni.

Los picos correspondientes al níquel se observan con intensidades relativas altas para todas las mezclas, el cual posee estructura cúbica centra en las caras (FCC), con grupo espacial Fm3m e intensidades correspondientes a los planos (111) y (200), además se determinó un aumento en la intensidad de los picos de Ni respecto al SiC a medida de que el porcentaje en peso de éste se adiciona a la mezcla. Al no observarse otros compuestos en el patrón de difracción, se determinó que no se forman nuevas fases en el proceso de obtención del material.

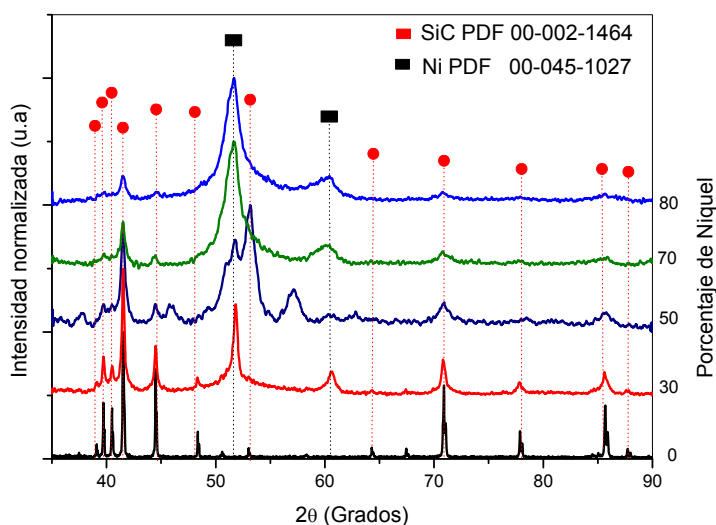


Figura 7. Difractograma de las mezclas de Ni-SiC

Por medio del método Rietveld se obtuvieron los parámetros cristalográficos de las mezclas. Los datos calculados para el porcentaje de fases muestran una tendencia similar al porcentaje experimental, lo que corrobora el hecho de que no se presentaron fases adicionales durante el proceso de molienda. Los parámetros de red obtenidos están de acuerdo a lo reportado por otros autores, y no se observa un cambio significativo con el aumento del porcentaje de Ni. Estos resultados indican que la aleación mecánica no afecta la estructura cristalina de los materiales, sin embargo el tamaño de cristalito del SiC muestra un valor bajo, el cual está relacionado con la alta policristalinidad del material, comparado con el Ni que presenta valores altos. Al mezclar con 30% de Ni (M1) el tamaño del cristalito del SiC aumenta, sin embargo al incrementar dicho porcentaje el cristalito del SiC se reduce, incrementando la policristalinidad (Tabla 1).

Tabla 1. Datos DRX.

	Porcentaje experimental		Porcentaje calculado		Parámetros de red (Å)			Tamaño de cristalito (nm)	
	Ni	SiC	Ni	SiC	Ni	SiC		Ni	SiC
M0	0	100	0	1	0	3,08261	15,12759	0	3,071260
M1	30	70	41,453	58,547	3,551023	3,08015	15,191182	98,907900	82,428500
M2	50	50	49,02	50,98	3,512542	3,08214	15,145632	80,121420	75,215470
M3	70	30	75,297	24,703	3,540900	3,096196	15,155803	119,295000	45,235600
M4	80	20	79,496	20,504	3,54628	3,081	15,117	32,959800	25,413400

La figura 8 muestra las micrografías SEM/EDS para las mezclas M1 y M2. En M1 (figura 8a) se observa morfología irregular producto del impacto de los cuerpos moledores con el material y el jarro. Las partículas se componen de otras más pequeñas con formas angulares que se encuentran aglomeradas por el níquel presente. En el análisis EDS de M1 (tabla 2) se determinó que todavía hay partículas de SiC separadas y de mayor tamaño, con una superficie sin signos de deformación plástica, similar a las observadas en las figuras 1c y 1d. El análisis elemental también muestra la presencia de bajos porcentajes de Fe y O (Tabla 2), que provienen de la manipulación de las muestras y el posible desgaste de los cuerpos moledores (acero al carbono). La presencia de Al en todos los espectros corresponde al reportado para el polvo de Ni.

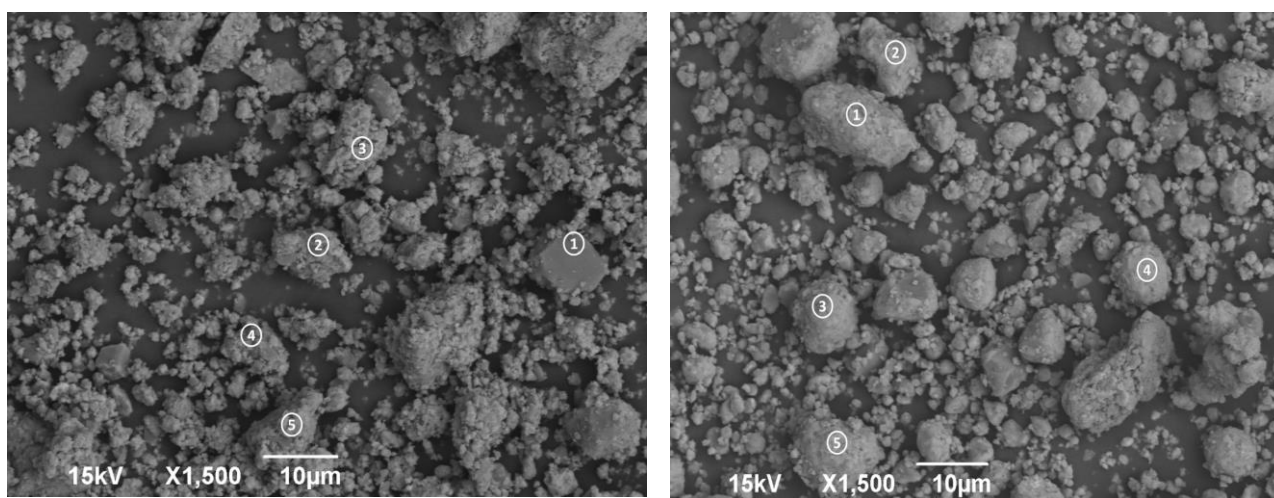


Figura 8. Micrografía SEM-EDS de las mezclas M1 (a) y M2 (b) respectivamente next molienda.

Para M2 (figura 8b) se observa una geometría de partículas irregulares, pero con una superficie con menor número de irregularidades y partículas aglomeradas más pequeñas comparada con M1. Esto es atribuido al incremento del contenido de Ni, en donde partículas fracturadas de SiC tendrán mayor probabilidad de formar aglomerados y generar una superficie uniforme y partículas más pequeñas en el mecanismo de molienda [7]. El análisis EDS se puede observar un comportamiento proporcional de los espectros y la relación de la mezcla M2.

Tabla 2. Espectro EDS de las mezclas M1 (b) y M2 (d)

Mezcla	Espectro	C	O	Al	Si	Fe	Ni
M1	1	46.70	--	--	51.97	--	1.33
	2	20.26			46.87		32.87
	3	14.87	1.89	1.76	28.83	2.79	49.86
	4	11.02	2.36	2.07	24.49	2.04	58.03
	5	7.36		1.37	37.25	3.98	50.05
Mezcla	Espectro	C	O	Al	Si	Fe	Ni
M2	1	21.68	3.51	1.76	36.83		36.21
	2	20.28	3.28	1.93	39.02		35.50
	3	19.47	3.07	2.23	35.96		39.26
	4	12.65	2.23	1.90	39.02		44.19
	5	17.97		1.67	38.97		41.39

Para las mezclas M3 y M4 se presentan las micrografías SEM/EDS (Figura 9a y 9b, respectivamente), en las cuales se observa una morfología con tendencia de esferas en ambas mezclas, compuestas de aglomerados de partículas de mayor tamaño que las mezclas anteriores, además de mayor cantidad de aglomerados y menor cantidad de partículas sueltas (M1 y M2), lo cual es atribuido al mayor contenido de Ni presente en estas mezclas.

En M3 las partículas presentan una distribución de tamaño menor respecto a M4 y se puede apreciar en el análisis EDS (Tabla 3) la proporción en aumento del contenido de Ni, con el cual en mayor proporción se propicia la formación de la aleación mecánica entre la matriz dúctil de Ni y el particulado de SiC.

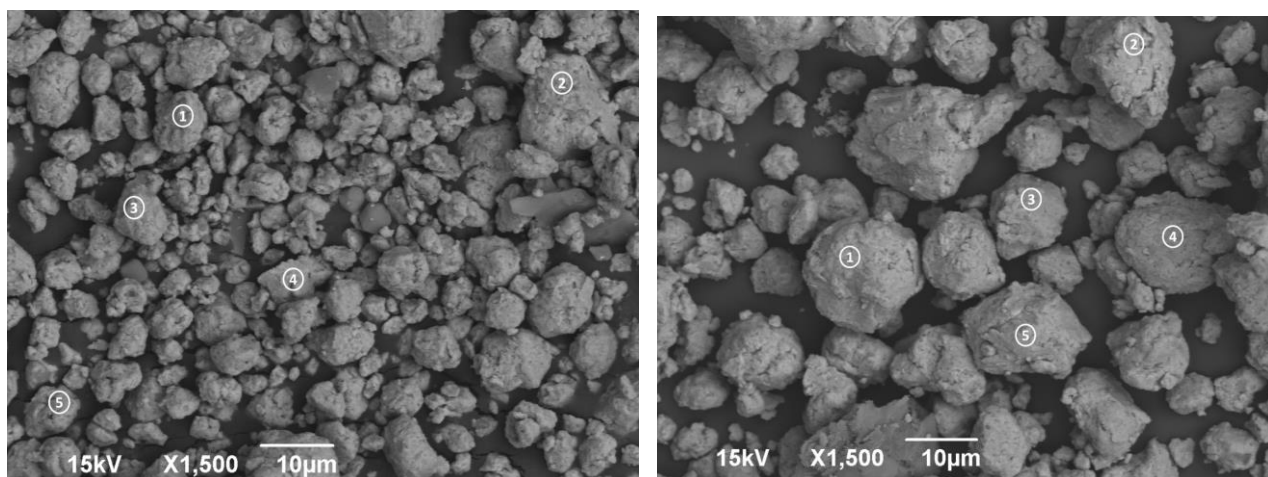


Figura 9. Micrografía SEM/EDS de las mezclas M3 y M4 después de la molienda

Tabla 3. Espectro EDS de las mezclas M3 (b) y M4 (d)

Mezcla	Espectro	C	O	Al	Si	Fe	Ni
M3	1	14.71	2.56	2.90	23.76		56.07
	2	13.15	2.68	3.32	20.59	1.84	58.41
	3	8.66		2.73	19.30	2.31	66.99
	4	11.58	2.35	2.49	16.98	2.28	64.32
	5	16.22	1.93	2.65	18.64	1.53	59.03
Mezcla	Espectro	C	O	Al	Si	Fe	Ni
M4	1	15.61	1.77	3.42	17.96	1.18	60.05
	2	8.69		2.57	13.10	1.52	74.12
	3	9.34		2.44	13.76		74.45
	4	7.23		3.03	16.53	1.73	71.48
	5	9.92		2.89	14.75	1.51	70.93

Principales conclusiones y/o recomendaciones:

- Por medio de imágenes SEM/EDS se observó la formación de un material compuesto constituido por la composición porcentual de cada mezcla de polvo inicial. A medida que el porcentaje de Ni aumentaba, la formación de aglomerados era mayor, adoptando una morfología similar a los polvos de Ni iniciales. Se obtuvo una aglomeración de partículas constituidas de Ni y SiC, característica de un proceso de aleación mecánica dúctil-frágil, en el que las partículas frágiles (SiC) se van introduciendo dentro del material dúctil (Ni),

comportamiento que es favorecido por el calentamiento inherente a la aleación mecánica.

- Se determinó, por medio del análisis cristalográfico y térmico, que los materiales precursores y las mezclas no presentan cambios significativos hasta los 900°C, lo cual es de esperarse ya que no se alcanzan las temperaturas de fusión de ambos materiales.
- El análisis SEM-EDS muestra el comportamiento de los materiales a medida que aumenta el porcentaje de Ni. Se observó que las partículas aglomeradas son de mayor tamaño y de tendencia a geometría esférica, además de la presencia de partículas de SiC debidamente conminuidas y adheridas a una matriz dúctil de Ni en las mezclas M3 y M4.
- La aleación mecánica fue exitosa, donde las mezclas que presentaron una morfología ideal fueron M3 (70%Ni-30%SiC) y M4 (80%Ni-20%SiC), las cuales presentan mayores ventajas para ser utilizadas en el proceso de proyección térmica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Material Product Data Sheet: Nickel- 5% Aluminum Thermal Spray Powders. œrlikon-metco
- [2] Manual de proceso del sistema TeroDyn 2000. Versión 2.2 Mayo, 2006. Castolin-Eutectic.
- [3] Material Safety Data Sheet: Silicon Carbide Powder. Buehler- An ITW Company
- [4] M. Ferrer, M. Moreno, F. Vargas, G. Peña, E. Vera, Y. Pineda (201 3). Depósito y caracterización de recubrimientos cerámicos de Al₂O₃ sobre acero 1020 por termorrociado. Revista Colombiana de Materiales N. 5 pp. 317-322.
- [5] Jaime E. Valadez (2014). Ataque corrosivo por vidrio fundido en refractarios AZS producidos con materias primas alternas dopados con nanopartículas de ZrO₂ Y SiO₂ (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolas de los Garza, México.
- [6] N. Beigi Khosroshahi, R. Azari Khosroshahi, R. Taherzadeh Mousavian, D. Brabazon (2014). Effect of electroless coating parameters and ceramic particle size on fabrication of a uniform Ni-P coating on SiC particles. Ceramics International 40 (2014) 12149-12159.
- [7] Elisa M. Ruiz-Navas, Cesar E. da Costa, Francisco Velasco López, Jose M. Torralba Castelló (2000). Aleación mecánica: Método de obtención de polvos metálicos y de materiales compuestos. Revista de metalurgia- Madrid 36, 279-286. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

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 completo publicado en revistas A1 o A2	0		1	
Artículo completo publicados en revistas B	1		0*	
Artículo completo publicados en revistas C				
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	0	2	0
Semillero de Investigación	1	0	1	0
Estudiantes de maestría				
Estudiantes de doctorado				

*Se comprometió con mínimo un artículo tipo B, pero se envió a una revista Tipo A1 (remplazar).

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas				
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
	1	0	2	0
Presentación de resultados en eventos de orden institucional	1		1	
Propuesta de investigación Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	1		1	

Tabla No. 2. Detalle de productos.

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a esta guía encontrará el instructivo para la revisión de informes finales y productos

- Productos de nuevos conocimientos**

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL CERMET (Ni-SiC) A TRAVÉS DE ALEACIÓN MECÁNICA PARA ELABORAR RECUBRIMIENTOS POR MEDIO DE PROYECCIÓN TÉRMICA
Ciudad y fechas:	Cali, 2016
Participantes:	A.F. Baron, J. Guerrero, J.M. González, A. Gómez, A. Jurado, <u>H. Sánchez Sthepa</u> .
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI



- Formación de recursos humanos**

Tipo de producto:	Vinculación estudiante-pregrado
Nombre General:	JAVIER GUERRERO VALDERRAMA, Cód. 1124856
Ciudad y fechas:	Octubre-Noviembre, 2015
Sitio de información:	Vicerrectoría de Investigaciones-VRIN
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI

Tipo de producto:	Vinculación estudiante-pregrado
Nombre General:	ANDRES FELIPE BARÓN GONZÁLEZ, Cód. 1036725
Ciudad y fechas:	Octubre-Noviembre, 2015
Sitio de información:	Vicerrectoría de Investigaciones-VRIN
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI

Tipo de producto:	Semillero de investigación.
Nombre General:	TANIA YANINE MONTENEGRO SANCHEZ
Ciudad y fechas:	Agosto-Diciembre 2015.
Sitio de información:	Vicedecanatura de Investigaciones
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI



- **Productos de divulgación**

Tipo de producto:	Congreso Nacional
Nombre General:	<i>VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MATERIALES - CIM 2015,</i>
Nombre Particular:	"WEAR BEHAVIOR OF (Ni-SiC) COMPOSITE COATINGS DEPOSITED BY THERMAL SPRAY PROYECTION",
Ciudad y fechas:	Paipa-Boyacá, Colombia, Octubre 28-30 de 2015
Participantes:	Andrés Felipe Barón, Javier Guerrero Valderrama, Arturo Jurado, Juan Manuel González Carmona and Federico Sequeda
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI

Tipo de producto:	Congreso Nacional
Nombre General:	<i>Tercer Encuentro Internacional de Investigadores en Materiales y Tecnología del Plasma - 3rd IMRMPT</i>
Nombre Particular:	Caracterización de polvos de Ni y SiC para la obtención de un material compuesto utilizado en proyección térmica.
Ciudad y fechas:	Bucaramanga- Colombia, Mayo 4-9 de 2015
Participantes:	J Guerrero, A F Baron, A Jurado and F. Sequeda.
Sitio de información:	
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI



Tipo de producto:	Presentación de resultados en eventos de orden institucional
Nombre General:	<i>VIII SIMPOSIO DE INVESTIGACIONES, FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DEL VALLE</i>
Nombre Particular:	<i>“OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO (Ni-SiC) POR MEDIO DE ALEACIÓN MECÁNICA PARA SU UTILIZACIÓN EN PROYECCIÓN TÉRMICA”.</i>
Ciudad y fechas:	Cali-Colombia, Octubre 9-16, 2015
Participantes:	A.F. Baron, J. Guerrero, J.M. González, A. Jurado, F. Sequeda
Sitio de información:	Universidad del Valle
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI

- **Propuesta de investigación**

Tipo de producto:	Propuestas presentadas en convocatorias externas
Nombre General:	Banco de la República FTIP-FUNDACIÓN PARA LA PROMOCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN Y LA TECNOLOGÍA
Nombre Particular:	Recubrimiento de Hidroxiapatita con Proyección Térmica por Flama para Clavos de Pacientes de Fijación Externa Debido a Accidentes de Tránsito
Ciudad y fechas:	25 junio 2015, Bogotá.
Participantes:	Arturo Jurado Montaña
Formas organizativas:	Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales-RDAI

3. Impactos actual o potencial:

Los recubrimientos mediante la técnica de proyección térmica se han posicionado como una alternativa eficiente y rentable frente a esta problemática de desgaste. En los últimos años el uso de recubrimientos compuestos de matriz metálica reforzada con particulado cerámicos, presentan la mejor combinación de propiedades que no es posible obtener con los materiales de forma independiente, como ductilidad aportada por la matriz metálica, dureza y resistencia al desgaste por parte del particulado cerámico, que permiten incrementar el tiempo de servicio, disminuyendo las paradas no programadas, lo que se traduce en la reducción de costos y mayor producción

A nivel ingenieril impacta a la región principalmente de dos maneras:

- Impacto económico: Alargando la vida útil de las piezas se disminuyen costos en el proceso donde trabajan éstas.
- Impacto ambiental: Ahorro del consumo energético.

La presente versión del informe contiene las observaciones de los evaluadores:



ARTURO JURADO MONTAÑO
Investigador Principal
Universidad del Valle

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

*Por favor presente su informe impreso y en formato digital en hoja tamaño carta, letra arial 11,
con espacios de 1 1/2*