

Segundo informe parcial

31/Julio/2019

Título del proyecto	APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS ZrO_2/MgO MEDIANTE LA TÉCNICA PROYECCIÓN POR PLASMA, PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CEMENTERA.
Clave	5836.19-P
Plantel	Instituto Tecnológico Superior de Ébano
Responsable	SANCHEZ-HERNANDEZ, ZOILA ERIKA
Periodo reportado	Del 01 de abril del 2019 al 30 de junio del 2019

Avance del proyecto: 35%
Monto ejercido: \$ 0.00

Resumen

A partir de la visita a la planta CEMEX TAMU (N), se realiza el siguiente diagnóstico preliminar del problema:

1. Daño severo de los termopozos, lo que provoca una disminución importante en su operación.
2. Debido a las altas temperaturas a las que se encuentra expuesto el acero inoxidable 446 (de acuerdo a las especificaciones del proveedor) con el que se encuentra fabricado el termopozo, éste sufre deformación a través de su línea longitudinal lo que provoca que no pueda ser extraído del equipo en donde se encuentra operando.

Posteriormente al extraer los termopozos de los termopozos se encontró que eran fabricados de tubos de acero inoxidable 446 código 40 con rosca de $1/2"$ tipo NTP y una longitud de 41.09 cm. En cuanto a los termopozos son tipo K, recubiertas las varillas con placas cerámicas, (las cuales se encuentran fracturadas y se muestran en las siguientes imágenes). Estas fracturas se asocian a un mal manejo de los termopozos en la empresa de origen o durante el transporte a la empresa destino, sin embargo, no se descarta la posibilidad de que haya sido durante el almacenamiento en la planta.

Comentarios

Se están en espera de las cotizaciones finales de los materiales y se inicia con la elaboración de los planos del termopozo.

Responsable Técnico	Aval
Dra. Zoila Erika Sanchez Nombre y Firma	Dra. Zoila Erika Sanchez Nombre y Firma

INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE ÉBANO

SUBDIRECCIÓN
ACADÉMICA

* La Firma del aval podrá ser preferentemente del Subdirector de Posgrado, Investigación e el Director Académico.

PROTOCOLO DEL PROYECTO (CI-02/2018)

VIRI-PR-C-007

NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN

Instituto Tecnológico Superior de Ebané

Título del proyecto:

APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS CERÁMICOS ZrO_2/MgO MEDIANTE LA TÉCNICA PROYECCIÓN POR PLASMA, PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA CEMENTERA.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 Resumen

En los últimos años la tecnología de tratamientos superficiales o recubrimientos para mejorar las propiedades de las superficies de los materiales metálicos y aleaciones de Ni, está siendo utilizada más en las industrias, para las modificaciones de componentes industriales, ya que mejora las propiedades mecánicas, anticorrosivas y tribológicas.

Uno de los componentes industriales utilizados por la industria cementera son los termopozos, que se utilizan para proteger los sensores de temperatura, tales como son los termopares, contra los daños causados por presión excesiva, velocidad del material y corrosión. La importancia de estos sensores radica en el buen control de la temperatura, para que la reacción del clínker de cemento porland produzca silicato tricálcico a partir de silicato bicálcico y de cal. Sin embargo, dentro de la producción de las industrias cementeras, los termopozos se encuentran en contacto con cenizas altamente abrasivas (compuestas principalmente de SiO_2 y CaO), además de estar sometidas a altas temperaturas que van desde los 250 a 950 °C dentro de los ciclones, debido a la acción abrasiva de los partículas con cenizas, por lo que estos componentes sufren daños severos, ocasionando en algunos casos el deterioro total del termopozo junto al termopar, teniendo como tiempo de vida útil un periodo que va desde un mes a tres meses.

Por lo anterior, la finalidad de este estudio es incrementar la resistencia al desgaste de los termopozos instalados en las plantas cementeras, mediante la selección de materiales para la fabricación de termopozo y la modificación superficial del termopozo ya utilizados en la industria, aplicando un recubrimiento cerámico por la técnica Plasma Spray con Nickel Cromo/Aluminio 443NS + ZrO_2/MgO (Magnesium Zirconate Powder 210NS). La caracterización estructural y morfológica, tanto del sustrato y el recubrimiento, se realizará mediante las técnicas de difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscópica de dispersión de energía (EDS) y propiedades tribológicas del recubrimiento mediante un equipo de tribología, además se propone una evaluación electroquímica de los recubrimientos.

1.2 Introducción

México es uno de los 13 productores más importantes de cemento en el mundo, con una producción de 36.3 millones de toneladas durante el 2011 (INEGI 2013); por lo que la industria cementera es considerada un sector clave para la economía del país (De la Garza & Artésaga, 2011). Dentro de estas industrias los problemas más frecuentes son los instrumentos del control del proceso entre los que se encuentran la adherencia en los congloneros, corrosión en tuberías, el desgaste por abrasión en el tubo del quemador y el desgaste de los termopozos, esto debido la abrasión del lecho fluidizado y sus altas temperaturas. Estos problemas, representan costos muy elevados, que ascienden a millones de pesos todos los años, por lo que se requieren acciones correctivas urgentes, que implica adquirir nuevas piezas o sufrir paros de producción para realizar dichas reparaciones.

El comportamiento de un material sometido a una función específica, como es el caso de los termopozos, es susceptible a mejorarse mediante la modificación de sus propiedades por medio de tratamientos termomecánicos (material masivo con las propiedades deseadas), o mediante un tratamiento superficial elaborando un recubrimiento adecuado. Dicho recubrimiento puede elaborarse como recubrimiento monolítico o en multicapas (Viva, et. al. 2007). En cuestión de protección de materiales, cada vez más se requieren componentes mejor adaptados a funciones específicas, las cuales implican simultáneamente varios fenómenos, por ejemplo, erosión, corrosión, estabilidad termomecánica, impermeabilidad, fricción, etc. Así, una mejora del comportamiento de los materiales se consigue regularmente mediante la aplicación de un recubrimiento duro y refractario. De acuerdo a lo anterior, se investigará la problemática de los

termopozos, para proponer la aplicación de un recubrimiento cerámico con el objetivo de evitar el desgaste de los mismos utilizando la técnica Plasma spray ya que es una técnica física y versátil, además no altera las propiedades, ni dimensiones del material base y las capas aplicadas se incorporan perfectamente a la geometría de la pieza, formando parte de la misma y otorgando características especiales a la zona aplicada.

Un recubrimiento puede ser definido como "una región superficial de un material con propiedades diferentes de las del material base". Los objetivos que se pretenden obtener con el empleo de los recubrimientos son básicamente reemplazar, modificar y/o lubricar superficies. Las tres principales áreas en las que los recubrimientos han experimentado grandes avances son: el desgaste, la disminución de la fricción y las barreras térmicas (García y Cueto, 2001), mismos que se desean en esta investigación.

El uso del recubrimiento permite que el material base sea optimizado para objetivos tales como resistencia mecánica, ligereza, etc., mientras que la superficie es optimizada para la resistencia al desgaste, a la fricción, o como aislamiento térmico o eléctrico entre otras aplicaciones.

En cuanto a la técnica que se utilizará Proyección por plasma, es un proceso de proyección térmica se puede definir como "la aportación de materiales proyectados en forma de partículas fundidas finamente divididas, sobre un sustrato debidamente preparado". El material a proyectar (en forma de polvo o varilla), es fundido mediante una energía obtenida a partir de la combustión de gases, de un arco voltaico o de una recombinación de gases plasmógenos, según el procedimiento empleado. El material fundido es proyectado seguidamente sobre la pieza a recubrir en estado plástico con una alta energía cinética y térmica, que ceden a la misma, provocando la unión con una fuerza que va a depender del procedimiento empleado, de los parámetros utilizados, del material de aportación, que en este caso es el óxido de zirconia (ZrO_2) estabilizado con el 24% mol de MgO . La importancia de la YSZ radica en sus propiedades físicas y químicas, como la resistencia a la corrosión, estabilidad térmica, alta resistencia mecánica y a altas temperaturas, por lo que lo hace ideal para esta aplicación. Es importante mencionar que se le depositará un recubrimiento base de Níquel para mejorar su adherencia entre el sustrato y recubrimiento, y de esta manera evitar el desprendimiento del material durante su manejo y aplicación.

Los termopozos son fabricados mediante el uso de barras sólidas y matrices en forma cilíndrica a las cuales se le aplica varios procesos de manufactura como: torneado, barrenado, soldadura y operaciones de fresado para fabricarlos según las especificaciones del usuario. Dependiendo del proceso industrial para el cual está destinado el termopozo el material a utilizar varía entre el Acero Inoxidable 304, 316, 304L, 316L o superaleaciones de Níquel.

Una vez obtenidos los recubrimientos, los resultados permitirán establecer que los materiales cerámicos mediante la técnica Plasma spray, presentan mejores características que el acero desnudo, o los obtenidos con técnicas convencionales.

1.3 Antecedentes

El origen de la proyección térmica data del año 1910, cuando Schöop proyectó polvo de metal fundido sobre una superficie por primera vez. El procedimiento consistió en fundir un metal en un crisol y proyectarlo atomizado, mediante un gas comprimido, sobre la superficie a recargar en la que se solidifica. Posteriormente, salió al mercado un tipo de pistola alimentada por un alambre, que atravesando una llama originada por un gas combustible y otro comburente, era fundido y proyectado sobre el material a recargar, por una corriente de aire comprimido (García y Cueto, 2001). Actualmente, los procedimientos más utilizados son:

- Flame power (proyección de polvo por combustión).
- Flame wire (proyección de alambre por combustión).
- Wire arc (proyección de alambre por arco eléctrico).
- Plasma spray (proyección por plasma).
- Detonación
- HVOF (alta velocidad)
- Mejorar la calidad de las superficies mecanizadas.

De las técnicas antes mencionadas, la proyección por plasma o plasma spray es la que se aplicará en el presente proyecto; esta técnica tuvo su origen en Alemania, en los años sesenta, sin embargo, no fue hasta finales de los años

cincuenta, cuando comenzó el proceso a ser ampliamente usado y considerado.

Esta técnica de proyección puede ser empleada con una amplia variedad de materiales, incluidos los cerámicos, y con un elevado rendimiento. Su empleo disminuye el riesgo de degradación del revestimiento y del sustrato, en comparación con otros procesos a altas temperaturas, aunque se presenta el fenómeno de oxidación de las partículas que no se funden completamente. El dispositivo que se utiliza para el proceso plasma spray consta de dos electrodos: un cátodo en forma cónica situado en el interior de un ánodo cilíndrico, que se extiende más allá del cátodo, formando una boquilla en su extremo. Un impulso de corriente crea un arco entre los dos electrodos. Este arco es mantenido por una corriente estacionaria de elevada intensidad. Un gas inerte (He, H₂ o N₂ o mezclas) fluye a través del espacio comprendido entre los dos electrodos, el cual y debido al arco eléctrico establecido disocia sus moléculas en sus átomos constituyentes ionizándolos.

Generalmente los recubrimientos buscan mejorar los siguientes aspectos (Davini, 2008):

- Aumentar la dureza superficial.
- Aumentar la resistencia al desgaste abrasivo, adhesivo, al desgaste en flanco y en tréncel.
- Reducir el coeficiente de fricción facilitando el deslizamiento de la viruta.
- Reduce la temperatura por rozamiento, las fuerzas de corte y previene la adhesión de material a la superficie de la herramienta.
- Reducir la transmisión de calor hacia la herramienta.
- Aumentar la resistencia a la corrosión y oxidación.

Para la obtención de recubrimientos proyectados por plasma pueden ser empleadas todos los materiales que reúnan los siguientes requisitos:

- El material de proyección debe fundir sin que sufrá transformaciones no deseadas (descomposición, sublimación, oxidación, etc.)
- El material de proyección se debe poder fabricar en la forma apropiada para obtener una inyección adecuada (tamaño, magnitud, distribución y forma de las partículas).
- Actualmente se proyectan por plasma varios centenares de materiales distintos, pudiendo clasificarse éstos en los siguientes grupos (Vázquez Vázquez):
 - ✓ Metales puros (Mo, Ti, Ni Ta, Al, Zn, etc.)
 - ✓ Aleaciones (NiCr, NiCrAlY, FeCrBSiC, aceros, bronce, etc.)
 - Pseudoleaciones (Cu-W, bronce-ácero, Al-Mo etc.)
 - Cerámicas (Al₂O₃, Cr₂O₃, ZrO₂, TiO₂, WC, etc.)
 - Cermets (CoCrNiCr, CoW/Co, ZrO₂/NiAl)
 - Plásticos (poliéster, polietileno, etc.)
 - Materiales biocompatibles (hidroxiapatita).

Según composición, combinación, características y relaciones de mezclas de los diferentes componentes de material de proyección, se obtienen mediante proyección por plasma, capas con cualidades extraordinarias, las cuales no se pueden conseguir con los procedimientos tradicionales de recubrimiento ni con los materiales masivos habituales.

Particularmente, en el caso de la zirconia se han utilizado de dos clases, parcialmente estabilizada (PSZ) en la fase

cúbica y la zirconia tetragonal policristalina (TZP). Las estabilizadas en la fase cúbica pueden contener 8 % en peso de Y₂O₃ (Y-PSZ), 2.5% MgO (Mg-PSZ) y 4% de CaO (Ca-PSZ). Por su parte, la zirconia tetragonal contiene entre 1.5-3.5% mol de Y₂O₃, MgO o CaO. La estabilización de esta fase permite un estado de esfuerzo altamente compresivo, lo que incrementa la tenacidad y evita la propagación de grietas [Sánchez, 2015].

Se pueden emplear como materiales de base para los recubrimientos proyectados por plasma (todos los metales y aleaciones, siendo los principales los siguientes):

- Todo tipo de aceros.
- Fundición gris y nodular.
- Aleaciones de Ni y Co.
- Metales ligeros y sus aleaciones, tales como aluminio, magnesio y titanio.
- Cobre y sus aleaciones.

Además de los anteriores, también pueden recubrirse materiales cerámicos y ciertos plásticos, analizándose en cada caso su adecuación como portador de recubrimiento plasma.

1.4 Marco teórico

Termopozos

Los termopozos se utilizan para proteger los sensores de temperatura, tales como termopares, termistores y termómetros bimetaléicos, contra los daños causados por presión excesiva, velocidad del material y corrosión. Su uso es recomendado para la protección de un elemento sensible frente a los efectos erosivos.

Los termopozos se clasifican de acuerdo con el diseño del vástago. Un termopozo recto tiene el mismo diámetro en toda su longitud de inserción y ofrece protección contra la corrosión y la erosión. Los termopozos escudados generalmente tienen un diámetro de 3/4" en la parte superior, que se reduce a 1/2" de diámetro cerca de la punta. El área reducida de superficie permite velocidades más suaves y respuestas más rápidas a la temperatura para dispositivos de detección. Termopozos cónicos tienen un diámetro que disminuye gradualmente a lo largo de la longitud de inserción. Ellos ofrecen una resistencia superior, así como tiempos de respuesta rápidos a los cambios de temperatura. Termopozos cónicos se utilizan con mayor frecuencia en aplicaciones de alta velocidad.

Estos componentes pueden ser conectados a un termistor o termopar por medio de varios tipos diferentes de conexión. Algunos de los más comunes son [Omega Engineering]:

Rosado (Threaded)

Soldable (Weld-in)

Para conexión soldable (Socket weld)

Junta tórica (O-ring)

Bridado (Flange)

Las conexiones rosadas están hechas de materiales que pueden ser soldados y proporcionan una resistencia adicional.

Seleccionar el material adecuado es crucial para la longevidad de un termopozo. El tipo de producto químico, la temperatura y la tasa de flujo a los cuales estará expuesto el termopozo deben ser considerados cuando se especifica el material. Los efectos corrosivos de los productos químicos se incrementan bajo concentraciones y temperaturas más altas. Además, las partículas suspendidas en el líquido pueden causar erosión. La lista de procedimientos incluye algunos de los materiales más utilizados para la construcción de termopozos:

Aceros al carbono

Aceros de Molibdeno/Cromo

Acero inoxidable

Incoloy®

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es la síntesis de los recubrimientos de $ZrO_2/24MgO$ mediante la técnica de proyección de plasma, así como el estudio de su desempeño como un recubrimiento contra el desgaste y corrosión en sustratos comerciales de acero inoxidable (AISI 316L) y el acero AISI 446.

Proyecto N.º 3461/2006

Técnicas de crecimiento de películas

Las técnicas para obtener películas delgadas a partir de la fase vapor, se clasifican en:

Físicas (PVD) donde parte de un material sólido que se convierte en vapor mediante calentamiento (evaporación) o bombardeo con iones energéticos. El material en forma de vapor termina condensándose sobre la superficie del sustrato en forma de capa delgada.

Químicas (CVD) se realiza directamente de los gases (a veces en forma líquida que pasan a estado de vapor) los cuales mediante reacción dan un producto nuevo que se condensa en forma de película delgada sobre el sustrato.

Teniendo las técnicas de PVD, las que han tenido mayor auge en la industria debido a su capacidad de obtener películas delgadas homogéneas y con alta dureza, entre las que se destaca, por ser la más empleada en la industria, es la técnica de magnetron sputtering, que consiste en depositar las capas a partir de material sólido en el vacío por el bombardeo con iones de argón sobre blancos del material deseado. El término "magnetron" viene del dispositivo empleado, que utiliza imanes permanentes para confinar las líneas de campo magnético en las proximidades del blanco, haciendo más intensa la pulverización y mayor la tasa de átomos ionizados, lo que contribuye a un recubrimiento más rápido y con mejor adherencia (Rodríguez, 2004).

Desde el año 1970, la técnica de la proyección por plasma ha experimentado una profunda evolución, a pesar de lo cual, el diseño del cañón empleado para la proyección de dicho plasma apenas ha sufrido modificaciones (Herman, 1985).

El cañón de plasma consta de dos electrodos: un cátodo en forma cónica situado en el interior de un ánodo cilíndrico, que se extiende más allá del cátodo, formando una boquilla en su extremo. La refrigeración de los electrodos durante el proceso, se realiza por medio de unos circuitos con agua en circulación en su interior, lo que evita la fusión de dichos electrodos.

El cañón comienza a operar cuando un impulso de corriente crea un arco entre los dos electrodos. Este arco es mantenido por una corriente estacionaria de elevada intensidad y con un potencial de alrededor de 30 voltios.

Un gas inerte fluye a través del espacio comprendido entre los dos electrodos, el cual y debido al arco eléctrico establecido rompe sus moléculas en sus átomos constituyentes ionizándolos. De este modo, el gas existente en el interior del arco se transforma en un conjunto de iones y electrones muy energéticos, es decir, un plasma. La corriente en su recorrido entre los dos electrodos alcanza la boquilla del cañón, formando allí una llama de plasma. Tanto la temperatura como la velocidad de dicho plasma son muy elevadas.

Actualmente, la técnica de proyección por plasma posee un elevado potencial dentro de la ingeniería de materiales, centrándose las posibilidades de esta técnica en lo siguiente:

- Disminución de costos, debido al empleo de nuevos materiales de base a precios más interesantes, aplicándoles recubrimientos de mejores características.

- Aumento de la eficacia y rendimiento en la construcción de elementos de máquinas mediante la adición de las propiedades óptimas del material base y del de superficie, imposible de conseguir mediante materiales homogéneos.

- Reducción de la independencia de materiales estratégicos.

- Innovación de los productos técnicos debido tanto a nuevas posibilidades de fabricación como a la mejora de las propiedades de los componentes.

- Calidad de capa y controles del proceso de recubrimiento.

Los parámetros de proyección influyen directamente en la calidad de los recubrimientos obtenidos. Dichos parámetros se pueden dividir en dos grupos:

a) Parámetros de plasma:

Caudales de gases plasmógenos

[Proyecto: 834kn 45836]

- * Estabilidad del arco
- * Ángulo de inyección del polvo
- * Gas de transporte del polvo
- * Cantidad de polvo
- * Características del haz de plasma

b) Parámetros cinemáticos:

- * Distancia de proyección
- * Ángulo de proyección
- * Avance pistola de proyección
- * Velocidad de la pieza

Además de estos parámetros, otros factores importantes son la calidad del polvo empleado y el tratamiento preliminar de la pieza a recubrir.

Evaluación de los recubrimientos

Los ensayos que se pueden realizar sobre capas proyectadas térmicamente pueden ser destructivos y no destructivos, si bien los primeros son con diferencia los más utilizados. Prácticamente, los ensayos no destructivos se limitan a:

Inspección visual. Inspección de apariencia de la capa.

Rugosidad. Generalmente se mide la R_a , tanto en superficies tal como quedan proyectadas como en las mecanizadas, y a veces se mide el número de picos por cm. de longitud.

Espesor de la capa. Cuando no es posible utilizar micrómetros, se ha de recurrir según el caso a equipos de medida de capas no magnéticas sobre bases magnéticas o no conductoras sobre bases conductoras según el caso. Hay que reseñar que muchos tipos de capas no se pueden medir por estos procedimientos, y los ultrasonidos no son útiles a causa de la porosidad de las capas.

La utilización de propiedades como la conductividad térmica o eléctrica y la medida de las mismas, utilización de cámaras de infrarrojos etc., son menos empleadas.

No obstante, los ensayos más utilizados son los destructivos. Generalmente se realizan caracterizaciones de capas conformadas con unos determinados parámetros de proyección que luego se reproducen en las piezas.

Los ensayos destructivos más comúnmente utilizados son:

Microestructura. Es habitual el efectuar el estudio de capas preparando probetas que son observadas en el microscopio, determinando características tales como la estructura de la capa, compuestos que aparecen, porosidad, contenido de óxidos, aparición de fisuras longitudinales y transversales.

Dureza. Debido a que en general las capas proyectadas son frías, la medición de macrodurezas sobre las piezas o sobre probetas, nos da resultados erróneos debido a la influencia de la base, normalmente de diferente dureza. Además, como la capa es porosa, la penetración del durómetro es mayor de la que sería sobre una capa homogénea, dando una lectura

inferior a la correspondiente a la superficie.

Por ello, la medición más común es la microdureza Vickers realizada en el microscopio sobre probeta cortada transversalmente y con pequeñas cargas (generalmente la HVO.3 con carga de 300 g.).

Adherencia. Es quizás el ensayo más utilizado por ser la adherencia de la capa al sustrato uno de las características más cuestionadas y con mayores dependencias en la proyección térmica.

Este ensayo se realiza según la norma UNE-EN 582:1994 (También ASTM C633-79), que consiste en preparar unas probetas de 1" de diámetro y 1" de longitud, recargada por una cara y pegada a una contraprobeta igual con un adhesivo. Se realiza sobre el conjunto un ensayo de tracción determinando la carga y por tanto la fuerza de rotura. La rotura puede producirse por la intercara, por la capa, o por el adhesivo en el caso de valores muy altos de anclaje.

Cohesión de capa. Menos frecuentes son los ensayos de cohesión de capa.

Resistencia al doblado. Se realiza doblando o punzonando la pieza, recargada desde la cara opuesta al recargue, comprobando si se desprende la capa.

Otros ensayos destructivos. Es frecuente realizar ensayos de resistencia a la corrosión, al choque térmico o al desgaste, así como efectuar medidas de coeficientes de rozamiento, etc. Para los ensayos de desgaste se usan las máquinas "rubber wheel", y no difieren de los realizados en materiales homogéneos, salvo que hemos de tener cuidado de no pasarnos del espesor de la capa proyectada.

Técnicas de caracterización físicas. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM), Difracción de Rayos X y las técnicas electroquímicas que se utilizan para la evaluación de la corrosión según GCP, Rp, Tafel y EIS.

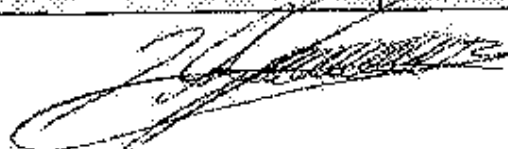
1.5 Objetivos

Síntesis de recubrimientos de ZrO_2/MgO mediante la técnica de proyección de plasma, sobre termopozos de acero inoxidable AISI 316L y el acero AISI 446, así como su evaluación de las propiedades tribológicas y corrosivas en ambientes altamente agresivos.

- Caracterización estructural y morfológica del acero AISI 446, material con el que está fabricado el Termopozo.
- Caracterización de la ceniza compuestas principalmente de SiO_2 y CaO que está en contacto con los termopozos.
- Realizar el depósito cerámico, mediante la Técnica Física Plasma spray sobre los termopozos utilizados actualmente.
- Diseñar y fabricar un Termopozo con utilizando el acero AISI 310.
- Realizar el depósito en el Termopozo maquinado con el acero AISI 310.
- Caracterizar física, química, tribológica y morfológica del recubrimiento aplicado sobre el acero AISI 310 y AISI 446.

1.6 Metas

PRODUCTOS ENTREGABLES		
Contribución a la Formación de Recursos Humanos	Investigación Académica	Transferencia Tecnológica



<p>SIQUEP DE RCI</p> <p>1 - Tesis concluidas de Licenciatura 2 - Tesis en desarrollo de Licenciatura 3 - Alumnos residentes participantes en el proyecto 0 - Tesis concluidas de Maestría 0 - Tesis en desarrollo de Maestría 0 - Tesis concluidas de Doctorado 0 - Tesis en desarrollo de Doctorado 0 - Incorporación de alumnos de licenciatura (Servicio Social, créditos Complementarios, etc.)</p>	<p>1 - Artículos científicos enviados en revistas arbitradas 1 - Artículos de divulgación enviados 1 - Memorias en extenso en congresos 0 - Artículos científicos enviados en revistas individuales 0 - Artículos en memorias de congresos enviados 0 - Capítulos de libros enviados para revisión 0 - Libros editados y publicados 0 - Libros enviados para revisión 0 - Prototipos enviados para registro 0 - Patentes enviadas para registro 0 - Paquetes tecnológicos enviadas para registro 0 - Artículos Científicos publicados en Revistas Indexadas 0 - Artículos Científicos publicados en Revistas Arbitradas 0 - Patente Registrada 0 - Modelo de utilidad</p>	<p>Proyectos: 2124661, 2330</p> <p>0 - Registro de Patente (IMPI) 0 - Registro de Modelo de Utilidad (IMPI) 0 - Registro de Marca (IMPI) 0 - Registro de Diseño Industrial (IMPI) 0 - Derechos de Autor (INDAUTOR) 0 - Registro de Software (INDAUTOR) 0 - Carta de Usuario (Empresa)</p>
--	---	---

1.7 Impacto o beneficio en la solución a un problema relacionado con el sector productivo o la generación del conocimiento científico y tecnológico.

Derivado la experiencia en el ámbito industrial y acercamiento con las empresas por parte de los integrantes de la línea de Investigación "Ingeniería y Tecnología de los Materiales", principalmente con las industrias del sector energético y cementero se tiene el primer acercamiento con el personal de la planta CEMEX-TAMUÍN, donde el personal operativo de la Planta CEMEX - Tamuín observó diferentes problemáticas de desgaste en componentes industriales debido al proceso de operación que se tiene para la elaboración del cemento, siendo así que se detectó que la operación de los termopozos en esta planta, que implica un daño considerable de la superficie externa y como consecuencia el tiempo de vida de estos componentes industriales es relativamente corto y con la selección del material y recubrimiento, se aumentará hasta en un 100% la vida de los termopozos y por consecuencia de los termopares, además se generará una vinculación con la empresa CEMEX-TAMUÍN, derivando con ello la transferencia tecnológica, ya que se resolverá una de las principales problemáticas más usuales en este tipo de industrias, al ahorrarse paros innecesarios que conllevan pérdidas económicas.

Además se está impactando en la manufactura de alta tecnología, al fabricar termopozos con diferentes materiales a los ya utilizados y su modificación, atendiendo así, uno de los problemas Nacionales en el PECTI (Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación).

En cuanto a los recursos humanos se propone la realización de dos tesis de licenciatura y participación de un alumno para la realización residencias profesionales.

Actualmente ya se cuenta con el primer acercamiento con la empresa y entrega de los termopozos dañados. (Ver Fotografía 1, anexos)

1.8 Metodología

De acuerdo a la problemática observada, los objetivos planteados y la experiencia de la línea de investigación se propone como primera opción la aplicación de un recubrimiento cerámico para evitar el desgaste de los termopozos, utilizando la técnica Plasma spray: ya que es una técnica física y versátil, las capas aplicadas se incorporan perfectamente a la geometría de la pieza, formando parte de la misma y otorgando características especiales a la zona aplada.

Como segunda opción se plantea la fabricación de un nuevo termopozo con el acero AISI 316 y recubrido por la técnica Plasma Spray con Nickel Cromo/Aluminio 43NS + Stabilized Zirconia Powder 204NS.

Con el propósito de cumplir con las propuestas anteriores y mejorar la funcionalidad de los termopozos e incrementar la resistencia al desgaste, sus propiedades tribológicas y la selección de materiales del termopozo se llevó a cabo siguiendo las siguientes etapas:

- a) Recopilación de la información técnica del termopozo actualmente en operación.
- b) Análisis estadístico del tiempo de vida útil de los termopozos e identificación en campo.
- c) Caracterización inicial de materiales de fabricación.
- d) Caracterización del medio con el que tiene contacto los termopozos.
- e) Elaboración del diseño en AutoCAD para la fabricación del termopozo.
- f) Selección y Aplicación del recubrimiento.
- g) Análisis de propiedades y recubrimiento de los termopozos.
- h) Puesta en marcha e identificación de los termopozos recubiertos.

1.9 Programa de actividades, calendarización y presupuesto solicitado

No.	Actividad	Entregables	Período de realización	Monto solicitado
1	Caracterización preliminar de la zona de los hornos donde se encuentran los termopozos.		Enero	\$ 6,000.00
2	Caracterización estructural y morfológica de los sustratos de Acero AISI 414 y acero 316L.		Febrero - Marzo	\$ 22,000.00
3	Elaboración de planos en AutoCAD para la fabricación de termopozos.		Marzo	\$ 4,000.00
4	Selección y Aplicación del recubrimiento cerámico ZrO ₂ /MgO con base NiCrAl.		Abril - Mayo	\$ 42,000.00
5	Fabricación del termopozo con el acero 316L.		Mayo-Julio	\$ 11,000.00
6	Análisis y evaluación de las propiedades de los recubrimientos.		Agosto - Septiembre	\$ 8,000.00
7	Puesta en marcha e identificación de los termopozos recubiertos.		Octubre - Diciembre	\$ 0.00
8	Análisis y discusión de los resultados obtenidos.	Informe de conclusión y dos tesis de licenciatura.	Noviembre - Diciembre	\$ 2,000.00

No.	Actividad	Entregables	Periodo de realización	Monto solicitado
MEX-9	Redacción y envío un artículo arbitrado y de divulgación. Elaboración del informe Técnico Final Dividido de extenso + un congreso internacional	1 Artículo arbitrado 1 Artículo de divulgación Informe Técnico Extenso en congreso	Playa Diciembre	es. 813.4m (5876) \$ 5,000.00

1.10 Vinculación con el Sector Productivo

Derivado de esta investigación se tendrá la vinculación con la empresa CEMEX-TAMUÍN con los siguientes productos:

1. Convenio CEMEX-TAMUÍN-ITSE
2. Transferencia Tecnológica
3. Convenio con la empresa JOSE HAUSER, shcaves rollers

Ya se realizó el primer acercamiento con la empresa CEMEX-TAMUÍN y derivado de esta visita se realiza un diagnóstico preliminar del problema (Fotografía 3)

1. Daño severo de los terrapozos, lo que provoca una disminución importante en su operación (Fotografía 2).

2. Debido a las altas temperaturas a las que se encuentra expuesto el acero inoxidable 446 (de acuerdo a las especificaciones del proveedor) con el que se encuentra fabricado el terrapozo, éste sufre deformación a través de su línea longitudinal, lo que provoca que no pueda ser extraído del equipo en donde se encuentra operando (Fotografía 4).

De acuerdo a lo anterior, y la experiencia de la línea de investigación se propone la aplicación de un recubrimiento cerámico para evitar el desgaste de los terrapozos, utilizando la técnica Plasma spray, ya que es una técnica física y versátil, las espas aplicadas se incorporan perfectamente a la geometría de la pieza, formando parte de la misma y otorgando características especiales a la zona aplicada.

1.11 Referencias

- 1. INEGI. Censos Económicos (INEGI. Estadísticas a propósito de la Industria del Cemento. 2015
- 2. De la Garza G. O. y Arceaga G. T. (2011). Análisis de la competencia en la industria cementera en México. *EconoQuantum*, vol. 8, No. 1, pp. 73-89.
- 3. Vivas Z., Alba N., Jaramillo H. F., Córdova J., y Amaya C. Memorias del 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica (Universidad de Perú, 2007).
- 4. García Costales F. E. y Cuevas Mejido, J. M. Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación
- 5. Encuentro de Tribología Universidad de Oviedo (20. 21 Septiembre 2001).
- 6. Davim J. P., "Machining: fundamentals and recent advances", 2008, London: Springer
- 7. Sánchez H. Z. E. Tesis Doctoral, Aplicación de Bio-recubrimientos mediante la Técnica Sputtering. D'N 2015.
- 8. Kvernes, I.; Espeland, M. and Norham, O. Plasma spraying of alloys and ceramics. *Scandinavian Journal of Metallurgy*. Vol 17. 1988. pp 8-16.
- 9. Jones, D.A. "Principles and prevention of Corrosion", McMillan Publishing Company, New York. 1992.
- 10. Rodríguez R. Trías y J. A. García Lorente Ingeniería Química 21 de oct www.alcion.es. 2004.
- 11. Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable (CENDI) Manual de acero inoxidable CENTRO NACIONAL PARA EL DESARROLLO DEL ACERO INOXIDABLE, A.C. 78395 San Luis Potosí, SLP. p. 16 (2002).
- 12. Hijois, P. F. Lapostolle, V. Deminge, E. Durado, A. Billard. *Surface & Coatings Technology*: 201 (2007) 6012-6018
- 13. Tenfer, G. *Acta Crystallogr.* 15 (1962), pp. 1487
- 14. Levin, E.M. H.F. McMurdie. *Phase Diagram for Ceramists*, American Ceramic Society, Inc., 1975, p. 76.
- 15. Torres, Huerta, A. M. Domínguez Crespo, M. A. Ramírez Manesés, E. J.R. Vargas-García. *Applied Surface Science* 255 (2009), pp. 4792-4795.
- 16. Dong L. and Yu-Tao Zhao. *Advanced engineering materials* 2011, 13, No. 1-2 B18-B24
- 17. Piccini, C., g. Maccauro, f. Muratori, e. Zanchi. *Journal of applied biomaterials & biomechanics* 2003, pp. 19-

32

- 18. Morigana, M.; H. Adachi, M. Usukida, J. Phys. Chem. Solids 44 (1983) 391.
- 19. Herman, H. Revestimientos pulverizados por plasma. Mundo Científico (1985).
- 20. Vázquez Vázquez Alfonso José, J. J. de Damborenea, Juan J. Damborenea Guzmán "Ciencia e Ingeniería de la superficie de los materiales metálicos. Editorial CSIC" - CSIC. Press, pag. 176 (2001).
- 21. Omega Engineering Copyright 2003-2019 España

2. LUGAR(ES) EN DONDE SE VA A DESARROLLAR EL PROYECTO

1. INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE EBANO, S.L.P.

DOMICILIO: Manuel Gómez Morán s/n Col. Aviación C.P. 79140, Ebano, S.L.P.

Tels. (845)26.3.55.62 y 26.3.27.41 Fax: (845) 26.3.27.40 www.tecdeebano.com

DEPARTAMENTO: Ingeniería Industrial

Línea de Investigación: "Ingeniería y Tecnología de los Materiales"

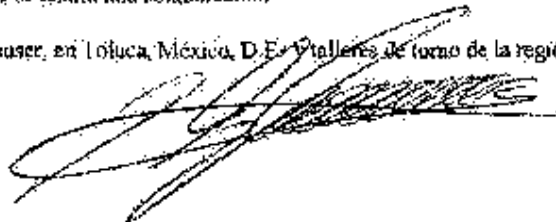
2. CEMEX-TAMUÍN

DOMICILIO: Fraccionamiento las palmas, 79200 Tamuín, S.L.P.

DEPARTAMENTO: Producción.

3. La caracterización y evaluación se realizará en laboratorios e instituciones como CICATA- ATAMIRA, CICATA QUERETARO, donde se tendrá una colaboración.

4. Empresas como Hauser, en Ixtuca, México, D.F. y talleres de torno de la región para el maquinado del termopozo.



3. INFRAESTRUCTURA

Módulo PR-411300
Se cuenta con un laboratorio de manufactura que es la especialidad de la carrera de Ingeniería Industrial, equipado con un
Torno CNC
Torno convencional
Fresadora
2 Moflas
Microscopio óptico
Rugosímetro

Además de la colaboración de los siguientes centro de investigación:

Laboratorios de Recubrimientos y Tribología. Instituto Politécnico Nacional - Cicata Querétaro
Laboratorio de Corrosión y Electroquímica. Instituto Politécnico Nacional - Cicata Altamira
Laboratorio de caracterización de recubrimientos División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez (DAMI) Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT)
La empresa JOSE HAUSER sheaves rollers

Profesor-Investigador Responsable



Dra Zeila Envia Sánchez Hernández
Nombre y Firma

Se deberá proporcionar el informe final, en donde se incluya el cumplimiento de las metas comprometidas en función de los productos entregables. El cual será un criterio de evaluación para apoyos posteriores.

