

# Captura de Informe Técnico

Etapa: 002

**Fondo:** I0002 Fondo Institucional

**Proyecto:** 000000000052092

**Título:** Estudio de Cristales Fotónicos Coloidales y Mesoestructuras de Polímeros Híbridos Orgánico-Inorgánicos por Electrodepositos Metálicos y Electroforesis.

**ID Usuario:** X\_jperez21946 Perez Bueno Jose de Jesus

**Formato:** INFTEC\_AC\_01 INFORMES TÉCNICOS APOYOS COMPLEMENTARIOS

**Estado del Documento:** En Proceso

**Sección:** INFTEC\_AC INFORME TÉCNICO APOYOS COMPLEMENTARIOS

---

01. Capture aquí el resumen de este informe. (10,000 CARACTERES)

El proyecto consiste en lo siguiente:

**Objetivo General:** Obtención de estructuras de ópalo inverso cristalinas y amorfas con la infiltración por electrodepositos de metales y electroforesis de especies con carga neta, así como su análisis por técnicas electroquímicas y diferenciales.

### Objetivos Particulares

1. Obtención de cristales fotónicos coloidales, en un diseño ya construido de un dispositivo con humedad controlada para su depósito.
2. Obtención de ópalos inversos amorfos y cristalinos mediante electroforesis habiendo diseñado y construido un equipo para este fin.
3. Montaje y uso de dispositivo de reflectancia diferencial acoplado al de cristales fotónicos.
4. Experimentación en contenedor de 40 ml para pruebas en condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> líquido.
5. Estudio de las propiedades y características de los materiales obtenidos por estas vías.

Las actividades planeadas para la segunda etapa fueron:

1. Obtención de ópalos inversos amorfos.
2. Uso de dispositivo existente de fotoacústica diferencial para monitorear depósitos metálicos, en ópalos inversos amorfos.
3. Análisis de propiedades de depósitos (híbridos, orgánicos y metálicos).
4. Pruebas en condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> líquido anti-solvente.
5. Microestructura y composición (SEM, AFM, GDS, etc.)
6. Uso de técnicas electroquímicas para la evaluación de cristales fotónicos en electrodos
7. Análisis diversos en recubrimientos obtenidos
8. Graduación tentativa de Alumnos Participantes
9. Asistencia a congreso
10. Publicaciones internacionales
11. Presentación de informes

## Informe de Etapa.

En la segunda etapa del proyecto (semestre II-2008) se realizó lo siguiente:

1. Obtención de ópalos inversos amorfos.
2. Análisis de propiedades de depósitos (híbridos, orgánicos y metálicos).
3. Microestructura y composición (SEM, AFM, GDS, etc.)
4. Pruebas en condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> líquido anti-solvente.
5. Pruebas en condiciones supercríticas con ópalos inversos amorfos e híbridos.

En el documento anexo se detallan algunos resultados, presentando graficas e imágenes de la caracterización de muestras obtenidas en la experimentación.

Se ha logrado parcialmente la obtención de ópalos inversos, mediante algunas vías alternativas con diferentes grados de éxito. Gran parte de la experimentación en el proyecto se centró en la preparación y control de las esferas de polímeros, las cuales tienen un tamaño aproximado de media micra. El tamaño se logró incrementar hasta algunas decenas de micras, haciendo modificaciones en el proceso de polimerización en emulsión. Estas esferas se depositaban en sustrato de acero mediante la técnica de recubrimiento por rotación (spin coating), la cual permite un gran control en la homogeneidad y la obtención de muestras relativamente de gran área. No obstante esto, se tuvo dificultad en aumentar el número de capas, en estas estructuras del tipo ópalos sintéticos. El proceso de decantación comúnmente usado en la literatura, tiene también limitante en el número de capas que logra obtenerse ya sea en la conformación de ópalo inverso desordenado u ordenado (cristal fotónico).

El número de capas en el ópalo inverso fue de interés dado que ello nos permitiría construir una estructura con control del área interna y su interconectividad. Su conformación permite además, estudiar procesos de depósito electroforético cuando al electrodo se le sobrepone un medio poroso controlado, conductor o no conductor. Se realizaron algunas pruebas preliminares con malla de cobre colocada sobre el electrodo de acero, esta fungió como extensión porosa del mismo electrodo. El depósito electroforético de nanopartículas de titanía y plata coloidales se realizó en la placa de acero como en la malla de cobre, según se puede apreciar en las imágenes y micrografías del documento anexo.

Se realizaron pruebas en el reactor de fluidos supercríticos, usando CO<sub>2</sub>. Se logro también depósitos de nanopartículas de titanía y plata coloidales. La característica de estos depósitos fue mayor densidad y homogeneidad. Cuando en el sistema supercrítico se involucran depósitos mediante reacciones redox, no solo arrastre electroforético, también es característico una reducción del tamaño de grano, como fue el caso de depósitos de níquel que en fechas recientes se han realizado.

### LIBRO

### PUBLICACIONES

### FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Licenciatura: Un ayudante de proyecto: Griselda Solórzano Soto (ITD). Tres alumnos sin beca del proyecto.

Maestría: Dos alumnas.

Doctorado: Dos alumnas.

Se tuvo una importante formación de recursos humanos durante el desarrollo del proyecto: Licenciatura, Maestría y Doctorado. También, la participación en congresos.

## Licenciatura

1. **Nombre:** Griselda Solórzano Soto

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Estudio de Electroforesis empleando electrodos modificados con ópalos inversos conductores (metales) y no-conductores (óxidos metálicos)”*.

**Fecha de Titulación:** Graduación por créditos de Maestría.

2. **Nombre:** Daniel Torres Torres

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Desarrollo de nuevos materiales con microestructura a partir de ópalos inversos para tecnología aplicada a la protección contra corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

3. **Nombre:** Juliana Itzel Vázquez Mejía

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Síntesis de microesferas para la formación de ópalos sintéticos y posterior conformación de ópalos inversos aplicados a la prevención de la corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

**Fecha de Titulación:** Por créditos de Maestría.

4. **Nombre:** Georgina Edith Fernández Sánchez

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Desarrollo de Nuevos Materiales con Estructura del Tipo Ópalos Inversos para Nanotecnología Aplicada a la Protección Contra Corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Graduación por créditos de Maestría.

## Maestría

1. **Nombre:** Maria Auxilio Aguayo Sánchez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Modificación de Electrodos con Estructuras Tipo Ópalo Inverso con potencial uso en el Depósito de Partículas Suspendidas en Aire”*

**Fecha de Titulación:** 17 de Diciembre de 2009.

2. **Nombre:** Maria Guadalupe Almanza Martínez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Estudio sobre la Obtención de Dióxido de Manganeso y Dióxido de Titanio en Estructuras Orientadas al Tratamiento de Aguas”*

**Fecha de Titulación:** 08 de Abril de 2010.

## Doctorado

**1. Nombre:** Lorena Magallón Cacho

**Co-Directores de Tesis:** Yunny Meas Vong (CIDETEQ) y Dr. Guy Stremstoerfer (Ecole Centrale de Lyon, France).

**Asesor:** Dr. José de Jesús Pérez Bueno (CIDETEQ).

**Institución:**

- A) Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.
- B) Ecole Centrale de Lyon.

**Carrera:**

- A) Doctorado en Electroquímica.
- B) Docteur de L'Ecole Centrale de Lyon. Discipline: Génie des Matériaux.

**Título de Tesis:**

**A) "Desarrollo de Procesos Verdes para Modificar la Superficie del ABS previo a su Metalización".**

**B) "Développement de procédés "verts" pour modifier la surface d' ABS avant sa métallisation".**

**Fecha de Titulación:** 08 de Diciembre de 2009.

**2. Nombre:** Lluvia Marisol Flores Tandy

**Co-Director de Tesis:** Yunny Meas Vong (CIDETEQ) y Dr. José de Jesús Pérez Bueno.

**Institución:** Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Doctorado en Electroquímica.

**Título de Tesis:** "Formulación de recubrimientos anticorrosivos de matrices cerámicas compuestas para la protección del hierro y el acero industrial"

**Fecha de Titulación:** Febrero de 2011.

## CONGRESOS

**1. Modificación superficial del acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) por medio de fotocatalisis heterogénea (TiO<sub>2</sub>) para fines de metalizado autocatalítico vía electroless y JetMetal™, L. Magallón-Cacho, J. J. Pérez-Bueno, Y. Meas-Vong, G. Stremstoerfer. XXVIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales (SMCTSM), Boca del Río, Veracruz, México, del 29 de Septiembre al 03 de Octubre de 2008.**

**2. "Novel Photochromic Effect Amplified by the Nanosize of Titania Particles of a composite with Organic Polymers", Ll. M. Flores Tandy, J. J. Perez Bueno, Y. Meas Vong. Fifth International Topical Meeting on Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2008, November 24-26, 2008, Ciudad Universitaria, UNAM, D.F., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Nacional Autónoma de México.**

## OTROS RESULTADOS

Comentarios sobre equipo adquirido

A continuación se enlistan los equipos adquiridos, pero con recursos independientes al proyecto que han utilizado los estudiantes involucrados y se han usado en la obtención de resultados.

I. Dos termómetros infrarrojos para el montaje de un sistema diferencial de medida de la temperatura in-situ durante los depósitos de materiales sin contacto (para evitar alteración del proceso).

II. Una parrilla de calentamiento con agitación magnética para llevar a cabo la preparación de material, previamente a los depósitos.

III. Un non-break, ya que en nuestras instalaciones se sufre de frecuentes fallos de suministro eléctrico, lo cual tanto interrumpe la experimentación como daña los equipos.

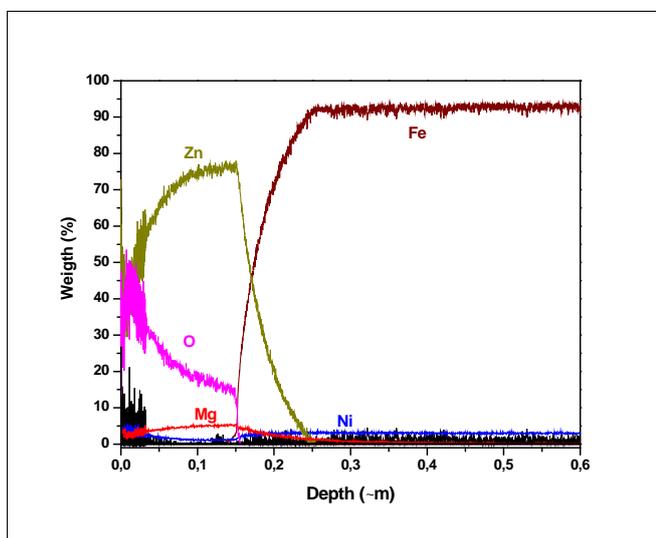
IV. Una punta de prueba de corrector coseno para coleccionar emisión (200 - 1100 nm) para acoplar a la fibra óptica de un espectrómetro Ocean-Optics. Esto permitirá usar el dispositivo en modo de reflectancia para medir in-situ el proceso de obtención de materiales.

## ANEXO

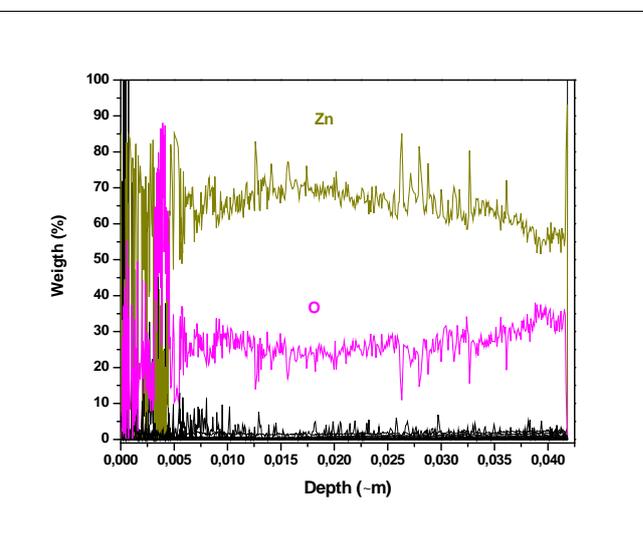
### Análisis realizados a los recubrimientos obtenidos.

En la experimentación, se probó con cuatro soluciones de diferentes metales: Mg, Zn, Ni y Ag coloidal. El objetivo fue establecer las condiciones de depósito adecuadas a utilizar después en la conformación de depósitos con estructura.

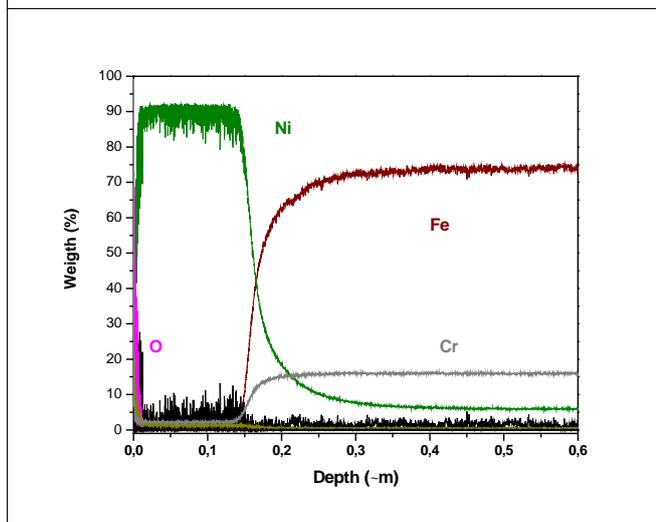
El análisis por GDOES o GDS (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy) provee un perfil de composición mediante la aplicación de un plasma de Argón que extrae átomos de la superficie de la muestra, los cuales después de superar una trampa de alto vacío, decaen con una emisión característica del elemento. El equipo cuenta con detectores para veinte elementos diferentes, algunos de los cuales tienen hasta dos detectores a diferentes longitudes de onda que optimizan la detección cuantitativa.



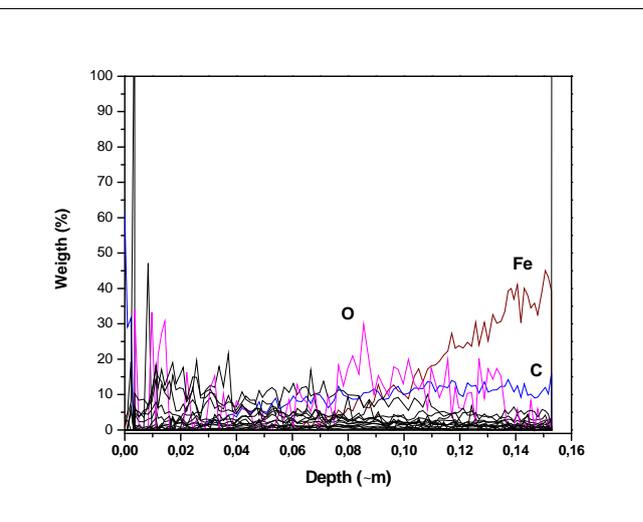
A) Perfil de composición de depósito de Mg.



B) Perfil de composición de depósito de Zn.



C) Perfil de composición de depósito de Ni.

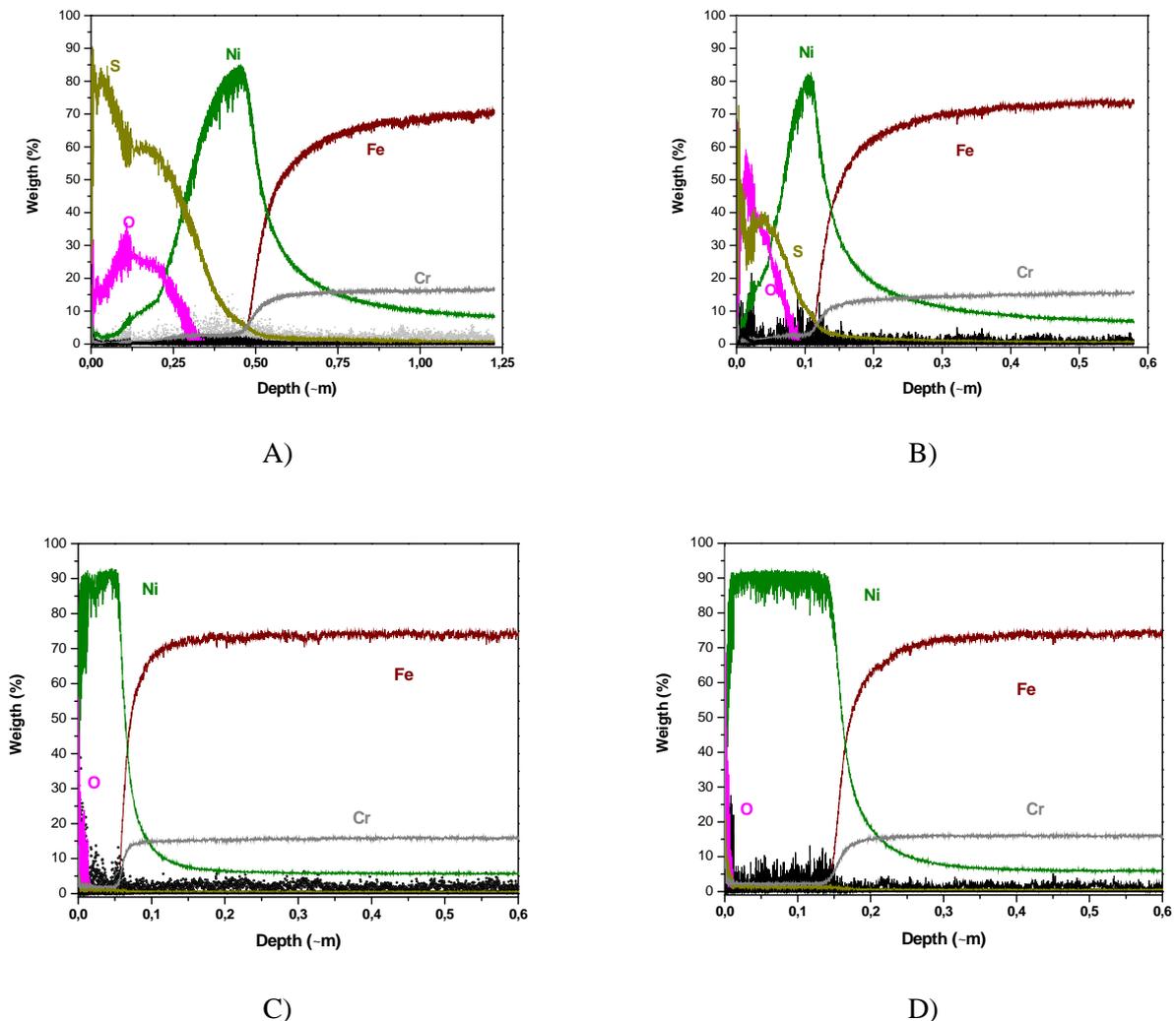


D) Perfil de composición de depósito de Ag coloidal. El equipo de GDS no cuenta con detector para el elemento plata.

En el caso del análisis del depósito en solución de plata coloidal, el equipo de GDS no cuenta con detector para el elemento plata. Por ello, en el perfil de composición química solo aparecen las impurezas en el recubrimiento y, a la derecha, elementos del sustrato.

Por otro lado, los depósitos de níquel se realizaron en soluciones de tanto de sulfamato como de cloruro de níquel. En la Figura 2 A) y B), se presenta el análisis de muestras de baño electrolítico con sulfamatos, y en las Figura 1 C) y D) de baño de níquel con cloruros.

En primer lugar se desea aclarar, que el comportamiento asintótico de las curvas, obedece al hecho de que la erosión de la muestra no es homogénea durante el análisis. En el área de análisis de 4 mm de diámetro, por ejemplo, se descubren algunos sitios del sustrato mientras aun puede haber secciones del área con remanentes del recubrimiento. En el caso de sulfamatos, el recubrimiento puede contener restos de la solución que en algunas muestras en la que se usaron potenciales suficientemente altos como para colateralmente realizar la electrólisis del agua, descomponiéndola en hidrogeno y oxígeno que en forma de burbujas se acumula en la superficie provenientes de los electrodos y que se arrastra al retirar las muestras.



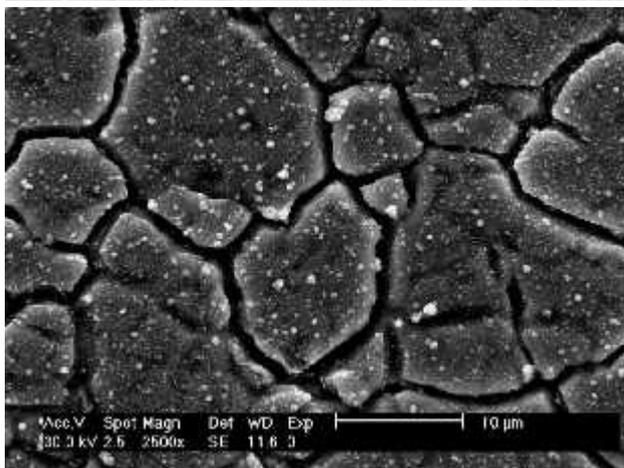
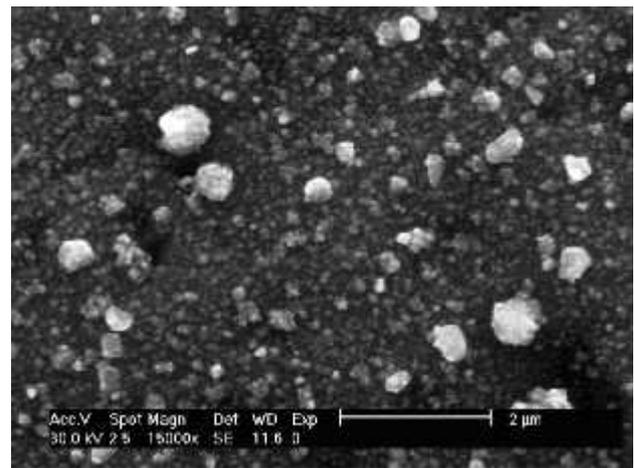
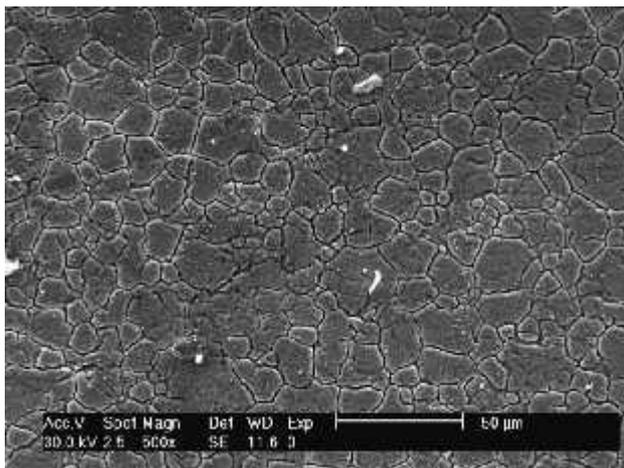
**Figura 2.** Perfiles de composición química por GDOES de muestras de depósitos de níquel con baño de sulfamatos, A) y B), y con baño electrolítico de cloruros, C) y D).

En el caso de los depósitos con sulfamatos de níquel, en los recubrimientos quedan azufre superficial ya que ha restos de la solución del baño electrolítico, misma que no se limpió para no alterar la forma original del

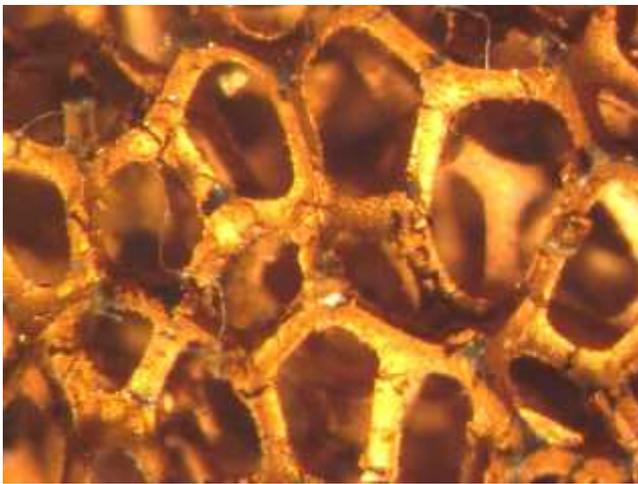
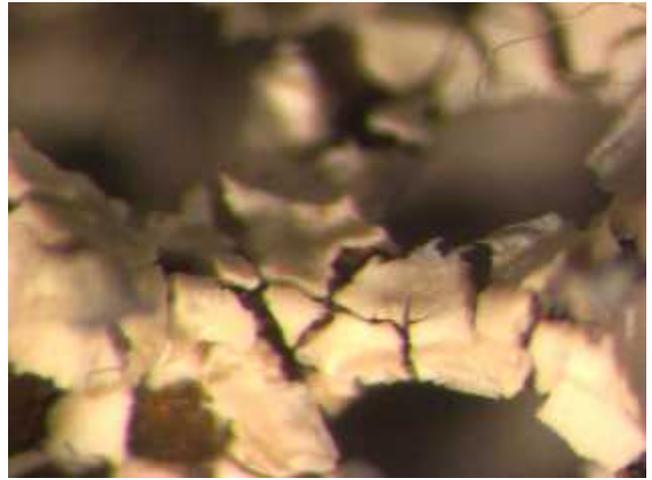
recubrimiento. Sin embargo, la apariencia del depósito es de níquel brillante que copia fielmente la superficie del sustrato a cualquier espesor del recubrimiento. Por otro lado, los depósitos con cloruro de níquel, aunque libres de azufre, por el contrario tienen una apariencia negra y es irregular en superficie, ocasionada por nucleaciones.

Se realizaron depósitos electroforéticos de nanopartículas de plata y de titanía, cuya topografía se puede ver en las Figuras 3, 4 y 5. Aunque se logro estructuras del tipo ópalos sintéticos y ópalos inversos, estas aún no tenían una conformación apta de usarse en las pruebas de electroforesis. Por ello se opto por realizar algunas pruebas con una malla de cobre, colocada en frente de una placa de acero. Esta disposición convirtió a la malla también en parte del electrodo. El depósito se realizó tanto en la malla como en la placa. Sin embargo, la apertura de la malla resulto demasiado grande para el propósito de estudio del arrastre electroforético en un medio poroso, y sin el control en la forma y dimensiones de la estructura, como fue el planteamiento para el ópalo inverso.

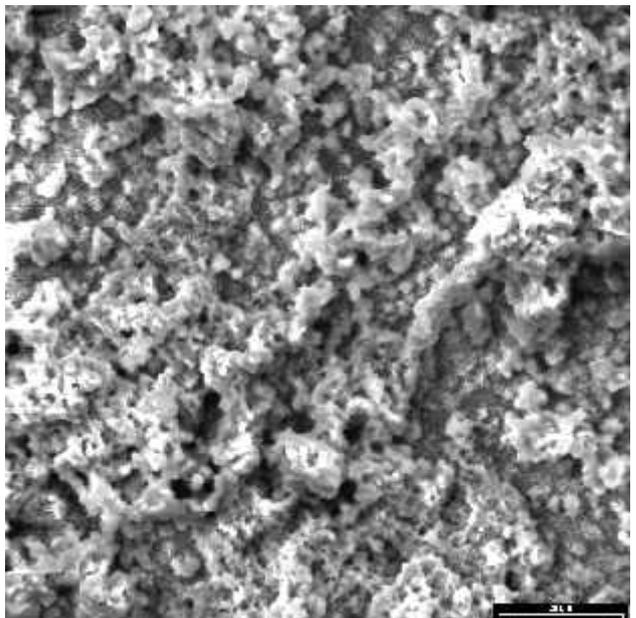
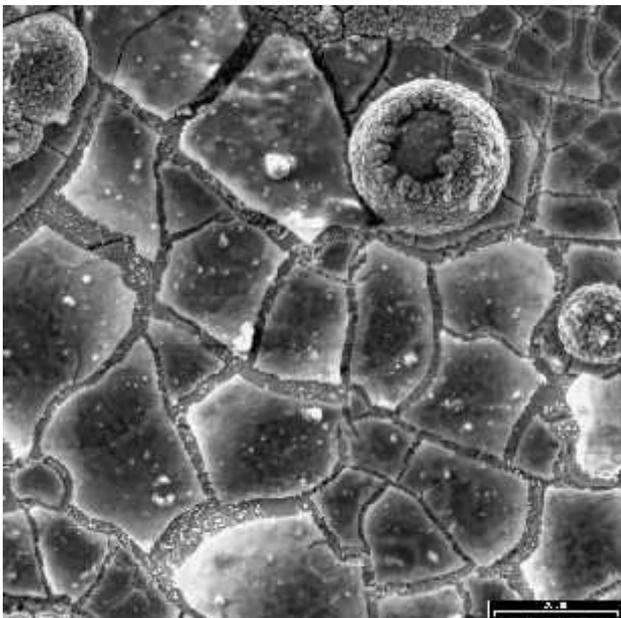
Se han tenido avances en la conformaciones de estructuras del tipo ópalos inversos, aunque se ha orientado a estructuras de mayor tamaño (1-4 milímetros) en estudios realizados para el depósito de partículas suspendidas en aire (proyecto de tesis de la alumna de Maestría: Maria Auxilio Aguayo Sánchez) así como la captación de iones metálicos presentes en aguas sobre MnO<sub>2</sub> y la fotocatalisis en depósitos electroforéticos de TiO<sub>2</sub> para la oxidación avanzada del colorante naranja de metilo (proyecto de tesis de Maestría de la alumna: Maria Guadalupe Almanza Martínez).

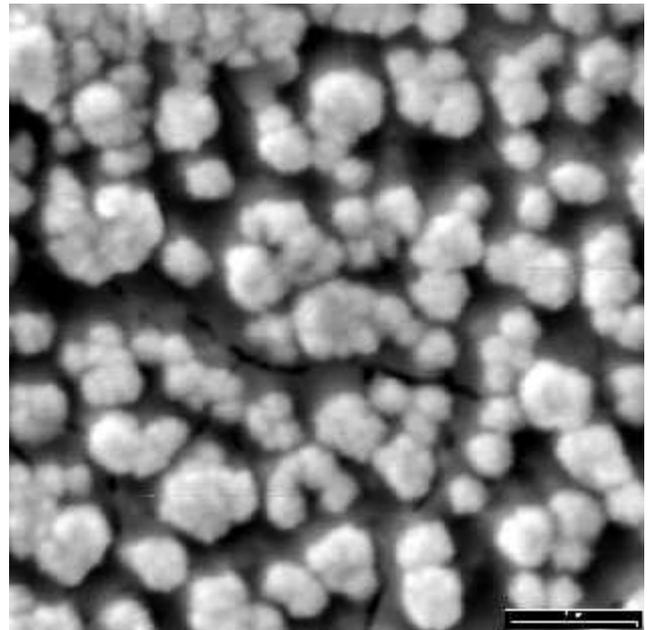
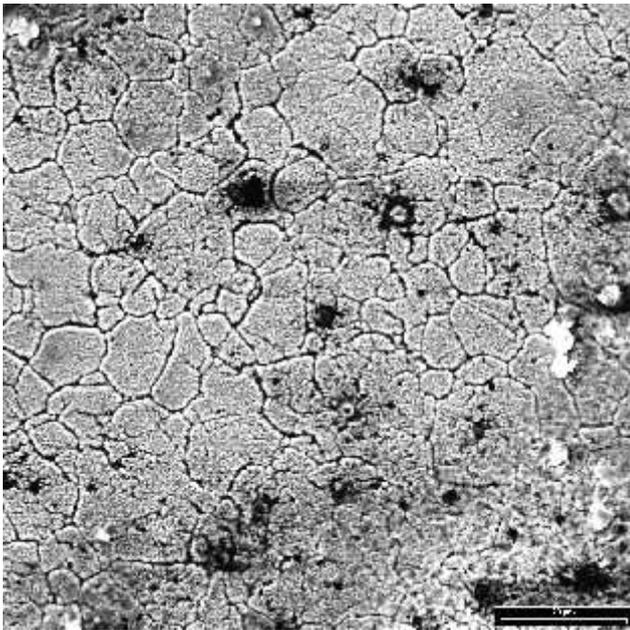


**Figura 3.** Micrografías de SEM de tres muestras con nanopartículas de plata depositadas por electroforesis.



**Figura 4.** Imagen superior izquierda: depósito de nanopartículas de plata vía electroforesis. Imagen superior derecha: depósito de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  vía electroforesis. Imagen inferior izquierda: malla de cobre usada como sustrato para el depósito de titanía.





**Figura 5.** Micrografías de SEM de muestras de depósitos electroforéticos a partir de soluciones coloidales de nanopartículas de titania .

## 01. Resumen del proyecto:

(Por favor considerar uso de lenguaje claro, conciso y preciso entendible a usuarios y miembros de la comisión de evaluación)

Respuesta:

### Descripción de Actividades

En el proyecto se propone la investigación en la obtención de nuevas conformaciones de estructura de materiales (en tamaños mili, micro y nanométricos), originalmente para contrarrestar la corrosión. Los tipos de estructuras son conocidos como ópalos sintéticos y ópalos inversos que confiere a los materiales un ordenamiento, ya sea como distribución en forma de esferas o en forma de huecos esféricos, respectivamente.

Se logró la preparación de ópalos sintéticos de: poliestireno y PMMA (~500 nm y 5 micras) en superficies de varios cm<sup>2</sup>, esferas de vidrio (1-4 mm), esferas de sílice gel (1-4 mm). Sobre ellas también se obtuvieron depósitos de: Níquel, zinc, plata, MnO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>.

Se logro la preparación de ópalos inversos de: Níquel (~500 nm y 5 micras), estaño (1-4 mm) en superficies de varios cm<sup>2</sup>. Además de MnO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub>, sobre estaño.

El reto en la preparación de estas estructuras de ópalos inversos es que se requiere de:

1. Las esferas que servirán de molde para la estructura, para las cuales a su vez deberá tenerse;
  - A) control de tamaño y en uniformidad de este,
  - B) homogeneidad en distribución sobre superficie,
  - C) control en la esfericidad de las partículas,
  - D) fácil preparación en gran número y a bajo costo,
  - E) fácil remoción, después del llenado con el material deseado.
2. Material de llenado, el cual deberá tener;
  - i) permeación en la estructura de esferas que compone al ópalo sintético (a menor tamaño de esfera y mayor número de capas, habrá mayor dificultad de penetración),
  - ii) buena fijación sobre el sustrato, para tener posteriormente buena adherencia,
  - iii) un llenado de alrededor del 50% de la estructura para que, posteriormente, posea una buena resistencia mecánica,
  - iv) resistencia al tratamiento posterior de remoción de esferas del ópalo sintético.
3. Remoción del ópalo sintético. Lo cual se lograra satisfactoriamente al cumplirse las anteriores condiciones. Adicionalmente, se requiere una conexión directa entre las esferas de ópalo sintético. Al retirar por disolución en ácido fluorhídrico algunas de las esferas exteriores, se tiene conexiones directas a la mayoría del resto de la estructura del ópalo sintético. El empaquetamiento de las esferas del ópalo, soporta las esferas superiores a través de puntos de contacto con las esferas inferiores, estableciendo conectividad a toda la estructura. Cada esfera en el interior del volumen, tiene doce primeros vecinos, de los cuales en forma hexagonal seis están en el mismo plano o capa, tres arriba y tres abajo. Por otro lado, el factor de

empaquetamiento depende incluso de la forma del contenedor, siendo diferente un contenedor cilíndrico a uno cubico. Si las partículas no son perfectamente esféricas, habrá distorsiones y en lugar de ser como un cristal (originalmente el concepto de uso de ópalos inversos viene de los cristales fotónicos - arreglos de huecos del tamaño de la luz visible de alrededor de media micra), serán como un material poroso irregular.

4. Finalmente, es deseable que la estructura tenga un proceso de preparación lo más sencillo posible, de bajo costo, adaptable a las especificaciones que requiere cada aplicación en particular y con un buen desempeño en las propiedades de la estructura y de los materiales.

Lo que se logra con tales estructuras es tener un control, ya sea en superficie o en el volumen de los materiales. Además, este control provee la mejor distribución posible, con la máxima área y una apertura total de los materiales en volumen. Toda la literatura científica al respecto, se enfoca únicamente en el uso de estas estructuras para obtener los metamateriales con la posible capacidad de índices de refracción negativos, útiles en optoelectrónica y en la industria textil para efectos ópticos.

En la propuesta de proyecto se mencionó la prueba del uso de CO<sub>2</sub> en estado supercrítico para la preparación de estos materiales. Al respecto, sí se realizaron depósitos de níquel y de zinc-níquel a manera exploratoria. Esto conlleva el haber superado la dificultad de requerir el aislamiento eléctrico que permita diferenciar ánodo y cátodo, a la par de manejar altas presiones en un reactor metálico (acero inoxidable 316L). Esto se logro realizar, sin obtener ventajas para la aplicación específica de preparación del tipo de estructuras buscadas. Los depósitos son más homogéneos, de menor tamaño de grano cristalino y, por ello, más resistente a la corrosión. Pero los recubrimientos en estas condiciones son de tamaños pequeños y difícilmente escalables.

Por otro lado, también en la propuesta se mencionó el uso de recubrimientos orgánico-inorgánicos conformados por una emulsión nanométrica de fases de estos tipos de materiales tan disimiles. Los recubrimientos híbridos ofrecen una adecuada protección contra la corrosión y aunque están constituidos de esferas (nm o micras) en una matriz, no se logro conformar estructuras del tipo ópalos sintéticos o inversos. Esto debido a que las esferas no tienen una conexión directa entre ellas, sino que se encuentran rodeadas en la mayoría de los casos, al menos por una película de la matriz envolvente. Esto no permite que se pueda retirar las esferas de la estructura por disolución, ya que disolver una no dará una vía directa para disolver al resto, como sucedió en las preparaciones hechas.

### **Observaciones:**

Diversas rutas de preparación de ópalos sintéticos y de ópalos inversos fueron probadas. Con ello, se logró la obtención de ambos tipos de estructura en tres niveles: sub-micrométrico (aproximadamente 500 nm), micrométrico (5 micras) y milimétrico (1-4 mm). Sin embargo, las dificultades en su obtención, las características y la naturaleza de los materiales, y sobre todo el tipo mismo de estructura, presentan desventajas en el uso de este tipo de estructuras para solucionar el problema de corrosión en comparación a otros procedimientos.

Por otro lado, este tipo de conformación de los materiales (extrapolable a prácticamente cualquier tipo, habiendo reportes en optoelectrónica desde metales a superconductores) ha presentado un gran potencial de uso en el ámbito de ingeniería ambiental. Habiéndose logrado ventajas en su

uso en la purificación tanto de agua como de aire. Para ello, destaca por brindar una mayor área efectiva con la posibilidad de ajustar la apertura de la estructura de acuerdo a los requerimientos de la aplicación. También, por servir de sustrato para la colocación de recubrimientos funcionales con diferentes posible propósitos (e.g., adsorción o descomposición de contaminantes). Esto al lograrse buenas adherencias y homogeneidad en la distribución.

Por lo anterior, en el proyecto se exploró la obtención y prueba en laboratorio de conformación de materiales en estructura de tipo ópalos sintéticos y ópalos inversos con la finalidad de aplicación para corrosión, tratamiento de aguas y aire. Por los resultados, el potencial de uso es promisorio solo en los dos últimos casos. Al no obtenerse estructuras útiles para proteger contra la corrosión no pudo hacerse la vinculación con el sector usuario. La posible aplicación en la ingeniería ambiental requiere mejora de la calidad en los procesos de obtención, la conformación de prototipos, pero tales estructuras poseen el potencial de generar prototipos para beneficio de los usuarios.

## 1. Resultados de la Investigación

Metas y objetivos alcanzados

Metas: (Mencionar las metas originales del proyecto y cuales se alcanzaron)

### Metas originales del proyecto

- A. Obtención de ópalos inversos y electrodepositos de zinc en este tipo de estructura.
- B. Obtención de ópalos inversos de zinc y aleaciones y estudiar el proceso de *depósito in situ* con técnicas diferenciales.
- C. La obtención de estructuras de depósitos a condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> anti-solvente.
- D. Evaluar el desempeño de los materiales desarrollados en el retraso del fenómeno de corrosión.

Cada una de estas metas se cumplió. Sin embargo, el resultado en el desempeño ante corrosión presenta desventajas. En el resumen del proyecto se hace una breve descripción de estos y otros resultados. En caso de ser requerido, las tesis de licenciatura, Maestría, Doctorado e informe de estancia Posdoctoral que abarcan los varios aspectos del proyecto, hacen un recuento detallado de materiales, metodologías, alcances y limitaciones.

## 2. Objetivos:

(Mencionar los objetivos originales del proyecto y cuales se alcanzaron)

### Respuesta:

#### Objetivos originales del proyecto

- A. Montaje del sistema experimental.

- B. Síntesis de micro y nanopartículas de sílice y polímero (e.g., poliestireno). Formación de arreglos ordenados de estas partículas y la conformación de ópalos inversos. electrodeposición de zinc.
- C. Experimentación en la modificación de estructuras de ópalos inversos de zinc. Montaje de técnicas diferenciales y la medida *in situ* de procesos de depósito. Realización de estudios en la variación de parámetros de las pruebas a condiciones supercríticas para la obtención de estructuras tridimensionales no ordenadas.
- D. Obtención de muestras de los materiales desarrollados en sustratos de prueba (aceros al carbono e inoxidables) y su evaluación. Se someterá a prueba de cámara de niebla salina. Se analizará con impedancia electroquímica y se hará la voltamperometría para su caracterización. Se llevará a cabo una exposición a atmósfera marina en las instalaciones de la universidad veracruzana en el puerto de Veracruz.

Se cumplieron los objetivos A, B, C y D, con la excepción de la segunda parte de éste último. En este caso, no se logró dado que las estructuras presentan desventaja en protección galvánica respecto a los ánodos de sacrificio y a que no tuvieron compatibilidad para combinar una protección de barrera física y estructura con protección galvánica. Adicionalmente, los recubrimientos híbridos si tuvieron buen desempeño como barrera física y se realizó las medidas de impedancia y cámara de niebla salina (no exposición a ambiente marino), pero no se logro hacer ópalos inversos con ellos.

#### **Observaciones:**

En general se cumplió con las metas y objetivos, se lograron las estructuras propuestas a través de diferentes metodologías. Sin embargo, la aplicación de protección contra la corrosión no es eficiente para estos tipos de estructuras, pero en cambio los materiales híbridos son buenas barreras físicas y de fácil colocación, otras propiedades se les pueden conferir, pero aún no se optimizan costos, su preparación es delicada y hay desprendimiento de VOCs (compuestos orgánicos volátiles). Adicionalmente, los recubrimientos híbridos, al ser de naturaleza orgánica e inorgánica, son en ocasiones de difícil remoción (requiere abrasión o el uso conjunto de solventes y ácidos) y en otros casos, por el contrario, su adherencia está comprometida por la delaminación ante la acción del agua en bordes.

### **MX\_SEC49**

#### **01. Contribución técnica del proyecto:**

Describe las contribuciones del proyecto al avance del conocimiento en el área de estudio.

#### **Respuesta:**

1. El uso de las estructuras de ópalos sintéticos e inversos, surge de la investigación científica en el tema de cristales fotónicos, sin ningún otro propósito. Por ello, en parte la aportación yace en proponer usos alternativos, aprovechando el área efectiva que se brinda.

2. En el proyecto, se ha evidenciado el gran potencial del uso de este tipo de estructuras en ingeniería ambiental. El área efectiva es óptimamente empleado para el soporte de recubrimientos con propósitos específicos como el caso de  $MnO_2$  para adsorción de iones metálicos presentes en agua,  $TiO_2$  para fotocatalisis y descomposición de moléculas orgánicas contaminantes del agua, y en eficientizar la capacidad de retención de partículas suspendidas en aire al usarse estas estructuras en la modificación de electrodos de precipitadores electrostáticos domésticos. El hecho de que las estructuras sean ordenadas podría ser de utilidad pero no es un requisito.

### **Observaciones:**

Se contribuye en la identificación de algunas metodologías que permiten la obtención de estas estructuras, dentro de las cuales se puede mejorar la calidad y extensión de ellas. Los logros no se encuentran en la línea originalmente propuesta de corrosión, ya que no es competitivo el costo-beneficio. La modificación de superficie y el control y acceso al volumen de los materiales brinda alternativas a los ampliamente utilizados materiales porosos como el carbón activado, los materiales sol-gel, los reservorios para liberación de fármacos, etc.

## **MX\_SEC50**

**1. Indique si estas contribuciones:** Son únicas (innovación)

Sí, en el control de la estructura en lugar de porosidad de los materiales.

**2. Permitirán la generación de patentes**

Respuesta:

Sí. Se planea llegar a diseñar un prototipo de precipitador electrostático para aire y uno de tratamiento de aguas.

**3. Representan una mejora gradual.**

Respuesta:

Sí. Se mejora el área efectiva, no la función de los materiales.

#### **4. Van a presentarse en revistas especializadas**

Respuesta:

Sí, de manera gradual, una vez que ya se han completado y se han presentado las tesis.

#### **5. Congresos**

Respuesta:

Sí. Se han presentado trabajos en diversos congresos.

#### **6. Simposios**

Respuesta:

No, hasta el momento.

#### **7. Foros**

Respuesta:

No, hasta el momento.

Observaciones:

Existe un potencial en el uso de estas estructuras, las metodologías empleadas y diversidad de materiales en tales conformaciones. Sobre todo, mejora gradual en tecnologías preexistentes al brindar acceso al uso de área interna de los materiales.

## MX\_SEC51

### 1. Productos de la investigación

(Mencionar cuales fueron los productos comprometidos y cuales los obtenidos.)

Respuesta:

#### Productos propuestos del proyecto

- A. Montaje de arreglo experimental.
- B. Reportes Técnicos.
- C. Elaboración de manuscrito para publicación.
- D. Reporte de acercamiento con usuarios potenciales.
- E. Prototipos o ejemplos de casos de usuarios potenciales con la implementación del desarrollo tecnológico generado.

A-B. Se realizaron el montaje experimental y los reportes de etapas.

C. Se tiene los resultados de las tesis, los análisis y discusiones correspondientes. Se tiene planeado la publicación de resultados en el transcurso del siguiente año.

D. Derivado de los resultados no se realizó un acercamiento a usuarios en la línea de corrosión. Sin embargo, en el ámbito de tratamiento de aguas y aire, se solicito a dos empresas en el área geográfica de la institución proponente el acceso a muestreo y prueba con purificación de aire.

E. No se cuenta aún con un diseño de prototipo. No obstante, si hay la intención de realizar uno para tratamiento de aguas y otro para aire.

#### Observaciones:

Se tuvo una importante formación de recursos humanos durante el desarrollo del proyecto: Licenciatura, Maestría, Doctorado y Posdoctorado. También, la participación en congresos. Aún cuando esto no fue parte de los productos propuestos, permitió avances que eventualmente ha de concretarse en publicaciones y patentes. Los resultados permitirán que los logros obtenidos se puedan reflejar en la implementación de desarrollos tecnológicos con usuarios en las áreas de tratamiento de aguas y aire.

## MX\_SEC52

### 1. En caso de desviaciones explicar motivos e impacto de éstas.

(Adjuntar al informe todo aquello que evidencie los productos y sus características.)

Respuesta:

La dificultad de obtención de las estructuras, en los tamaños originalmente trabajados, y de acuerdo a la literatura existente, dificultaron los avances. Finalmente, las estructuras no tienen hasta el momento la capacidad de ser usadas con la línea propuesta de protección a la corrosión. Esto derivó en tener que proponer aprovechar con otros fines las ventajas de los materiales obtenidos y sus características. Por estas últimas, se enfocó en posibles aplicaciones que requieren maximizar el área expuesta. Se comprobó la utilidad en el tratamiento de agua y aire. El impacto fue en la limitada interacción con posibles usuarios, ya que se realizaron pruebas en campo, pero de manera exploratoria.

Observaciones:

En el caso de tratamiento de aguas, se requiere aún pruebas y optimizaciones bajo condiciones similares que la operación en campo. Sobre todo en la resistencia de los recubrimientos al flujo de agua por periodos prolongados. Así como a la evaluación de durabilidad, limpieza y reutilización de materiales.

**MX\_SEC53**

**1. Formación de recursos humanos**

Mencionar Estudiante, Grado y Situación del trámite.

(Anexar copias de los documentos que avalan la información.)

Respuesta:

Se tuvo la siguiente participación en la formación de recursos humanos:

**Tesis**

**Licenciatura**

1. **Nombre:** Juliana Itzel Vázquez Mejía

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Síntesis de microesferas para la formación de ópalos sintéticos y posterior conformación de ópalos inversos aplicados a la prevención de la corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

2. **Nombre:** Daniel Torres Torres

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Desarrollo de nuevos materiales con microestructura a partir de ópalos inversos para tecnología aplicada a la protección contra corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

3. **Nombre:** Griselda Solórzano Soto

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Estudio de Electroforesis empleando electrodos modificados con ópalos inversos conductores (metales) y no-conductores (óxidos metálicos)”*.

**Fecha de Titulación:** Por créditos de Maestría.

4. **Nombre:** Georgina Edith Fernández Sánchez

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Desarrollo de Nuevos Materiales con Estructura del Tipo Ópalos Inversos para Nanotecnología Aplicada a la Protección Contra Corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Por créditos de Maestría.

## Maestría

1. **Nombre:** Maria Auxilio Aguayo Sánchez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Modificación de Electrodos con Estructuras Tipo Ópalo Inverso con potencial uso en el Depósito de Partículas Suspendidas en Aire”*

**Fecha de Titulación:** 17 de Diciembre de 2009.

2. **Nombre:** Maria Guadalupe Almanza Martínez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Estudio sobre la Obtención de Dióxido de Manganeso y Dióxido de Titanio en Estructuras Orientadas al Tratamiento de Aguas”*

**Fecha de Titulación:** 26 de Febrero de 2010.

## **Doctorado**

1. **Nombre:** Lluvia Marisol Flores Tandy

**Co-Director de Tesis:** Yunny Meas Vong (CIDETEQ).

**Institución:** Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Doctorado en Electroquímica.

**Título de Tesis:** *“Formulación de recubrimientos anticorrosivos de matrices cerámicas compuestas para la protección del hierro y el acero industrial”*

**Fecha de Titulación:** Febrero de 2011.

## **Estancia Posdoctoral**

1. **Nombre:** Guadalupe Barreiro Rodríguez.

**Institución:** Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Título de Proyecto:** *“Acondicionamiento y Experimentación en un Sistema de Reacción a Condiciones de CO<sub>2</sub> Supercrítico que permita la Estabilización de Fases en Emulsión, Obtención de Depósitos Metálicos y el Seguimiento in situ del Proceso”*

**Fecha de Permanencia:** Enero a Diciembre de 2009.

2. **Explicar la situación de estudiantes que no obtuvieron el grado comprometido.**

Respuesta:

En los casos de Georgina Edith Fernández Sánchez y de Griselda Solórzano Soto, no se presentó tesis debido a su ingreso al programa de Maestría en electroquímica del CIDETEQ, inmediatamente al término de su año de participación en el proyecto, y el uso del recurso de graduación por la opción de créditos de Maestría. En el primer caso, tuvo un año de incapacidad por lesiones en cuello por un accidente automovilístico, al término del cual se ha reintegrado al programa de Maestría.

En el caso de la estudiante de doctorado Lluvia Marisol Flores Tandy, el retraso hasta el momento de dos años en su graduación, ha sido por factores personales (dos embarazos, divorcio, etc.)

### 3. Colaboración interinstitucional y multidisciplinaria

Describe el grado de colaboración entre las instituciones participantes

Respuesta:

Hubo un limitado trabajo compartido interinstitucional entre la Universidad Veracruzana y el CIDETEQ, ocasionado por la distribución de tareas de acuerdo a las áreas de investigación. El trabajo a través de los alumnos de la Universidad Veracruzana permitieron durante la mitad de proyecto establecer las metodologías y alcanzar los logros de las primeras tres etapas. Sin embargo, con base en los resultados, la línea de corrosión se cambió, lo cual se prescindió de realizar las pruebas de exposición a corrosión en atmósfera marina. Esto estaba planeado realizarse en el puerto de Veracruz.

No obstante ello, los resultados en el tratamiento de agua y una tesis de Maestría que inicia en el presente año, continuará la colaboración con MICRONA, U. Veracruzana. Adicionalmente, de acuerdo a convenio de colaboración entre las instituciones, se transferirá la infraestructura adquirida a ésta institución, que consta de un potenciostato-galvanostato (con un costo de aproximadamente el 60% del presupuesto del proyecto). Esto acercará las áreas de investigación y la interacción interinstitucional.

### 4. Grupo de trabajo, indicando la contribución de cada uno de ellos al cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Respuesta:

**Responsable Técnico:** Dr. José de Jesús Pérez Bueno (CIDETEQ, S.C.).

Presentación de informes, dirección de tesis y participación en congresos.

**Co-responsable:** Dr. Leandro García González (MICRONA, Universidad Veracruzana).

Presentación de informes y contribución en tesis de Licenciatura.

**Estancia Posdoctoral:** Dra. Guadalupe Barreiro Rodríguez.

Montaje experimental de reactor de fluidos supercríticos. Depósito de níquel, plata, y níquel-zinc en CO<sub>2</sub> supercrítico.

**Estudiante de Doctorado:** M.C. Lluvia Marisol Flores Tandy.

Recubrimientos híbridos orgánico-inorgánicos, pruebas de cámara de niebla salina, evaluación de corrosión por Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.

**Estudiante de Maestría:** I.Q. Maria Auxilio Aguayo Sánchez (PICYT, CIDETEQ).

Obtención de ópalos sintéticos y ópalos inversos. Pruebas de estructuras en captación de partículas suspendidas en aire con tales estructuras. Inicio de prototipo de precipitador electrostático.

**Estudiante de Maestría:** I.Q. Maria Guadalupe Almanza Martínez (PICYT, CIDETEQ).

Obtención de ópalos sintéticos y ópalos inversos. Pruebas de tratamiento de aguas. Depósito de MnO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> sobre ópalos inversos de estaño.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Georgina Edith Fernández Sánchez (ITD).

Síntesis de esferas de poliestireno y PMMA de 0.5 micras por polimerización en emulsión. Obtención de estructuras de ópalos. Depósitos de níquel y zinc. Pruebas de corrosión por Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Griselda Solórzano Soto (ITD).

Síntesis de esferas de poliestireno y PMMA de 0.5 micras por polimerización en emulsión. Obtención de estructuras de ópalos. Estudios de depósito electroforético de TiO<sub>2</sub> y plata coloidal.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Daniel Torres Torres (UV).

Obtención de estructuras de ópalos inversos de níquel por electrodeposición.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Juliana Itzel Vázquez Mejía (UV).

Síntesis de esferas de poliestireno y PMMA de 0.5 micras por polimerización en emulsión.

## 5. Impacto de la investigación en los sectores usuarios

Productos de la investigación transferidos a los usuarios

Productos de la investigación comprometidos que han sido transferidos a los usuarios de la investigación, así como a los que surgieron durante la ejecución del proyecto.

(Soportar documentalmente la entrega de estos productos.)

Respuesta:

Se realizó visitas y pruebas en plata para el uso de precipitadores electrostáticos en la purificación de aire. Sin embargo, el estado de la investigación no permitió la transferencia a usuarios.

## 6. Mecanismos de transferencia utilizados

Describa los mecanismos de transferencia de los productos de la investigación al usuario y como promovió e implantó las acciones requeridas para dar respuesta al problema abordado.

Respuesta:

Se resolvió las dificultades en la obtención de las estructuras propuestas. Sin embargo, el estado de la investigación no permitió la transferencia a usuarios.

## 7. Beneficio potencial del proyecto

Precisar el beneficio económico y/o social del proyecto, tanto en el sector usuario comprometido como en los sectores usuarios que potencialmente podrían beneficiarse de los resultados del proyecto. Utilizar preferentemente indicadores cuantitativos que muestren con claridad el impacto del proyecto, comparándolos con lo comprometido.

Beneficio económico y/o social (descripción)

Respuesta:

Se encuentran en desarrollo prototipos que usan las estructuras propuestas. Se cambio el área de atención de problemática al ámbito ambiental. Por ello, se cuenta actualmente solo con el potencial de desarrollos tecnológicos aplicables a futuro. Actualmente, no hay un beneficio económico cuantificable e impacto social, abarca únicamente el desarrollo de capital humanos de alto nivel, en forma directa e indirecta. Esta última, ya que los cuatro alumnos de licenciatura se encuentran actualmente en activo en el programa de Maestría en Electroquímica del CIDETEQ.

## 8. Indicadores: (Hacer mención de lo comprometido y lo obtenido)

Se sobreentiende que el beneficio real sólo se dará si el usuario implanta las acciones pertinentes para resolver el problema. Por otra parte, es muy probable que al finalizar el proyecto se pueda establecer con mayor precisión su impacto socioeconómico, el cual puede diferir de las estimaciones originales.

Respuesta:

### Indicadores propuestos del proyecto

- A. Montaje de arreglo experimental.
- B. Reportes Técnicos.
- C. Elaboración de manuscrito para publicación.
- D. Reporte de acercamiento con usuarios potenciales.

E. Prototipos o ejemplos de casos de usuarios potenciales con la implementación del desarrollo tecnológico generado.

Se generó las capacidades de infraestructura y de metodología para la conformación de estructuras del tipo ópalos sintéticos y ópalos inversos de diversos tipos de materiales.

Se tuvo la graduación de dos alumnos de Maestría, dos alumnos de Licenciatura y una estancia Posdoctoral. Adicionalmente, la participación de otros dos alumnos de Licenciatura y uno de Doctorado.

Se presentaron siete trabajos en Congreso.

Se presentaron tres memorias de congreso en extenso con registro ISBN.

Se tiene dos tesis de licenciatura, dos de Maestría, un reporte de estancia Posdoctoral, una tesis de doctorado en escritura.

Derivado de los resultados no se realizó un acercamiento a usuarios en la línea de corrosión. Sin embargo, en el ámbito de tratamiento de aguas y aire, se solicitó a dos empresas en el área geográfica de la institución proponente el acceso a muestreo y prueba con purificación de aire.

Se tiene solo una primera fase de un diseño de prototipo. No obstante, si hay la intención de realizar uno para tratamiento de aguas y otro para aire.

## **9. Compromisos asumidos por los usuarios**

Indique los compromisos, programas y/o acciones que los usuarios llevarán a cabo para implantar los resultados de la investigación.

(Adjuntar la información de soporte correspondiente.)

Respuesta:

No se realizó una transferencia a usuarios, por limitación y cambio de potencial sector usuario derivado de los resultados. Por ello, no hay compromisos de usuarios. Se propone a MICRONA de la Universidad Veracruzana, como beneficiaría de la infraestructura adquirida, desarrollando capacidades para una siguiente fase que permita transferir el desarrollo que se origine con el proyecto a usuarios en la entidad.

## **10. Observaciones a la evaluación de los usuarios**

Indique la apreciación y nivel de satisfacción que tienen los usuarios de la investigación de los resultados del proyecto.

Respuesta:

Se enfatiza la limitante que los resultados dieron en la línea originalmente propuesta y el enfoque al área de ambiental con potencial uso de desarrollos del proyecto. Se contempla la colaboración a futuro de las instituciones que permita llevar a implementación desarrollos originados en el proyecto.

### **11. En caso de no ser favorable, explicar las causas que impidieron cumplir las expectativas del usuario.**

Respuesta:

La limitante que en la experimentación se dio, en el área originalmente propuesta, acoto las acciones de implementación.

### **12. Aplicación de los recursos financieros**

Resumen financiero

Presentar en el formato anexo la información financiera del proyecto, explicando los cambios de partida y la comprobación aprobada por el Secretario Administrativo del Fondo.

Respuesta:

Adicional al informe financiero, se desea comentar que con base en convenio entre las instituciones, se transferirá la infraestructura adquirida a ésta institución, que consta de un potencióstato-galvanostato (con un costo de aproximadamente el 60% del presupuesto del proyecto, incluyendo software adicional requerido para análisis originalmente proyectados).

### **13. Resumen de aportaciones complementarias**

Respuesta:

No hubo aportaciones complementarias.

### **14. Recomendaciones**

Para la implantación de las acciones derivadas de la investigación

Enuncie las ideas, sugerencias y/o los aspectos necesarios de tomar en consideración por los usuarios, con el objeto de asegurar la correcta implantación de las acciones derivadas del proyecto.

Respuesta:

No hay recomendaciones a usuarios.

## 15. Para la difusión de los resultados

Indique los sectores y/o instituciones de la región y de fuera de la región que podrían ser usuarios potenciales de los resultados de la investigación, a los cuales sería conveniente hacerles llegar la información generada.

Respuesta:

Se ha presentado en congresos resultados derivados el proyecto. Se plasmará en publicaciones internacionales análisis y discusión de resultados. Se procurará completar dos prototipos con el uso de estructuras de ópalos inversos para tratamiento de agua y aire.

No se tiene identificado sectores y/o instituciones de la región y de fuera de la región que podrían ser usuarios potenciales de los resultados de la investigación en el estado actual del desarrollo. Se requerirá futuros trabajos que consoliden en desarrollos tecnológicos la investigación realizada.

Trabajos presentados en Congreso:

1. **“Composito de Resina Acrílica/Sol-Gel de Titania y Potenciales Aplicaciones”**, Lluvia Marisol Flores Tandy, José de Jesús Pérez Bueno, Yunny Meas Vong. Participación en la 3ª Convención Nacional y Primer Concurso Centro y Sur Americano de Innovación Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2007, realizado los días 28 y 29 de Noviembre de 2007 en la Ciudad de Puebla, Pue., México. Organizado por el CONCYTEP (Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla).
2. **“Preparing Macro-, Micro- and Nano-scopic Spheres of Polymers and SiO<sub>2</sub> for Obtaining Inverse Opals”**, D. Torres Torres, J. I. Vázquez Mejía, J. J. Pérez Bueno. Fourth International Topical Meeting on, Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2007, November 12-14, 2007, Monterrey, N.L., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
3. **“Obtaining Micro and Nanospheres of Organic-Inorganic Hybrids for Preparation of Inverses Opals”**, J. I. Vázquez Mejía, D. Torres Torres, J. J. Pérez Bueno. Fourth International Topical Meeting on, Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2007, November 12-14, 2007, Monterrey, N.L., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Autónoma de Nuevo León.
4. **“Novel Photochromic Effect Amplified by the Nanosize of Titania Particles of a composite with Organic Polymers”**, Ll. M. Flores Tandy, J. J. Perez Bueno, Y. Meas Vong. Fifth International Topical Meeting on, Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2008, November 24-26, 2008, Ciudad Universitaria, UNAM, D.F., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Nacional Autónoma de México.
5. **Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales**, M. G. Almanza Martínez y J. J. Pérez Bueno. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México.
6. **Síntesis y evaluación de electrodos de diferentes tipos de superficie para depósito de partículas suspendidas en aire**, M. A. Aguayo Sánchez y J.J. Pérez Bueno. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México.

7. **“Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales”**, M. G. Almanza Martínez, J. J. Pérez Bueno, José Carlos Rubio Avalos, 6° Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la UMSNH. Morelia, Michoacán, México, del 02 al 04 de Diciembre de 2009.

Memorias en Extenso:

1. M. G. Almanza Martínez y J. J. Pérez Bueno. ***Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales***. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México. p.p. 1442 – 1447. **ISBN: 978-970-764-874-6**
2. M. A. Aguayo Sánchez y J.J. Pérez Bueno. ***Síntesis y evaluación de electrodos de diferentes tipos de superficie para depósito de partículas suspendidas en aire***. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México. p.p. 1448 – 1453. **ISBN: 978-970-764-874-6**
3. ***“Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales”***, M. G. Almanza Martínez, J. J. Pérez Bueno, José Carlos Rubio Avalos, Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales Vol. 6, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la UMSNH. Morelia, Michoacán, México. **ISBN 970-9798-05-7**.

Observaciones:

La prorroga otorgada que extendió el periodo de ejecución del proyecto, ha permitido generar avances del uso de las estructuras bajo investigación en el área de ambiental. En el estado actual, se considera viable concretar eventualmente dos desarrollos que puedan ser evaluados por usuarios. También, se presentaron en el periodo, dos tesis de Maestría y se tuvo una estancia posdoctoral que permitió el cumplimiento del objetivo de pruebas de depósito en condiciones de CO<sub>2</sub> supercrítico.



# Captura de Informe Técnico

Etapa: 002

**Fondo:** I0002 Fondo Institucional

**Proyecto:** 000000000052092

**Título:** Estudio de Cristales Fotónicos Coloidales y Mesoestructuras de Polímeros Híbridos Orgánico-Inorgánicos por Electrodepositos Metálicos y Electroforesis.

**ID Usuario:** X\_jperez21946 Perez Bueno Jose de Jesus

**Formato:** INFTEC\_AC\_01 INFORMES TÉCNICOS APOYOS COMPLEMENTARIOS

**Estado del Documento:** En Proceso

**Sección:** INFTEC\_AC INFORME TÉCNICO APOYOS COMPLEMENTARIOS

---

01. Capture aquí el resumen de este informe. (10,000 CARACTERES)

El proyecto consiste en lo siguiente:

**Objetivo General:** Obtención de estructuras de ópalo inverso cristalinas y amorfas con la infiltración por electrodepositos de metales y electroforesis de especies con carga neta, así como su análisis por técnicas electroquímicas y diferenciales.

### Objetivos Particulares

1. Obtención de cristales fotónicos coloidales, en un diseño ya construido de un dispositivo con humedad controlada para su depósito.
2. Obtención de ópalos inversos amorfos y cristalinos mediante electroforesis habiendo diseñado y construido un equipo para este fin.
3. Montaje y uso de dispositivo de reflectancia diferencial acoplado al de cristales fotónicos.
4. Experimentación en contenedor de 40 ml para pruebas en condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> líquido.
5. Estudio de las propiedades y características de los materiales obtenidos por estas vías.

Las actividades planeadas para la segunda etapa fueron:

1. Obtención de ópalos inversos amorfos.
2. Uso de dispositivo existente de fotoacústica diferencial para monitorear depósitos metálicos, en ópalos inversos amorfos.
3. Análisis de propiedades de depósitos (híbridos, orgánicos y metálicos).
4. Pruebas en condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> líquido anti-solvente.
5. Microestructura y composición (SEM, AFM, GDS, etc.)
6. Uso de técnicas electroquímicas para la evaluación de cristales fotónicos en electrodos
7. Análisis diversos en recubrimientos obtenidos
8. Graduación tentativa de Alumnos Participantes
9. Asistencia a congreso
10. Publicaciones internacionales
11. Presentación de informes

## Informe de Etapa.

En la segunda etapa del proyecto (semestre II-2008) se realizó lo siguiente:

1. Obtención de ópalos inversos amorfos.
2. Análisis de propiedades de depósitos (híbridos, orgánicos y metálicos).
3. Microestructura y composición (SEM, AFM, GDS, etc.)
4. Pruebas en condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> líquido anti-solvente.
5. Pruebas en condiciones supercríticas con ópalos inversos amorfos e híbridos.

En el documento anexo se detallan algunos resultados, presentando graficas e imágenes de la caracterización de muestras obtenidas en la experimentación.

Se ha logrado parcialmente la obtención de ópalos inversos, mediante algunas vías alternativas con diferentes grados de éxito. Gran parte de la experimentación en el proyecto se centró en la preparación y control de las esferas de polímeros, las cuales tienen un tamaño aproximado de media micra. El tamaño se logró incrementar hasta algunas decenas de micras, haciendo modificaciones en el proceso de polimerización en emulsión. Estas esferas se depositaban en sustrato de acero mediante la técnica de recubrimiento por rotación (spin coating), la cual permite un gran control en la homogeneidad y la obtención de muestras relativamente de gran área. No obstante esto, se tuvo dificultad en aumentar el número de capas, en estas estructuras del tipo ópalos sintéticos. El proceso de decantación comúnmente usado en la literatura, tiene también limitante en el número de capas que logra obtenerse ya sea en la conformación de ópalo inverso desordenado u ordenado (cristal fotónico).

El número de capas en el ópalo inverso fue de interés dado que ello nos permitiría construir una estructura con control del área interna y su interconectividad. Su conformación permite además, estudiar procesos de depósito electroforético cuando al electrodo se le sobrepone un medio poroso controlado, conductor o no conductor. Se realizaron algunas pruebas preliminares con malla de cobre colocada sobre el electrodo de acero, esta fungió como extensión porosa del mismo electrodo. El depósito electroforético de nanopartículas de titanía y plata coloidales se realizó en la placa de acero como en la malla de cobre, según se puede apreciar en las imágenes y micrografías del documento anexo.

Se realizaron pruebas en el reactor de fluidos supercríticos, usando CO<sub>2</sub>. Se logro también depósitos de nanopartículas de titanía y plata coloidales. La característica de estos depósitos fue mayor densidad y homogeneidad. Cuando en el sistema supercrítico se involucran depósitos mediante reacciones redox, no solo arrastre electroforético, también es característico una reducción del tamaño de grano, como fue el caso de depósitos de níquel que en fechas recientes se han realizado.

### LIBRO

### PUBLICACIONES

### FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Licenciatura: Un ayudante de proyecto: Griselda Solórzano Soto (ITD). Tres alumnos sin beca del proyecto.

Maestría: Dos alumnas.

Doctorado: Dos alumnas.

Se tuvo una importante formación de recursos humanos durante el desarrollo del proyecto: Licenciatura, Maestría y Doctorado. También, la participación en congresos.

## Licenciatura

1. **Nombre:** Griselda Solórzano Soto

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Estudio de Electroforesis empleando electrodos modificados con ópalos inversos conductores (metales) y no-conductores (óxidos metálicos)”*.

**Fecha de Titulación:** Graduación por créditos de Maestría.

2. **Nombre:** Daniel Torres Torres

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Desarrollo de nuevos materiales con microestructura a partir de ópalos inversos para tecnología aplicada a la protección contra corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

3. **Nombre:** Juliana Itzel Vázquez Mejía

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Síntesis de microesferas para la formación de ópalos sintéticos y posterior conformación de ópalos inversos aplicados a la prevención de la corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

**Fecha de Titulación:** Por créditos de Maestría.

4. **Nombre:** Georgina Edith Fernández Sánchez

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Desarrollo de Nuevos Materiales con Estructura del Tipo Ópalos Inversos para Nanotecnología Aplicada a la Protección Contra Corrosión”*.

**Fecha de Titulación:** Graduación por créditos de Maestría.

## Maestría

1. **Nombre:** Maria Auxilio Aguayo Sánchez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Modificación de Electrodos con Estructuras Tipo Ópalo Inverso con potencial uso en el Depósito de Partículas Suspendidas en Aire”*

**Fecha de Titulación:** 17 de Diciembre de 2009.

2. **Nombre:** Maria Guadalupe Almanza Martínez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Estudio sobre la Obtención de Dióxido de Manganeso y Dióxido de Titanio en Estructuras Orientadas al Tratamiento de Aguas”*

**Fecha de Titulación:** 08 de Abril de 2010.

## Doctorado

**1. Nombre:** Lorena Magallón Cacho

**Co-Directores de Tesis:** Yunny Meas Vong (CIDETEQ) y Dr. Guy Stremstoerfer (Ecole Centrale de Lyon, France).

**Asesor:** Dr. José de Jesús Pérez Bueno (CIDETEQ).

**Institución:**

- A) Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.
- B) Ecole Centrale de Lyon.

**Carrera:**

- A) Doctorado en Electroquímica.
- B) Docteur de L'Ecole Centrale de Lyon. Discipline: Génie des Matériaux.

**Título de Tesis:**

**A) "Desarrollo de Procesos Verdes para Modificar la Superficie del ABS previo a su Metalización".**

**B) "Développement de procédés "verts" pour modifier la surface d' ABS avant sa métallisation".**

**Fecha de Titulación:** 08 de Diciembre de 2009.

**2. Nombre:** Lluvia Marisol Flores Tandy

**Co-Director de Tesis:** Yunny Meas Vong (CIDETEQ) y Dr. José de Jesús Pérez Bueno.

**Institución:** Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Doctorado en Electroquímica.

**Título de Tesis:** "Formulación de recubrimientos anticorrosivos de matrices cerámicas compuestas para la protección del hierro y el acero industrial"

**Fecha de Titulación:** Febrero de 2011.

## CONGRESOS

**1. Modificación superficial del acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) por medio de fotocatalisis heterogénea (TiO<sub>2</sub>) para fines de metalizado autocatalítico vía electroless y JetMetal™, L. Magallón-Cacho, J. J. Pérez-Bueno, Y. Meas-Vong, G. Stremstoerfer. XXVIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales (SMCTSM), Boca del Río, Veracruz, México, del 29 de Septiembre al 03 de Octubre de 2008.**

**2. "Novel Photochromic Effect Amplified by the Nanosize of Titania Particles of a composite with Organic Polymers", Ll. M. Flores Tandy, J. J. Perez Bueno, Y. Meas Vong. Fifth International Topical Meeting on Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2008, November 24-26, 2008, Ciudad Universitaria, UNAM, D.F., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Nacional Autónoma de México.**

## OTROS RESULTADOS

Comentarios sobre equipo adquirido

A continuación se enlistan los equipos adquiridos, pero con recursos independientes al proyecto que han utilizado los estudiantes involucrados y se han usado en la obtención de resultados.

I. Dos termómetros infrarrojos para el montaje de un sistema diferencial de medida de la temperatura in-situ durante los depósitos de materiales sin contacto (para evitar alteración del proceso).

II. Una parrilla de calentamiento con agitación magnética para llevar a cabo la preparación de material, previamente a los depósitos.

III. Un non-break, ya que en nuestras instalaciones se sufre de frecuentes fallos de suministro eléctrico, lo cual tanto interrumpe la experimentación como daña los equipos.

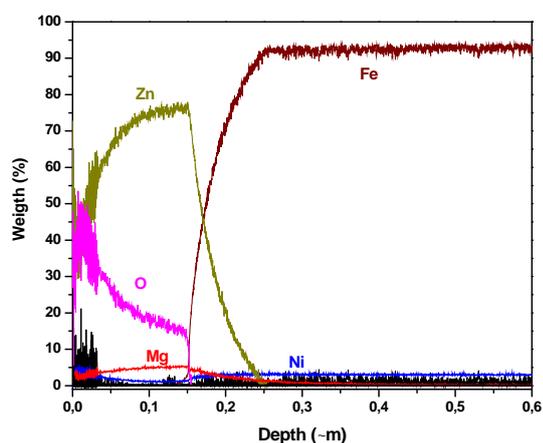
IV. Una punta de prueba de corrector coseno para coleccionar emisión (200 - 1100 nm) para acoplar a la fibra óptica de un espectrómetro Ocean-Optics. Esto permitirá usar el dispositivo en modo de reflectancia para medir in-situ el proceso de obtención de materiales.

## ANEXO

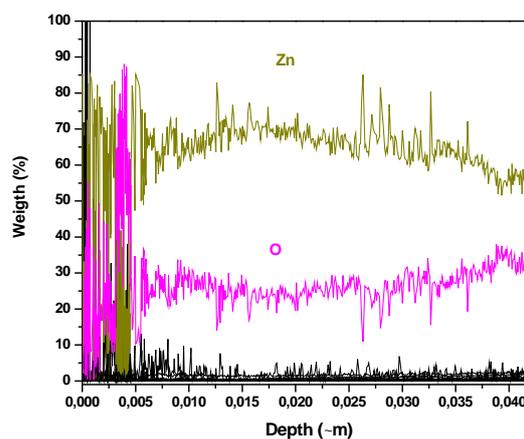
### Análisis realizados a los recubrimientos obtenidos.

En la experimentación, se probó con cuatro soluciones de diferentes metales: Mg, Zn, Ni y Ag coloidal. El objetivo fue establecer las condiciones de depósito adecuadas a utilizar después en la conformación de depósitos con estructura.

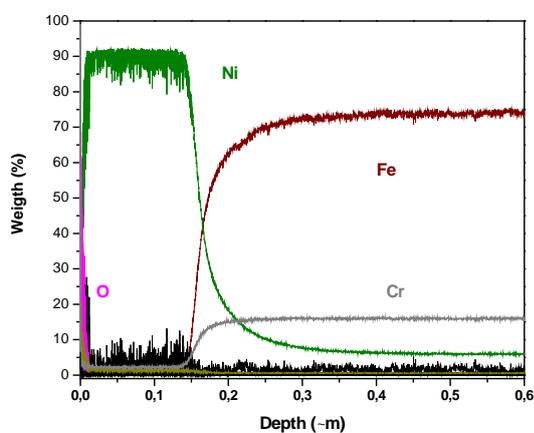
El análisis por GDOES o GDS (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy) provee un perfil de composición mediante la aplicación de un plasma de Argón que extrae átomos de la superficie de la muestra, los cuales después de superar una trampa de alto vacío, decaen con una emisión característica del elemento. El equipo cuenta con detectores para veinte elementos diferentes, algunos de los cuales tienen hasta dos detectores a diferentes longitudes de onda que optimizan la detección cuantitativa.



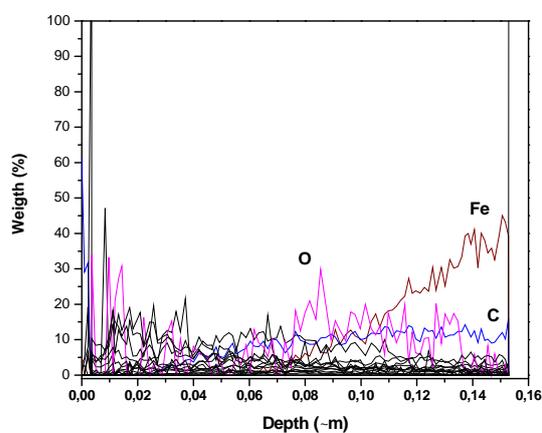
A) Perfil de composición de depósito de Mg.



B) Perfil de composición de depósito de Zn.



C) Perfil de composición de depósito de Ni.

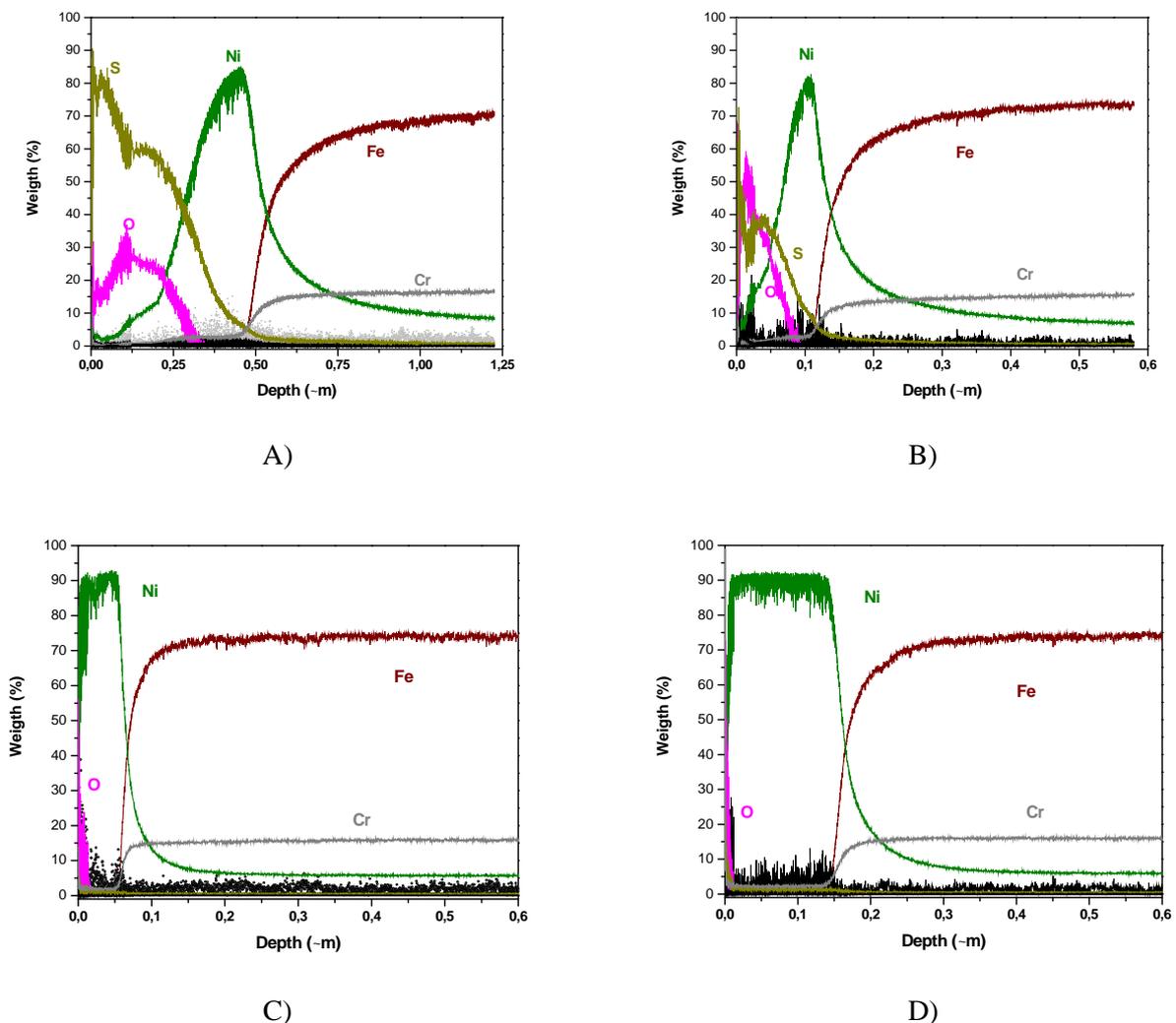


D) Perfil de composición de depósito de Ag coloidal. El equipo de GDS no cuenta con detector para el elemento plata.

En el caso del análisis del depósito en solución de plata coloidal, el equipo de GDS no cuenta con detector para el elemento plata. Por ello, en el perfil de composición química solo aparecen las impurezas en el recubrimiento y, a la derecha, elementos del sustrato.

Por otro lado, los depósitos de níquel se realizaron en soluciones de tanto de sulfamato como de cloruro de níquel. En la Figura 2 A) y B), se presenta el análisis de muestras de baño electrolítico con sulfamatos, y en las Figura 1 C) y D) de baño de níquel con cloruros.

En primer lugar se desea aclarar, que el comportamiento asintótico de las curvas, obedece al hecho de que la erosión de la muestra no es homogénea durante el análisis. En el área de análisis de 4 mm de diámetro, por ejemplo, se descubren algunos sitios del sustrato mientras aun puede haber secciones del área con remanentes del recubrimiento. En el caso de sulfamatos, el recubrimiento puede contener restos de la solución que en algunas muestras en la que se usaron potenciales suficientemente altos como para colateralmente realizar la electrólisis del agua, descomponiéndola en hidrógeno y oxígeno que en forma de burbujas se acumula en la superficie provenientes de los electrodos y que se arrastra al retirar las muestras.



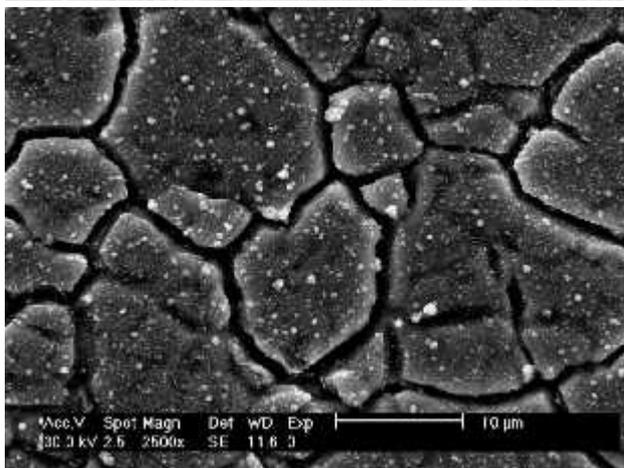
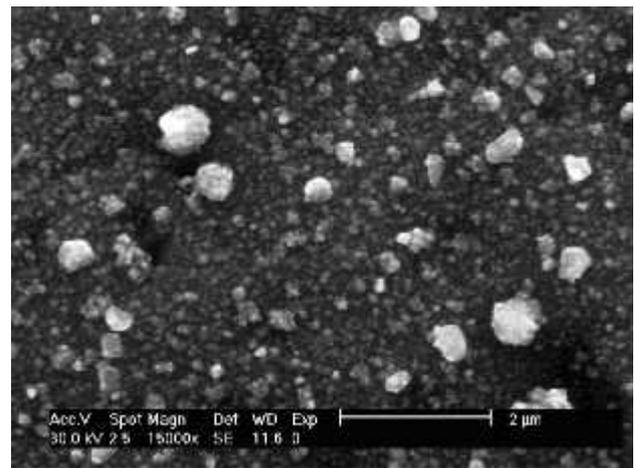
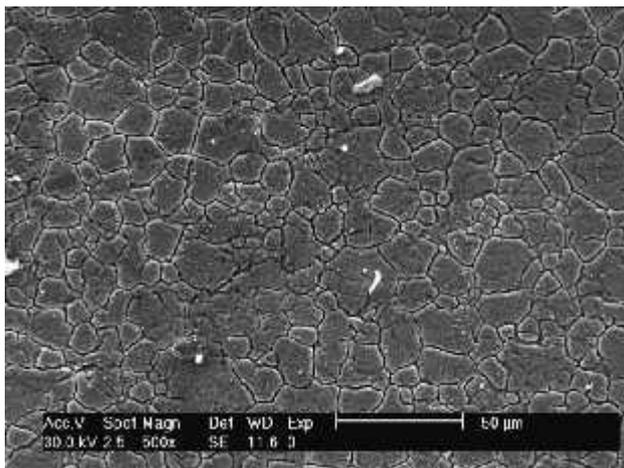
**Figura 2.** Perfiles de composición química por GDOES de muestras de depósitos de níquel con baño de sulfamatos, A) y B), y con baño electrolítico de cloruros, C) y D).

En el caso de los depósitos con sulfamatos de níquel, en los recubrimientos quedan azufre superficial ya que ha restos de la solución del baño electrolítico, misma que no se limpió para no alterar la forma original del

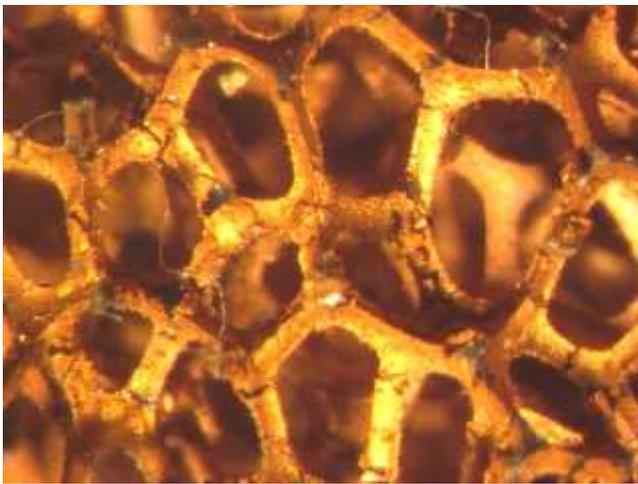
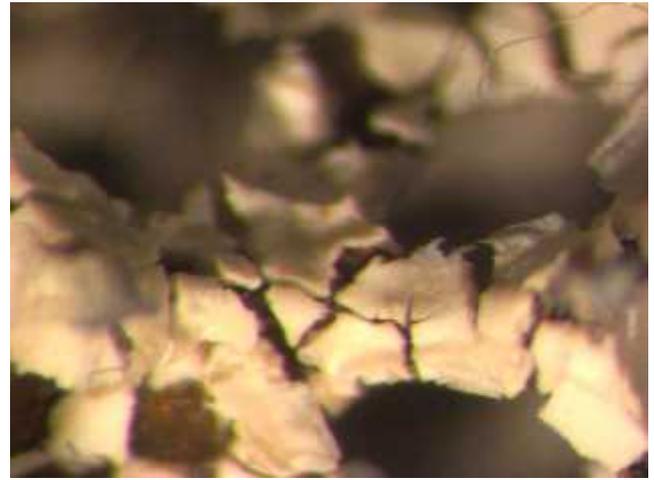
recubrimiento. Sin embargo, la apariencia del depósito es de níquel brillante que copia fielmente la superficie del sustrato a cualquier espesor del recubrimiento. Por otro lado, los depósitos con cloruro de níquel, aunque libres de azufre, por el contrario tienen una apariencia negra y es irregular en superficie, ocasionada por nucleaciones.

Se realizaron depósitos electroforéticos de nanopartículas de plata y de titanía, cuya topografía se puede ver en las Figuras 3, 4 y 5. Aunque se logro estructuras del tipo ópalos sintéticos y ópalos inversos, estas aún no tenían una conformación apta de usarse en las pruebas de electroforesis. Por ello se opto por realizar algunas pruebas con una malla de cobre, colocada en frente de una placa de acero. Esta disposición convirtió a la malla también en parte del electrodo. El depósito se realizó tanto en la malla como en la placa. Sin embargo, la apertura de la malla resulto demasiado grande para el propósito de estudio del arrastre electroforético en un medio poroso, y sin el control en la forma y dimensiones de la estructura, como fue el planteamiento para el ópalo inverso.

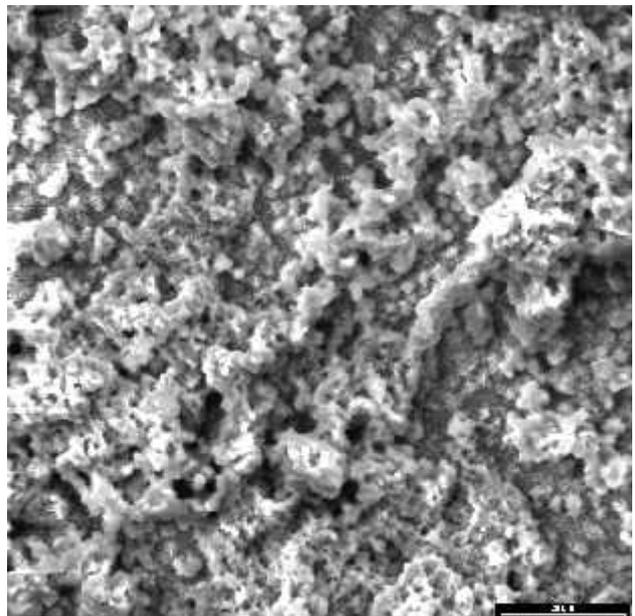
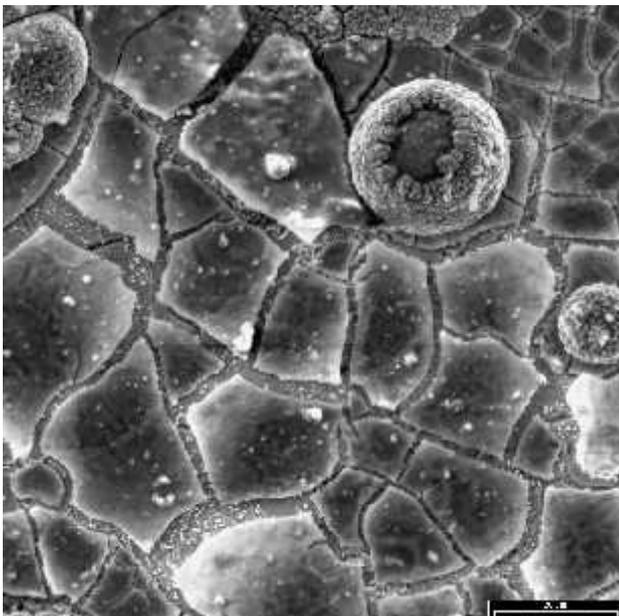
Se han tenido avances en la conformaciones de estructuras del tipo ópalos inversos, aunque se ha orientado a estructuras de mayor tamaño (1-4 milímetros) en estudios realizados para el depósito de partículas suspendidas en aire (proyecto de tesis de la alumna de Maestría: Maria Auxilio Aguayo Sánchez) así como la captación de iones metálicos presentes en aguas sobre MnO<sub>2</sub> y la fotocatalisis en depósitos electroforéticos de TiO<sub>2</sub> para la oxidación avanzada del colorante naranja de metilo (proyecto de tesis de Maestría de la alumna: Maria Guadalupe Almanza Martínez).

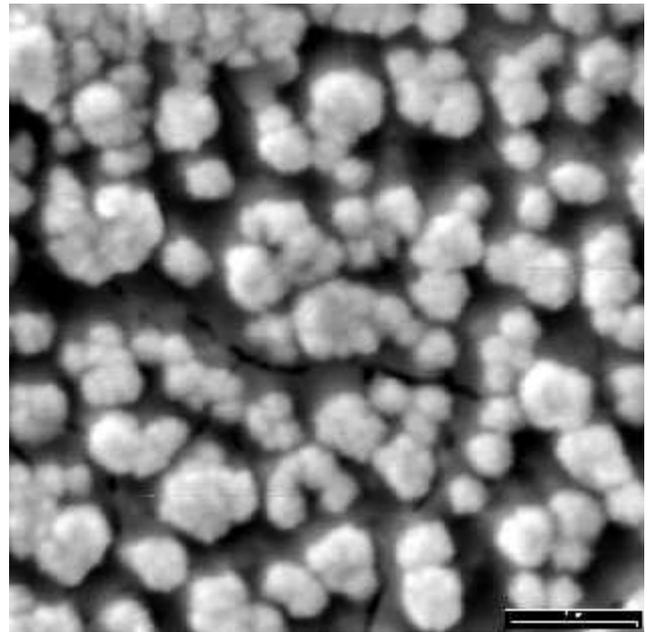
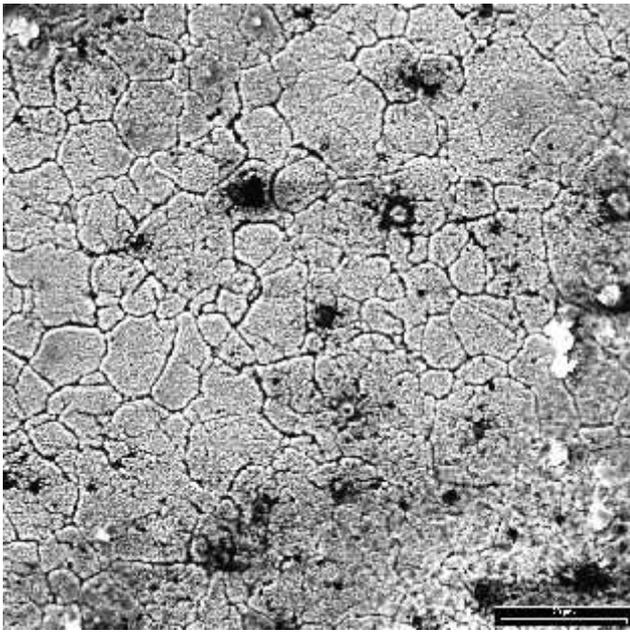


**Figura 3.** Micrografías de SEM de tres muestras con nanopartículas de plata depositadas por electroforesis.



**Figura 4.** Imagen superior izquierda: depósito de nanopartículas de plata vía electroforesis. Imagen superior derecha: depósito de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  vía electroforesis. Imagen inferior izquierda: malla de cobre usada como sustrato para el depósito de titanía.





**Figura 5.** Micrografías de SEM de muestras de depósitos electroforéticos a partir de soluciones coloidales de nanopartículas de titania .

## 01. Resumen del proyecto:

(Por favor considerar uso de lenguaje claro, conciso y preciso entendible a usuarios y miembros de la comisión de evaluación)

Respuesta:

### Descripción de Actividades

En el proyecto se propone la investigación en la obtención de nuevas conformaciones de estructura de materiales (en tamaños mili, micro y nanométricos), originalmente para contrarrestar la corrosión. Los tipos de estructuras son conocidos como ópalos sintéticos y ópalos inversos que confiere a los materiales un ordenamiento, ya sea como distribución en forma de esferas o en forma de huecos esféricos, respectivamente.

Se logró la preparación de ópalos sintéticos de: poliestireno y PMMA (~500 nm y 5 micras) en superficies de varios  $\text{cm}^2$ , esferas de vidrio (1-4 mm), esferas de sílice gel (1-4 mm). Sobre ellas también se obtuvieron depósitos de: Níquel, zinc, plata,  $\text{MnO}_2$  y  $\text{TiO}_2$ .

Se logro la preparación de ópalos inversos de: Níquel (~500 nm y 5 micras), estaño (1-4 mm) en superficies de varios  $\text{cm}^2$ . Además de  $\text{MnO}_2$  y  $\text{TiO}_2$ , sobre estaño.

El reto en la preparación de estas estructuras de ópalos inversos es que se requiere de:

1. Las esferas que servirán de molde para la estructura, para las cuales a su vez deberá tenerse;
  - A) control de tamaño y en uniformidad de este,
  - B) homogeneidad en distribución sobre superficie,
  - C) control en la esfericidad de las partículas,
  - D) fácil preparación en gran número y a bajo costo,
  - E) fácil remoción, después del llenado con el material deseado.
2. Material de llenado, el cual deberá tener;
  - i) permeación en la estructura de esferas que compone al ópalo sintético (a menor tamaño de esfera y mayor número de capas, habrá mayor dificultad de penetración),
  - ii) buena fijación sobre el sustrato, para tener posteriormente buena adherencia,
  - iii) un llenado de alrededor del 50% de la estructura para que, posteriormente, posea una buena resistencia mecánica,
  - iv) resistencia al tratamiento posterior de remoción de esferas del ópalo sintético.
3. Remoción del ópalo sintético. Lo cual se lograra satisfactoriamente al cumplirse las anteriores condiciones. Adicionalmente, se requiere una conexión directa entre las esferas de ópalo sintético. Al retirar por disolución en ácido fluorhídrico algunas de las esferas exteriores, se tiene conexiones directas a la mayoría del resto de la estructura del ópalo sintético. El empaquetamiento de las esferas del ópalo, soporta las esferas superiores a través de puntos de contacto con las esferas inferiores, estableciendo conectividad a toda la estructura. Cada esfera en el interior del volumen, tiene doce primeros vecinos, de los cuales en forma hexagonal seis están en el mismo plano o capa, tres arriba y tres abajo. Por otro lado, el factor de

empaquetamiento depende incluso de la forma del contenedor, siendo diferente un contenedor cilíndrico a uno cúbico. Si las partículas no son perfectamente esféricas, habrá distorsiones y en lugar de ser como un cristal (originalmente el concepto de uso de ópalo inverso viene de los cristales fotónicos - arreglos de huecos del tamaño de la luz visible de alrededor de media micra), serán como un material poroso irregular.

4. Finalmente, es deseable que la estructura tenga un proceso de preparación lo más sencillo posible, de bajo costo, adaptable a las especificaciones que requiere cada aplicación en particular y con un buen desempeño en las propiedades de la estructura y de los materiales.

Lo que se logra con tales estructuras es tener un control, ya sea en superficie o en el volumen de los materiales. Además, este control provee la mejor distribución posible, con la máxima área y una apertura total de los materiales en volumen. Toda la literatura científica al respecto, se enfoca únicamente en el uso de estas estructuras para obtener los metamateriales con la posible capacidad de índices de refracción negativos, útiles en optoelectrónica y en la industria textil para efectos ópticos.

En la propuesta de proyecto se mencionó la prueba del uso de CO<sub>2</sub> en estado supercrítico para la preparación de estos materiales. Al respecto, sí se realizaron depósitos de níquel y de zinc-níquel a manera exploratoria. Esto conlleva el haber superado la dificultad de requerir el aislamiento eléctrico que permita diferenciar ánodo y cátodo, a la par de manejar altas presiones en un reactor metálico (acero inoxidable 316L). Esto se logró realizar, sin obtener ventajas para la aplicación específica de preparación del tipo de estructuras buscadas. Los depósitos son más homogéneos, de menor tamaño de grano cristalino y, por ello, más resistente a la corrosión. Pero los recubrimientos en estas condiciones son de tamaños pequeños y difícilmente escalables.

Por otro lado, también en la propuesta se mencionó el uso de recubrimientos orgánico-inorgánicos conformados por una emulsión nanométrica de fases de estos tipos de materiales tan disímiles. Los recubrimientos híbridos ofrecen una adecuada protección contra la corrosión y aunque están constituidos de esferas (nm o micras) en una matriz, no se logró conformar estructuras del tipo ópalo sintético o inverso. Esto debido a que las esferas no tienen una conexión directa entre ellas, sino que se encuentran rodeadas en la mayoría de los casos, al menos por una película de la matriz envolvente. Esto no permite que se pueda retirar las esferas de la estructura por disolución, ya que disolver una no dará una vía directa para disolver al resto, como sucedió en las preparaciones hechas.

### **Observaciones:**

Diversas rutas de preparación de ópalo sintético y de ópalo inverso fueron probadas. Con ello, se logró la obtención de ambos tipos de estructura en tres niveles: sub-micrométrico (aproximadamente 500 nm), micrométrico (5 micras) y milimétrico (1-4 mm). Sin embargo, las dificultades en su obtención, las características y la naturaleza de los materiales, y sobre todo el tipo mismo de estructura, presentan desventajas en el uso de este tipo de estructuras para solucionar el problema de corrosión en comparación a otros procedimientos.

Por otro lado, este tipo de conformación de los materiales (extrapolable a prácticamente cualquier tipo, habiendo reportes en optoelectrónica desde metales a superconductores) ha presentado un gran potencial de uso en el ámbito de ingeniería ambiental. Habiéndose logrado ventajas en su

uso en la purificación tanto de agua como de aire. Para ello, destaca por brindar una mayor área efectiva con la posibilidad de ajustar la apertura de la estructura de acuerdo a los requerimientos de la aplicación. También, por servir de sustrato para la colocación de recubrimientos funcionales con diferentes posible propósitos (e.g., adsorción o descomposición de contaminantes). Esto al lograrse buenas adherencias y homogeneidad en la distribución.

Por lo anterior, en el proyecto se exploró la obtención y prueba en laboratorio de conformación de materiales en estructura de tipo ópalos sintéticos y ópalos inversos con la finalidad de aplicación para corrosión, tratamiento de aguas y aire. Por los resultados, el potencial de uso es promisorio solo en los dos últimos casos. Al no obtenerse estructuras útiles para proteger contra la corrosión no pudo hacerse la vinculación con el sector usuario. La posible aplicación en la ingeniería ambiental requiere mejora de la calidad en los procesos de obtención, la conformación de prototipos, pero tales estructuras poseen el potencial de generar prototipos para beneficio de los usuarios.

## 1. Resultados de la Investigación

Metas y objetivos alcanzados

Metas: (Mencionar las metas originales del proyecto y cuales se alcanzaron)

### Metas originales del proyecto

- A. Obtención de ópalos inversos y electrodepositos de zinc en este tipo de estructura.
- B. Obtención de ópalos inversos de zinc y aleaciones y estudiar el proceso de *depósito in situ* con técnicas diferenciales.
- C. La obtención de estructuras de depósitos a condiciones supercríticas de CO<sub>2</sub> anti-solvente.
- D. Evaluar el desempeño de los materiales desarrollados en el retraso del fenómeno de corrosión.

Cada una de estas metas se cumplió. Sin embargo, el resultado en el desempeño ante corrosión presenta desventajas. En el resumen del proyecto se hace una breve descripción de estos y otros resultados. En caso de ser requerido, las tesis de licenciatura, Maestría, Doctorado e informe de estancia Posdoctoral que abarcan los varios aspectos del proyecto, hacen un recuento detallado de materiales, metodologías, alcances y limitaciones.

## 2. Objetivos:

(Mencionar los objetivos originales del proyecto y cuales se alcanzaron)

### Respuesta:

#### Objetivos originales del proyecto

- A. Montaje del sistema experimental.

- B. Síntesis de micro y nanopartículas de sílice y polímero (e.g., poliestireno). Formación de arreglos ordenados de estas partículas y la conformación de ópalos inversos. electrodeposición de zinc.
- C. Experimentación en la modificación de estructuras de ópalos inversos de zinc. Montaje de técnicas diferenciales y la medida *in situ* de procesos de depósito. Realización de estudios en la variación de parámetros de las pruebas a condiciones supercríticas para la obtención de estructuras tridimensionales no ordenadas.
- D. Obtención de muestras de los materiales desarrollados en sustratos de prueba (aceros al carbono e inoxidables) y su evaluación. Se someterá a prueba de cámara de niebla salina. Se analizará con impedancia electroquímica y se hará la voltamperometría para su caracterización. Se llevará a cabo una exposición a atmósfera marina en las instalaciones de la universidad veracruzana en el puerto de Veracruz.

Se cumplieron los objetivos A, B, C y D, con la excepción de la segunda parte de éste último. En este caso, no se logró dado que las estructuras presentan desventaja en protección galvánica respecto a los ánodos de sacrificio y a que no tuvieron compatibilidad para combinar una protección de barrera física y estructura con protección galvánica. Adicionalmente, los recubrimientos híbridos si tuvieron buen desempeño como barrera física y se realizó las medidas de impedancia y cámara de niebla salina (no exposición a ambiente marino), pero no se logró hacer ópalos inversos con ellos.

#### **Observaciones:**

En general se cumplió con las metas y objetivos, se lograron las estructuras propuestas a través de diferentes metodologías. Sin embargo, la aplicación de protección contra la corrosión no es eficiente para estos tipos de estructuras, pero en cambio los materiales híbridos son buenas barreras físicas y de fácil colocación, otras propiedades se les pueden conferir, pero aún no se optimizan costos, su preparación es delicada y hay desprendimiento de VOCs (compuestos orgánicos volátiles). Adicionalmente, los recubrimientos híbridos, al ser de naturaleza orgánica e inorgánica, son en ocasiones de difícil remoción (requiere abrasión o el uso conjunto de solventes y ácidos) y en otros casos, por el contrario, su adherencia está comprometida por la delaminación ante la acción del agua en bordes.

### **MX\_SEC49**

#### **01. Contribución técnica del proyecto:**

Describe las contribuciones del proyecto al avance del conocimiento en el área de estudio.

#### **Respuesta:**

1. El uso de las estructuras de ópalos sintéticos e inversos, surge de la investigación científica en el tema de cristales fotónicos, sin ningún otro propósito. Por ello, en parte la aportación yace en proponer usos alternativos, aprovechando el área efectiva que se brinda.

2. En el proyecto, se ha evidenciado el gran potencial del uso de este tipo de estructuras en ingeniería ambiental. El área efectiva es óptimamente empleado para el soporte de recubrimientos con propósitos específicos como el caso de  $MnO_2$  para adsorción de iones metálicos presentes en agua,  $TiO_2$  para fotocatalisis y descomposición de moléculas orgánicas contaminantes del agua, y en eficientizar la capacidad de retención de partículas suspendidas en aire al usarse estas estructuras en la modificación de electrodos de precipitadores electrostáticos domésticos. El hecho de que las estructuras sean ordenadas podría ser de utilidad pero no es un requisito.

### **Observaciones:**

Se contribuye en la identificación de algunas metodologías que permiten la obtención de estas estructuras, dentro de las cuales se puede mejorar la calidad y extensión de ellas. Los logros no se encuentran en la línea originalmente propuesta de corrosión, ya que no es competitivo el costo-beneficio. La modificación de superficie y el control y acceso al volumen de los materiales brinda alternativas a los ampliamente utilizados materiales porosos como el carbón activado, los materiales sol-gel, los reservorios para liberación de fármacos, etc.

## **MX\_SEC50**

**1. Indique si estas contribuciones:** Son únicas (innovación)

Sí, en el control de la estructura en lugar de porosidad de los materiales.

**2. Permitirán la generación de patentes**

Respuesta:

Sí. Se planea llegar a diseñar un prototipo de precipitador electrostático para aire y uno de tratamiento de aguas.

**3. Representan una mejora gradual.**

Respuesta:

Sí. Se mejora el área efectiva, no la función de los materiales.

#### **4. Van a presentarse en revistas especializadas**

Respuesta:

Sí, de manera gradual, una vez que ya se han completado y se han presentado las tesis.

#### **5. Congresos**

Respuesta:

Sí. Se han presentado trabajos en diversos congresos.

#### **6. Simposios**

Respuesta:

No, hasta el momento.

#### **7. Foros**

Respuesta:

No, hasta el momento.

Observaciones:

Existe un potencial en el uso de estas estructuras, las metodologías empleadas y diversidad de materiales en tales conformaciones. Sobre todo, mejora gradual en tecnologías preexistentes al brindar acceso al uso de área interna de los materiales.

## MX\_SEC51

### 1. Productos de la investigación

(Mencionar cuales fueron los productos comprometidos y cuales los obtenidos.)

Respuesta:

#### Productos propuestos del proyecto

- A. Montaje de arreglo experimental.
- B. Reportes Técnicos.
- C. Elaboración de manuscrito para publicación.
- D. Reporte de acercamiento con usuarios potenciales.
- E. Prototipos o ejemplos de casos de usuarios potenciales con la implementación del desarrollo tecnológico generado.

A-B. Se realizaron el montaje experimental y los reportes de etapas.

C. Se tiene los resultados de las tesis, los análisis y discusiones correspondientes. Se tiene planeado la publicación de resultados en el transcurso del siguiente año.

D. Derivado de los resultados no se realizó un acercamiento a usuarios en la línea de corrosión. Sin embargo, en el ámbito de tratamiento de aguas y aire, se solicito a dos empresas en el área geográfica de la institución proponente el acceso a muestreo y prueba con purificación de aire.

E. No se cuenta aún con un diseño de prototipo. No obstante, si hay la intención de realizar uno para tratamiento de aguas y otro para aire.

#### Observaciones:

Se tuvo una importante formación de recursos humanos durante el desarrollo del proyecto: Licenciatura, Maestría, Doctorado y Posdoctorado. También, la participación en congresos. Aún cuando esto no fue parte de los productos propuestos, permitió avances que eventualmente ha de concretarse en publicaciones y patentes. Los resultados permitirán que los logros obtenidos se puedan reflejar en la implementación de desarrollos tecnológicos con usuarios en las áreas de tratamiento de aguas y aire.

## MX\_SEC52

### 1. En caso de desviaciones explicar motivos e impacto de éstas.

(Adjuntar al informe todo aquello que evidencie los productos y sus características.)

Respuesta:

La dificultad de obtención de las estructuras, en los tamaños originalmente trabajados, y de acuerdo a la literatura existente, dificultaron los avances. Finalmente, las estructuras no tienen hasta el momento la capacidad de ser usadas con la línea propuesta de protección a la corrosión. Esto derivó en tener que proponer aprovechar con otros fines las ventajas de los materiales obtenidos y sus características. Por estas últimas, se enfocó en posibles aplicaciones que requieren maximizar el área expuesta. Se comprobó la utilidad en el tratamiento de agua y aire. El impacto fue en la limitada interacción con posibles usuarios, ya que se realizaron pruebas en campo, pero de manera exploratoria.

Observaciones:

En el caso de tratamiento de aguas, se requiere aún pruebas y optimizaciones bajo condiciones similares que la operación en campo. Sobre todo en la resistencia de los recubrimientos al flujo de agua por periodos prolongados. Así como a la evaluación de durabilidad, limpieza y reutilización de materiales.

**MX\_SEC53**

**1. Formación de recursos humanos**

Mencionar Estudiante, Grado y Situación del trámite.

(Anexar copias de los documentos que avalan la información.)

Respuesta:

Se tuvo la siguiente participación en la formación de recursos humanos:

**Tesis**

**Licenciatura**

1. **Nombre:** Juliana Itzel Vázquez Mejía

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Síntesis de microesferas para la formación de ópalos sintéticos y posterior conformación de ópalos inversos aplicados a la prevención de la corrosión”.*

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

2. **Nombre:** Daniel Torres Torres

**Institución de Procedencia:** Facultad de Ingeniería Química, Universidad Veracruzana.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Tesis:** *“Desarrollo de nuevos materiales con microestructura a partir de ópalos inversos para tecnología aplicada a la protección contra corrosión”.*

**Fecha de Titulación:** Viernes 10 de Octubre de 2008.

3. **Nombre:** Griselda Solórzano Soto

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Estudio de Electroforesis empleando electrodos modificados con ópalos inversos conductores (metales) y no-conductores (óxidos metálicos)”.*

**Fecha de Titulación:** Por créditos de Maestría.

4. **Nombre:** Georgina Edith Fernández Sánchez

**Institución de Procedencia:** Instituto Tecnológico de Durango.

**Carrera:** Ingeniería Química.

**Título de Trabajo:** *“Desarrollo de Nuevos Materiales con Estructura del Tipo Ópalos Inversos para Nanotecnología Aplicada a la Protección Contra Corrosión”.*

**Fecha de Titulación:** Por créditos de Maestría.

## Maestría

1. **Nombre:** Maria Auxilio Aguayo Sánchez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Modificación de Electrodos con Estructuras Tipo Ópalo Inverso con potencial uso en el Depósito de Partículas Suspendidas en Aire”*

**Fecha de Titulación:** 17 de Diciembre de 2009.

2. **Nombre:** Maria Guadalupe Almanza Martínez

**Institución:** Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT); Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Maestría en Ingeniería Ambiental.

**Título de Tesis:** *“Estudio sobre la Obtención de Dióxido de Manganeso y Dióxido de Titanio en Estructuras Orientadas al Tratamiento de Aguas”*

**Fecha de Titulación:** 26 de Febrero de 2010.

## **Doctorado**

1. **Nombre:** Lluvia Marisol Flores Tandy

**Co-Director de Tesis:** Yunny Meas Vong (CIDETEQ).

**Institución:** Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Carrera:** Doctorado en Electroquímica.

**Título de Tesis:** *“Formulación de recubrimientos anticorrosivos de matrices cerámicas compuestas para la protección del hierro y el acero industrial”*

**Fecha de Titulación:** Febrero de 2011.

## **Estancia Posdoctoral**

1. **Nombre:** Guadalupe Barreiro Rodríguez.

**Institución:** Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica (CIDETEQ), S. C.

**Título de Proyecto:** *“Acondicionamiento y Experimentación en un Sistema de Reacción a Condiciones de CO<sub>2</sub> Supercrítico que permita la Estabilización de Fases en Emulsión, Obtención de Depósitos Metálicos y el Seguimiento in situ del Proceso”*

**Fecha de Permanencia:** Enero a Diciembre de 2009.

2. **Explicar la situación de estudiantes que no obtuvieron el grado comprometido.**

Respuesta:

En los casos de Georgina Edith Fernández Sánchez y de Griselda Solórzano Soto, no se presentó tesis debido a su ingreso al programa de Maestría en electroquímica del CIDETEQ, inmediatamente al término de su año de participación en el proyecto, y el uso del recurso de graduación por la opción de créditos de Maestría. En el primer caso, tuvo un año de incapacidad por lesiones en cuello por un accidente automovilístico, al término del cual se ha reintegrado al programa de Maestría.

En el caso de la estudiante de doctorado Lluvia Marisol Flores Tandy, el retraso hasta el momento de dos años en su graduación, ha sido por factores personales (dos embarazos, divorcio, etc.)

### 3. Colaboración interinstitucional y multidisciplinaria

Describe el grado de colaboración entre las instituciones participantes

Respuesta:

Hubo un limitado trabajo compartido interinstitucional entre la Universidad Veracruzana y el CIDETEQ, ocasionado por la distribución de tareas de acuerdo a las áreas de investigación. El trabajo a través de los alumnos de la Universidad Veracruzana permitieron durante la mitad de proyecto establecer las metodologías y alcanzar los logros de las primeras tres etapas. Sin embargo, con base en los resultados, la línea de corrosión se cambió, lo cual se prescindió de realizar las pruebas de exposición a corrosión en atmósfera marina. Esto estaba planeado realizarse en el puerto de Veracruz.

No obstante ello, los resultados en el tratamiento de agua y una tesis de Maestría que inicia en el presente año, continuará la colaboración con MICRONA, U. Veracruzana. Adicionalmente, de acuerdo a convenio de colaboración entre las instituciones, se transferirá la infraestructura adquirida a ésta institución, que consta de un potenciostato-galvanostato (con un costo de aproximadamente el 60% del presupuesto del proyecto). Esto acercará las áreas de investigación y la interacción interinstitucional.

### 4. Grupo de trabajo, indicando la contribución de cada uno de ellos al cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Respuesta:

**Responsable Técnico:** Dr. José de Jesús Pérez Bueno (CIDETEQ, S.C.).

Presentación de informes, dirección de tesis y participación en congresos.

**Co-responsable:** Dr. Leandro García González (MICRONA, Universidad Veracruzana).

Presentación de informes y contribución en tesis de Licenciatura.

**Estancia Posdoctoral:** Dra. Guadalupe Barreiro Rodríguez.

Montaje experimental de reactor de fluidos supercríticos. Depósito de níquel, plata, y níquel-zinc en CO<sub>2</sub> supercrítico.

**Estudiante de Doctorado:** M.C. Lluvia Marisol Flores Tandy.

Recubrimientos híbridos orgánico-inorgánicos, pruebas de cámara de niebla salina, evaluación de corrosión por Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.

**Estudiante de Maestría:** I.Q. Maria Auxilio Aguayo Sánchez (PICYT, CIDETEQ).

Obtención de ópalos sintéticos y ópalos inversos. Pruebas de estructuras en captación de partículas suspendidas en aire con tales estructuras. Inicio de prototipo de precipitador electrostático.

**Estudiante de Maestría:** I.Q. Maria Guadalupe Almanza Martínez (PICYT, CIDETEQ).

Obtención de ópalos sintéticos y ópalos inversos. Pruebas de tratamiento de aguas. Depósito de MnO<sub>2</sub> y TiO<sub>2</sub> sobre ópalos inversos de estaño.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Georgina Edith Fernández Sánchez (ITD).

Síntesis de esferas de poliestireno y PMMA de 0.5 micras por polimerización en emulsión. Obtención de estructuras de ópalos. Depósitos de níquel y zinc. Pruebas de corrosión por Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Griselda Solórzano Soto (ITD).

Síntesis de esferas de poliestireno y PMMA de 0.5 micras por polimerización en emulsión. Obtención de estructuras de ópalos. Estudios de depósito electroforético de TiO<sub>2</sub> y plata coloidal.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Daniel Torres Torres (UV).

Obtención de estructuras de ópalos inversos de níquel por electrodeposición.

**Ex-Ayudante de Proyecto:** Juliana Itzel Vázquez Mejía (UV).

Síntesis de esferas de poliestireno y PMMA de 0.5 micras por polimerización en emulsión.

## 5. Impacto de la investigación en los sectores usuarios

Productos de la investigación transferidos a los usuarios

Productos de la investigación comprometidos que han sido transferidos a los usuarios de la investigación, así como a los que surgieron durante la ejecución del proyecto.

(Soportar documentalmente la entrega de estos productos.)

Respuesta:

Se realizó visitas y pruebas en plata para el uso de precipitadores electrostáticos en la purificación de aire. Sin embargo, el estado de la investigación no permitió la transferencia a usuarios.

## 6. Mecanismos de transferencia utilizados

Describa los mecanismos de transferencia de los productos de la investigación al usuario y como promovió e implantó las acciones requeridas para dar respuesta al problema abordado.

Respuesta:

Se resolvió las dificultades en la obtención de las estructuras propuestas. Sin embargo, el estado de la investigación no permitió la transferencia a usuarios.

## 7. Beneficio potencial del proyecto

Precisar el beneficio económico y/o social del proyecto, tanto en el sector usuario comprometido como en los sectores usuarios que potencialmente podrían beneficiarse de los resultados del proyecto. Utilizar preferentemente indicadores cuantitativos que muestren con claridad el impacto del proyecto, comparándolos con lo comprometido.

Beneficio económico y/o social (descripción)

Respuesta:

Se encuentran en desarrollo prototipos que usan las estructuras propuestas. Se cambió el área de atención de problemática al ámbito ambiental. Por ello, se cuenta actualmente solo con el potencial de desarrollos tecnológicos aplicables a futuro. Actualmente, no hay un beneficio económico cuantificable e impacto social, abarca únicamente el desarrollo de capital humano de alto nivel, en forma directa e indirecta. Esta última, ya que los cuatro alumnos de licenciatura se encuentran actualmente en activo en el programa de Maestría en Electroquímica del CIDETEQ.

## 8. Indicadores: (Hacer mención de lo comprometido y lo obtenido)

Se sobreentiende que el beneficio real sólo se dará si el usuario implanta las acciones pertinentes para resolver el problema. Por otra parte, es muy probable que al finalizar el proyecto se pueda establecer con mayor precisión su impacto socioeconómico, el cual puede diferir de las estimaciones originales.

Respuesta:

### Indicadores propuestos del proyecto

- A. Montaje de arreglo experimental.
- B. Reportes Técnicos.
- C. Elaboración de manuscrito para publicación.
- D. Reporte de acercamiento con usuarios potenciales.

E. Prototipos o ejemplos de casos de usuarios potenciales con la implementación del desarrollo tecnológico generado.

Se genero las capacidades de infraestructura y de metodología para la conformación de estructuras del tipo ópalos sintéticos y ópalos inversos de diversos tipos de materiales.

Se tuvo la graduación de dos alumnos de Maestría, dos alumnos de Licenciatura y una estancia Posdoctoral. Adicionalmente, la participación de otros dos alumnos de Licenciatura y uno de Doctorado.

Se presentaron siete trabajos en Congreso.

Se presentaron tres memorias de congreso en extenso con registro ISBN.

Se tiene dos tesis de licenciatura, dos de Maestría, un reporte de estancia Posdoctoral, una tesis de doctorado en escritura.

Derivado de los resultados no se realizó un acercamiento a usuarios en la línea de corrosión. Sin embargo, en el ámbito de tratamiento de aguas y aire, se solicito a dos empresas en el área geográfica de la institución proponente el acceso a muestreo y prueba con purificación de aire.

Se tiene solo una primera fase de un diseño de prototipo. No obstante, si hay la intención de realizar uno para tratamiento de aguas y otro para aire.

## **9. Compromisos asumidos por los usuarios**

Indique los compromisos, programas y/o acciones que los usuarios llevarán a cabo para implantar los resultados de la investigación.

(Adjuntar la información de soporte correspondiente.)

Respuesta:

No se realizó una transferencia a usuarios, por limitación y cambio de potencial sector usuario derivado de los resultados. Por ello, no hay compromisos de usuarios. Se propone a MICRONA de la Universidad Veracruzana, como beneficiaría de la infraestructura adquirida, desarrollando capacidades para una siguiente fase que permita transferirá el desarrollo que se origine con el proyecto a usuarios en la entidad.

## **10. Observaciones a la evaluación de los usuarios**

Indique la apreciación y nivel de satisfacción que tienen los usuarios de la investigación de los resultados del proyecto.

Respuesta:

Se enfatiza la limitante que los resultados dieron en la línea originalmente propuesta y el enfoque al área de ambiental con potencial uso de desarrollos del proyecto. Se contempla la colaboración a futuro de las instituciones que permita llevar a implementación desarrollos originados en el proyecto.

### **11. En caso de no ser favorable, explicar las causas que impidieron cumplir las expectativas del usuario.**

Respuesta:

La limitante que en la experimentación se dio, en el área originalmente propuesta, acoto las acciones de implementación.

### **12. Aplicación de los recursos financieros**

Resumen financiero

Presentar en el formato anexo la información financiera del proyecto, explicando los cambios de partida y la comprobación aprobada por el Secretario Administrativo del Fondo.

Respuesta:

Adicional al informe financiero, se desea comentar que con base en convenio entre las instituciones, se transferirá la infraestructura adquirida a ésta institución, que consta de un potencióstato-galvanostato (con un costo de aproximadamente el 60% del presupuesto del proyecto, incluyendo software adicional requerido para análisis originalmente proyectados).

### **13. Resumen de aportaciones complementarias**

Respuesta:

No hubo aportaciones complementarias.

### **14. Recomendaciones**

Para la implantación de las acciones derivadas de la investigación

Enuncie las ideas, sugerencias y/o los aspectos necesarios de tomar en consideración por los usuarios, con el objeto de asegurar la correcta implantación de las acciones derivadas del proyecto.

Respuesta:

No hay recomendaciones a usuarios.

## 15. Para la difusión de los resultados

Indique los sectores y/o instituciones de la región y de fuera de la región que podrían ser usuarios potenciales de los resultados de la investigación, a los cuales sería conveniente hacerles llegar la información generada.

Respuesta:

Se ha presentado en congresos resultados derivados el proyecto. Se plasmará en publicaciones internacionales análisis y discusión de resultados. Se procurará completar dos prototipos con el uso de estructuras de ópalos inversos para tratamiento de agua y aire.

No se tiene identificado sectores y/o instituciones de la región y de fuera de la región que podrían ser usuarios potenciales de los resultados de la investigación en el estado actual del desarrollo. Se requerirá futuros trabajos que consoliden en desarrollos tecnológicos la investigación realizada.

Trabajos presentados en Congreso:

1. **“Composito de Resina Acrílica/Sol-Gel de Titania y Potenciales Aplicaciones”**, Lluvia Marisol Flores Tandy, José de Jesús Pérez Bueno, Yunny Meas Vong. Participación en la 3ª Convención Nacional y Primer Concurso Centro y Sur Americano de Innovación Aplicada y Desarrollo Tecnológico 2007, realizado los días 28 y 29 de Noviembre de 2007 en la Ciudad de Puebla, Pue., México. Organizado por el CONCYTEP (Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla).
2. **“Preparing Macro-, Micro- and Nano-scopic Spheres of Polymers and SiO<sub>2</sub> for Obtaining Inverse Opals”**, D. Torres Torres, J. I. Vázquez Mejía, J. J. Pérez Bueno. Fourth International Topical Meeting on, Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2007, November 12-14, 2007, Monterrey, N.L., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
3. **“Obtaining Micro and Nanospheres of Organic-Inorganic Hybrids for Preparation of Inverses Opals”**, J. I. Vázquez Mejía, D. Torres Torres, J. J. Pérez Bueno. Fourth International Topical Meeting on, Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2007, November 12-14, 2007, Monterrey, N.L., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Autónoma de Nuevo León.
4. **“Novel Photochromic Effect Amplified by the Nanosize of Titania Particles of a composite with Organic Polymers”**, Ll. M. Flores Tandy, J. J. Perez Bueno, Y. Meas Vong. Fifth International Topical Meeting on, Nanostructured Materials and Nanotechnology, NANOTECH 2008, November 24-26, 2008, Ciudad Universitaria, UNAM, D.F., México. Organized by Centro de Investigación en Óptica and Universidad Nacional Autónoma de México.
5. **Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales**, M. G. Almanza Martínez y J. J. Pérez Bueno. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México.
6. **Síntesis y evaluación de electrodos de diferentes tipos de superficie para depósito de partículas suspendidas en aire**, M. A. Aguayo Sánchez y J.J. Pérez Bueno. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México.

7. **“Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales”**, M. G. Almanza Martínez, J. J. Pérez Bueno, José Carlos Rubio Avalos, 6° Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la UMSNH. Morelia, Michoacán, México, del 02 al 04 de Diciembre de 2009.

Memorias en Extenso:

1. M. G. Almanza Martínez y J. J. Pérez Bueno. ***Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales***. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México. p.p. 1442 – 1447. **ISBN: 978-970-764-874-6**
2. M. A. Aguayo Sánchez y J.J. Pérez Bueno. ***Síntesis y evaluación de electrodos de diferentes tipos de superficie para depósito de partículas suspendidas en aire***. XXX Encuentro Nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. (AMIDIQ). 19 al 22 de Mayo de 2009, Mazatlán, Sinaloa, México. p.p. 1448 – 1453. **ISBN: 978-970-764-874-6**
3. ***“Estudios de la adsorción de plomo sobre dióxido de manganeso obtenido por baño químico y comerciales”***, M. G. Almanza Martínez, J. J. Pérez Bueno, José Carlos Rubio Avalos, Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales Vol. 6, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas de la UMSNH. Morelia, Michoacán, México. **ISBN 970-9798-05-7**.

Observaciones:

La prorroga otorgada que extendió el periodo de ejecución del proyecto, ha permitido generar avances del uso de las estructuras bajo investigación en el área de ambiental. En el estado actual, se considera viable concretar eventualmente dos desarrollos que puedan ser evaluados por usuarios. También, se presentaron en el periodo, dos tesis de Maestría y se tuvo una estancia posdoctoral que permitió el cumplimiento del objetivo de pruebas de depósito en condiciones de CO<sub>2</sub> supercrítico.

