

## Informe técnico

### A1-S-9232 “Optimización de piezoeléctricos ecológicos por medio del monitoreo in situ de la viscosidad uniaxial”

#### Tercera etapa

4,000 caracteres en cada cuadro

#### 1. LOGRO DE OBJETIVOS EN LA ETAPA, RESPECTO DEL COMPROMISO

1.1. Para cada uno de los objetivos planteados para la etapa del proyecto objeto de este informe, describir el grado de cumplimiento, con respecto al compromiso.

El proyecto consta de 4 objetivos específicos

1. Obtener y caracterizar cerámicos piezolétricos sin Plomo.
2. Desarrollar una metodología basada en la obtención in situ de la viscosidad uniaxial para estimar el tamaño medio de partículas de un policristal.
3. Implementar un método de homogenización basado en Elementos Finitos para el cálculo de propiedades piezoeléctricas efectivas de estructuras granuladas.
4. Optimizar las propiedades piezoeléctricas por medio de la conexión: viscosidad uniaxial – estructura granular – propiedades efectivas.

Se puede considerar que los tres primeros objetivos específicos se cumplieron al 100%. Respecto al cuarto objetivo se presenta atraso, es posible que se haya logrado un 30% - 40%. Se cuenta con un año de prorroga enfocado en culminar este cuarto objetivo.

A lo largo de los dos primeros años del proyecto, se acumularon algunos atrasados como se explica en los reportes anteriores. Durante el tercer año se logró concluir una tesis de maestría y dos más están terminadas y los estudiantes están preparando su examen de grado. En estos trabajos se logro de una forma inicial establecer la conexión viscosidad uniaxial – estructura granular – propiedades efectivas, pero es necesario desarrollar una mayor sistematicidad.

1.2. Grado de avance global en el logro de los objetivos planteados, expresado en porcentaje (0-100%).

Del 100% esperado para el objetivo específico 1, se logró el 100% Ya se ha logrado el dominio de varias composiciones con alto número de iones metálicos por técnica de sol gel e hidrotermal.

Del 100% esperado para el objetivo específico 2, sólo se logró 100%

Del 100% esperado para el objetivo específico 3, se alcanzó un 100%. Debido al que el objetivo específico 3 es fundamentalmente teórico, se ha logrado cumplir casi en su totalidad.

En la tercera etapa se contemplaba concluir con el objetivo específico no 4. Debido a los atrasos explicados en reportes anteriores (pandemia y dificultades en la contratación de estudiantes). Completar este objetivo no fue posible. Esta situación se previó con tiempo y se solicitó un año de prórroga para el proyecto, la cual fue otorgada y planemos completar el objetivo 4 para octubre del año 2023. Se tiene algunos avances basados en los trabajos desarrollados por los estudiantes Antonino Vega y Benjamin Olmos.

### 1.3. En caso de no haber logrado los objetivos comprometidos al 100% argumentar las razones.

Desde enero de 2022, la universidad volvió a sus actividades presenciales al 100%. Además, durante la segunda mitad del 2021 se permitió un acceso limitado a los estudiantes de posgrado. Esto trajo como consecuencia que, durante el 2022, los trabajos del proyecto logran la intensidad requerida. Esto permitió llegar la final del tercer año con un logro significativo de los objetivos particulares. Sin embargo, apenas estamos empezando a trabajar en el cuarto objetivo porque el mismo requiere los resultados de los objetivos anteriores.

### 1.4. Indique las medidas que se implementarán para lograr los objetivos al 100%.

Desde el año pasado le hemos prestado especial atención a realizar diseños de experimentos más sencillos que nos conduzcan de forma más rápida a los resultados obtenidos. Por esta razón se decidió trabajar con el Titanato de Bario y así se logra evitar el trabajo en la síntesis para al menos un caso de trabajo. La estrategia dio resultado porque se logró completar el objetivo 2 con el Titanato de Bario (aunque la idea original era usar otros materiales más novedosos) y se lograron los primeros avances para poder culminar el objetivo específico 4 en un tiempo prudente. De todas formas, se adquirieron los reactivos y se está trabajando en varias composiciones más. Esto nos permitió completar una primera aproximación, pero es necesario lograr una mayor sistematicidad en los resultados para realmente alcanzar una contribución. Con tal motivo se solicitó un año de prórroga que fue otorgado.

## **2. LOGROS DE LAS ACTIVIDADES EN LA ETAPA**

### 2.1. Especificar para cada una de las actividades de la etapa descrita en la propuesta original, el avance en relación con lo programado. Mencionar, además, actividades no contempladas que se hayan realizado y la manera en que éstas benefician al proyecto original. Describir en qué forma el grupo de trabajo ha contribuido a lograr las actividades planteadas.

1.- Envío a revista de manuscritos de composiciones sin Plomo. Avance: Esta actividad tienen un avance de un 100% porque ya se cuenta con dos manuscritos publicado con piezoeléctricos libre de plomo. Además, un estudiante de maestría está trabajando en la implementación del método hidrotermal para la obtención de Titanato de Sodio Bismuto Potasio y se está trabajando en completar un manuscrito.

2.- Desarrollo de un formalismo basado en la mecánica de sólidos para la descripción del sinterizado con las capacidades del dilatómetro. Avance: Esta actividad está a un 100% porque ya contamos con el modelo desarrollado y se logró la aceptación del manuscrito correspondiente.

3.- Implementación de un modelo computacional basado en un híbrido entre los métodos de homogenización asintótica y elementos finitos para estimar las propiedades piezoeléctricas de materiales policristalinos. Avance: Esta actividad está completada al 100 % porque el modelo híbrido se encuentra concluido y publicado en el 2021. El trabajo fue desarrollado por el estudiante de doctorado Lorenzo Barraza que está terminado de escribir la tesis para presentar el examen de grado antes de finalizar el año. Es de destacar que este trabajo no sufrió afectaciones por la situación sanitaria.

4.- Construcción de volúmenes representativos de análisis para el cálculo de propiedades efectivas a partir de datos experimentales. Avance: 80%.

5.- Validación experimental del modelo computacional para el cálculo de propiedades piezoeléctricas. Envío a revista de manuscrito relacionado. Avance: 30%. Es necesario completar la actividad 4 para poder empezar a trabajar en la 5. Sin embargo, podemos considerar un ligero avance en la misma porque el estudiante de doctorado que desarrolló el modelo híbrido piezoeléctrico realizó comparaciones cualitativas con datos experimentales de la literatura y el resultado es congruente. Además, un segundo estudiante de doctorado está extendiendo el modelo híbrido para materiales policristalinos.

## 2.2. Capture el grado de avance global en las actividades planteadas, expresado en porcentaje (0-100%)

### Actividades etapa 1

Todas las actividades de la etapa 1 están cubiertas a un 100%

### Actividades etapa 2

1.- Envío a revista de manuscritos de composiciones sin Plomo. Avance: 100 %

2.- Desarrollo de un formalismo basado en la mecánica de sólidos para la descripción del sinterizado con las capacidades del dilatómetro. Avance: Esta actividad está a un 100%.

3.- Implementación de un modelo computacional basado en un híbrido entre los métodos de homogenización asintótica y elementos finitos para estimar las propiedades piezoeléctricas de materiales policristalinos. Avance: 100 %.

4.- Construcción de volúmenes representativos de análisis para el cálculo de propiedades efectivas a partir de datos experimentales. Avance: 90%.

5.- Validación experimental del modelo computacional para el cálculo de propiedades piezoeléctricas. Envío a revista de manuscrito relacionado. Avance: 80%. Actualmente se posee un avance significativo y se están obteniendo números razonables. Pero es necesario desarrollar comparaciones más sistemáticas.

### Actividades etapa 3

- 1.- Concluir el análisis y la interpretación de resultados de la descripción del sinterizado basada en la mecánica de sólidos. Envío a revista de manuscrito relacionado (100%)
- 2.- Atención a posibles atrasos en las actividades anteriores (El proyecto no se concluye y por eso se gestionó un año de prórroga).
- 3.- Establecimiento de la conexión entre la viscosidad uniaxial, el tamaño medio de partícula y las propiedades piezoeléctricas con base al modelo computacional y los datos experimentales. Envío a revista de manuscrito relacionado. (40%)
- 4.- Conclusión del proyecto. Revisión de cumplimiento de objetivos y metas (El proyecto no se concluye y por eso se gestionó un año de prórroga).

#### 2.3. En caso de que el avance no haya sido del 100%, indicar los motivos por los cuales no se realizaron las actividades en su totalidad

La actividad 4 de la etapa 2 está enfrentando algunos imprevistos relacionados con el manejo de la información. Con el Dr. Boris Jesus Mederos Madrazo se está trabajando en la implementación de una metodología para la construcción de volúmenes representativos en 3D a partir de información en 2D (información ofrecida por técnicas de caracterización de microscopía) basada en reconstrucción de imágenes con inteligencia artificial. Existen avances significativos, pero no ha sido posible su implementación para el cálculo de propiedades efectivas. Se están revisando todos los procesos en busca de la implementación final.

La actividad 1 de la etapa 3 está lograda. Se tiene un manuscrito aceptado en The Journal of The American Ceramic Society.

Las actividades 3 y 4 de la etapa 3 se relacionan con atender atrasos y concluir el proyecto. Debido a las situaciones descritas en los informes técnicos anteriores se gestionó la prórroga de un año para poder concluir el proyecto.

La actividad 3 de la etapa 3 es la que ha experimentado el mayor atraso por dos razones. La primera es que en esta actividad sólo se puede trabajar si en las demás actividades se han alcanzado niveles avanzados del trabajo. Esta parte sufrió atrasos como se describe en informes anteriores, pero a la fecha de elaboración de este reporte, las actividades anteriores se completaron de forma satisfactoria. La segunda razón consiste en que esta actividad es muy novedosa y aparecen situaciones no previstas como son las dificultades con el procesamiento de datos del dilatómetro para el cálculo de la viscosidad uniaxial. De todas formas, se tienen avances, el estudiante Antonino Vega Siverio concluyó su maestría y obtuvo una primera aproximación experimental entre el tamaño de grano y la viscosidad uniaxial. El estudiante está continuando con sus estudios de doctorado y todavía no se tienen resultados novedosos para redactar un manuscrito enfocado en este aporte del proyecto.

#### 2.4. Indique la estrategia que se seguirá para realizar las actividades planteadas al 100%

Actualmente el estudiante de doctorado Antonino Vega Siverio está desarrollando su doctorado en la relación entre el tamaño de grano de muestras sinterizadas y la viscosidad uniaxial para el BNKT-ST (Titanato de Sodio Potasio Bismuto con Titanato de Estroncio), lo cual constituye la actividad 3 de la etapa 3. Es de destacar que el estudiante Felix Ruiz de maestría está trabajando en una problemática muy similar, pero con el LiMnPO<sub>3</sub> (Fosfato de Litio Manganeso). Además, con el apoyo del Dr. Boris Mederos Madrazo se está trabajando en el procesamiento de señales enfocado en los datos que se manejan con el dilatómetro. Es decir, las actividades necesarias para completar la actividad faltante están bien encaminada.

### **3. GRADO DE AVANCE DE LOS RESULTADOS O ENTREGABLES ALCANZADOS EN LA ETAPA**

3.1. Describir, desde el punto de vista técnico, el grado de avance de los resultados comprometidos, en relación con las actividades realizadas en el periodo indicado. Es importante resaltar que en la sección de Productos deberá referir en forma detallada cada uno de los productos obtenidos: libros, capítulos de libros, artículos, reportes, tesis, manuales, etc., que reflejen el logro del o de los productos obtenidos en la etapa que se reporta, de acuerdo al Programa de Actividades del Convenio de Asignación de Recursos. Así mismo, deberá anexar documentación probatoria de los resultados o entregables obtenidos y reportados en la etapa (el tamaño de los Anexos no debe ser superior a 5MB).

Durante los tres años de ejecución se ha logrado la síntesis de materiales piezoeléctricos, el desarrollo del modelo híbrido para el cálculo de propiedades piezoeléctricas y la implementación de una metodología para la estimación de la viscosidad uniaxial como medida del desarrollo del proceso de cocción. Respecto a la relación tamaño de grano – viscosidad uniaxial – propiedad piezoeléctrica se logró una primera aproximación con el Titanato de Bario, pero es necesario un poco más de sistematicidad. Lo logrado ha permitido la publicación de 8 artículos en revista y asistencia a 5 congresos. Dos artículos fueron admitidos en la tercera etapa y se asistió a tres congresos:

1. G. Hernández-Cuevas, J.R. Leyva Mendoza, P.E. García-Casillas, I. Olivas-Armendariz, P.G. Mani-González, S. Díaz de la Torre, O. Raymond-Herrera, E. Martínez-Guerra, Y. Espinosa-Almeyda, H. Camacho-Montes. Synthesis and characterization of niobium doped bismuth titanate. (Admitido en el Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.)
2. I. M. Espinoza-Ochoa, H. Camacho-Montes, Y. Espinosa-Almeyda, C. A. Rodríguez-González, R. K. Bordia. The effectiveness of published continuum constitutive laws to predict stress assisted densification of powder compacts. (Admitido en Journal of The American Ceramic Society)

Durante el 2022 se asistió a los congresos:

1. TechConnect World Innovations Conference & Expo del 13 al 15 de junio, 2022 en Washington, DC. :
  - 1.1. Ceramic sintering and properties characterization based on solid mechanics H. Camacho Montes, Y. Espinosa Almeyda, J.D. Gamboa Garay, L.E. Barraza de León, A. Vega Siverio,

I.M. Espinoza Ochoa, J.A. Otero Hernández, R. Rodríguez Ramos, B.J. Mederos Madrazo, F.J. Sabina, R.K. Bordia, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, MX

2. . ACerS Pan American Ceramics Congress:

- 2.1. H. Camacho Montes; A. Gracia Reyes; I. M. Espinoza Ochoa; Y. Espinosa Almeyda; A. Vega Siverio; B. Olmos; R. Bordia. Densification and shape deformation cases descriptions for sintering based on solid mechanics.
- 2.2. Hector Camacho Montes, Lidia Hortensia Rascón Madrigal, Héctor Manuel Loya Caraveo, Abdi Delgado Salido, Armando García Reyes, Irma Espinoza, Rajendra K Bordia. High resolution laser assisted load dilatometry focused on simultaneous axial and radial strain measurements for sintering characterization.
- 2.3. Benjamin Alejandro Olmos Galarza, Oscar Raymond Herrera, Guillermo Herrera-Pérez, Héctor Camacho Montes. Grain size and crystallographic texture effect on the piezoelectric coefficient  $d_{33}$  of BaTiO<sub>3</sub> ceramics.
- 2.4. A. Vega Siverio, Boris J. Mederos Madrazo, H. Camacho Montes. Influence of grain size on uniaxial viscosity during sintering.

3. XXX International Materials Research Congress:

- 3.1. Hector Camacho Montes, Armando García Reyes, Irma Espinoza, Yoanh Espinosa Almeyda, Antonino Vega Siverio, Benjamin Alejandro Olmos Galarza, Rajendra K Bordia. Densification and shape deformation cases during sintering description based on solid mechanics.
- 3.2. Hector Camacho Montes, Lidia Hortensia Rascón Madrigal, Héctor Manuel Loya Caraveo, Abdi Delgado Salido, Armando García Reyes, Irma Espinoza, Rajendra K Bordia. High resolution laser assisted load dilatometry focused on simultaneous axial and radial strain measurements for sintering characterization.
- 3.3. Antonino Vega Siverio, Hector Camacho Montes, Boris Jesús Mederos Madrazo, Irma Espinoza. Influence of grain size on uniaxial viscosity during the sintering process in ceramics.
- 3.4. Fernando Soto, Hector Camacho Montes, Claudia Alejandra Rodríguez González. Hydrothermal synthesis of Bismuth Sodium Potassium Titanate.

3.2. Capture el grado de avance en la obtención de resultados y entregables, expresado en porcentaje (0-100%)

Para la tercera etapa se planearon los siguientes productos:

- 1 - Se espera lograr un mínimo de dos tesis culminadas de maestría y/o licenciatura.
- 2 - Una tesis de doctorado totalmente enfocada en desarrollar un modelo computacional para el cálculo de propiedades piezoeléctricas en materiales policristalinos.
- 3 - Un artículo en revista indexada donde se muestre la descripción del sinterizado basada en la mecánica de sólidos haciendo especial énfasis en el análisis de la relación existente entre la viscosidad uniaxial y el tamaño de partícula con bases teóricas y experimentales.
- 4 - Una publicación en revista indexada donde se reporte la metodología desarrollada para la optimización de las propiedades piezoeléctricas de materiales policristalinos basados en la conexión viscosidad uniaxial - estructura granular - propiedades efectivas

5 - Al menos una tesis de maestría o doctorado en el proceso de optimización de propiedades piezoeléctricas.

6 - Presentación en eventos nacionales o internacionales donde se muestren los logros en la descripción del proceso de sinterizado basada en la mecánica de sólidos, así como, la relación entre el tamaño de partícula y la viscosidad uniaxial obtenida de forma experimental.

7 - Un artículo en revista indexada enfocado en reportar el modelo computacional para el cálculo de propiedades efectivas piezoeléctricas de materiales policristalinos

8 - Presentación en eventos nacionales y/o internacionales de la metodología establecida para la optimización de las propiedades piezoeléctricas basados en la conexión viscosidad uniaxial - estructura granular - propiedades efectivas. Este será el resultado más importante de la propuesta en caso de que se transforme en proyecto.

Los productos 1, 2 y 5 relacionados con la formación de recursos humanos se lograron:

**Estudiantes de licenciatura**

Felix Ruiz Ramirez.

Isaac Baca Muñoz

Christian Hernández Muñoz

Israel Arturo Medina Barrón

Jorge Luis Tena García

Yesenia Santos Juárez

**Estudiantes de maestría**

Antonino Vega Siverio

Fernando Soto Nieto

Benjamin Alejandro Olmos Galarza

Esteban Melgar

**Estudiantes de doctorado**

Lorenzo Efraín Barraza de León

Irma Magaly Espinoza Ochoa

Jesus David Gamboa

Los productos 6 y 8 están relacionados con la participación en eventos. Durante el 2022, los miembros del proyecto asistieron a tres eventos internacionales:

-TechConnect World Innovation Conference & Expo, Washington, EUA. Del 13 al 15 de junio, 2022.

-PanAmerican Ceramic Congress, Ciudad de Panamá, Panamá, Del 24 al 28 de julio, 2022

-XXX International Materials Research Congress, Cancún, México. Del 14 al 19 de agosto.

Se logró un avance importante respecto a los productos 3, 4 y 7. En lo referente al número de publicaciones, en todo el proyecto se planearon 6 publicaciones y se lograron 8. En número se cumplió la meta, se lograron 4 artículos en propiedades efectivas, 1 en propiedades efectivas de estructuras 3D lo que constituye la antesala del modelo de propiedades efectivas de materiales policristalinos que sería uno de los mayores aportes del proyecto, 2 artículos de procesamiento cerámico, y un último manuscrito enfocado en la descripción que ofrece la mecánica de sólidos para caracterizar el proceso de sinterizado que ha sido aceptado en The Journal of The American

Ceramic Society. Si a esto agregamos, los trabajos de maestría de los estudiantes Antonino Vega Siverio y Benjamin Alejandro Olmos Galarza más el proyecto de doctorado que está desarrollando Antonino Vega, tenemos que se ha logrado construir el medio adecuado para cumplir con el objetivo general. En resumen, la única actividad pendiente es la 4, y por esta razón se ha solicitado un año de prórroga.

### 3.3. En caso de no haber logrado un avance del 100% en la obtención de resultados y entregables, argumentar las razones.

En la propuesta original desarrollada en el 2018, se programa una serie de resultados que no han sido obtenidos como fueron planeados. La principal diferencia entre lo planeado y lo obtenido consiste en que se pronosticó un manuscrito en la descripción del sinterizado basada en la mecánica de sólidos haciendo especial énfasis en el análisis de la relación existente entre la viscosidad uniaxial y el tamaño de partícula con bases teóricas y experimentales y otra en la optimización de las propiedades piezoeléctricas de materiales policristalinos basados en la conexión viscosidad uniaxial - estructura granular - propiedades efectivas. Estos dos productos planeados se están obteniendo algo diferente a la idea inicial. El manuscrito aceptado es en la descripción del sinterizado basada en la mecánica de sólidos, pero es muy difícil alcanzar una descripción macroscópica y microscópica a la vez, esto segundo sería otro trabajo. Para el año adicional solicitado se planea trabajar en la conexión viscosidad uniaxial - estructura granular - propiedades efectivas y así dar cabal cumplimiento al objetivo general. Esta tarea está contemplada en el Doctorado del estudiante Antonino Vega Siverio.

### 3.4. Indique las medidas que se implementarán para obtener el 100% de los resultados y entregables

La actividad que falta por cumplir está bien definida, consiste en realizar la conexión: tamaño de grano – viscosidad uniaxial – propiedad piezoeléctrica. Existen adelantos importantes en esta actividad. De hecho, se ha logrado en una primera aproximación con el Titanato de Bario, pero los resultados no son del todo congruentes. El estudiante Benjamin Olmos culminó su proyecto de maestría y está próximo a presentar el examen de grado. En su trabajo se establece la relación entre el tamaño de partícula y la constante piezoeléctrica. Por otro lado, Antonino Vega Siverio concluyó su maestría en la relación entre el tamaño de grano y la viscosidad uniaxial. Sin embargo, la conexión que se busca no se ha logrado establecer de forma congruente. Acorde a nuestra experiencia, la estructura cerámica es más manipulable si se trabaja con nanopartículas. Uno de los estudiantes que ha participado en el proyecto, Christian Hernández Muñoz, obtuvo nanopartículas de BNKT-ST. El proyecto de doctorado de Antonino Vega Siverio se enfoca en establecer la mencionada conexión para el BNKT-ST nanométrico. Debido a la experiencia que se ha desarrollado, es de esperar que esta actividad, que está en desarrollo, se logre en un año más. Es posible que un año más no se logre todavía la publicación, pero al menos se buscará redactar un primer borrador de manuscrito.

## **4. BENEFICIOS O IMPACTOS**



4. Señalar el impacto o beneficio en la generación de nuevo conocimiento para el Sector, en la etapa que se reporta. Indicar el impacto o beneficio en el desarrollo científico y tecnológico del Sector (Ej. Avance en el conocimiento científico y/o tecnológico; Fortalecimiento y consolidación de grupos de investigación incluyendo la formación de recursos humanos; Fortalecimiento de infraestructura científica y tecnológica; etc.)

El proyecto está concebido en dos frentes. Uno teórico basado en el desarrollo de modelos para el cálculo de propiedades efectivas y el otro en desarrollo experimentales que van de la síntesis de polvos cerámicos hasta la descripción del proceso de sinterizado basado en la mecánica de sólidos. Un parámetro relevante de esta descripción es la viscosidad uniaxial que contiene información acerca del tamaño de grano el cual se busca relacionar con las propiedades piezoeléctricas de forma teórica y experimental. Hasta el momento se han logrado publicaciones que agradecen el proyecto en las dos líneas. Se han obtenidos aportes en la relación procesamiento-estructura-propiedades de materiales piezoeléctricos libres de plomo, donde se destaca la forma en que debe de ser manipulada la estructura para controlar la propiedad piezoeléctrica. De hecho, se logró una propiedad piezoeléctrica récord para el BNKT (Titanato de Bismuto Sodio Potasio) haciendo uso del dilatómetro de carga. También se ha encontrado conocimiento nuevo acerca del dopaje de Titanato de Bismuto con Niobio. Por otro lado, se logró desarrollar un modelo computacional para el cálculo de propiedades piezoeléctricas con una amplia capacidad para considerar diferentes tipos de volúmenes representativos. El modelo pasó un primer nivel de validación comparándolo con modelos analíticos y, bajo solicitud de un árbitro, se usó para estudiar el efecto piezoeléctrico en huesos. Se están obteniendo resultados interesantes en la relación que existe entre el tamaño de grano y la viscosidad uniaxial. De esta forma se está logrando contribuir al conocimiento. El proyecto ha logrado involucrar 6 estudiantes de licenciatura, 4 de maestría y 3 de doctorado por lo que se ha involucrado de forma considerable en el desarrollo de recursos humanos. El desarrollo del prototipo está involucrado con la protección de una invención por lo que se planea la generación de una posible patente para proteger propiedad industrial. Por último, es de señalar que, con el apoyo de las búsquedas bibliográficas, hemos detectado la posibilidad de aplicar la metodología de control efectivo de propiedades de materiales policristalinos hacia otro tipo de propiedades. Por ejemplo, esta metodología puede ser usada para el procesamiento de cerámicos usados en la fabricación de baterías para el almacenamiento de energía. De hecho, el estudiante Felix Ruiz Ramirez está trabajando en la síntesis y caracterización del Fosfato de Olivino Litio Manganeso con posibles aplicaciones como cátodo en baterías de ion Litio.

## **5. PARTICIPANTES EN LA ETAPA**

5. Describir si el grupo de investigación actuó conforme a lo planteado en la propuesta original, así como cambios o incorporación de nuevos participantes al proyecto y cuál es la relevancia de su participación.

Fernando Soto Nieto - Maestría en Ciencias de los Materiales - Método hidrotermal – Proyecto en proceso. Desarrolló la síntesis de BNKT por el método hidrotermal. (Se está preparando para el examen de grado)

Antonino Vega Siverio - Doctorado en Ciencias de los Materiales - Procesamiento cerámico basado en la mecánica de sólidos. Relación tamaño de grano – viscosidad uniaxial – propiedad piezoeléctrica para el Titanato de Bismuto Sodio Potasio dopado con Titanato de Estroncio. (Cursando segundo semestre)

Benjamin Alejandro Olmos Galarza – Maestría en Ciencias de los Materiales – Estableció de forma experimental la relación entre el tamaño de grano de muestras obtenidas en el sistema de forja de cerámicos y la propiedad piezoeléctrica de Titanato de Bario. (Se está preparando para el examen de grado)

Irma Magaly Espinoza Ochoa - Doctorado en Ciencias de los Materiales - Procesamiento cerámico basado en la mecánica de sólidos. - Medición de la viscosidad uniaxial en el dilatómetro de carga. - Logró el manuscrito requisito para graduarse. Se encuentra preparándose para el examen de grado.

Lorenzo Efraín Barraza de León - Doctorado en Ciencias de los Materiales - Desarrollo de un modelo computacional híbrido entre el método de homogenización asintótica y los elementos finitos – Se está preparando para el examen de grado.

Jesus David Gamboa Garay – Doctorado en Ciencias de los Materiales – Está implementado el modelo híbrido para cálculo de propiedades piezoeléctricas en materiales policristalinos.

Felix Ruiz Ramirez - Maestría en Ciencias de los Materiales – Está trabajando en la fabricación de monolitos cerámicos de  $\text{LiMnPO}_4$  con el objetivo de aplicar la metodología del presente proyecto y ver el efecto en las propiedades electroquímicas.

Jorge Luis Tena García y Yesenia Santos Juárez – Ingeniería de Materiales – Están trabajando en la fabricación de fibras cerámicas por medio de extracción de un compuesto polímeros/cerámicos con el objetivo de perfeccionar la fabricación de cintas en verde.

Investigadores tecnólogos involucrados: Héctor Camacho Montes - Responsable técnico  
Claudia Alejandra Rodríguez González - Obtención de polvos cerámicos por métodos químicos. Caracterización estructural de cerámicos sinterizados.

Perla Elvia García Casillas - Obtención de polvos cerámicos por métodos químicos.

Imelda Olivas Armendariz - Obtención de polvos cerámicos por métodos químicos.

Jose Antonio Otero Hernández - Método híbrido para la obtención de propiedades efectivas

Juan Francisco Hernández Paz - Caracterización estructural de cerámicos sinterizados.

Yoanh Espinosa Almeyda - Método híbrido para la obtención de propiedades efectivas

Lidia Hortensia Rascón Madrigal, Héctor Manuel Loya Caraveo y Armando García Reyes - Prototipo de dilatómetro de carga de alta precisión.

Boris Jesus Mederos Madrazo – Procesamiento de señales del dilatómetro.

## **6. CAMBIOS EJECUTADOS Y SOLICITUDES DE CAMBIOS**

6. Enlistar los ajustes realizados en el proyecto, identificando tanto los que no requirieron autorización por parte de los Secretarios Técnico y/o Administrativo del Fondo, como aquellos que fueron autorizados, así como la justificación técnica y/o administrativa de los cambios.

El mayor cambio del proyecto se efectuó durante el primer año en busca de un prototipo de dilatómetro de carga más eficiente y funcional. El segundo cambio importante fue decidir

trabajar con el Titanato de Bario para avanzar en la parte de tamaño de partícula - viscosidad uniaxial – propiedades piezoeléctricas. Dos estudiantes de maestrías culminaron sus proyectos con este material (Antonino Vega y Benjamin Olmos). Se puede decir que se obtuvo un avance importante. Sin embargo, no se logró la sistematicidad necesaria para poder argumentar una contribución. De hecho, la propiedad piezoeléctrica disminuye con el favorecimiento de la textura cristalográfica durante el proceso de sinterizado de forja en la dirección de aplicación del esfuerzo uniaxial. Este resultado complica el estudio del Titanato de Bario, pero trabajar con él nos permitió establecer la metodología. En estos momentos el estudiante de doctorado Antonino Vega está repitiendo la experimentación, pero para el Titanato de Bismuto Sodio Potasio (BNKT) dopado con Titanato de Estroncio porque tenemos el antecedente que la presión uniaxial favorece la propiedad piezoeléctrica del BNKT. De hecho, bajo los trabajos del presente proyecto se logró obtener propiedades piezoeléctricas récord para este material.

## **7. MODIFICACIONES SOBRE EL PRESUPUESTO AUTORIZADO.**

7. Describir las condicionantes técnicas que originaron cualquier cambio en el ejercicio del presupuesto de la etapa y que obligaron a modificar la aplicación de recursos con respecto al presupuesto original, en tiempos y/o montos. Justificar las razones de las variaciones entre el presupuesto real y el ejercido, de los rubros a reportar en el informe financiero de la etapa.

En el informe de la primera etapa se relatan las razones que nos llevaron a aumentar los esfuerzos en busca de aterrizar un prototipo de dilatómetro de carga más funcional. En específico se mencionan las experiencias que se han ganado desde el 2018 cuando se sometió la propuesta hasta el 2020 cuando se desarrolló el primer año del proyecto. Por estas razones el mayor cambio de presupuesto se realizó durante el primer año. En el segundo año el cambio de presupuesto más notorio consistió en que se tenían destinados 200,000 MXP para la compra de un servidor para el desarrollo de cálculo. De este presupuesto se está destinando alrededor de 100,000 MXP para el control eléctrico del prototipo y se deja el resto para el objetivo inicial. El resto de los cambios al presupuesto fueron muy sencillos, y se encuentran dentro del presupuesto de gasto corriente.