

# Informe técnico por etapa

## Modalidad: Investigación científica

<b>Fondo:</b>	FOSEC SEP-INVESTIGACIÓN BÁSICA
<b>Clave convocatoria:</b>	FSSEP02-C-2018-1
<b>Nombre convocatoria:</b>	CONVOCATORIA-2018-1
<b>Título convocatoria:</b>	CONVOCATORIA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
<b>Convocatoria privada:</b>	No
<b>Prepropuesta:</b>	No
<b>Estatus Convocatoria:</b>	Publicada
<b>Número de Solicitud:</b>	A1-S-9232
<b>Nombre del Proyecto:</b>	Optimización de piezoeléctricos ecológicos por medio del monitoreo in situ de la viscosidad uniaxial
<b>Sujeto de Apoyo:</b>	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIUDAD JUAREZ
<b>Responsable Técnico:</b>	HECTOR CAMACHO MONTES
<b>CVU Responsable Técnico:</b>	121156
<b>Título Etapa:</b>	Etapa 2
<b>Estatus Etapa:</b>	En proceso
<b>Fecha Alta:</b>	26/Sep/2021
<b>Fecha de envío del Informe:</b>	16/Oct/2021 10:00:31

## Etapa 2

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

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

- Pregunta:** 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.
- Respuesta:** El proyecto consta de 4 objetivos específicos
1. Obtener y caracterizar cerámicos piezoléctricos 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 piezoléctricas efectivas de estructuras granuladas.
  4. Optimizar las propiedades piezoléctricas por medio de la conexión: viscosidad uniaxial estructura granular propiedades efectivas.
- Se puede considerar que las actividades comprometidas para la segunda etapa del proyecto corresponden a un 100% de cumplimiento del primer objetivo específico, un 60% del segundo objetivo específico, un 90% del tercer objetivo específico y un 0% del cuarto objetivo específico.
- Nuevamente, los dos factores que pesaron más en el grado de avances de los objetivos del proyecto fueron el lograr reclutar estudiantes para el proyecto y la situación con la pandemia. La contratación de estudiantes ha marchado bien, y se ha recuperado el trabajo en el laboratorio debido al mejoramiento de la situación sanitaria. No obstante, los casi 15 meses sin laboratorio generaron atrasos que tomará tiempo recuperar y se está planeando solicitar una prórroga para extender el tiempo de ejecución del proyecto.

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

- Pregunta:** 1.2 Grado de avance global en el logro de los objetivos planteados, expresado en porcentaje (0-100%)
- Respuesta:** 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 60%
- Del 100% esperado para el objetivo específico 3, se alcanzó un 90%. Debido al que el objetivo específico 3 es fundamentalmente teórico, se ha logrado cumplir casi en su totalidad. En este momento un estudiante de maestría está preparando las muestras de Titanato de Bario presentando varias distribuciones de orientaciones a través de la técnica de forja de sinterizado para la validación experimental con mayor sistematicidad. Es de destacar que el modelo ya ha pasado varias etapas de validación incluyendo comparación con datos experimentales.
- En la segunda etapa no se contempla trabajar en el cuarto objetivo específico.

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

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

**Respuesta:** La situación sanitaria ha mejorado y los estudiantes se han ido incorporando a los laboratorios desde abril de 2021. Solo se permitió los estudiantes que desarrollan tesis de posgrado. En este momento, respectado las medidas sanitarias, es posible que los estudiantes de los tres niveles pueden entrar a trabajar. Por lo que se puede argumentar que la intensidad de los trabajos en los laboratorios se ha recuperado de forma total. Sin embargo, el retraso tomará un tiempo para recuperar, se está planeando solicitar prórroga para alargar el tiempo de ejecución del proyecto.

**LOGRO DE OBJETIVOS EN LA ETAPA, RESPECTO DEL COMPROMISO**

**Pregunta:** 1.4 Indique las medidas que se implementarán para lograr los objetivos al 100%

**Respuesta:** Se está prestando especial interés en optimizar al máximo los diseños de experimentos e identificar las etapas más adecuadas para la interpretación de resultados, así se busca disminuir los tiempos que se consumen en lograr los resultados más significativos y que indican si el logro está en concordancia con la meta planeada. En este momento se ha recuperado al 100% el trabajo en el laboratorio lo cual abre el camino para poder lograr cumplir los objetivos del proyecto. Además, se ha tomado como referencia el Titanato de Bario que es un material bastante conocido y se planea comprobar la hipótesis del proyecto en una primera instancia con este material.

**LOGROS DE LAS ACTIVIDADES EN LA ETAPA**

**Pregunta:** 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.

**Respuesta:** 1.- Envío a revista de manuscritos de composiciones sin Plomo. Avance: Esta actividad tienen un avance de un 80% porque ya se cuenta con un manuscrito publicado con piezoeléctricos libre de plomo. Un segundo manuscrito está pasando el proceso de revisión. Además, un estudiante de maestría está trabajando en la implementación del método hidrotermal para la obtención de Titanato de Sodio Bismuto Potasio.  
2.- Desarrollo de un formalismo basado en la mecánica de sólidos para la descripción del sinterizado con las capacidades del dilatómetro. Avance: Esta

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

actividad está a un 80% porque ya constamos con el modelo desarrollado y se está trabajando en la elaboración de un manuscrito para enviarlo a revista.

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 un estudiante de doctorado 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: 20%. Esta actividad está muy atrasada debido a la imposibilidad que se tuvo para trabajar en los laboratorios por alrededor de 15 meses. La buena noticia es que en este momento dos estudiantes de maestría están desarrollando su trabajo en temas que apoyan el desarrollo de esta actividad. Se espera que en pocos meses se alcance al menos un 80% de avance.

5.- Validación experimental del modelo computacional para el cálculo de propiedades piezoeléctricas. Envío a revista de manuscrito relacionado. Avance: 20%. 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.

## LOGROS DE LAS ACTIVIDADES EN LA ETAPA

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

**Respuesta:** Actividades etapa 1

1. Obtención de polvos cerámicos por métodos químicos: Sol gel e hidrotermal. Avance: 100% Ya se cuenta el dominio de los titanatos de bismuto. Un estudiante de maestría ya obtuvo Titanato de Bismuto Sodio Potasio por el método hidrotermal. Los Titanatos de Bismuto Sodio Potasio por si solo más con estroncio o Bario añadido por el método sol gel también se tienen dominados.

2. Actualización de las capacidades del dilatómetro de carga para el monitoreo in-situ del tamaño de partícula a través de la viscosidad uniaxial (Desarrollo de prototipo). Avance: 90%. Todas las gestiones de compra para la conclusión del prototipo ya fueron desarrolladas a pesar de que se tuvieron atrasos por la pandemia. Se está terminando de desarrollar pruebas y es alto probable que el prototipo para la medición de la viscosidad uniaxial quede listo antes del final del

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

año en curso.

3. Elaboración de una metodología para estimar el tamaño medio de partícula a partir de la viscosidad uniaxial apoyada de mapas experimentales que relacionen la viscosidad con el esfuerzo aplicado y la temperatura. Avance: 40%.

4. Caracterización estructural de cerámicos sinterizados. Avance 75%. La mayor parte de la caracterización está desarrollada. Sin embargo, todavía se necesita más resultados para completar los objetivos del proyecto. No deben de aparecer dificultades grandes en este rubro.

5. Planteamiento del modelo computacional híbrido entre el método de homogenización asintótica y los elementos finitos. Avance: 100%

Actividades etapa 2

1.- Envío a revista de manuscritos de composiciones sin Plomo. Avance: Esta actividad tienen un avance de un 80 %

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 80%.

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: 40%.

5.- Validación experimental del modelo computacional para el cálculo de propiedades piezoeléctricas. Envío a revista de manuscrito relacionado. Avance: 20%.

## LOGROS DE LAS ACTIVIDADES EN LA ETAPA

**Pregunta:** 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

**Respuesta:** Existe una parte del desarrollo experimental que es esencial para la validación de la hipótesis del proyecto y el cumplimiento del objetivo general del mismo. Esta parte consiste en conectar el tamaño de grano de las muestras sinterizadas en el sistema de forja de cerámicos con la viscosidad uniaxial para así lograr una estimación de la estructura sin necesidad de caracterizarla. El desarrollo del prototipo es precisamente para acelerar esta parte de la experimentación y el mismo también se ha visto afectado por la situación sanitaria. De ser válida la hipótesis, esto sería la mayor aportación al conocimiento del presente proyecto. Esta es la parte que se vio más afectada con el cierre de los laboratorios por casi 15 meses. La buena noticia es que una estudiante que está concluyendo su doctorado ya desarrolló la metodología para la estimación de la viscosidad uniaxial y dos estudiantes de maestría están desarrollando la parte experimental con muestras de Titanato de Bario. Es de esperar que esta parte empiece a experimentar avances importantes a corto plazo, pero

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

completar la actividad puede ser algo extendido producto de las dificultades propias que resultan de la implementación de nuevas metodologías. Para la actividad 4 de la etapa 2 ya se cuenta con un número considerable de muestras y actualmente se están preparando para realizar la microscopía. A las muestras se les está realizando cortes transversales y longitudinales, de esta forma se va a tener criterio para construir volúmenes representativos de análisis y se tiene una secuencia de muestras obtenidas bajo diferentes esfuerzos. Un avance considerable de la actividad 4 permitirá que la actividad 5 de la segunda etapa tome fuerza.

### LOGROS DE LAS ACTIVIDADES EN LA ETAPA

**Pregunta:** 2.4 Indique la estrategia que se seguirá para realizar las actividades planteadas al 100%

**Respuesta:** Se escogió Titanato de Bario como material principal de referencia para simplificar el trabajo para el desarrollo de la metodología de conexión viscosidad uniaxial estructura cerámica. De esta forma se espera disminuir dificultades y garantizar el cumplimiento del objetivo general. Por supuesto, una vez completada la actividad se puede aplicar a otros materiales. La metodología para la estimación de la viscosidad uniaxial fue desarrollada por una estudiante de doctorado que está concluyendo, la parte del diseño de experimento está siendo desarrollado por dos estuantes de maestría. Es de esperar que este rubro experimente avances importantes en los próximos meses. Cuando el proyecto estaba en etapa de propuesta, para esta actividad se estaba planeando usar composiciones más complejas como el BNKT o BNKT-ST que de todas formas se están desarrollando, pero no sabemos si el tiempo de ejecución del proyecto nos permitirá probar la hipótesis con estas composiciones. De todas formas, se seguirá investigando bajo la hipótesis del proyecto por mucho tiempo.

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

**Pregunta:** 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).

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**Respuesta:** Durante los dos años de ejecución se han logrado avances significativos en la síntesis de materiales piezoeléctricos, en el desarrollo del modelo híbrido para el cálculo de propiedades piezoeléctricas y en la implementación de una metodología para la estimación de la viscosidad uniaxial como medida del desarrollo del proceso de cocción. Se desarrolló el prototipo en tiempo y forma, pero su construcción ha experimentado atrasos. Si bien el escenario que se necesita para establecer la relación tamaño de grano viscosidad uniaxial propiedad piezoeléctrica está listo, esta tarea está atrasada respecto a la planeación original. Lo logrado ha permitido la publicación de 6 artículos en revista y la presentación de trabajos en dos congresos con apoyo del proyecto.

1. Y. Espinosa-Almeyda, H. Camacho-Montes, J.A. Otero, R. Rodríguez-Ramos, J.C. López-Realpozo, R. Guinovart-Díaz, F.J. Sabina. Interphase effect on the effective magneto-electro-elastic properties for three-phase fiber-reinforced composites by a semi-analytical approach. *International Journal of Engineering Science* 154 (2020) 103310.

2. J. C. López-Realpozo. R. Rodríguez-Ramos. A. J. Quintero Roba. H. Brito-Santana. R. Guinovart-Díaz. Volnei Tita. F. Lebon. H. Camacho-Montes. Y. Espinosa-Almeyda. J. Bravo-Castillero. F. J. Sabina. Behavior of piezoelectric layered composites with mechanical and electrical non-uniform imperfect contacts. *Meccanica* volume 55, pages125138 (2020)

3. G. Hernandez-Cuevas, J. R. Leyva Mendoza, P. E. García-Casillas, C. A. Rodríguez González, J. F. Hernandez-Paz, G. Herrera-Pérez, L. Fuentes-Cobas, S. Díaz De La Torre, O. Raymond-Herrera, H. Camacho-Montes. Effect of the sintering technique on the ferroelectric and d33 piezoelectric coefficients of Bi0.5(Na0.84K0.16)0.5TiO3 ceramic. *J Adv Ceram* 8, 278288 (2019).

4. Y. Espinosa-Almeyda. R. Rodríguez-Ramos. H. Camacho-Montes. R. Guinovart-Díaz. F. J. Sabina Elliptic functions and lattice sums for effective properties of heterogeneous materials. *Continuum Mech. Thermodyn.* 33, 16211636 (2021).

5. L. E. Barraza de León. H. Camacho-Montes. Y. Espinosa-Almeyda. J. A. Otero · R. Rodríguez-Ramos. J. C. López-Realpozo. F. J. Sabina Semi-analytic finite element method applied to short-fiber-reinforced piezoelectric composites. *Continuum Mech. Thermodyn.* 33, 19571978 (2021).

6. Federico J. Sabina, Yoanh Espinosa-Almeyda, Raúl Guinovart-Díaz, Reinaldo Rodríguez-Ramos, Héctor Camacho-Montes. Effective Complex Properties for Three-Phase Elastic Fiber-Reinforced Composites with Different Unit Cells. *Technologies* 2021, 9, 12.

Durante el 2021 se asistió a los congresos:

1. Virtual Materials Challenges in Alternative and Renewable Energy 2021 con el trabajo:

1.1. L. E. Barraza de León, H. Camacho-Montes, Y. Espinosa-Almeyda, J. A. Otero-Hernández, R. Rodríguez-Ramos, · J. C. López-Realpozo, · F.J. Sabina. Semi-analytic finite element method applied to short fiber-reinforced piezoelectric composites.

2. XXIX International Materials Research Congress con los trabajos:

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

2.1. Omar Cedillos Barraza, Irma Espinoza, Perla Elvia Garcia Casillas, Claudia Alejandra Rodríguez González, Imelda Olivas Armendáriz, Carlos Alberto Martínez Pérez, Armando García, Hector Camacho Montes. A comparison of the activation energy determination for crystallization by Differential Thermal Analysis and shrinkage by Hot Stage Microscopy for lead-zinc-borosilicate glass ceramics during sintering

2.2. Héctor Camacho Montes, Lidia Hortensia Rascón Madrigal, Héctor Manuel Loya Caraveo, Abdi Delgado Salido, Armando García, Irma Espinoza, Rajendra Bordia. High resolution laser assisted load dilatometry focused on simultaneous axial and radial strain measurements for sintering characterization

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

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

**Respuesta:** Para la segunda etapa se planearon los siguientes productos:  
 1 - Al menos dos artículos en revista indexada en síntesis y caracterización de piezoeléctricos sin Plomo (80%).  
 2 - Asistencia a congresos nacionales e internacionales para mostrar resultados en la obtención y caracterización de cerámicos piezoeléctricos sin Plomo más amigables con el medio ambiente (100%).  
 Para el final de la segunda etapa se espera lograr dos publicaciones en piezoeléctricos sin Plomo. Ya se tiene 1 en Journal of Advanced Ceramics y una revisión de manuscrito sometida en el Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. De esta forma, el cumplimiento de resultados alcanza casi su totalidad. Es de destacar que se están trabajando más composiciones sin Plomo y se debe de lograr, al menos, una publicación más.

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

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

**Respuesta:** La situación de pandemia provocó que los laboratorios estuviesen cerrados por más de un año. Esto cambió la secuencia a cerca de la obtención de resultados. Por un lado, el modelo computacional para el cálculo de propiedades efectivas está concluido y publicado. Este producto se planeaba para la tercera etapa. Actualmente, un estudiante de doctorado está trabajando en incluir estructuras cristalinas más reales en el modelo y el formalismo establecido para la descripción de la textura cristalográfica. En cambio, los resultados experimentales esperados se han

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

atrasados, porque, aunque los productos están a un 80%, en realidad se necesitan más resultados para poder cumplir con los entregables de la tercera etapa.

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

**Pregunta:** 3.4 Indique las medidas que se implementarán para obtener el 100% de los resultados y entregables

**Respuesta:** Actualmente dos estudiantes de licenciatura están desarrollando la obtención de Óxido de Zinc y Titanato de Bismuto Sodio Potasio Titanato de Estroncio por métodos químicos. Un estudiante de maestría está trabajando en la síntesis de Titanato de Bismuto Sodio Potasio por método hidrotermal. Dos estudiantes de maestría están trabajando en la relación de la viscosidad uniaxial y el tamaño de grano; y en la relación tamaño de grano con propiedad piezoeléctrica con el Titanato de Bismuto. De esta forma se está trabajando en garantizar la fluencia del trabajo de laboratorio que es la parte más atrasada del proyecto. Es probable que sea necesario solicitar prórroga para cumplir con el objetivo general del proyecto.

## BENEFICIOS O IMPACTOS

**Pregunta:** 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.)

**Respuesta:** 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

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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 2 estudiantes de licenciatura, 3 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.

## PARTICIPANTES EN LA ETAPA

**Pregunta:** 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.

**Respuesta:** Estudiantes involucrados: Isaac Baca Muñoz - Licenciatura en Química - Obtener Titanato de bario por el método hidrotermal - Revisión bibliográfica del método hidrotermal. Concluyó su trabajo en mayo de 2021.

Felix Ruiz Ramirez - Ingeniería en Materiales - Obtener BNKT-ST por el método sol gel - Revisión bibliográfica de la obtención de BNKT con diferentes impurificaciones. Concluyó su trabajo en noviembre de 2020.

Christian Hernández Muñoz Ingeniería en Materiales Está desarrollando su proyecto en la síntesis por el método sol gel del Titanato de Bismuto Sodio Potasio Titanato de Estroncio.

Israel Arturo Medina Barron Ingeniería en Materiales Está desarrollando su proyecto en la síntesis de óxido de zinc por el método hidrotermal.

Fernando Soto Nieto - Maestría en Ciencias de los Materiales - Método hidrotermal Proyecto en proceso. Está desarrollando la síntesis de BNKT por el método hidrotermal.

Antonino Vega Siverio - Maestría en Ciencias de los Materiales - Procesamiento cerámico basado en la mecánica de sólidos. Relación entre la viscosidad uniaxial y el tamaño de grano para el Titanato de Bario.

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Benjamin Alejandro Olmos Galarza Maestría en Ciencias de los Materiales Está desarrollando el proyecto en establecer de forma experimental la relación entre el tamaño de grano de muestras obtenidas en el sistema de forja de cerámicos y la propiedad piezoeléctrica.

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 desarrollar la metodología para la estimación de la viscosidad uniaxial. Está terminando de preparar manuscrito para someter en revista y concluir su doctorado.

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 - Desarrollo el modelo para el cálculo de propiedades de materiales piezoeléctricos. Logró publicar los resultados de su trabajo y está concluyendo la escritura de la tesis para presentar 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.

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.

## CAMBIOS EJECUTADOS Y SOLICITUDES DE CAMBIOS AUTORIZADAS

**Pregunta:** 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.

**Respuesta:** 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 año fue una

## CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

continuidad de estos cambios con efectos en el presupuesto. No surgieron necesidades nuevas de cambios durante el segundo año.

### MODIFICACIONES SOBRE EL PRESUPUESTO AUTORIZADO.

**Pregunta:** 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.

**Respuesta:** 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, por ejemplo, la transferencia de alrededor de 2,000 MXP entre rubros del gasto corriente.