

Sensores de fibra óptica y aplicaciones

Directores: Ing. Alexis Sparapani y Mgter. Germán Fernandez

Lugar de trabajo: Grupo de Comunicaciones Ópticas Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones Centro Atómico Bariloche

1. Resumen El área de los sensores ópticos ha sido una de las más importantes en el campo de la fotónica en las dos últimas décadas. En particular, los sensores distribuidos resultan adecuados para el monitoreo de grandes estructuras ya que permiten, con un único cable de fibra óptica y solo un interrogador, disponer de una vasta cantidad de puntos de censado en toda la estructura. Este tipo de sensores proporciona información relativa a la temperatura y la deformación mecánica (strain) de cada punto de la fibra, permitiendo la estimación de otras magnitudes físicas asociadas como, por ejemplo, la temperatura y la presión. El funcionamiento de los sensores distribuidos de fibra óptica se basa en una modulación de la intensidad o de la frecuencia del campo eléctrico, la cual se propaga en la fibra, y en la utilización de un esquema de detección sincrónico, el cual permite determinar la posición en la que se produce una perturbación. En general, una modificación de la geometría de la fibra óptica produce un cambio detectable en las propiedades ópticas de los pulsos que se propagan a través de ella. Es usual modificar la estructura de las fibras ópticas de forma tal de alterar sus propiedades ópticas y así utilizarlas para diversas aplicaciones. Entre ellas, se destacan las redes de Bragg, las cuales consisten en una modulación periódica del índice de refracción del núcleo a lo largo del eje longitudinal de la fibra óptica. Esta modulación hace que la fibra se comporte como un filtro de gran selectividad, reflejando la luz en una banda estrecha del espectro y permitiendo su transmisión fuera de dicha banda. Este esquema es de gran interés para su uso como sensor de deformación mecánica y de temperatura. Esta propuesta de Beca de Verano consiste, entonces, en el estudio de diversos fenómenos ópticos lineales y no lineales relacionados con los principios físicos de funcionamiento de los sensores ópticos. Además, proponemos implementar un esquema experimental para la medición puntual y distribuida de distintas magnitudes físicas. Finalmente, el trabajo abarca el aprendizaje y entrenamiento en el uso de dispositivos ópticos/optoelectrónicos, tales como láseres de semiconductor, moduladores electro ópticos, switches, amplificadores ópticos y analizador de espectro óptico, entre otros.

Implementación de sistemas de comunicaciones sobre plataformas de radio definida por software.

Resumen de trabajo:

El objetivo de la presente propuesta consiste en implementar esquemas de recepción y de transmisión de diferentes sistemas de comunicaciones sobre dos tipos de tecnológicas de radio definida por software (SDR) disponibles en el lugar de trabajo: NI USRP-2950R que opera en la banda de 50 MHz a 2.2 GHz; NI USRP2953R que opera en la banda de 1.2 GHz a 6 GHz; e instrumentos del tipo FlexRIO que combinan FPGAs programables por el usuario y E/S analógicas, digitales y de RF de alto rendimiento, todos de la empresa National Instruments. La propuesta está pensada de manera general, es decir, el número de experimentos y la profundidad de los mismos puede variar de acuerdo al tiempo que le lleve a el/la estudiante familiarizarse con los dispositivos y LabView, que es el entorno de desarrollo que emplean dichos dispositivos para el diseño de los sistemas. Sin embargo, se prevé abordar al menos dos experiencias de recepción y demodulación de señales de sistemas existentes: señales de sistemas de radiodifusión de moduladas en frecuencia (FM) y señales de redes Wi-Fi del estándar IEEE 802.11. Asimismo, se tiene contemplado implementar la etapa de transmisión y recepción de un sistema de comunicaciones simple que emplee un esquema de modulación digital, y analizar problemas típicos que se presentan en este tipo de sistemas. Cabe remarcar, que si bien se espera que el/la estudiante posea conocimientos previos de programación, para llevar a cabo el trabajo no es necesario estar familiarizado/a con LabView. Éste consiste en un lenguaje de programación visual gráfico que una vez que se brindan las nociones básicas resulta bastante intuitivo.

Responsable: Juan Pablo Pascual.

Lugar de trabajo: Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones.

OPTIMIZACIÓN DE UN ENLACE DE COMUNICACIÓN ÓPTICA ENTRE SATÉLITES LEO Y GEO

Responsables: Dr. Pablo Costanzo y Dr. Laureano Bulus

Dependencia: LIAT - Laboratorio Investigación Aplicada en Telecomunicaciones

Motivación

En comparación con la tecnología de radio y microondas, las comunicaciones ópticas en el espacio libre prometen alcanzar velocidades de transmisión de datos mucho más altas. Además, la capacidad de colimar estrechamente la emisión del láser, limita la interferencia entre satélites (especialmente en una constelación LEO) y es difícil de interceptar o interferir. Sin embargo, se requiere un sofisticado sistema de apuntamiento, adquisición y seguimiento para mantener el enlace operativo. Una ventaja clave de las comunicaciones ópticas en espacio libre es que la longitud de onda más corta de la luz, en comparación con las soluciones de RF, permite obtener dimensiones de apertura de antena más pequeña y, por lo tanto, tamaño y masa más reducidos.

El aumento de la demanda de la capacidad de comunicación proyectada para futuras misiones de satélites (tales como satélites de comunicaciones y meteorológicos, satélites de observación de la tierra de nueva generación, entre otros) puede abordarse parcialmente mediante el uso de enlaces de comunicación óptica de datos de alta velocidad. Por ejemplo, se pueden usar enlaces entre satélites a muy alta velocidad para transmitir grandes volúmenes de datos obtenidos desde un satélite LEO de observación de la Tierra, hacia un satélite geoestacionario (GEO). De esta manera, considerando que el satélite LEO posee un tiempo reducido de visibilidad con el receptor de la estación terrena (lo que limita la descarga de la información recolectada en tiempo real), el satélite GEO que se encuentra visible todo el tiempo, se encarga de la descarga de los datos. A esta arquitectura o aplicación se la denomina Data Relay.

Objetivos:

Este trabajo tiene como objetivo poner en marcha un sistema de comunicación óptica con modulación de intensidad, por ejemplo OOK, PAM, PPM, que emule el enlace satelital, y luego optimizar el uso del modulador electroóptico para mejorar el desempeño del sistema.

Actividades:

- Estudio general del problema y del experimento.
- Poner en marcha el transmisor óptico:
 - Laser (portadora óptica).
 - Modulador electroóptico.
 - Generación de señales/datos de alta velocidad para la modulación.
 - Generación de señales para el control del modulador.
- Poner en marcha el receptor óptico:
 - LNA y filtro óptico del front-end.
 - Fotodetectores.
 - Filtrado, digitalización, adquisición y procesamiento de señales.
- Caracterización del sistema:
 - Medición con osciloscopio y analizador de espectros el desempeño.

BEAMFORMING DE BANDA ANCHA PARA CONTROLAR UN ARREGLO DE ANTENAS DE RADAR

Responsables: Dr. Pablo Costanzo y Laureano Bulus

Dependencia: LIAT - Laboratorio Investigación Aplicada en Telecomunicaciones

Motivación

La conformación de haces, Beamforming (BF) en inglés, es una técnica que se utiliza para dar forma y dirección al patrón de radiación a un conjunto de antenas o elementos, lo que se conoce como Phased Array Antennas (PAA). El patrón de radiación está determinado por los patrones individuales, la disposición geométrica de los elementos del conjunto, y las amplitudes y fases relativas de las señales de RF que alimentan cada elemento. De esta manera, eligiendo adecuadamente la relación de amplitudes y fases, puede modificarse el patrón de radiación efectivo del conjunto de manera que se intensifique en una dirección dada y se suprima en las direcciones no deseadas. Una de las ventajas del BF es que permite orientar dinámicamente el patrón de radiación sin realizar ningún movimiento mecánico.

Un PAA puede utilizarse tanto en un sistema transmisor, para direccionar la señal que se desea transmitir, como en un sistema receptor, para recibir las señales provenientes de determinada dirección. En un sistema transmisor, la señal a transmitir se divide previamente en tantas partes como AE componen el PAA. Las señales resultantes deben ser procesadas antes de alimentar cada AE, y para ello se requiere un circuito dedicado conocido como conformador de haz o beamformer. Éste controla tanto las amplitudes como las fases de las mismas para orientar el haz. De la misma manera, en un sistema receptor se realiza el mismo procesamiento con el beamformer. Tradicionalmente, el conformador de haz se implementa en el dominio eléctrico pero también puede realizarse en el dominio óptico (Optical Beamformer - OBF), lo que permite aumentar el ancho de banda, reducir el peso y el volumen, y tener la capacidad de ser inmune a interferencias electromagnéticas.

Objetivos

En este proyecto se propone implementar un Optical Beamformer de banda ancha para aplicaciones de radar multibanda entre 1 y 10GHz.

Actividades:

- Estudio general del problema y del experimento.
- Poner en marcha el sistema para conformación de haces:
 - Laser (portadora óptica).
 - Modulador electroóptico.
 - Detectores ópticos y antenas
- Desarrollar el OBF:
 - Definir las líneas de retardo y fabricación.
 - Poner en marcha los switches ópticos del OBF.
 - Diseñar y desarrollar la electrónica de control de la red OBF. Para la misma se deberá utilizar un sistema embebido, microprocesador o una PC.
- Caracterización del sistema:
 - Generación de señales RF de radar en distintas frecuencias.
 - Caracterización del sistema con un VNA y analizador de espectro.

Transporte de espín auto-inducido en el ferromagneto FePt

Responsables: Luis Avilés Félix – lavilesf@cab.cnea.gov.ar y Alejandro Butera – butera@cab.cnea.gov.ar

Lugar de trabajo: Laboratorio Resonancias Magnéticas

La manipulación de la carga y del espín de los electrones para el desarrollo de nuevos dispositivos espintrónicos ha logrado un creciente interés en los últimos años, a tal punto que hoy en día es necesaria la generación, detección y control de corrientes polarizadas en espín para su funcionamiento. Entre los sistemas más estudiados se encuentran los sistemas ferromagneto-metal no magnético (FM-NM), que al ser sometidos a un campo alterno de alta frecuencia (GHz) inyectan, en el metal no magnético, una corriente cuyos portadores de carga generan un desbalance de espín sin que haya transferencia neta de carga. Este fenómeno, que se conoce como corriente pura de espín, y la comprensión de sus propiedades es de interés tecnológico debido a que las corrientes de espín no disipan energía, ocasionando que se reduzca el calentamiento debido al efecto Joule; lo que la convierte en un candidato idóneo para la fabricación de nuevos dispositivos de la electrónica moderna. La detección de estas corrientes es posible gracias al scattering dependiente de espín que sufren los portadores de carga (conocido como Efecto Hall de espín inverso) y que convierte la corriente pura de espín en una corriente de carga de algunos microvolts. Sin embargo, en los últimos años se ha reportado la detección de corrientes de espín en películas delgadas ferromagnéticas (FeNi, Fe, Co) sin la necesidad de un metal no magnético que convierta la corriente de espín a corriente de carga. A este fenómeno se le ha llamado efecto Hall de espín autoinducido. En el laboratorio Resonancias Magnéticas se ha observado recientemente esta conversión de corriente de espín a corriente de carga en el FePt. Esta propuesta de beca de verano permitirá contribuir a la comprensión del efecto Hall de espín inverso autoinducido en el FePt, particularmente el rol que cumplen las interfaces de películas de FePt con otros materiales aislantes y metálicos, los mecanismos asociados a la producción y a la detección de la corriente de espín generada y cómo esto depende de las condiciones experimentales. Las muestras de FePt serán caracterizadas utilizando la técnica de resonancia ferromagnética junto con mediciones de transporte para la detección de corrientes puras de espín. Se realizará un estudio sistemático variando ciertas características de sus componentes (ya sea espesor del FePt, potencia de la microonda incidente, etc.). La fuerte correlación entre las propiedades magnéticas y de transporte de estos compuestos constituyen una posibilidad única para el estudio de numerosos fenómenos de la física básica, tales como la dinámica de la magnetización, la influencia de las interfaces en el magnetismo de estos compuestos, acoples magnéticos en sistemas multicapas, etc. La fuerte polarización de sus portadores de carga unida con sus propiedades magnéticas hace de estos materiales una excelente opción para el estudio de la electrónica de espín.

Estudio de muestras de grafeno sintetizada directamente sobre SiO₂ mediante CVD mediante microscopía de fuerza atómica

Investigadores responsables: Laura Serkovic Loli y Luis Avilés

Laboratorios en los que se haría la práctica: Física de Superficies, Óptica y Resonancias Magnéticas

El grafeno es un material bidimensional de átomos de carbono que es considerado el material del futuro por sus interesantes propiedades electrónicas, mecánicas y térmicas [1]. Sin embargo, uno de los mayores desafíos en la industria electrónica es la fabricación de grafeno de alta calidad depositado sobre sustratos semiconductores. El grafeno de alta calidad se obtiene mediante dos técnicas: exfoliación mecánica y depósito químico de vapor (CVD). La exfoliación mecánica produce pequeñas áreas (del orden de micras) de grafeno monocapa que pueden depositarse directamente sobre el sustrato deseado, pero no es un proceso repetible ya que no se sabe dónde se depositará el grafeno ni el área ni de cuántas capas será hasta medirlo. La técnica de CVD produce grandes áreas de grafeno monocapa pero depositadas sobre láminas de cobre. En este caso, luego de la síntesis se debe transferir el grafeno a un sustrato semiconductor para poder aprovechar sus propiedades electrónicas como su alta conductividad eléctrica. Este proceso de transferencia es bastante engorroso y sucio, lo que genera roturas, arrugas y doblamientos en el grafeno transferido. En esta práctica analizaremos mediante espectroscopía Raman y microscopio de fuerza atómica (AFM) muestras de grafeno depositadas directamente sobre una oblea de silicio cubierto con dióxido de silicio a través de una delgada capa de cobre mediante la técnica CVD [2-4]. Se analizará la calidad del grafeno, si es monocapa, si está arrugado, mediante espectroscopía Raman y el tamaño de las islas de grafeno mediante microscopía de fuerza atómica. Los experimentos se realizarán en la División Resonancias Magnéticas, Física de Superficies y Óptica del CAB.

Referencias

1. K.S. Novoselov et al. "Electric field effect in atomically thin carbon films" *Science* 306 (2004) 666.
2. R. Vishwakarma et al. "Direct Synthesis of Large-Area Graphene on Insulating Substrates at Low Temperature using Microwave Plasma CVD" *ACS Omega* 4 (2019) 11263–11270.
3. J. Sun et al. "Direct Chemical Vapor Deposition Growth of Graphene on Insulating Substrates" *ChemNanoMat* 2 (2016) 9-18.
4. S. C. Xu et al. "Direct synthesis of graphene on SiO₂ substrates by chemical vapor deposition" *CrystEngComm* 15 (2013) 1840-1844.

Caracterización de la inestabilidad de Larkin-Ovchinnikov en láminas delgadas superconductoras

La fabricación de nanoalambres superconductores es de relevancia para su aplicación en detectores de fotón único. Estos dispositivos funcionan haciendo pasar una corriente cercana a la crítica por un alambre en el estado superconductor, cuando el fotón incide sobre la sección del mismo se produce un punto caliente que rompe localmente la superconductividad y es detectado como un pico en una curva voltaje – tiempo. La capacidad de recuperar el estado de resistencia cero luego de la detección depende de factores de diseño tales como el acople térmico entre el alambre y el sustrato, y de factores intrínsecos de material superconductor tales como el tiempo de recombinación de electrones normales en portadores superconductores.

Mientras que los factores de diseño pueden ser mejorados, el tiempo de recombinación de los portadores depende del material y actúa como un cuello de botella en la detección. Una forma indirecta de estimar el este último es mediante la medición de curvas corriente – voltaje y el análisis de lo que se conoce como la inestabilidad de Larkin – Ovchinnikov.

Para este trabajo se propone crecer láminas delgadas de un material superconductor mediante pulverización catódica (material a determinar). Los nanoalambres serán fabricados mediante confinamiento geométrico de las láminas delgadas utilizando técnicas de litografía y comida iónico. Se realizaran mediciones de transporte eléctrico en función de temperatura, ángulo y campo magnético.

- Nombre de la persona responsable: Nestor Haberkorn (nhaberk@cab.cnea.gov.ar).
- Laboratorio en el que se haría la práctica: Laboratorio de Bajas Temperatura y Sala Limpia CAB.

A continuación, se detalla brevemente el plan de trabajo para la beca de verano 2022. A realizarse en dependencias del centro Atómico Bariloche (Av. Bustillo 9500), en la División de Física de Metales. Bajo la dirección de la Dra. Lina María Guerrero y la supervisión del Dr. Marcos Sade.

Caracterización del efecto del Cr en la transición antiferromagnética de la austenita fcc en aleaciones base Fe-Mn con memoria de forma

La principal característica de las aleaciones con memoria de forma, SMA (por "shape memory alloys") es su capacidad para recuperar, total o parcialmente, su forma original tras sufrir deformaciones que exceden el rango elástico. Esta característica se encuentra directamente relacionada con una transformación martensítica. La transformación tiene lugar entre una fase conocida como austenita, habitualmente obtenida mediante templado desde altas temperaturas, y una fase conocida como martensita. La estructura de cada una de estas fases dependerá del sistema metálico en estudio. Las características distintivas de las SMA se expresan en el llamado efecto memoria de forma, el cual está relacionado con la capacidad que tiene un material para recuperar su forma original mediante un simple calentamiento, luego de haber sido deformado mediante un esfuerzo aplicado. Esto ocurre debido a que el material acomoda la deformación mediante un mecanismo de transformación de fases puramente displacivo, sin difusión. Esta transformación se revierte en la etapa de calentamiento dando lugar a la mencionada recuperación de forma. Dado que la transición antiferromagnética afecta fuertemente la transformación martensítica [Guerrero-2017, Malamud-2018, Guerrero-2019, Guerrero-2020, Guerrero-2021], en la presente propuesta se pretende caracterizar la transición antiferromagnética de la austenita fcc en aleaciones Fe-Mn-Cr con distintas cantidades de Cr.

El plan de trabajo se basa en:

- Realizar tratamientos termomecánicos y preparación de muestras. Mediante tratamientos adecuados se podrá analizar la transformación martensítica y también inhibir dicha transformación habilitando el estudio específico de la transición magnética de la fase austenítica.
- Determinar la composición química por espectroscopía en dispersión de energía por rayos x (EDS) en un microscopio electrónico de barrido (SEM).
- Determinar las fases presentes y parámetros de red a través de difracción de rayos X (XRD)
- Hallar temperaturas de transformación martensítica y magnética por técnicas de resistividad y/o dilatometría.
- Estudiar la microestructura y determinar tamaños de grano a través de microscopía óptica (OM) y SEM.
- Estudiar la transición para-antiferromagnética de la austenita mediante calorimetría diferencial de barrido modulada (MDSC). Se podrá de esta forma obtener la dependencia del calor específico de la estructura austenítica en función de la temperatura y a partir de este resultado se determinará el cambio de entropía magnética. Esta última magnitud juega un rol importante para analizar el efecto magnético sobre la transformación estructural.

Conversión de dióxido de carbono para la producción de combustibles sintéticos

Lugar de trabajo: Departamento Físicoquímica de Materiales, Gerencia de Investigación Aplicada

Responsables: Lic. Gabriel De Piano y Dra. Fabiana Gennari

Resumen:

El CO₂ generado por las actividades humanas es uno de los principales gases responsables del calentamiento global, por lo que reducir sus emisiones en la atmósfera es uno de los desafíos que enfrenta la comunidad científica. La reutilización de CO₂ es una opción atractiva porque no sólo disminuye la concentración de CO₂ emitido, sino que tiene el potencial de proveer productos químicos de interés. En particular, la metanación (o reacción de Sabatier) es una reacción que puede ser visualizada como un proceso de captura de CO₂ y como un sistema de almacenamiento de energía renovable, al utilizar el hidrógeno producido a partir de energías renovables para producir CH₄ (gas natural sintético, GNS).

La metanación es una reacción favorable desde el punto de vista termodinámico, a temperatura ambiente y presión atmosférica. Sin embargo, presenta importantes limitaciones cinéticas. Para que resulte ventajosa desde el punto de vista económico y con potencial para su empleo industrial, la metanación debe ser promovida por catalizadores activos (altas conversiones a bajas temperaturas), selectivos al producto deseado (GNS) y con buena estabilidad térmica (larga vida útil) para la aplicación a gran escala. Por esta razón, uno de los principales desafíos para posibilitar la transformación de CO₂ a GNS es el diseño adecuado y la producción de catalizadores activos y selectivos por métodos de fácil traslado a la industria.

En esta propuesta se propone sintetizar catalizadores de Ni soportados sobre Al₂O₃. Se estudiará el efecto de CeO₂ como promotor en las propiedades de interés del catalizador (conversión de CO₂ y selectividad a GNS) y su relación con las características del soporte nanoestructurado y las nanopartículas metálicas (estructura, nanoestructura, textura, interacción con moléculas de prueba). La reacción con CO₂ (conversión y selectividad) será estudiada empleando cromatografía gaseosa, reducción a temperatura programada y desorción de moléculas de prueba específicas. La nano- y microestructura, estructura y textura del material antes y después de la reacción será estudiada por microscopía electrónica de barrido con mapeo elemental y análisis composicional, difracción de rayos X de polvos e isothermas de fisisorción de N₂ (método BET y BJH). Se espera determinar el efecto del CeO₂ y el rol de la interacción metal-soporte en la actividad y selectividad del catalizador.

Producción de hidrógeno a partir del reciclado de aleaciones de magnesio

Lugar de trabajo: Departamento Físicoquímica de Materiales, Gerencia Investigación Aplicada.

Responsables: Facundo Castro y Guillermina Urretavizcaya

La utilización de hidrógeno en un sistema energético aporta soluciones a problemáticas actuales como la creciente emisión de gases de efecto invernadero y el inevitable agotamiento de los combustibles fósiles. Como el hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza, sino formando otros compuestos, principalmente agua, es necesario obtenerlo en forma molecular (H_2) para poder emplearlo en dispositivos que convierten energía química en energía eléctrica, como por ejemplo una celda de combustible. En esta propuesta se propone continuar con los estudios que se vienen realizando en nuestro Departamento para obtener hidrógeno a partir de la hidrólisis de virutas de aleaciones comerciales de magnesio. En particular, el objetivo principal es poder obtener este vector de energía limpia reciclando materiales de descarte de los procesos de maquinado de diversas industrias, como la automotriz.

Como método de obtención, la hidrólisis tiene la ventaja de producir hidrógeno a temperatura ambiente, sin la utilización de energía adicional. Sin embargo, cuando se emplean como reactivos materiales basados en Mg la hidrólisis se dificulta por la formación de una capa de hidróxido de Mg superficial que limita el avance de la reacción. Además, en el caso de las virutas de descarte, es necesario reducir su tamaño y emplear aditivos para lograr tiempos de reacción y rendimientos adecuados. Esto último se ha logrado en los últimos años procesando virutas de descarte por molienda mecánica empleando grafito y hierro como aditivos [1]. En este trabajo se propone continuar estas líneas de trabajo y desarrollarlas a través de tres posibles ejes: 1) realizar un estudio sistemático del efecto del Fe en los materiales, 2) explorar el efecto de la modificación de la solución de hidrólisis mediante la incorporación de agentes limitantes de la formación de la capa de $Mg(OH)_2$, y 3) estudiar la conformación en forma de compactos de los polvos hidrolizables y analizar los efectos de este proceso en la reacción de hidrólisis. Las tres líneas de trabajo involucran el uso de molienda mecánica como técnica de adecuación de los materiales, de técnicas estándar de caracterización en Ciencia de Materiales (difracción de rayos X, microscopías) y de experimentos específicos para el estudio de la cinética y del rendimiento de la reacción de hidrólisis.

Referencias

[1] María Rodríguez, Franco Niro, Guillermina Urretavizcaya, Jean-Louis Bobet, Facundo Castro, Hydrogen production from hydrolysis of magnesium wastes reprocessed by mechanical milling under air, trabajo aceptado en International Journal of Hydrogen Energy (2021).

Caracterización de Materiales Compuestos por Técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido

Responsable: Marcelo Esquivel (esquivel@cab.cnea.gov.ar)

Laboratorio: Departamento de Caracterización de Materiales – Servicio de Microscopía Electrónica de Barrido.

Resumen:

Los materiales compuestos son utilizados ampliamente porque las propiedades estructurales y de composición de los componentes presentan la sinergia necesaria para dar soporte, estructura o funcionalidad a más de una aplicación. Sin embargo, los estudios de materiales con propiedades tan diferentes, necesitan del análisis combinado de distintas técnicas incluyendo estudios superficiales, composicionales y estructurales. Dentro de este universo de técnicas, las microscopías de barrido presentan diversas ventajas, ya que permiten un análisis pormenorizado de los distintos aspectos del material en cuestión como se observa en la Figura 1 donde se combinan distintos modos de uso del haz y técnicas asociadas en muestras cerámico (LaCeNdPrO₂) metal (Ni). En la Figura 1.a se ve la morfología de la mezcla, en 1.b se identifica el cerámico en blanco y el metal en gris. En la Figura 1.c el metal se observa en azul, oxígeno en naranja y los lantánidos en gris/verde. Nótese la correspondencia entre los distintos modos y técnicas.

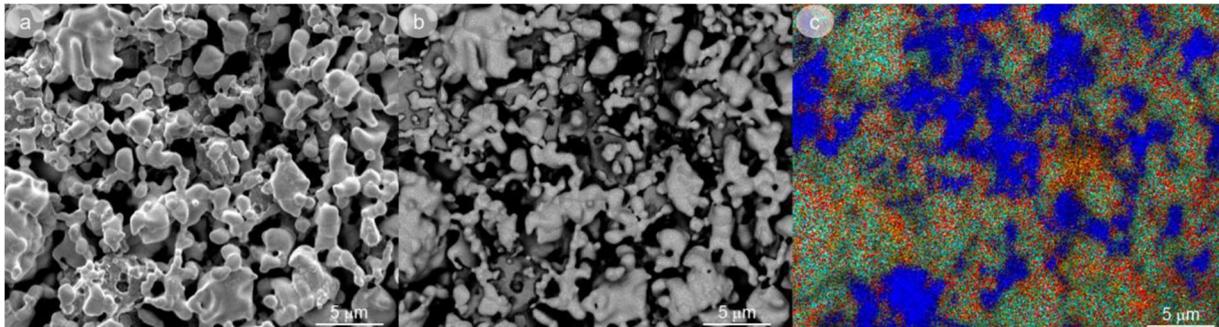


Figura 1 .a) Imagen SEM modo emisivo. b) Imagen SEM modo reflectivo. C) Mapeo por EDS.

En el caso de esta práctica, se analizarán materiales pertenecientes a electrodos para captura de Sr²⁺ con componentes metálicos, poliméricos y cerámicos utilizando distintas técnicas de microscopía electrónica de barrido. Se estudiará la morfología superficial de los compuestos utilizando el modo emisivo bajo condiciones diversas configuraciones del haz de electrones. El estudio experimental se complementará con una simulación de las condiciones del haz en materiales similares. Las diferencias composicionales se analizarán en modo reflectivo utilizando configuraciones apropiadas del haz. Las estructuras cristalinas presentes en la superficie de la muestra se analizarán por la técnica de electrones difractados retro-difundidos (EBSD) y los dominios cristalinos en modo barrido-transmisión (STEM). Finalmente, se analizará la composición elemental de las superficies involucradas usando espectroscopía dispersiva en energías (EDS). Como resultado de la práctica, se espera obtener un universo completo de información elemental, estructural, microestructural y morfológica de los materiales compuestos analizados y en función de los resultados, caracterizar las propiedades mencionadas.

MATERIALES COMPUESTOS BASE Al OBTENIDOS POR PULVIMETALURGIA

Los materiales compuestos de matriz metálica (MMC) resultan de la sinergia entre propiedades de la matriz metálica y las del refuerzo cerámico. Un material compuesto tiene propiedades físicas que una aleación sin refuerzo no posee. Los MMC base aluminio se utilizan cuando se requiere baja densidad sin sacrificar la resistencia estructural. Dependiendo de la composición y el refuerzo se los puede utilizar en piezas sometidas a esfuerzos mecánicos a temperatura o a elevada temperatura. En el caso de usar fibras cerámicas de baja expansión térmica (fibras micrométricas de alúmina o de carburo de silicio por ejemplo) se obtienen un material donde el control de la dilatación/contracción se asocia al buen pegado entre las fibras, a su distribución dentro de la matriz metálica y por supuesto a la fracción volumétrica de fibras. Dependiendo del método de fabricación las fibras cortas pueden distribuirse de manera aleatoria o con una orientación preferencial en el espacio.

Se propone a los alumnos introducirlos en los fundamentos de las propiedades básicas de un material compuesto, el efecto de los refuerzos y el concepto de interfase. También se transmitirán las nociones de los materiales básicos necesarios para fabricar los MMC y los distintos métodos de fabricación. En particular para este trabajo, es de interés la síntesis de materiales compuestos mediante métodos de pulvimetalurgia (PM), es decir partiendo de polvos metálicos de aluminio con otros elementos aleantes. Se presenta el caso del polvo Alumix 13 de composición Al-4.5Cu-0.5Mg como un material comercial base para preparar un MMC de matriz de aluminio termoendurecible. Se utilizan fibras Saffil (alúmina) como refuerzo cerámico.

Dentro de los métodos PM, la extrusión en caliente permite obtener una varilla de 8mm de diámetro. Este método de fabricación produce un efecto de orientación de las fibras paralelas a la dirección del eje de extrusión. La microestructura resultante incide en las propiedades termomecánicas finales del material. Se proponen mediciones dilatométricas mediante un dilatómetro diferencial para estudiar dos aspectos básicos: i- la sinterización del producto extruido y ii) las propiedades de expansión térmica. Ambos estudios se realizarán en distintas direcciones mediante calentamientos controlados en atmósfera inerte. También se estudiará iii) la microestructura del MMC mediante observaciones en microscopio electrónico de barrido (SEM). Los alumnos tendrán nociones de materiales compuestos de matriz metálica, su fabricación las materias primas necesarias como también la tecnología necesaria en los procesos de pulvimetalurgia. También podrá acceder a su caracterización por medio de mediciones de precisión de procesos de síntesis y la interpretación básica de los estudios de expansión térmica y su relación a la microestructura del MMC teniendo acceso a la preparación de muestras para las distintas técnicas experimentales. Se disponen de muestras para los estudios propuestos como un dilatómetro diferencial Theta para los estudios de sinterización y expansión térmica. También se disponen de los materiales y los dispositivos de preparación de muestras (polvos, fibras, hornos, prensas, sistemas calefactores y de extruido). El Departamento de Caracterización de Materiales cuenta con Microscopios electrónicos de barrido. Esta propuesta busca motivar a los alumnos a tomar contacto y participar de manera concreta en actividades experimentales donde el conocimiento asociado a la tecnología permite la transformación de materia prima en materiales de alto valor agregado. El tema a desarrollar es parte de una línea de trabajo del grupo con un respaldo de años de experiencia con tesis doctorales, publicaciones internacionales y proyectos de investigación.

Responsable: Dr. Mario Moreno

Lugar de trabajo: Departamento de Caracterización de Materiales – GIA

Procesamiento de imágenes aplicado a la caracterización de materiales compuestos

Los materiales compuestos reforzados con fibras cortas o largas, independientemente de su matriz metálica, cerámica o polimérica, poseen propiedades físicas únicas en función del tipo de refuerzo y de su orientación dentro de la matriz. En el caso de las fibras cortas dicha distribución depende fuertemente de los procesos de fabricación. Su orientación respecto de una dirección preferencial otorga características anisotrópicas al material compuesto, las cuales son de alto interés tecnológico. La interacción de las fibras con la matriz durante la síntesis genera distintos grados de orientación en función de la relación de aspecto y de otras variables de la matriz. En el caso de los extruidos, el grado de alineación según el eje de extrusión es elevado y el agrupamiento (o aglomerado) de fibras puede ser indeseable, si interesa evitar zonas de poros que debilitarían mecánicamente al material. La identificación (caracterización) de la distribución de las fibras en función de una referencia, ayuda a comprender los procesos de fabricación y a optimizar el uso del refuerzo en el material compuesto. A través del procesamiento de imágenes obtenidas del microscopio electrónico de barrido (SEM), es posible realizar una identificación relativamente sencilla de ciertos parámetros del material que son de interés.

Las actividades previstas durante esta beca de verano incluyen el estudio y la capacitación en el software de procesamiento de imagen digital ImageJ para la caracterización de imágenes de materiales compuestos provenientes del SEM. Esta experiencia se puede enriquecer si se trabaja en conjunto con la propuesta titulada “Materiales compuestos base Al obtenidos por pulvimetalurgia”.

Responsables: Ing. Pablo E. Argañarás

Lugar de trabajo: Departamento Mecánica Computacional

Simulación Numérica para Bultos de Transporte de Substancias Radiactivas

El propósito principal de las regulaciones para bultos de transporte de sustancias radioactivas es proteger a las personas y al ambiente de los efectos de la radiación. Se prevé un caso hipotético de accidente, basado en las peores condiciones posibles: caída libre desde nueve metros de altura sobre una superficie rígida, calentamiento del casco en un horno, inmersión a una determinada profundidad agua durante un determinado tiempo. La calificación del casco es experimental y los ensayos deben efectuarse en secuencia usando el mismo casco. Este debe conservar su integridad estructural asegurando que no exista derrame bajo ninguna condición.

Se realizan simulaciones numéricas que al ser contrastadas con ensayos experimentales dan un marco de validez que permite la toma de decisiones para el diseño en función de los resultados numéricos.

Durante el período de esta beca de verano se prevé realizar algunas simulaciones numéricas simples utilizando el programa Ansys para permitir la formación del estudiante en el área de simulaciones numéricas con un problema de desarrollo actual de un bulto de transporte de material radioactivo.

El alumno deberá aprender temas básicos de las regulaciones para bultos de transporte, temas básicos del modelado numérico con elementos finitos, y por último realizar algunos cálculos de valor con ANSYS para el proyecto mencionado.

Responsables:

-Roberto Saliba

-Lucas Monteros

La práctica se realizará en el departamento Mecánica Computacional

Título: Protección Radiológica en el Centro Atómico Bariloche

Breve resumen del tema de beca

La protección radiológica es una disciplina orientada a promover el cuidado de las personas y su entorno contra los riesgos derivados del uso de las radiaciones ionizantes. Su objetivo principal es proporcionar un nivel adecuado de protección para el ser humano y el ambiente, sin limitar indebidamente los beneficios de dicha exposición a la radiación.

Son muchas las disciplinas y actividades que utilizan radiaciones ionizantes y la tecnología asociada es cada vez más compleja. La relevancia que tiene la protección radiológica se basa en el hecho de que es una acción profundamente social, al igual que un conjunto de disciplinas técnicamente especializadas. La protección radiológica es una ciencia compleja, que abarca aspectos tanto de las ciencias sociales como de la física, la ingeniería, la medicina, la biología, los marcos regulatorios.

En la División Protección Radiológica se realizan actividades relacionadas con la dosimetría personal (interna y externa), la calibración de detectores portátiles de radiación, la gestión de residuos radiactivos, la protección radiológica del paciente, el monitoreo radiológico ambiental, la planificación para respuesta ante emergencias radiológicas, la colaboración con instalaciones y proyectos del ámbito nuclear, entre otras.

Esta propuesta invita al becario a participar, colaborar y aportar su punto de vista en las distintas actividades que se llevan a cabo en el grupo de trabajo:

- Dosimetría personal termoluminiscente para trabajadores ocupacionalmente expuestos y pacientes.
- Dosimetría interna para trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- Calibración de detectores portátiles de radiación (gamma y neutrones) y contaminación superficial (alfa, beta, gamma).
- Monitoreo radiológico ambiental.
- Diseño de criterio de protección radiológica ocupacional para el Proyecto RA-10.
- Gestión de residuos radiactivos.

A lo largo de todo el mes, el becario irá rotando por las distintas actividades del grupo de trabajo para tener un primer acercamiento a la protección radiológica en algunas de sus diferentes áreas.

Nombre de la persona responsable: Pablo ANDRES

Co-responsables: Cristian SOSA VERA; Fiorela MERMA VELASCO

Lugar de desarrollo: División Protección Radiológica; Gerencia Ingeniería Nuclear

Reducción de volumen de residuos radiactivos simulados mediante Plasma Térmico

Introducción

Los residuos radiactivos pueden ser generados en centros de medicina nuclear, reactores de potencia, o en industrias e instalaciones de investigación que empleen radionucleidos. Los residuos radiactivos de baja actividad (RBBA por sus siglas en español), comprenden desde el 85 hasta el 90% del total de los residuos radiactivos. Estos deben ser almacenados bajo controles estrictos durante el tiempo necesario para garantizar que su nivel de radiación no sea perjudicial para el medio ambiente. Además, el volumen total de RBBA es directamente proporcional con el costo de almacenamiento y la dificultad de control.

El plasma térmico es un gas a alta temperatura parcialmente ionizado. Tanto la temperatura como la carga iónica del plasma, se pueden usar como fuente de energía en una cámara de gasificación para lograr la reducción del volumen de los residuos sólidos hasta en un 90% (dependiendo de la composición del residuo). Además, las altas temperaturas del plasma permiten fundir materiales con altos puntos de fusión generando un sólido remanente (ceniza o vidrio) más homogéneo que el original y con unas características que facilitan su tratamiento y disposición final.

Durante el tratamiento, los materiales orgánicos (tela, plásticos, papel u otros) pasan al estado gaseoso y los materiales inorgánicos (arena, mampostería, metales, vidrios, etc.) son fundidos en un sólido llamado slag. La gasificación por plasma no reduce el nivel de radiactividad pero logra dos resultados importantes: por un lado, disminuye notoriamente los costos de almacenamiento y control; por el otro, permite generar un material más homogéneo y seguro de manipular que el residuo inicial.

Actualmente se han instalado tres plantas de tratamiento de residuos radiactivos por plasma a escala industrial. Una de ellas en Suiza (Zwilag), otra en Rusia (Pluton); la tercera, a mediados de 2018 se terminó de construir en Bulgaria. Zwilag recibe residuos de diferentes países de Europa y Pluton de diversos puntos de Rusia, y en ambos casos se trabaja por campañas de procesamiento.

En el Departamento Materiales Nucleares (GIA-CNEA) se está instalando un proceso a escala laboratorio de incineración por plasma para reducir el volumen de residuos sólidos simulados no radiactivos de bajo nivel (SSLW por sus siglas en inglés).

Objetivo

Se propone realizar experimentos de gasificación de residuos radiactivos simulados utilizando tecnología plasma y caracterizando los gases y sólidos remanentes. Para ello se utilizarán detectores de gases marca Testo y Horiba y equipos de microscopía electrónica (SEM-TEM), difracción de rayos x (DRX) y aquellos equipos del Departamento Materiales Nucleares para analizar muestras vítreas. A partir del desarrollo de estas actividades el estudiante obtendrá las siguientes competencias:

- Operación de un proceso a escala laboratorio/piloto de tratamiento de residuos radiactivos simulados mediante gasificación por plasma térmico.
- Adquisición de herramientas que mejorarán el trabajo experimental, la recolección de datos y el desarrollo de conclusiones.
- Análisis y caracterización de los productos obtenidos mediante gasificación de un residuo sólido radiactivo simulado.

Cronograma estimado

1º Semana: Búsqueda y lectura de bibliografía. Capacitación en operación del proceso de gasificación por plasma.

2º-3º Semana: Experimento de gasificación de un residuo típico de laboratorio, análisis de gases efluentes y producto final.

4º Semana: Preparación de poster e informe final.

Director: Ing. Franco E. Benedetto.

Co-director / Colaborador: Esp. en Aplicaciones Nucleares Juan Ariel Pullao.

Caracterización Hidrodinámica de Flujos en Canales con Geometría Compleja

Breve resumen del trabajo:

Describir el comportamiento del fluido refrigerante de los combustibles de reactores nucleares de potencia, ha sido una temática de gran interés. Esto se debe a que una pequeña mejora en los mecanismos de refrigeración, se traduce directamente en una mayor producción de energía. Hasta el momento, los intentos de mejoras en dichos mecanismos se han basado en descripciones cualitativas del flujo, utilizando simplificaciones que resultan poco representativas de los fenómenos físicos predominantes que controlan la refrigeración. En este estudio se presentará una novedosa tecnología que permite caracterizar detalladamente, y de manera no intrusiva el flujo en canales con geometrías de combustibles nucleares. La metodología propuesta tiene la capacidad de describir cuantitativamente los fenómenos complejos y atípicos presentes en canales a escala real. Conceptualmente está basada en la instrumentación de los elementos que conforman geoméricamente el combustible, obteniéndose así mediciones detalladas en espacio y tiempo de la presión estática local en cualquier punto, así como en muchos puntos, de manera simultánea. El estudio del mapa tridimensional de presiones, así como el análisis en la dimensión temporal y en el espacio de las frecuencias permite identificar cuáles son los mecanismos, y cuánto aportan al mezclado del flujo, y por tanto a la refrigeración, de un canal combustible. Los resultados han demostrado que esta tecnología presenta grandes ventajas frente a las tradicionales, como ser la Anemometría Laser Doppler (LDV) y por Imágenes de Partículas (PIV). Esto, así como las distintas herramientas desarrolladas para la interpretación de las mediciones, nos posiciona en la vanguardia de la temática a nivel mundial.

Nombre del responsable: Oscar Nalín

Laboratorio en el que se haría la práctica: Laboratorio de Termohidráulica CAB

SENSORES DE ANEMOMETRÍA TÉRMICA PARA LA MEDICIÓN DE FLUCTUACIONES DE VELOCIDAD Y TENSIÓN DE CORTE EN PARED PARA USO EN GASES

Lugar: Laboratorio de Termohidráulica – Centro Atómico Bariloche

Director: Mgter. Orlando Darío Osorio

Resumen de la propuesta

La tasa de mezclado transversal del fluido refrigerante en un elemento combustible nuclear en un reactor tiene gran relevancia en el diseño del mismo. De hecho, existen muchas aplicaciones hoy en día donde se desea conocer las características de un flujo turbulento y su influencia en el proceso de mezclado. Por otra parte, uno de los aspectos de mayor interés en las aplicaciones que involucran fluidos es la interacción entre el flujo y las superficies de objetos y conductos. Esta interacción se debe a tensiones normales o presiones, y a tensiones tangenciales o de corte. En particular estas últimas son más difíciles de medir y su medición se limita a dispositivos experimentales.

La Anemometría de Hilo Caliente (HWA por sus siglas en inglés) junto a la Velocimetría por Imágenes de Partículas (PIV) son las dos técnicas experimentales más utilizadas en el área para estudiar esta fenomenología. Así también, constituyen herramientas fundamentales para la validación de códigos numéricos. En particular, HWA produce una señal analógica de muy alta resolución temporal, que

resulta fácil de analizar. Esta técnica hace uso de un sensor cuya resistencia eléctrica es función de la temperatura que a su vez depende de la transferencia de calor por convección entre el sensor y el fluido que lo rodea.

El trabajo propuesto consiste en llevar a cabo la caracterización de un sensor de HWA, tanto para condiciones estáticas como dinámicas. Para esto se utilizarán varios dispositivos asociados, entre ellos una electrónica cuya función es mantener al sensor a temperatura constante, y un dispositivo de calibración.

Estudio de la producción de neutrones mediante la reacción nuclear $^{45}\text{Sc}(p,n)^{45}\text{Ti}$ utilizando el acelerador Tándem del CAB

Resumen:

Esta propuesta de trabajo tiene como objetivo general contribuir a la búsqueda de materia oscura, como así también a la realización de experimentos de detección de neutrinos utilizando dispositivos semiconductores de tecnología CCD. En este marco, el objetivo específico de la presente propuesta es caracterizar la producción de neutrones obtenida mediante la reacción nuclear $^{45}\text{Sc}(p,n)^{45}\text{Ti}$ en función de la energía del protón incidente. Dichos neutrones serán luego utilizados para determinar mediante una técnica independiente el *quenching factor* (QF) del silicio con diferentes energías de retroceso. El QF es una propiedad intrínseca del silicio definida como la fracción de la energía de retroceso de un núcleo que es capaz de producir ionización, y por lo tanto señal, por lo que resulta de fundamental importancia en el marco de los objetivos generales antes mencionados. En este contexto se utilizará un banco de detección de neutrones de gran tamaño, consistente en contadores proporcionales de ^3He , recientemente puesto en operación en el acelerador Tándem del CAB. Se estudiará la tasa de producción de neutrones de la reacción nuclear $^{45}\text{Sc}(p,n)^{45}\text{Ti}$ variando la energía de los protones incidentes. Dicha reacción presenta resonancias nucleares de absorción a energías bien definidas del protón incidente. Cada resonancia produce neutrones monoenergéticos de una energía diferente que aumenta conforme aumenta la energía del protón. Sintonizando adecuadamente la energía de los protones incidentes es posible producir neutrones con 34 energías discretas y bien definidas entre 8,12 keV y 51,62 keV, los cuales resultan de utilidad para caracterizar detectores de diferente tipo. A partir de los resultados a obtenerse en el marco de este trabajo se analizará la estabilidad en energía del acelerador Tándem y su capacidad para producir neutrones monoenergéticos, como así también la intensidad de las diferentes líneas de emisión. Si bien el interés principal de esta línea de investigación se centra en obtener una propiedad intrínseca del silicio, este trabajo también será de utilidad para caracterizar detectores de neutrones de otro tipo (que no utilizan silicio), que son empleados en dosimetría y física médica.

- Responsables: Dr. Pablo Daniel Pérez (CONICET), Dr. Jerónimo Blostein (CONICET-IB), Dr. Sergio Suárez (CNEA-IB)

- Laboratorio en el que se haría la práctica: Laboratorio Tándem, División Colisiones Atómicas, CAB

Estudio de propiedades eléctricas y magnéticas de óxidos magnetoelectrónicos.

Responsable: Dr. Javier H. Lohr

Grupo Estructuras Cristalinas y Magnéticas – Departamento de Administración de Haces de Neutrones del RA-10 - GAIyANN

La línea de investigación dentro de la cual se realizará la pasantía propuesta, se desarrolla en el Grupo "Estructuras cristalinas y magnéticas" del Área de Desarrollo Científico del Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones (LAHN). La herramienta principal de este laboratorio la constituyen las técnicas neutrónicas, que están siendo implementadas en la Comisión Nacional de Energía Atómica en un Laboratorio de Haces de Neutrones ubicado en el nuevo reactor multipropósito en construcción en el Centro Atómico Ezeiza, llamado RA-10. El LHN proveerá haces de neutrones para investigación básica y aplicaciones tecnológicas. Los grupos de investigación del LAHN abordan diferentes problemas utilizando un conjunto amplio de herramientas, entre las cuales no sólo están las técnicas neutrónicas sino también otras herramientas de caracterización de materiales.

Durante esta Beca, se propone la colaboración de l@s pasantes en nuestra línea de trabajo orientada al estudio de materiales magnetoelectrónicos. Se denomina magnetoelectrónicos a aquellos materiales en los cuales puede ocurrir un orden tanto magnético como eléctrico, y ambos fenómenos están acoplados. Estos son de gran interés tecnológico debido a que permiten, por ejemplo, controlar la magnetización de un material aplicando un campo eléctrico, y esto es tecnológicamente más favorable que los métodos tradicionales. Se han propuesto dispositivos de almacenamiento (memorias) basados en este concepto de acople magnetoelectrónico, mostrándose que disminuye el gasto de energía de escritura comparado con los dispositivos actuales que están basados en la transferencia de torque de spin. [1]

El YBaCuFeO_5 es un óxido magnetoelectrónico, presenta una estructura cristalina ortorrómbica en la cual los átomos de Cu y los de Fe están coordinados por cinco átomos de oxígeno. Desde el punto de vista magnético, el compuesto presenta estructuras en competencia que dan lugar a fenómenos de "frustración magnética". Este compuesto presenta dos transiciones magnéticas de tipo antiferromagnéticas, $T_{N1} \sim 450$ K y $T_{N2} \sim 200$ K. Esta última transición es la que presenta mayor interés ya que se observó un orden magnético tipo espiral acompañado de un aumento de la polarización eléctrica, lo cual lo vuelve un material con acople magnetoelectrónico. Este compuesto es de gran interés ya que se observó que dependiendo el proceso de síntesis esta transición magnetoelectrónica puede ser llevada hasta temperatura ambiente. [2] Uno de los objetivos de esta línea de trabajo es explorar la adición de una variable al proceso de síntesis, que es la sustitución de algunos cationes (por ejemplo, sustituir parcialmente Cu por Co).

En particular en esta etapa se sintetizará un compuesto de la familia $\text{YbaCu}_{1-x}\text{Co}_x\text{FeO}_5$ con $x=0.25$, a través de una ruta de síntesis química llamada método de estado sólido. Las muestras sintetizadas se caracterizarán mediante difracción de RX. Se analizarán los datos para comprobar la fase resultante de la síntesis y el grado de pureza del compuesto logrado. Además las muestras serán caracterizadas magnéticamente utilizando un magnetómetro SQUID, buscando conocer especialmente su temperatura de transición hacia un orden antiferromagnético. Finalmente, se realizarán mediciones en función de la temperatura de la capacidad eléctrica del compuesto sintetizado, para correlacionar las transiciones y evaluar el grado de acople magnetoelectrónico. Los datos serán analizados y comparados con el compuesto sin sustitución de Co, el YbaCuFeO_5 . Las muestras cuya síntesis resulte exitosa, sin impurezas, y con un acople magnetoelectrónico observable, serán propuestas para su análisis con difracción de neutrones en las convocatorias internacionales para acceder a tiempo de haz en un laboratorio de características similares a las que tendrá el LAHN próximamente.

El objetivo de la pasantía es que el/la pasante pueda familiarizarse con conceptos y técnicas de caracterización cristalográfica, eléctrica y magnética de materiales magnetoelectrónicos.

Cronograma:

Semana 1: lectura de bibliografía, síntesis del compuesto.

Semana 2: medidas de difracción de RX y medidas de magnetización.

Semana 3: medidas de capacidad eléctrica.

Semana 4: análisis de datos, redacción de informe.

[1] Hu, J.-M., Chen, L.-Q. and Nan, C.-W. (2016), Multiferroic Heterostructures Integrating Ferroelectric and Magnetic Materials. Adv. Mater., 28: 15-39. <https://doi.org/10.1002/adma.201502824>

[2] Morin, M., Canévet, E., Raynaud, A. et al. Tuning magnetic spirals beyond room temperature with chemical disorder. Nat Commun 7, 13758 (2016). <https://doi.org/10.1038/ncomms13758>