



## DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES Y PROYECTOS DE LA GERENCIA DE MATERIALES DE LA CNEA

**Gustavo S. Duffó**

Doctor en Ciencias Químicas (FCEN-UBA)  
Investigador (CNEA)  
Investigador Independiente (CONICET)  
Profesor Titular: Degradación de Materiales I (Instituto Sabato, CNEA-UNSAM)



**Dr. Gustavo S. Duffó**

### INTRODUCCIÓN

La Comisión Nacional de Energía Atómica fue creada el 31 de mayo de 1950, mediante el Decreto N° 10.936/50, para la dedicación, el estudio y el desarrollo de las aplicaciones en los aspectos vinculados con la utilización pacífica de la energía nuclear.

La energía nuclear en Argentina es sólo desarrollada con fines pacíficos, sobre todo para la innovación en el ámbito nuclear y la investigación. Desde los comienzos de la **CNEA**, el país puso énfasis en la formación profesional en las ciencias y tecnologías asociadas, la creación de laboratorios y todas las actividades relacionadas con la radioquímica, la metalurgia nuclear y la minería del uranio.

El objetivo de construir centrales nucleares asignado a la CNEA durante la década de 1950 hizo evidente la necesidad de generar ciencia sobre los materiales de altas prestaciones que se necesitaban a tal fin.

El primer logro significativo en tal sentido fue la temprana construcción y puesta en marcha del primer reactor nuclear de investigación de América Latina, el RA-1, en enero de 1958.

Las sucesivas conquistas fueron alentando de manera creciente a los científicos de la CNEA para ampliar las indagaciones a todo los aspectos relacionados con los usos pacíficos de la energía nuclear.

En esa línea, la CNEA cuenta con la Gerencia de Materiales -al frente de la cual estuvo el tecnólogo Jorge Sabato- y sus dependencias en el Centro Atómico Constituyentes. Asimismo, se armaron diversos laboratorios en el Centro Atómico Bariloche y se construyeron instalaciones tales como el Laboratorio de Ensayos de Alta Presión (LENAP) en el Centro Atómico Ezeiza.

En la actualidad, la CNEA cuenta con especialistas en Ensayos No Destructivos, Corrosión, Estructuras y Comportamientos, Caracterización fractomecánica, Resonancias magnéticas, Física de Metales, Materia Condensada y Análisis por Activación Neutrónica.

El Dr. Gustavo Duffó es Doctor en Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA, 1990). Desde 1981 trabaja en la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). Es actualmente investigador Independiente del CONICET y Jefe de la División Corrosión Aplicada en el Departamento Corrosión de la Gerencia de Materiales de la CNEA. Además, es profesor de la Universidad Nacional de San Martín desde 1994. En la Escuela de Ciencia y Tecnología se desempeña como Profesor Asociado en el área Química; y en el Instituto Sabato es Profesor Titular en el área "Degradación de Materiales". Es autor de 3 libros: Biomateriales (Ed. EUDEBA), Degradación de Materiales (Ed. Baudino) y Química de la Degradación de los Materiales (Ed. INET, Ministerio de Educación). Ha publicado más de 80 trabajos en revistas internacionales de su especialidad y presentado más de 200 trabajos en congresos y reuniones científicas.

En este artículo se realiza una breve reseña de las diferentes Divisiones y Departamentos que posee la CNEA Constituyentes. Se detallan las principales actividades e infraestructura de cada área.

## 1. División Recubrimientos y Tribología

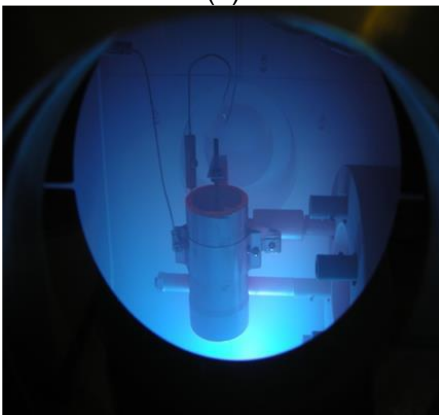
*Jefa de División: Dra. Elena Forlerer*

Dentro de las tareas que se llevan a cabo en la mencionada división se puede mencionar la medición del coeficiente de fricción en Low Earth Orbit (SAOCOM).

También se trabaja en funcionalización de superficies para lo cual se cuenta con infraestructura de laboratorios y equipamiento específico. Figura 1 (a y b)



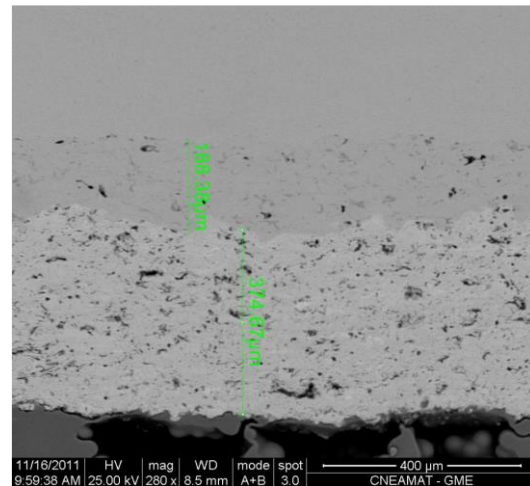
(a)



(b) TBC: Thermal Barrier Coating.  
**Figura 1.** Equipos aplicados en funcionalización de superficies.

Se realizan diferentes tipos de recubrimientos:

- Recubrimientos bicapa de CrN+Cr<sub>2</sub>N por AC-PVD, que soporta cargas de 5 Tn.
- Pasivación de superficies de SS para pegado.
- Recubrimientos de Ni e-less sobre INVAR
- Recubrimientos conductores - aleaciones de Al - Sustrato Bondcoat Topcoat. Figura 2



**Figura 2.** Imagen de un recubrimiento conductor observado mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

La barrera térmica debe ser capaz de soportar temperaturas mayores a 1700 °C durante algunos minutos, sin desprenderse. La microestructura de la TBC genera un gradiente térmico que protege al sustrato. Adicionalmente lo protege contra la corrosión y la erosión. En la División se desarrolló y calificó el proceso de fabricación. Se realizaron mediciones de las características térmicas y geométricas de la barrera con la colaboración del ENDyE y la Gerencia de Combustibles Nucleares. El proceso se lleva a cabo en colaboración con una PYME de San Lorenzo, Provincia de Santa Fe.

También se cuenta con la posibilidad de realizar Espectroscopía de fotoelectrones, para análisis químico. En los perfiles de composición tomados a una muestra con depósito de  $\text{CrN}+\text{Cr}_2\text{N}$ , fabricado por la técnica CAPVD en DRyT, se logra detectar la presencia de un pico de O en la capa 23, que es compatible con un óxido nanométrico precipitado, durante la fabricación del recubrimiento. También se pueden determinar:

- Energías de Unión
  - Estado de oxidación
  - Composición relativa como  $f = \frac{\text{Intenspeak}}{\text{característicos de los electrones}}$
  - Perfiles de profundidad por iones de Ar
- La estación térmica contempla (-100; +500) °C. Las muestras pueden tener mm de diámetro máximo.

## 2. División Materiales Avanzados

*Jefe de División: Dr. Alfredo Hazarabedián*

En la División Materiales Avanzados, se realiza cooperación con el proyecto de separación isotópica por ultracentrifugación.

- Se efectúa la participación en el diseño de las ultracentrifugas para producción de U de bajo enriquecimiento.
- Se desarrollan procesos de fabricación de rotores en materiales compuestos.
- Se realizan ensayos mecánicos y del efecto de la exposición al UF6.

Además, se trabaja en el desarrollo de procesos de fabricación en materiales compuestos para el Proyecto SAOCOM.

En la mencionada División se cuenta con laboratorios y equipamientos específicos. Figura 3



**Figura 3.** Infraestructura División Materiales Avanzados.

En el área además se realizan:

\*Laminado de materiales compuestos.

\*Mecanizado de materiales compuestos.

\*Se participa en el diseño de detalle de las partes en material compuesto y de juntas adhesivadas.

\*Se colabora en el desarrollo y ejecución de procesos de revestimiento por pinturas de control térmico.

\*Se llevan a cabo ensayos mecánicos de materiales compuestos, subestructuras y mecanismos.

\*Se participa en el diseño del sistema de soporte en tierra de la antena.

\*Además se brinda asesoría técnica a CONAE sobre materiales de uso espacial.

### 3. Departamento Caracterización y Fractomecánica

*Jefe de Departamento: Ing. Antonio Iorio*

#### \*División Metalografía y Ensayos Termomecánicos

*Jefe de División: Técnico Ramón Castillo Guerra*

Dentro de las tareas se realizan estudios de:

- Metalografía
- Metalografía y técnicas especiales
- Metalografía y daño por hidrógeno.
- Metalografía y tratamientos termomecánicos
- Metalografía no destructiva
- Análisis de falla
- Tubos de calandria

Cuenta con diversos microscopios ópticos que poseen sistemas de análisis de imágenes.

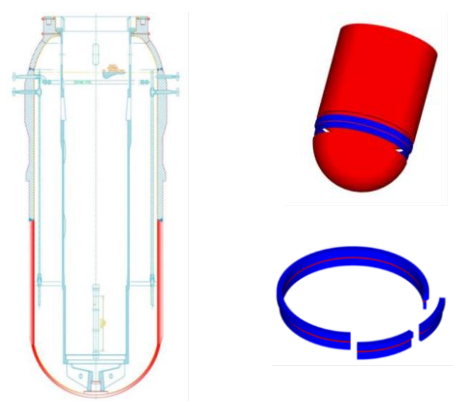
### 4. División Fractura

*Jefe de División: Ing. Enrique Chomik*

Entre las actividades de la División Fractura se encuentra el servicio a centrales nucleares y a la industria privada. Se desarrolla docencia dentro del Instituto Sabato para las carreras de Ingeniería y Maestría en Materiales Esta división también tiene a su cargo el taller para la fabricación de probetas y dispositivos, como así también el laboratorio de ensayos termomecánicos. En cuanto a las líneas de trabajo recientemente realizadas por esta división se encuentran los ensayos de calificación de componentes fabricados por CONUAR para la extensión de vida de la Central Nuclear Embalse. A tal fin, se certificaron previamente los ensayos realizados bajo el sistema de calidad

ISO 9001 y cumplir con los requerimientos adicionales de AECL. Otro trabajo reciente (2014) es la segunda campaña de ensayos sobre materiales irradiados de canales de combustible de la central Atucha I realizado en las celdas calientes del CAE, para complementar aquellos realizados en 2009. Entre los trabajos previstos para el futuro cercano se encuentran los ensayos a realizar en material de pre-producción de los feeders de la CNE, y los ensayos sobre materiales irradiados a ser realizados por personal de esta división en las celdas calientes del CAE para materiales de tubos de presión de la CNE.

Algunos trabajos realizados:



**Figura 4.** Recipientes y piezas en estudio en la División Fractura.

Se colabora en:

- Definición del excedente de material a pedir en el momento de la compra del material del Recipiente de Presión del reactor CAREM destinado a la fabricación de probetas del programa de vigilancia de dicho reactor.
- Propuesta de diseño y distribución de probetas por cápsula para cada set del Programa de Vigilancia realizada a la gerencia CAREM

- Mecanizado de probetas y de dispositivos varios para los ensayos de aceptación de material de componentes de la Central Nuclear Embalse. Figura 5



**Figura 5.** Ensayos de componentes y piezas de la Central Nuclear Embalse.

- Ensayos para calificación de componentes de la Central Nuclear Embalse. Figura 6



**Figura 6.** Ensayos de calificación de componentes.

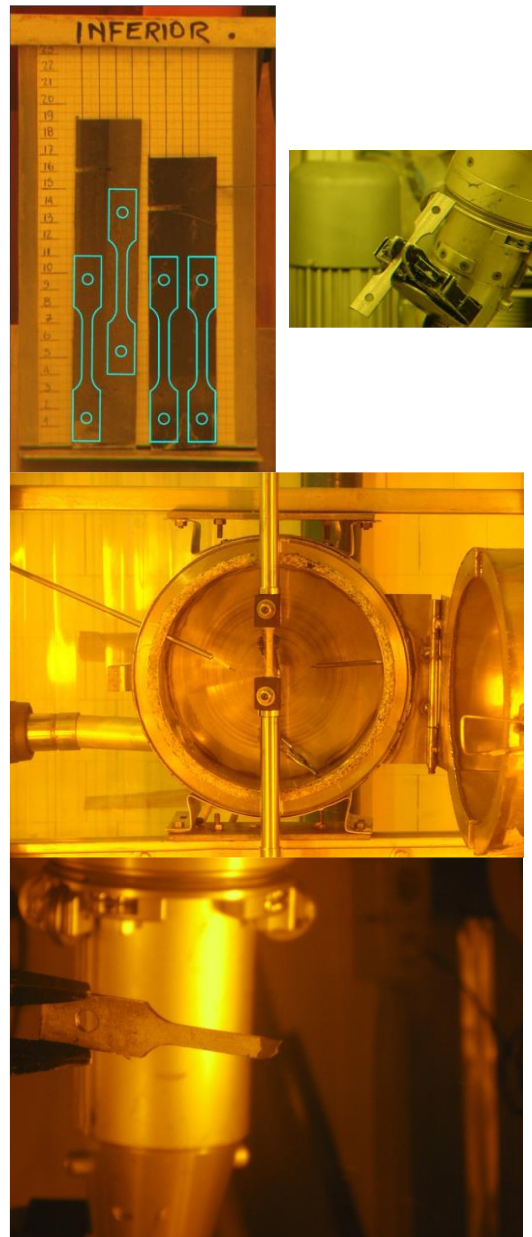
Dentro de los trabajos realizados se pueden mencionar:

- Ensayos de material irradiado de tubos de Presión de la Central

Nuclear Embalse en las celdas calientes del CAE.

- Ensayos de material irradiado de canales combustibles de la Central Nuclear Atucha I, en las celdas calientes del CAE.

En Figura 7, se presentan imágenes que ilustran sobre los ensayos mecánicos.



**Figura 7.** Imágenes de algunos ensayos mecánicos disponibles en la división Fractura.

Como es posible observar en la figura 8, se cuenta con equipamiento de alta tecnología.



**Figura 8.** Parte del equipamiento de la División Fractura.

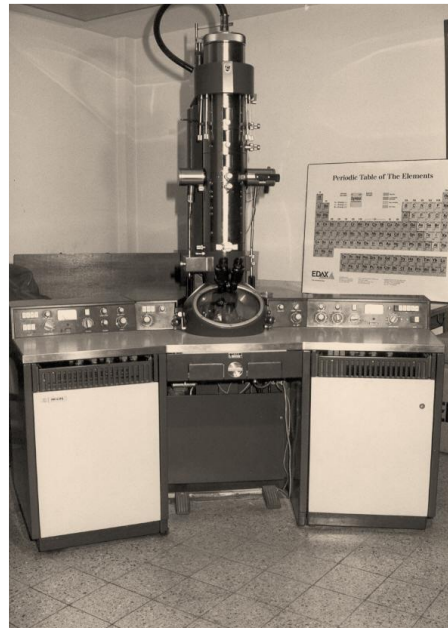
**5. División Microscopía Electrónica y Difracción**

*Jefa de División: Dra. Patricia Bozzano*

Nuestro Laboratorio: Ayer y Hoy

•El Laboratorio de Microscopía Electrónica comenzó a operar en el año

1969 con la instalación del Microscopio Electrónico por Transmisión EM300 y el equipamiento necesario para la preparación de láminas delgadas y réplicas. Figura 9 La incorporación de estas nuevas técnicas permitió la observación de la microestructura con una resolución de 0,35 nm.



**Figura 9.** Microscopio electrónico por Transmisión EM300

•Las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido comenzaron a ser utilizadas en 1977 a partir de la instalación del microscopio Philips SEM 500, con una resolución de 10 nm. Figura 10



**Figura 10.** Microscopio Philips SEM 500, con una resolución de 10 nm.

Un año después (1978) se le acopló el sistema de microanálisis dispersivo en energías de Rayos X, que permitió la detección de elementos desde el sodio ( $Z=11$ ) hasta el uranio ( $Z=92$ ) en zonas del orden del micrón. Este dispositivo fue el primero en el país y uno de los primeros en Latinoamérica.

En el año 1997 el laboratorio incrementó su capacidad con la instalación del Microscopio Electrónico por Transmisión FEI CM200 con un sistema de microanálisis de EDX. Figura 11



**Figura 11.** Microscopio Electrónico por Transmisión FEI CM200 con un sistema de microanálisis de EDX.

En 2006 se instaló el microscopio Philips Quanta 200 de última generación, con una resolución de 5 nm, y un sistema de microanálisis EDX que ya permitió extender el rango de detección de elementos livianos hasta el carbono ( $Z=6$ ). Operado en el modo ambiental permite la observación de muestras no conductoras sin preparación previa, así como de

muestras húmedas y material orgánico. Figura 12



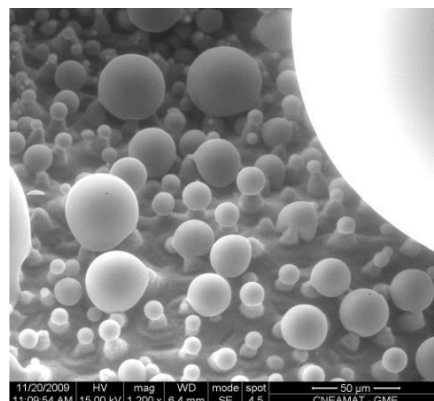
**Figura 12.** Microscopio Philips Quanta 200, con una resolución de 5 nm, y un sistema de microanálisis EDX.

#### Algunos datos

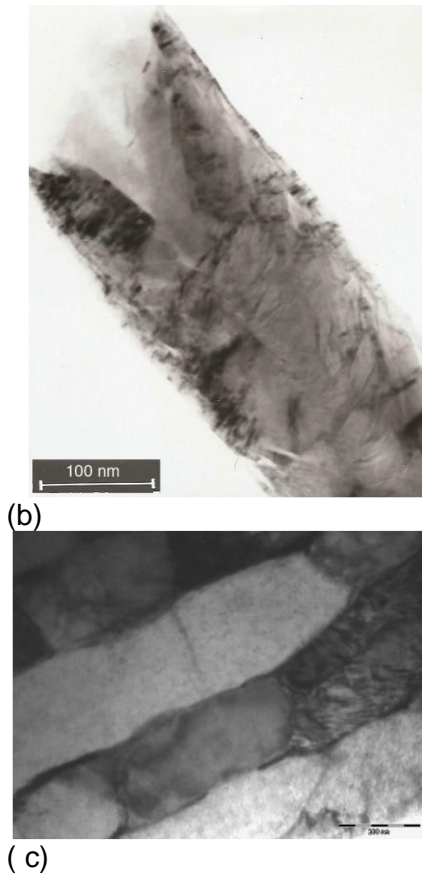
- El Laboratorio de Microscopía Electrónica es uno de los siete laboratorios que constituyen el Laboratorio de Ensayo de Materiales, que desde 2009 cuenta con ISO 9001.

- Se brinda apoyo a diferentes grupos del CAC, así como a otras Instituciones y Empresas. En el SEM, se atienden en promedio 400 turnos al año.

- Algunos ejemplos: Materiales para uso Nuclear, Nano estructuras, aplicaciones forenses, biológicas, arqueológicas, etc. En la figura 13 (a-c), se observan imágenes de gotas de agua sobre la superficie de un vegetal, nanotubos de carbono y estructura de la aleación Zr-Nb.



(a)



**Figura 13.** Diferentes imágenes obtenidas: (a) Gotas de agua sobre la superficie de un vegetal, (b) nanotubo de carbono y (c) estructura de la aleación Zr-2.5% Nb.

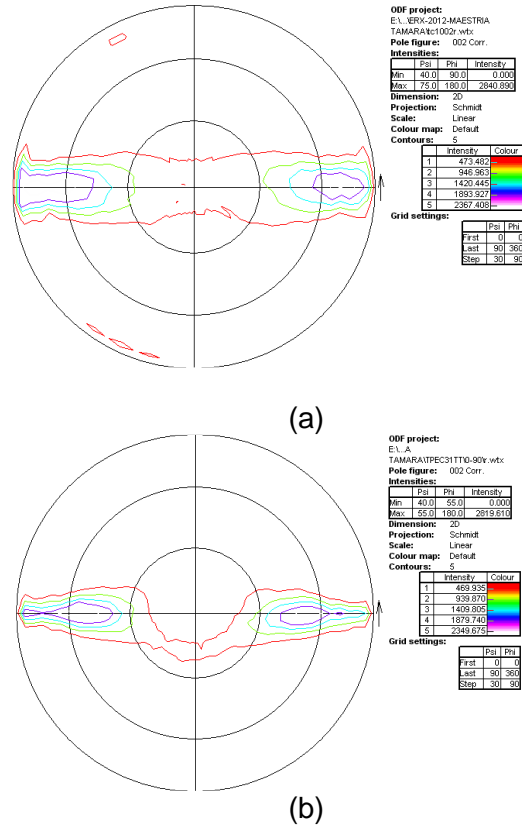
## 6. División Difracción de Rayos X

Jefa de División: Dra. Norma Mingolo

En esta División se realiza:

- Caracterización de tubos de presión Zr-2,5% Nb con distintos tratamientos termomecánicos. Modificación de la textura cristalográfica en relación a la rotura diferida inducida por hidruros.

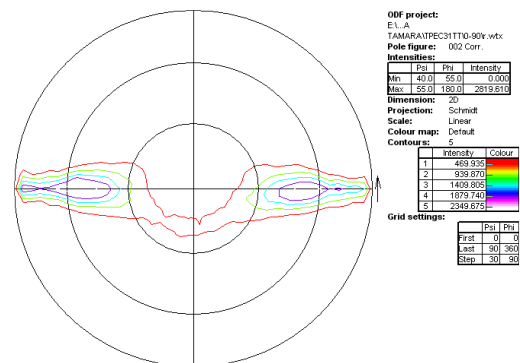
En la figura 14, se observan las figuras de polo correspondientes a los tubos en estado original y con 30% de deformación. Figuras de polos (0002) dirección radial.



**Figura 14,** (a) figura de polo correspondiente al tubo en estado original, (b) resultado obtenido sobre el tubo con 30% de deformación.

También se ha estudiado:

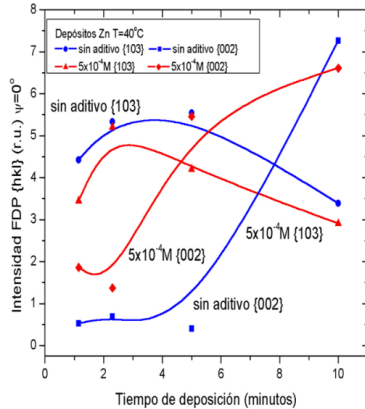
- Evolución de la textura en relación al comportamiento a la corrosión en depósitos de Zn con y sin aditivos, obtenidos por electrodeposición. Figura 15



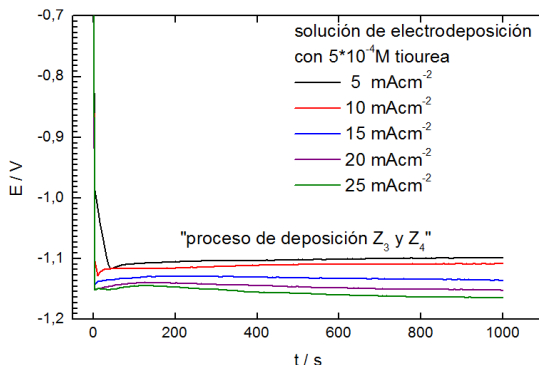
**Figura 15.** Textura en relación al comportamiento a la corrosión en depósitos de Zn con y sin aditivos,



obtenidos por electrodeposición. Detalle de las condiciones y la evolución de los sistemas en estudio se presentan en la figura 16 (a) y (b)



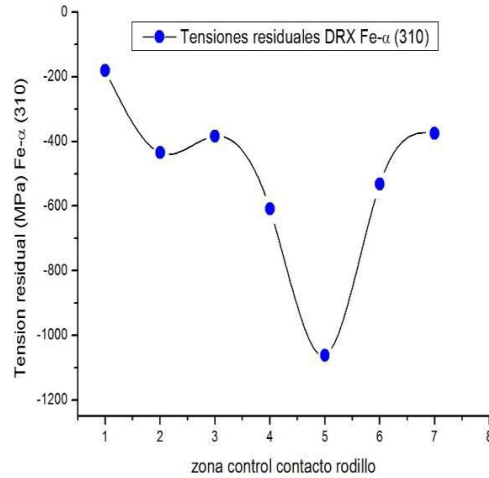
(a) Evolución de la textura en Zn con y sin aditivo



(b) Deposición galvanostática de Zn con aditivo

**Figura 16.** Detalle de las condiciones y la evolución de los sistemas en estudio.

También se ha trabajado contemplando la influencia de las tensiones residuales. Con este objetivo se ha empleado la técnica de difracción de rayos X sobre chapas de acero 1650 SM tipo 15-78<sup>a</sup>, laminadas en distintas zonas de contacto con el rodillo de laminación (1A-7A). En la figura 17, se observa una correlación entre las tensiones residuales determinadas en relación a las zonas de contacto del rodillo.



**Figura 17.** Correlación entre las tensiones residuales determinadas en el acero ferrítico 310, en relación a las zonas de contacto del rodillo de laminación.

Dentro de los proyectos correspondientes a la División se pueden citar:

- Caracterización de la textura cristalográfica, parámetro de red y densidad de dislocaciones en aceros y aleaciones de Zr. Materiales sin irradiar provistos por las centrales de Embalse y Atucha I. Los parámetros obtenidos de la caracterización serán utilizados por NASA para ser introducidos en modelos predictivos de los diversos daños inducidos. (NASA-CNEA 2015).

- Determinación de fases, texturas y densidad de dislocaciones en relación a la predicción de falla por rotura diferida inducida por hidruros (RDIH) en tubos de EXCEL y Zr-2.5%Nb (CNEA 2015).

- Estudio de la influencia de la temperatura de autoclaveado respecto del color del óxido, las tensiones residuales y densidad de dislocaciones en tubos de presión de Zr-2.5%Nb (CNEA 2015).

- Caracterización por difracción de rayos X de recubrimientos Zn-Ni con partículas cerámicas y aditivos obtenidos por electrodeposición.



Relación con el comportamiento a corrosión (INTI-CNEA 2015).

## 7. Departamento Transformaciones y Propiedades

*Jefe de Departamento: Dr. Rubén González*

### • División Aleaciones Especiales

*Jefe de División: Dr. Gerardo Rubiolo*

Técnicas computacionales aplicadas:

- Métodos Ab initio (implementados en los códigos Wien2K y VASP)

- Métodos tipo CalPhad aplicado a la estabilidad termodinámica y cinética (THERMOCALC y DICTRA).

- Método de variación de cúmulos para el cálculo de propiedades termodinámicas (CVM, ATAT).

Técnicas de fabricación de aleaciones y tratamientos termomecánicos:

- Colada en molde de arena: Desarrollo de modelos, moldes y proceso de colada.

- Colada en molde de precisión: Desarrollo de modelos, moldes y proceso de colada.

- Fundición de aleaciones especiales: Desarrollo de crisoles, lingoteras y procesos

- Hornos eléctricos de tratamientos térmicos ó fundición: Diseño y construcción

Áreas de investigación:

- Estabilidad de fases intermetálicas y soluciones sólidas en aleaciones metálicas.

- Crecimiento de interfases y precipitados en aleaciones metálicas.

- Difusión en aleaciones metálicas.

- Energía de adhesión de interfases entre aleaciones metálicas y óxidos.

- Propiedades mecánicas de superaleaciones.

Áreas de servicios:

- Fabricación de aleaciones metálicas especiales base Uranio, Circonio ó Hierro destinados a componentes de Reactores Nucleares de Potencia ó Reactores Experimentales y de Producción de radioisótopos.

- Fabricación de aleaciones de uranio utilizadas en la elaboración de elementos combustibles para reactores de investigación y producción de radioisótopos.

Se trabaja en el desarrollo de aleaciones de  $U_3Si_2$ . Figura 18



**Figura 18.** Lingote de  $U_3Si_2$  (2.5 kg)

Equipamiento.

- Clusters de cálculo: 8 nodos (32 procesadores); 1 nodo (32 p).

- Horno de fundición por arco/inducción: Sistema de Vacío Multipropósito para Procesos Metalúrgicos; CENTORR VACUUM INDUSTRIES: capacidad por inducción 2 Kg de hierro; capacidad por arco 1 Kg de Titanio

- Horno de inducción bajo vacío VIM 6, fabricado por ALD Vacuum Technologies GmbH: es un equipo capaz de fundir y colar aleaciones metálicas bajo vacío y gas inerte. Los

volúmenes en crisoles disponibles son: 5; 3.5 y 2 litros.

- Horno de inducción para fusión en aire; Generador de corriente alterna (50 KVA, 4 KHz)) y adaptador de impedancias;

ELECTRO-MASCHINENEN KG SCHULZE & CO (EMA); capacidad variable hasta 120 Kg de Cu (40 Kg de Al)

- Producción de aleaciones U3Si2 (U235 al 20%) para elementos combustibles de reactores nucleares de investigación y producción de radioisótopos.

- Producción de aleaciones UAl2 (U235 al 20%) para blancos de producción de Mo99 en reactores nucleares de producción de radioisótopos.

- Desarrollo del proceso para fabricar lingotes rectangulares de aleaciones U-10%wt Mo (U235 al 57%) para su posterior uso en la fabricación de mini-placas del combustible monolítico U-10%wt Mo revestido con Zry-4.

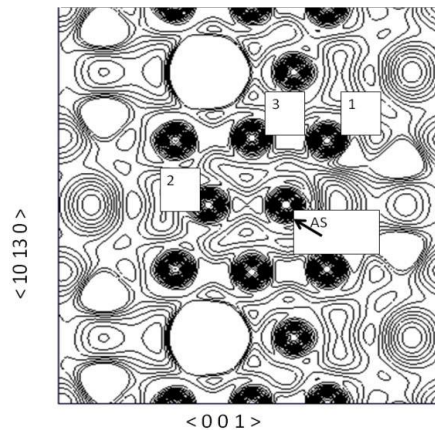
- Producción de blindaje en uranio empobrecido para bulto de transporte de material radiactivo tipo B(U).

- Fabricación de 14.200 pastillas absorbentes de Ag-In-Cd para el reactor CAREM 25.

Integridad de materiales en reactores nucleares: modelos atomístico/continuo aplicados a interdifusión en combustibles dispersos y a fractura de la capa de óxido en tuberías. (PICT 2011, beca A1D CNEA, colaboración con P. Balbuena, University of Texas a&M, Texas, EEUU, y G. Ramirez Caballero, Universidad de Santander, Bucaramanga, Colombia).

Objetivo: Simular la formación de UAl4 por difusión a partir de primeros principios. Analizamos la estructura de defectos puntuales, la estructura electrónica, propiedades magnéticas del UAl4 y su estabilidad en el diagrama binario de equilibrio,

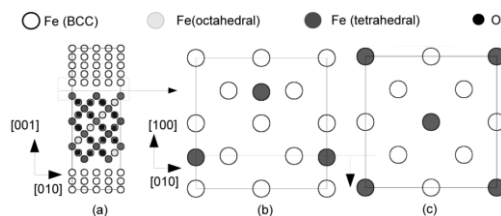
mediante cálculos ab initio, utilizando el código VASP. Simulamos su crecimiento en la interfase UAl3 / Al mediante los códigos ThermoCalc y Dictra. Figura 19



**Figura 19.** Simulación del crecimiento en la interfase UAl3 / Al mediante los códigos ThermoCalc y Dictra.

Objetivo: Calcular la tenacidad de la interfase  $\alpha$ -Fe/(magnetita)Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dentro del marco de la Teoría de la Funcional Densidad (DFT).

Realizamos cálculos de la relación energía-separación desplazando los bloques de metal y óxido rígidamente en una manera consistente con los modos de apertura y corte. Figura 20



**Figura 20.** Cálculos de la relación energía-separación.

Estabilidad de compuestos que crecen por interdifusión entre combustible nuclear y aluminio (colaboración con S. Parida, Bhabha

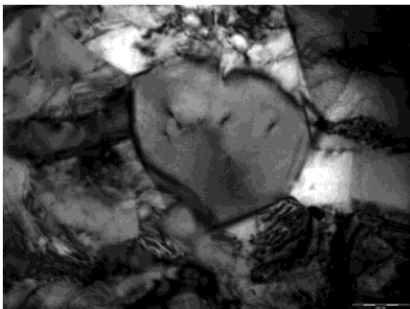
Atomic Research Centre, Mumbai, India)

**Objetivos:**

Estudiar la estabilidad de la solución sólida U (Al, Si)<sub>3</sub>.

Aplicamos métodos de cálculo para estimar la influencia de productos de fisión (Nd, Ce, La, Pr) en la estabilidad de la interfase entre combustible nuclear base (U, Mo) y matriz base Al. Luego se ensaya la aleación que contenga el candidato más favorable.

Tecnología para la micro adición de oxígeno e introducción de partículas de segunda fase  $\beta$ -Niobio con tamaño y distribución óptima en la matriz Circonio de la aleación Zr-1%Nb. Figura 21 (beca A1D CNEA)



**Figura 21.** Segunda fase  $\beta$ -Niobio con tamaño y distribución óptima en la matriz Circonio de la aleación Zr-1%Nb

Dentro de los objetivos actuales se pueden mencionar:

- Diseño y construcción de una reforma del sistema de fundición por arco con electrodo consumible del Sistema de Vacío Multipropósito para Procesos Metalúrgicos CENTORR VACUUM INDUSTRIES.

- Obtención de un lingote (0.25 lts) de la aleación Zr-1wt%Nb-0.135wt%O mediante fundición por arco con electrodo consumible en un proceso de dos fusiones.

- Implementar procesos termomecánicos para obtener productos semielaborados desde el

lingote fundido que presenten partículas de segunda fase  $\beta$ -Niobio con tamaño y distribución óptima en la matriz  $\alpha$ -Circonio.

**Proyectos en desarrollo.**

Propiedades mecánicas en aleaciones Fe-Al-V con precipitación coherente L21

**Objetivos:**

- Estudio de propiedades mecánicas en aleaciones de Fe-Al-V ferríticas con precipitación coherente de fase Fe<sub>2</sub>AlV (L21), en el rango de temperaturas para las cuales fueron diseñadas estas aleaciones.

- Estudio, en altas temperaturas, de la evolución temporal de la precipitación L21.

- Análisis del efecto de la inserción de pequeñas cantidades de Ti en las temperaturas de transformación de fases.

- Tiempo de envejecimiento

**• División Transformaciones de Fase**

*Jefe de División: Dr. Sergio Aricó*

Principales líneas de trabajo:

- Materiales estructurales para reactores de fisión de IV Generación y reactores de fusión
- Aceros martensítico-ferríticos 9%Cr.
- Comportamiento en transformación y evolución microestructural en ciclos térmicos seleccionados (DSC, dilatometría).
- Caracterización microestructural (MO, FEG-SEM, TEM, DRX, EM). Desarrolladas en colaboración con GDPH (GM) y LEM (GlyA)
- Integración del modelo de vuelo de los paneles solares para la misión satelital SAOCOM 1A.
- Desarrollos vinculados con el área de pegado.



- Integración de las celdas CIC (Covered Interconnected Cells).
- Desarrollo de dispositivos para ensayos ambientales y de impacto sobre paneles fotovoltaicos de uso terrestre.
- Optimización de equipamiento y proceso de pegado. Desarrolladas en colaboración con GDPH (GM)
- Aleaciones metálicas de U para su aplicación en combustibles de alta densidad para reactores de investigación.
- Evaluación de la capacidad de retención en forma metaestable de la fase de interés tecnológico que presentan las aleaciones U(Zr,Nb).
- Fabricación de miniplacas monolíticas U(Zr,Nb)/Zry . Caracterización microestructural del núcleo y de la unión núcleo-marco-tapa.
- Fabricación de pares de difusión U(Mo)/Al(Si) evaluar el efecto del Si en la formación y características morfológicas de la zona de interacción (ZI) crecida por interdifusión.
- Estabilidad microestructural de distintos siliciuros de uranio observables en la ZI. Desarrolladas en colaboración con GDPR (GM) Financiación: Proyecto ANCyT PICT - 2010-1351 "Desarrollo de combustibles U(Mo)-Al(Si) utilizables en reactores nucleares de investigación y producción de radioisótopos para uso médico."

Técnicas de ensayos y equipamiento

Laboratorio de microanálisis:

• Microanálisis cuantitativo (CAMECA SX-50) ed. 16.

• Microanálisis cuantitativo (CAMECA SXFive) ed. 47.

Laboratorio de vidrioplastia:

• Equipamiento para sellados en atmósfera controlada.

• Construcción de componentes estructurales vítreos.

Laboratorio de técnicas dinámicas:

• Dilatometría (Dilatómetro de Alta Temperatura ADAMEL DHT 60)

• Dilatometría (Dilatómetro de Alta Velocidad y Alta Resolución Bähr Dil 850 A).

• Calorimetría Diferencial de Barrido (Calorímetro Setaram Labsys Evo)

• Análisis Térmico Diferencial (DTA-50 - Shimadzu).

• Resistometría (Resistividad eléctrica vs. temperatura)

LABUAM

Laboratorio de Uranio de la Gerencia de Área Materiales

Licencia de operación

N°:23228/0/0/07-10 (ARN)

Instalación Clase II

Licenciado desde: 2010

Responsable: Dr. Rubén

González

Permiso individual: 22758/0/0/02-

14

LABUAM

Laboratorio de Uranio de la Gerencia Materiales

Ubicación: Edificio 16, CAC

Objetivo: está destinado a la investigación y estudio de aplicaciones de materiales nucleares.

Tipo de material: uranio o aleaciones base uranio (no irradiado)

Inventario: La cantidad máxima de material nuclear que puede haber en el Laboratorio es de 2 Kg. de U empobrecido y/o natural y 1 Kg de U con enriquecimiento máximo del 20% .

Actividades

LABUAM



a) Elaboración de aleaciones Se realiza mediante fundición en horno de arco con electrodo de tungsteno no consumible, bajo atmósfera de gas inerte (tamaño botón 80 cm<sup>3</sup>)

b) Corte de precisión Cortadora de disco de diamante con circuito cerrado de refrigeración líquida y confinamiento (10x5x5 mm<sup>3</sup>)

c) Inclusión de muestra

d) Preparación metalográfica Se lleva a cabo por diversos medios: mecánico, sobre discos de material abrasivo en vía húmeda con circuito cerrado; electrolítico, circuito de ánodo-cátodo inmerso en electrolito; químico, por inmersión en solución ácida (bajo campana de gases). Cascada de filtración de agua. Balanza. Pulidora de caras paralelas. Ultrasonido. Lupa. Cortadora. Sierra sin fin. Cortadora

#### LABUAM

Actividades oficina

Posee una zona de preparación para el ingreso al área controlada, donde se realiza la higiene final de manos obligatoria antes de abandonar el laboratorio, entre otras dependencias necesarias.

Se disponen de Códigos de prácticas del Laboratorio específicos.

Objetivo del laboratorio:

- Descripción de áreas y actividades
- Normas de higiene y seguridad en el trabajo
- Orden y controles de laboratorio
- Gestión de residuos
- Ingreso y egreso de material físil al laboratorio.
- Se esta gestionando ante ARN un área de Salvaguardia de material radiactivo.

### 8. División Difusión

Jefe de División: Dr. Manuel Iribarren

Técnicas de seccionamiento con radiotrazadores: Auto y hetero difusión en Zr, Nb, Ti, Hf y aleaciones de base Zr y aceros. Difusión en bordes de grano, interfases y dislocaciones.

La División Difusión determina coeficientes de difusión en materiales de uso nuclear, siendo el primer polo de investigación Latinoamericano con convenios y colaboraciones a lo largo del tiempo con Alemania, Francia, Brasil y Japón.

Coefficientes de difusión en materiales nucleares:

Extensión a temperaturas de trabajo en reactores

Presente Trabajo

Desarrollo y aplicación de nuevas técnicas:

-HIRBS (Heavy Ion Rutherford Backscattering) por primera vez en diferentes materiales

-Espectroscopía alfa (difusión de U en materiales de usos nuclear), totalmente desactualizado.

-LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy). Se desarrollaron

nuevos métodos de medición de heterodifusión e interdifusión. En la Figura 22, se observan instalaciones del laboratorio.



Figura 22. Instalaciones del laboratorio difusión.

Se trabaja en:

-Interpretación de curvatura y transición ferro-paramagnética en metales de transición. -Interpretación de la curvatura en el Zr-hcp (autodifusión). -Difusividad ultrarrápida de Fe y Co en Zr-hcp. -Cálculos Ab Initio y e inserción de valores medidos experimentalmente a códigos CALPHAD y DICTRA



Necesidad de un marco teórico y predicción de comportamiento termodinámico:

-Servicio de tratamientos térmicos de precisión hasta 1700 °C en atmósferas controladas. -Servicios de análisis en composición.

Otras actividades:

## 9. Departamento Estructura y Comportamiento

*Jefa de Departamento: Dra. Ana María Fortis*

### División Hidrógeno en Materiales

*Jefa de División Dra. Gladys Domizzi*

Se trabaja en:

- Ingreso de hidrógeno
- Carga catódica
- Carga gaseosa (Elaboración de patrones de H en aleaciones del grupo IV)

- Rotura diferida inducida por hidruros en aleaciones de Zr

- Medición de velocidad de propagación ( $V_p$ ) y determinación del factor de intensidad de tensiones límite (KIH)

- Calificación de tubos de presión de Zr-2,5Nb para la extensión de vida de la central Embalse

- Efecto de la microestructura y las propiedades mecánicas

- Determinación de la temperatura crítica para la propagación de fisuras

- Formación de ampollas de hidruro en aleaciones de Zr.

- Efecto de la presencia de ampollas sobre la reorientación de hidruros durante el almacenamiento en seco de elementos combustibles.

- Efecto de la presencia de ampollas sobre la RDIH.

- Determinación de la solubilidad sólida terminal del H en aleación de Zr mediante calorimetría diferencial de barrido DSC

- Cálculos clásicos y ab initio de estructura, difusión y solubilidad de H en aleaciones de Zr

- Selección de materiales, especificaciones de compra y especificaciones de fabricación para componentes:

- Proyecto CAREM 25: recipiente de presión, plaqueado interno, conjuntos plenum, componentes soporte de núcleo, componentes internos varios, mecanismos de control de los elementos absorbentes.

- De componentes a ser reemplazados como parte del plan de extensión de vida de la CNE: tubos, placa tubos, y plaqueado de los intercambiadores del moderador.

- Selección de materiales y especificaciones de fabricación de componentes de la CNA I: pistas de rodadura de la máquina de recambio de la CNA I.

- Materiales estructurales para reactores de fisión, generación y reactores de fusión: Aceros ferríticos-martensíticos mejorados para ser utilizados en condiciones de servicio a alta temperatura principalmente en aplicaciones relacionadas con la generación de energía:

- Estudio del comportamiento frente al h de los aceros 9cr mediante ensayos de permeación y cálculos clásicos y ab initio.

- Fabricación y caracterización de cordones de soldadura de aceros T91 (9Cr1MoNbV) y T92 (9Cr0.5Mo1.5WNbV) mediante el proceso de soldadura semiautomática bajo protección gaseosa (FCAW-G).

- Caracterización de nuevos materiales: Aleaciones Oxide Dispersion Strengthened (ODS) y el acero de baja actividad F82H (7.7Cr2W1TaV).

- Ensayos de creep

**División Daño por Radiación**

*Jefa de División: Dra. Guillermina Cocoz*

Los integrantes de la División 25 por Radiación estamos convencidos que nuestro trabajo debe ser pilar para el desarrollo de los nuevos materiales de uso nuclear. Mediante ensayos mecánicos sobre un acero A 508 cl3, se determinó que el corrimiento de la temperatura de transición dúctil-frágil depende del factor de avance: irradiaciones aceleradas producen corrimientos inferiores a los reales sufridos por los RPR durante su vida en servicio. Este resultado invalida las irradiaciones en los MTR con altos flujos neutrónicos.

Se realizará una irradiación de 1500 horas en el RA1, a factores de avance menores para relacionar los  $\Delta T T$  con la aceleración de la radiación.

Daño por radiación

Dispositivo desarrollado para irradiar probetas de Charpy. Figura 23



**Figura 23.** Ensayos de Charpy en Celda Caliente

Daño por radiación

**Small Punch Test (SPT)**

Por primera vez se realizarán estudios de daño por radiación en material de Recipiente de Presión mediante la técnica SPT.

Al utilizar volúmenes de material muy pequeños, se pueden considerar como ensayos no destructivos y permiten caracterizar mecánicamente regiones muy pequeñas (zonas térmicamente afectadas por la soldadura, capas superficiales, etc.) que son prácticamente imposibles de caracterizar mediante la utilización de los ensayos mecánicos convencionales. Figura 24 y 25



**Figura 24.** Dispositivo desarrollado para irradiar las probetas para ensayos SPT





**Figura 25.** Mini Probetas de material de RP para evaluar cambios en las propiedades mecánicas por la irradiación utilizando la técnica SPT

**Comportamiento mecánico y caracterización microestructural de Aleaciones de Zr Hidruradas e Irradiadas**

Se realizan estudios comparativos del comportamiento mecánico y de la microestructura de Zr-1%p Nb con lo obtenido para Zr-2,5%p Nb, manteniendo la misma concentración de hidrogeno (200 ppm) y la misma dosis de irradiación.

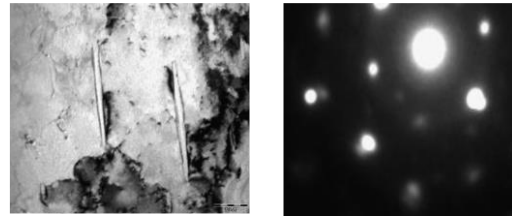
Se preparan muestras de ambas aleaciones que se irradian en el RA3 y en breve se comenzarán con las mediciones.

Los ensayos de tracción se realizan a 25 y 300 °C en una máquina de tracción universal Instron, con un sistema de tracción invertido. Figura 26



**Figura 26.** Máquina de tracción universal Instron, con un sistema de tracción invertido.

Se estudian los hidruros presentes en el material:  $[-1 \ 1 \ 0]$ ,  $[0 \ -1 \ 0]$ , hidruros  $\xi$  (zeta). Figura 27



**Figura 27.** Hidruros  $\xi$  identificados

Daño por radiación lleva a cabo:  
Estudios en Combustibles de Alta Densidad para Reactores de Investigación

- Caracterización de la zona de interacción (ZI) en pares de difusión U(Mo)/Al y U(Mo)/Al(Si)

- Estudio de la variación en el parámetro de red de la fase  $U_3Si_5$  con la incorporación de aluminio

- Efecto de la radiación neutrónica sobre las fases identificadas en la ZI

- Caracterización de miniplacas U(Mo)/Al(Si)

Matriz Al(Si)

U(Mo)

- Estudio del Envejecimiento de Termoplásticos y Elastómeros

Se evaluó la elección del lugar mas apropiado para la realización de los ensayos, en los reactores nucleares de investigación RA-1 y/o RA-3. Sus condiciones operativas, flujos involucrados, formas de instrumentación para la medición de temperatura dentro del reactor, tratamiento del material irradiado, precauciones principales en el uso del reactor, metodología de trabajo en los centros atómicos Colaboración con la Tesis del Ing. Claudio D. Arenas, dirigida por la Dra. E. Hermida y Co-dirigida por el Dr. R. Corcuera

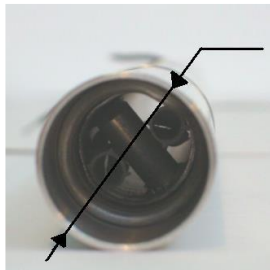
En la figura 28, se puede observar la cápsula de vidrio borosilicato dentro de la cual se

colocan las probetas (tubos de PEEK) para su posterior sellado e irradiación.



**Figura 28.** Cápsula de vidrio borosilicato

Se utiliza un Horno resistivo para contener a la cápsula con el material a irradiar sección transversal del mismo. Figura 29



**Figura 29.** Horno resistivo para contener a la cápsula con el material a irradiar (sección transversal del mismo).

### 10. División Teoría de Defectos y Mecánica del Continuo

*Jefe de División: Dr. Roberto Pasianot*

Estudios ab-initio de impurezas y defectos puntuales en Zr y Ti.

Mecanismos posibles de la “difusión anómala” en Zr, basados en la impureza Fe. El Fe sustitucional es similar a un par Intersticial-Vacancia de elevada movilidad.

Mecanismos de la difusión ultrarrápida de Fe,Co,Ni y Cu en matrices de

Zr y Ti. Las especies son móviles en la configuración intersticial y

esencialmente inmóviles como sustitucionales o aglomerados.

Modelo cinético Fe en Zr experimentos

#### TEDEMECO

Potenciales semi-empíricos para la simulación atomística de difusión en combustibles nucleares

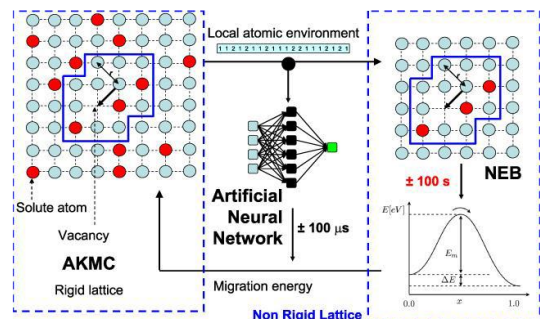
Desarrollos para el sistema

U-AI-Mo en el marco MEAM. Se pone especial énfasis en respetar la estabilidad relativa entre fases a temperatura dada y a medida que esta cambia.

#### TEDEMECO

Modelo de Monte Carlo cinético atomístico asistido por Redes Neuronales

Artificiales, para simular difusión y segregación de especies en medios de estructura cristalina no homogénea (e.g. interfases). Figura 30



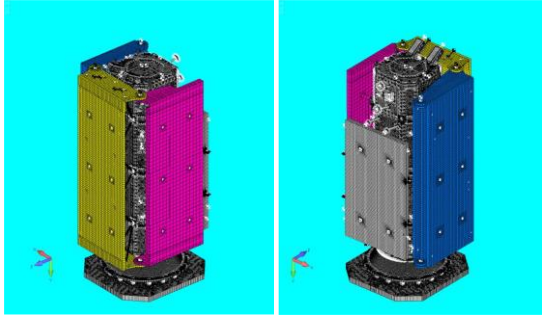
**Figura 30**

Verificación Estructural Estática y Dinámica de la Antena RAS (Radar de Apertura Sintética) del satélite de observación de la tierra SAOCOM en configuración de lanzamiento y vuelo, utilizando Modelos de Elementos Finitos. El material de la antena es compuesto de Fibra de Carbono y Honeycomb de Aluminio

SAOCOM en configuración de Lanzamiento

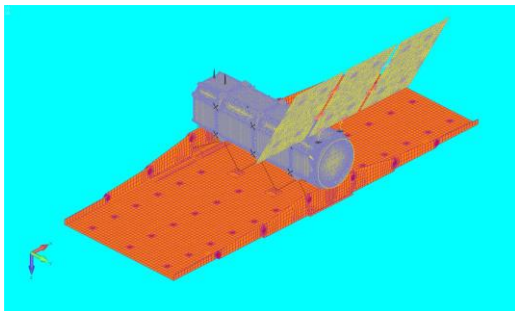
SAOCOM en configuración de Vuelo. En la figura 31 y 32 se

presentan antenas RAS plegadas y desplegadas.



**Figura 31.** Vistas de Antena RAS plegada

La masa del Satélite es de 3000 Kg. La masa de la Antena es de 1500 Kg.



**Figura 32.** Antena RAS desplegada apunta hacia la tierra. La superficie radiante de la antena es de 10 m x 4 m.

### 11. Departamento Corrosión

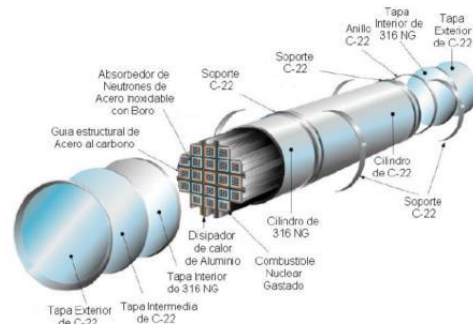
Jefe de Departamento: Lic. Roberto Haddad

#### División Corrosión Básica

Jefe de División: Dr. Ricardo Carranza

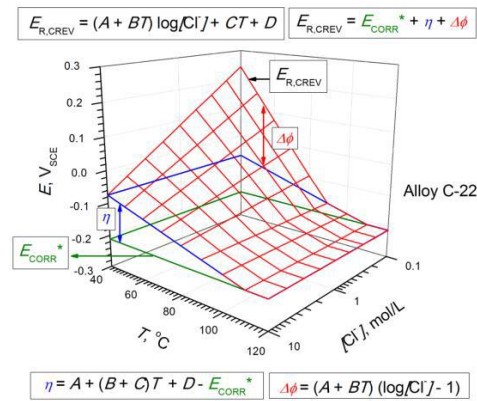
Corrosión de contenedores de RRAA PNGRR contempla el estudio de, Figura 33:

- Aleaciones base níquel
- Aceros inoxidables
- Cu libre de oxígeno Corrosión uniforme, CBT, CP, CR



**Figura 33.** Contenedor

Algunos de los resultados de estudios realizados se observan en la figura 34.



**Figura 34.** Resultados de estudios de corrosión realizados en el Departamento.

También se ha trabajado en:

Influencia del Ni en SSC de LAS  
 Convenio IS – Y-TEC – Siderca GE  
 Global Research - GE Oil & Gas Fe – 0.25 Mn – 0.8 C – x Ni (0 ≤ x ≤ 5%)

Corrosión componentes internos de RN y GV

IASCC en aceros inoxidables – CAREM CNAI CNAII

CBT materiales GV CAREM  
 Corrosión localizada de Aleaciones de Ni para GV

### 12. División Corrosión Aplicada

Jefe de División: Dr. Gustavo Duffó

En esta división se estudia la durabilidad de hormigones armados desde el punto de vista de la corrosión de las armaduras.

- Desarrollo de sensores de corrosión del hormigón armado. Figura 35

- Determinación experimental de la mejor opción para la construcción de los repositorios de residuos radiactivos de baja actividad (convenio con el LEMIT)

- Evaluación de diferentes técnicas electroquímicas para la determinación de las variables del proceso corrosivo

- Durabilidad de tambores de acero conteniendo residuos radioactivos.



**Figura 35.** Sensores aplicados en estudio de corrosión del hormigón armado.

Se realizan servicios de:

- Seguimiento del proceso de corrosión de las represas hidroeléctricas Piedra del Águila, Alicurá y Cabra Corral (en conjunto con DATec), de las nuevas piletas para almacenamiento en seco de elementos combustibles gastados de Atucha I y del reactor CAREM.

- Desarrollo de «hormigones anódicos» (para YPF-Tec)

- Corrosión acelerada de aleaciones de Circonio: Zircaloy-4, Zr-1%Nb y Zr-2,5%Nb en soluciones de hidróxido de litio a alta temperatura y presión. Estudio del efecto del envejecimiento de aleaciones de Zr-Nb sobre la corrosión.

- Corrosión de aleaciones de aluminio en medios acuosos de baja conductividad. Comportamiento de la aleación 6061, utilizada en la fabricación de placas de elementos combustibles de Reactores Nucleares de Investigación, durante su almacenamiento en piletas.

- Corrosión de aleaciones para soldaduras sin plomo (en colaboración con el IFIMAT de la UNCPBA), y de aceros inoxidables con recubrimiento de titanio para aplicaciones biomédicas (en colaboración con el INFIP, FCEN, UBA).

- Modificación superficial de aleaciones de circonio para su empleo en la fabricación de implantes oseointegrables (en colaboración con la Facultad de Odontología-UBA).

- Estudio de la rotura diferida por hidrógeno en vainas de combustible de aleaciones de circonio Programa Coordinado auspiciado por IAEA: ensayos para estudiar las condiciones de degradación por el fenómeno de rotura diferida por hidrógeno (RDIH-DHC) en vainas de combustible de Zircaloy-4. Esto es necesario para evaluar la integridad de dichas vainas durante la operación y almacenamiento de combustible. En la primera etapa del proyecto se midió la velocidad de propagación de fisuras, y en la segunda etapa se está midiendo el factor crítico de concentración de tensiones para la iniciación de fisuras (KI<sub>H</sub>).

- Teoría cinética de la formación de nanopartículas de metales de transición para catalizadores

soportados en carbón utilizados como material activo en el desarrollo de celdas de combustible y electrolizadores.

- Oxidación de combustibles nucleares de aluminio en servicio
- Medición de espesores de óxido con y sin transferencia de calor

Se cuenta con un simulador de reactor nuclear. Figura 36



**Figura 36.** Circuito simulador de reactor nuclear

Se realizan ensayos de:

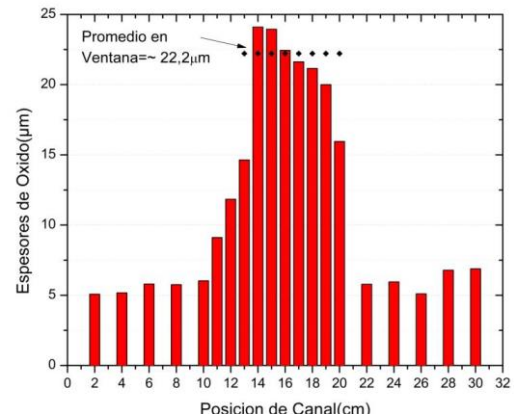
- Oxidación con transferencia de calor
- Gradiente térmico a través de la placa
- Oxidación sin transferencia de calor
- Condiciones hidráulicas de reactor
- Oxidación de combustibles nucleares de aluminio en servicio



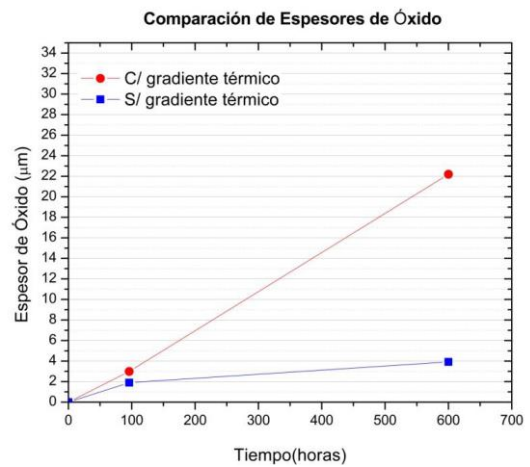
**Figura 37.** Autoclave rotatoria

La infraestructura cuenta con autoclave rotatoria, Figura 37.

Se realizan mediciones de espesores de óxido con y sin transferencia de calor. Figura 38 y 39

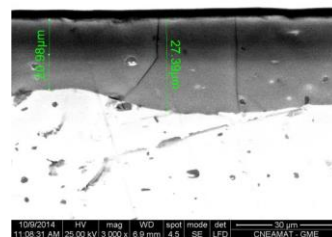


**Figura 38.** Perfil de espesores de óxido con pico en ventana de transferencia



**Figura 39.** Comparación de espesores de óxido crecidos con y sin transferencia

El aspecto de la capa de óxido sobre el metal base se observa en la Figura 40.



**Figura 40.** Aspecto del óxido formado sobre el metal base.



### **13. División Asistencia Técnica en Corrosión**

*Jefe de División: Lic. Arturo Burkart*

Se realizan trabajos de Asistencia técnica a la industria tales como:

Evaluación revestimientos no metálicos (YPF) Evaluación de corrosión nafténica (YPF) Ensayos normalizados de corrosión: recubrimientos (SIDERCA) válvulas de motores (Mahle Argentina) ASISTENCIA TECNICA A LA INDUSTRIA NUCLEAR Evaluación de corrosión y asesoramiento para la C.N. Embalse: sistema de recolección de condensado, ductos de aire, asientos de válvulas DESARROLLOS Sensores de biofilm para corrosión microbiónica Evaluación de revestimientos por impedancia a alta presión y temperatura

Se trabaja en proyectos de investigación interdepartamentales sobre:

- Degradación de materiales de combustibles nucleares gastados en CNA-I durante su almacenamiento muy prolongado en seco.
- Participación en Programa Coord. de Investigación del OIEA bajo contrato N° 17339.
- Se estudia la posibilidad de degradación por oxidación, corrosión bajo tensión, daño por hidrógeno y creep, en tiempos superiores a 100 años.
- Degradación de materiales estructurales de reactores experimentales (participa también INVAP). Participación en Programa Coord. de Investigación del OIEA bajo contrato N° 17802.

Se estudia la posibilidad de degradación de diversos materiales: aleaciones de aluminio, aleaciones de circonio, berilio, aceros, hormigones, etc.

En base a lo descripto en este artículo se pone en evidencia los aportes de la Gerencia Materiales que abarca Investigación, Desarrollo y Asistencia Técnica en diversos temas relacionados con la Ciencia de los Materiales.