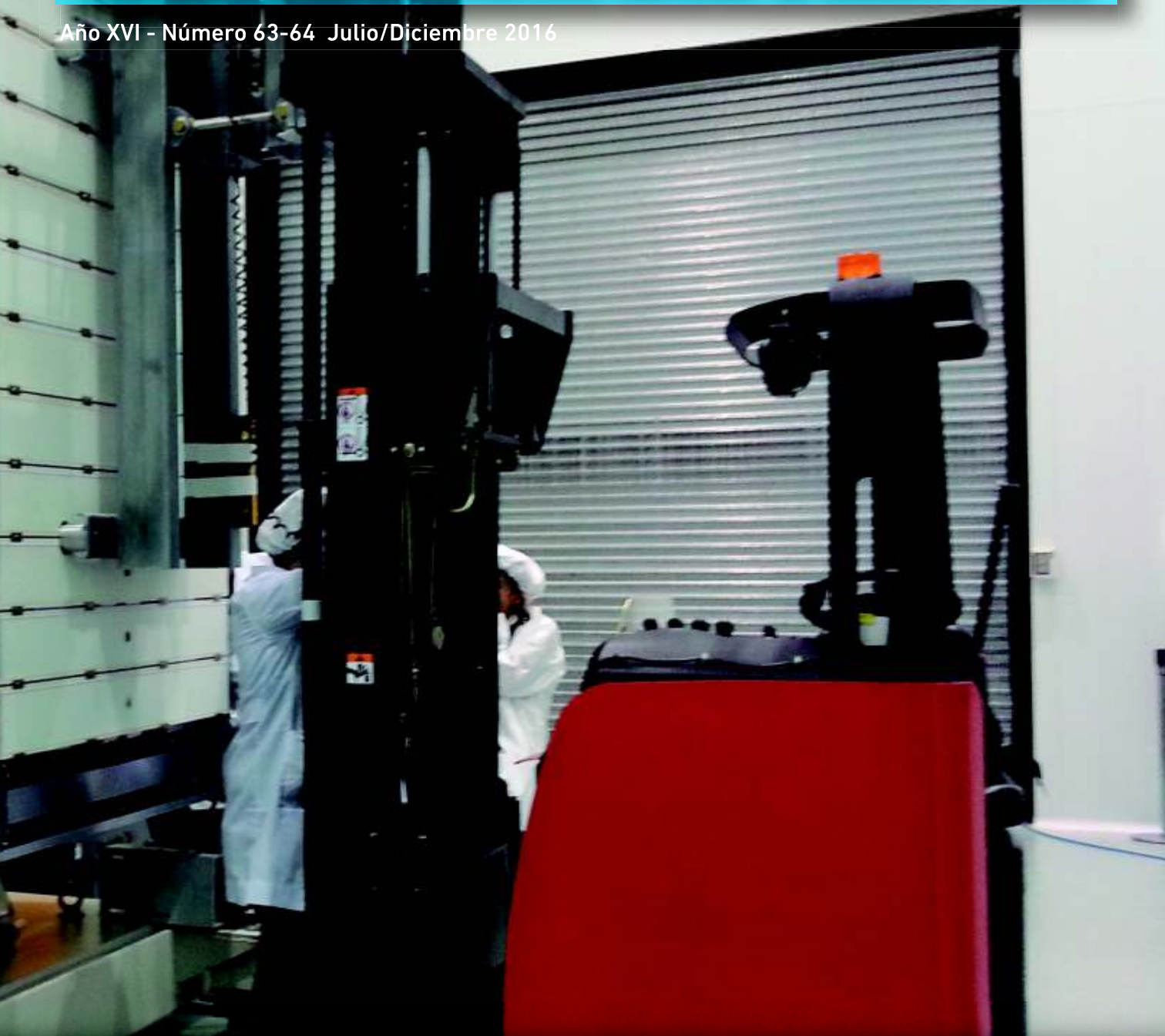


REVISTA **DE LA** CNEA

UNA PUBLICACIÓN DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Año XVI - Número 63-64 Julio/Diciembre 2016



PROYECTO ANTENA RADAR de apertura sintética para uso satelital



Guía para autores de artículos

Línea Editorial: Los artículos podrán ser originales o haber sido presentados en eventos científicos o en revistas ajenas al área nuclear que permitan su publicación con la sola mención de esa circunstancia, y estar dirigidos a la comprensión de un lector con formación científica o tecnológica, pero no necesariamente en el área temática del mismo.

Envío: Deberán enviarse por correo electrónico.

Formato: Serán preparados en Word for Window ® y la página será tamaño especial 196 mm. X 275 mm. Los márgenes serán: izquierdo y derecho 1,5 cm., superior 1,9 cm. e inferior 2 cm. El tipo de letra será Arial de 10 pt. No deberán sobrepasar las doce páginas.

Título: Constará de no más de diez palabras, debiendo dar indicación concisa del contenido y ser fácilmente identificable para su cita en bibliografías y publicaciones editadas por servicios de información. Podrá ser seguido por un subtítulo separado por dos puntos que contenga información complementaria. Se evitarán las abreviaturas, acrónimos, códigos, símbolos y fórmulas que no sean de uso común.

Datos del (los) autores:

Deben constar los apellidos y nombre(s) propio(s), usándose iniciales sólo en el caso de más de un nombre. Se indicará(n) además la(s) función(es) y/o puesto(s) de trabajo y el(los) organismo(s) a que pertenece(n).

Resúmenes de los artículos:

Cada artículo será precedido por un resumen del contenido, redactado en castellano e inglés, que sea autosuficiente, contenga la información básica y no supere las trescientas palabras, estructurado en no más de dos o tres párrafos. Se utilizarán verbos en voz activa y palabras significativas tomadas del texto que ayuden a la recuperación automática por ordenador. Conviene evitar términos infrecuentes, acrónimos, siglas, abreviaturas o símbolos, y en caso de que se utilicen deben definirse la primera vez que aparezcan en el resumen.

Texto Principal: Los artículos deben seguir un orden lógico y claro, debiéndose indicar la finalidad del trabajo, así como su relación con otros anteriores. Las divisiones y subdivisiones se podrán destacar con títulos apropiados que podrán numerarse. Se utilizarán notaciones normalizadas para cada disciplina, como las establecidas por las normas IRAM u otros organismos de normalización. Las notas a pie de página sólo se incluirán para complementar la información o remitir a las referencias bibliográficas, pero no deben contenerlas.

Las figuras (fotografías, gráficos, diagramas, ilustraciones y mapas) deben numerarse secuencialmente en números arábigos y estar acompañadas por una leyenda explicativa. Las tablas también deben numerarse y tener títulos apropiados. Tanto las figuras como las tablas deben referenciarse en el texto.

Los aportes suministrados por otros deben ser claramente reconocidos. Los documentos citados en el texto principal se incluirán en una lista de referencias al final del artículo.

Referato: Serán considerados para su publicación por miembros del Comité Científico y/o se consultará con especialistas del área temática correspondiente sobre su relevancia y originalidad.

Derechos de autor: Los trabajos publicados sólo podrán copiarse con el consentimiento del autor e indicación de su procedencia.

Erratas: Las correcciones y/o comentarios a que dieran lugar se publicarán en la edición posterior en la sección "Aclaraciones y comentarios".

LA REVISTA DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA



AÑO O XVI – NÚMERO 63/64 – JULIO/DICIEMBRE 2016

editorial

El Comité Editorial se complace en presentar el número 63/64 de la Revista de la CNEA con el que completa su décimo sexto año de existencia. Este número presenta tres trabajos sobre una variada gama de temas relativos a las actividades de la CNEA, tanto en materia de tecnología nuclear cuanto en sus aplicaciones no nucleares.

La iniciativa ATF (*Accident Tolerant Fuels*) consiste en el desarrollo de nuevos conceptos, materiales y diseños para elementos combustibles que los hagan más resistentes a las condiciones ambientales que ocurren durante accidentes graves. Uno de los aspectos importantes de este concepto es la selección del material para las vainas. Se busca que esos materiales posean propiedades de resistencia a la corrosión más conservativas que los Zry. En el primer artículo se analiza el comportamiento termo-mecánico bajo irradiación del uso de vainas de SiC utilizando el código BaCo. Desde el punto de vista neutrónico, se analiza la influencia de diferentes materiales seleccionados utilizando el código DRAGON. El cálculo de las propiedades de estos materiales se inicia utilizando el Modelado Multiescala de Materiales y métodos “ab initio” para suplir la poca información teórica y práctica disponible. Finalmente, se evalúa una propuesta de desarrollo de una aleación de vaina tipo ATF.

A partir de un contrato de cooperación firmado entre la CNEA y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), la primera asumió la responsabilidad de proveer la estructura, los mecanismos de despliegue y los módulos radiantes de la antena del Instrumento Radar de Apertura Sintética (SAR) para los satélites del Proyecto SAOCOM. El segundo artículo nos brinda una descripción de la Antena SAR diseñada por la CNEA para el Proyecto SAOCOM y de los procesos desarrollados para su fabricación, integración y ensayo de sus componentes.

El Plan Estratégico de CNEA 2010-2019 elaborado entre los años 2008 y 2010 permitió retomar las actividades de planificación estratégica. Para su elaboración se decidió dividir las actividades en Áreas Temáticas. Del trabajo surgieron documentos que contenían la información de base para cada una de ellas.

A partir de 2012, dentro de un proceso de mejora continua, se procedió a su actualización, cuyo resultado es el Plan Estratégico Institucional CNEA 2015-2025, y se estableció la vinculación entre planificación estratégica y planificación operativa, que permite relacionar las áreas temáticas con los proyectos de inversión.

Los resultados de este trabajo, cuyo desarrollo se expone en el artículo tercero, permiten a los tomadores de decisión disponer de información ejecutiva para la priorización de proyectos de inversión y sus correspondientes asignaciones presupuestarias para el cumplimiento de los objetivos institucionales, la visualización de los proyectos de inversión innovadores y su estado de maduración, la identificación de las áreas temáticas beneficiadas por el producto final de cada proyecto de inversión y la detección de duplicación de esfuerzos como las asignaciones presupuestarias, entre otros beneficios asociados.

Se incluyen las secciones “CNEA al Día” y “Reseñas bibliográficas”.

Reiteramos la invitación a los integrantes del sector nuclear, con prescindencia del organismo al que pertenezcan o hayan pertenecido, y a quienes estén o hayan estado vinculados a la actividad nuclear bajo cualquier circunstancia, que tengan trabajos que deseen difundir, a que los hagan llegar este Comité Editorial.



Foto de tapa

Antena Radar de Apertura Sintética desarrollada por la CNEA para la Comisión Nacional de Actividades Espaciales

autoridades nacionales

Presidente de la Nación
Ingeniero Mauricio Macri

Ministro de Energía y Minería
Ingeniero Juan José Aranguren

Secretario de Energía
Ingeniero Alejandro Valerio Srouga

Subsecretario de Energía Nuclear
Licenciado Julián Gadano

autoridades institucionales

Presidente
Licenciado Osvaldo Carlos Calzetta Larrieu

Vice-Presidente
Licenciado Alberto Lamagna

Gerente General
Ingeniero Enrique Cinat

comité asesor

Doctor Carlos Aráoz
Doctor Juan Martín Maldacena

comité editorial

Ingeniero Pascual Francisco Aguirre
Investigador Consulto Roberto Mario Ornstein

Diseño de tapa División Diseños de Contenidos
Departamento de Prensa – Gerencia de
Comunicación Social
Traductora Andrea Carolina Cruz
Impresión VCRE Gráfica S.A.
SIN: 1666-10

sumario

Editorial	3
Autoridades y sumario	4
Combustibles tolerantes a accidentes	5
El Proyecto Antena Radar de Apertura Sintética en CNEA	23
Vinculación entre la Planificación Estratégica y la Planificación Operativa	36
CNEA al Día, noticias institucionales	45
Reseñas bibliográficas	48

Nota: En la página web de la CNEA (www.cnea.gov.ar), en la opción del menú "Comunicación – Publicaciones – Revista de la CNEA", se puede acceder al índice general temático de los artículos publicados en la totalidad de los números de la Revista de la CNEA.

Combustibles tolerantes a accidentes

MARINO, A. C.^{1,2}, BARUJ, A.^{2,3}, FURLANO L.¹ Y LOSADA E. L.¹

¹ Laboratorio de Simulación de Materiales y Combustibles - Gerencia Ciclo del Combustible Nuclear - CNEA

² Instituto Balseiro – Universidad Nacional de Cuyo/CNEA

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

La iniciativa ATF (*"Accident Tolerant Fuels"*) consiste en el desarrollo de nuevos conceptos, materiales y diseños para elementos combustibles que los hagan más resistentes a las condiciones ambientales que ocurren durante accidentes graves. Uno de los aspectos importantes de este concepto es la selección del material para las vainas. Se busca que esos materiales posean propiedades de resistencia a la corrosión más conservativas que los Zry. En el presente trabajo se analiza el comportamiento termo-mecánico bajo irradiación del uso de vainas de SiC utilizando el código BaCo. Desde el punto de vista neutrónico, se analiza la influencia de diferentes materiales seleccionados utilizando el código DRAGON. El cálculo de las propiedades de estos materiales se inicia utilizando el Modelado Multiescala de Materiales (*"M³"*) y métodos *"ab initio"* para suplir la poca información teórica y práctica disponible. Finalmente se evalúa una propuesta de desarrollo de una aleación de vaina tipo ATF.

Accident tolerant fuels

The ATF initiative ("Accident Tolerant Fuels") is based on the development of new concepts, materials and designs for fuel elements that would allow them to be more resistant to the ambient conditions that take place during severe accidents. One of the most important aspects of this concept is the materials selection for cladding. In particular, they should display more conservative properties of resistance than the Zry family. In this paper, the thermos-mechanical behaviour of SiC claddings under irradiation is analysed by using the BaCo code. From a neutronic point of view, the influence of different selected materials is analyzed by using the DRAGON code. It begins by calculating these material properties using Multiscale Modelling of Materials ("M³") and "ab initio" methods in order to add to the theoretical and practical scarce available information. Finally, a proposal for developing a sheath alloy type for ATF is evaluated.

1. INTRODUCCIÓN

Durante el accidente de Fukushima en 2011 se observó un pobre desempeño de los elementos combustibles (EC) actuales basados en UO₂/Zry bajo las condiciones extremas causadas por dicho evento. Por esto, ha recibido un considerable impulso el diseño de elementos combustibles tolerantes a accidentes o *"Accident Tolerant Fuels (ATF)"*. Esta iniciativa consiste en el desarrollo de nuevos conceptos, materiales y diseños para EC que los hagan más resistentes a las condiciones ambientales que enfrentarían en casos de accidentes graves. En particular se requiere que puedan tolerar situaciones de pérdida de refrigeración del núcleo por un período de tiempo prolongado, sin afectar el rendimiento de los EC durante la operación normal de la central nuclear.

Uno de los aspectos importantes de los nuevos EC ATF es la selección de los materiales que los componen. Entre las propuestas más prometedoras se destacan, para las vainas de las barras combustibles (BC), las siguientes:

- 1) Vainas habituales de aleaciones base Zr con recubrimiento externo (Cr, Ni-Cr, Ti, SiC, ZrN).
- 2) Vainas de aceros (ferríticos, austeníticos, inoxidables, etc.) para lo cual se aplicaría la experiencia acumulada en reactores tipo FBR y los reactores de uso naval.
- 3) Vainas de alguna aleación metálica, especialmente de FeCrAl (denominado comercialmente *"Kanthal"*).

- 4) Vainas cerámicas de SiC (o de combinaciones de distintos compuestos de SiC).
- 5) Aleaciones de Mo.

Este tipo de materiales poseen propiedades de resistencia a la corrosión más conservativas que los Zry, pero puede verse afectada la economía neutrónica. Es decir, deberá considerarse un aumento del enriquecimiento que compense esa pérdida neutrónica.

Por el lado del material combustible nuclear se pretende (1) mejorar la conductividad térmica, lo que redundará en una menor temperatura de operación de la pastilla combustible; (2) mejorar la estabilidad dimensional, lo cual puede lograrse generando porosidad estable que aloje productos gaseosos de fisión y, a la vez, disminuyendo la liberación de dichos gases, entre otros. Para la selección de los materiales combustibles se considera aplicar la experiencia acumulada en reactores tipo MTR y navales. Entre los considerados, los combustibles de tipo disperso son los que mejor cumplimentan los aspectos conservativos requeridos en el diseño de una BC:

- 1) UO₂
- 2) UO₂ con aditivos (por ejemplo, SiC)
- 3) Nitrato de uranio
- 4) Siliciuros de uranio
- 5) MOX, etc.

Teniendo en cuenta este tipo de materiales, sus características neutrónicas y la poca información teórica y

práctica disponible, se plantea el análisis de posibles EC empezando por el estudio de los materiales involucrados en su desarrollo, en particular, las vainas de las barras combustibles (BC). Por un lado, se los incorpora como opción en el código BaCo para, al menos desde un punto de vista comparativo e ilustrativo, analizar su comportamiento termomecánico bajo irradiación comenzando por el estudio bajo las condiciones normales fijadas por el reactor nuclear en operación comercial. Teniendo en cuenta la escasa bibliografía confiable en el tema, se calcularán las propiedades de estos materiales utilizando el Modelado Multiescala de Materiales (“M³”) y métodos “*ab initio*”. Por otro lado, interesa desde el punto de vista neutrónico, la influencia de diferentes materiales seleccionados. En particular, se estudia si es necesario aumentar el enriquecimiento del material combustible para compensar la absorción neutrónica adicional y la influencia de este eventual requerimiento en la economía del ciclo. También se realiza una propuesta para iniciar trabajos experimentales con algunos de los materiales mencionados.

Estos desarrollos no corresponden a la iniciativa denominada Gen-IV. Los combustibles tipo ATF son requeridos con mayor premura. Sin embargo, los trabajos de desarrollo de combustibles para los reactores de Gen-IV se verán beneficiados por el desarrollo de los ATF.

2. PROPIEDADES FÍSICAS DE NUEVOS MATERIALES DE VAINA

Desde el punto de vista de la performance de los elementos combustibles, las propiedades más importantes están relacionadas con la transferencia de calor y sus propiedades mecánicas. Desde el punto de vista de su tolerancia a accidentes severos, se pretende aumentar la resistencia a la corrosión y oxidación, y disminuir la generación de calor y de hidrógeno, entre otros. Es decir, se apunta a fortalecer los aspectos que demorarán significativamente el inicio de una falla o una etapa accidental avanzada.

Fenómenos como plasticidad, termofluencia (*creep*) y crecimiento bajo irradiación, están fuertemente interrelacionados y, además, son fuertemente no lineales. Es decir, es necesario definir modelos específicos para cada uno de estos fenómenos físicos. Dichos modelos, a la vez, deberían ser complementarios.

Para el caso de los aceros, existe mucha información experimental y técnica [1]. Los distintos desarrollos de

aleaciones base Zr están bien documentados en el área nuclear.

En el caso del SiC nos encontramos con un material cerámico que presenta mucha resistencia al “*creep*” y no presenta plasticidad, particularmente en los rangos de temperatura de interés [2, 3 y 4] (ver Tabla 1). Sin embargo, los diferentes métodos de obtención de este material producen un muy variado rango de productos lo que implica un amplio espectro de valores para los coeficientes característicos en sus propiedades físicas y los diversos aspectos termomecánicos. Para el caso de una vaina maciza de SiC tenemos suficiente información para los fenómenos básicos, en particular un muy bajo “*creep*” a las temperaturas de interés. Si se considera un recubrimiento de fibras de SiC, las propiedades cambian. Una vaina tipo SiC/SiC es un tubo macizo de SiC cubierto por fibras de SiC. Estas características complican considerablemente el modelado del componente.

En el caso de las nuevas aleaciones propuestas como materiales de vaina de una BC, se destaca la propuesta del FeCrAl. De este material existe abundante información sobre las propiedades básicas (Ref. 2).

En todos los casos se debe tener en cuenta que las propiedades y fenómenos que se presenten deben modelarse bajo irradiación. Esto suma complicaciones adicionales al problema.

El análisis comparativo de las propiedades de algunos de estos materiales de vaina nos puede orientar sobre aspectos de comportamiento y de seguridad que podrían ser usados en el diseño de los EC tipo ATF.

La Figura 1 muestra el coeficiente α de dilatación lineal térmica. Se destaca el alto valor que alcanza en el caso del FeCrAl. Se observa claramente el alto valor del α del UO₂ con respecto al Zry, siendo éste un aspecto muy importante en la evaluación de la interacción pastilla-vaina o “PCI” (*Pellet-Cladding Interaction*). El SiC, por ser un material cerámico, presenta un relativamente bajo valor de α , comparable al Zry.

La Figura 2 muestra la conductividad térmica k de estos materiales de vaina. Se observa la baja conductividad térmica del UO₂, responsable de las altas temperaturas de trabajo dentro de las pastillas de las BC. El Zry y el FeCrAl son similares. Los datos de SiC corresponden a un material tipo “*bulk*” (macizo), es decir, no a fibras de SiC trenzadas o usadas como recubrimiento. Este SiC presenta un valor de k inusualmente alto respecto a las aleaciones metálicas dentro de las temperaturas de trabajo y las de interés en un caso accidental.

Property [Unit]	20°C	500°C	1000°C	1200°C	1400°C	1500°C
Módulo elástico (B) [GPa]	203 (3%)	197	191	188	186	184
Vel. creep [10^{-9} s ⁻¹] a 300 MPa	0	0	0	0.004 (17%)	0.27	1.6
Densidad [g/cm ³]	3.16 (1%)	3.14	3.11	3.10	3.09	3.08
Módulo de Young (E) [GPa]	415 (3%)	404	392	387	383	380
Resistencia Flexión [MPa]	359 (15%)	359	397	437	446	446
Tenacidad fractura [MPa m ^{1/2}]	3.1 (10%)	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Coefficiente de fricción, 0.2 m/s, 5 N	0.7(21%)	0.4	0.4			
Dureza (Vickers, 1 kg) [GPa]	179 (3%)	174	169	167	166	165
Parámetro de red (a) (politipo 6H) [Å]	3.0815 (0.01%)	3.0874	3.0950	(3.0984)	(3.1021)	(3.1040)
Parámetro de red (c) (politipo 6H) [Å]	15.117 (0.02%)	15.144	15.179	(15.194)	(15.120)	(15.218)
Relación de Poisson (ν) []	0.16 (25%)	0.159	0.157	0.157	0.156	0.156
Módulo de corte [GPa]	179 (3%)	174	169	167	166	165
Velocidad del sonido, longitudinal [km/s]	11.82 (2%)	11.69	11.57	11.52	11.47	11.44
Velocidad del sonido, corte [km/s]	7.52 (2%)	7.5	7.38	.35	7.32	7.31
Calor específico [J/kg□K]	715 (5%)	1086	1240	1282	1318	1336
Resistencia tracción [MPa]	250 (6%)	250	250	250	250	250
Conductividad térmica [W/ m□K]	114 (8%)	55.1	35.7	31.3	27.8	26.3
Difusividad térmica [cm ² /s]	0.50 (12%)	0.16	0.092	0.079	0.068	0.064
Expansión térmica desde 0°C [10^{-6} K ⁻¹]	1.1 (10%)	4.4	5.0	5.2	5.4	5.5
Coefficiente de desgaste (Log I0), 0.2 m/s, 5N	'4.0 (5%)	'3.6	'3.6	n/a	n/a	n/a
Módulo de Weibull	11 (27%)	11	11	11	11	11

Tabla 1: Propiedades del SiC cerámico sinterizado a 2500°C usando polvos ubmicrométricos [3]

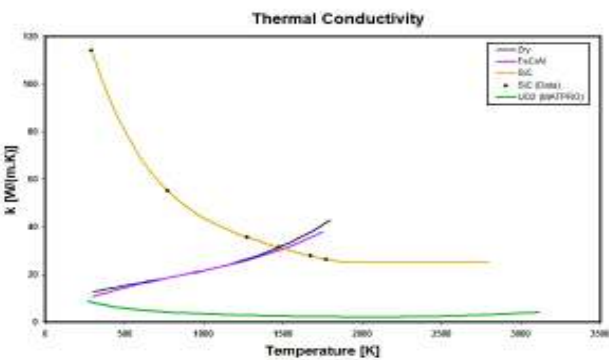
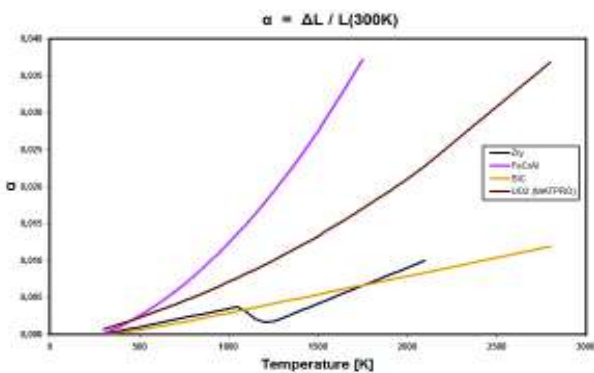


Figura 1: Coeficiente de dilatación térmica en función de la temperatura para los materiales actualmente en estudio para ATF

Figura 2: Conductividad térmica en función de la temperatura. Incluye algunos puntos experimentales del SiC

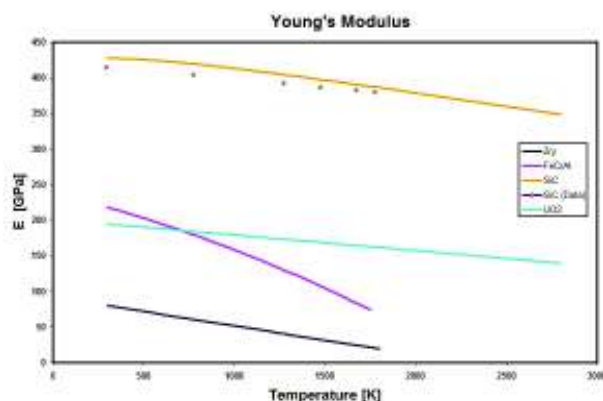


Figura 3: Módulo de Young en función de la temperatura

Las Figuras 3 (Módulo de Young) y 4 (relación de Poisson) nos orientan sobre las principales propiedades mecánicas [3].

Los valores obtenidos de la literatura suelen presentar una amplia disparidad, e incluso errores, por tratarse de materiales que no están estandarizados para el uso nuclear, o no explicitar las características del mismo (impurezas, anisotropía ó isotropía, estructura cristalina, tamaño de grano, ruta de fabricación, etc.)

3. COMPORTAMIENTO BAJO IRRADIACIÓN DE COMBUSTIBLES TIPO ATF

El modelado del comportamiento bajo irradiación de los combustibles ATF presenta dos aspectos diferenciados según se trate de condiciones normales de operación o de un eventual accidente. En ambos casos se requiere de mucha información experimental, en forma de correlaciones empíricas, referente a las propiedades de los materiales expuestas en la Sección 2, pero teniendo en cuenta las condiciones de irradiación que fije el reactor nuclear en operación y el intervalo de temperaturas máximo al que puede llegar el material de las vainas de una BC sin deteriorarse. Posteriormente, será necesario considerar el intervalo de temperaturas para el cual las vainas ya están deterioradas, pero en el cual se mantiene la integridad del núcleo.

Para el estudio de esta faceta del desarrollo de un combustible tipo ATF se requiere de la asistencia de códigos de cálculo de tipo modular que permitan incluir a estos nuevos materiales.

3.1. Código BaCo

La División SiM³ (División Laboratorio de Simulación de Materiales y Combustibles) de la Gerencia de Ciclo de Combustibles Nucleares (GCCN) de CNEA en el Centro Atómico Bariloche desarrolla y actualiza continuamente el código BaCo (Barra Combustible) para la simulación del

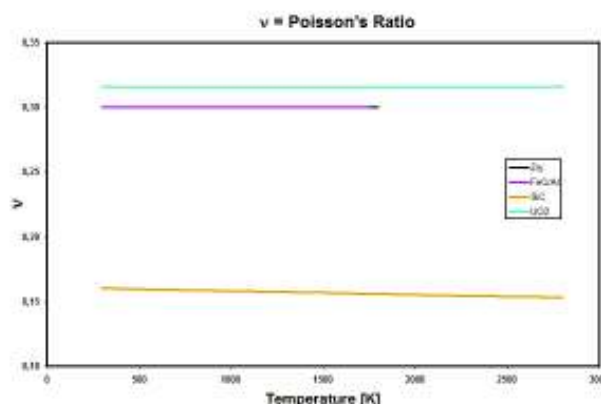


Figura 4: Relación de Poisson en función de la temperatura

comportamiento de combustibles nucleares bajo irradiación [5, 6]. Este “software” utiliza el método de diferencias finitas en una aproximación ~2D (“quasi bidimensional”). La estructura del código BaCo, sus modelos, el tratamiento mecánico y térmico y las ecuaciones constitutivas están disponibles en la referencia [5] mientras que en la referencia [6] se presenta el esquema de desarrollo y mejoramiento del código. La referencia [7] incluye un análisis de comportamiento y de modelos en situaciones particulares; asimismo en la referencia [8] se presenta uno de los modelos particulares de BaCo relacionados con el comportamiento a alto quemado y la distribución de isótopos físiles en el combustible.

El post procesamiento de datos con herramientas personalizadas y el acople con el “software” “ad hoc” en 3D mejora notablemente el análisis de los resultados. Las últimas versiones del código fueron también desarrolladas en la SiM³.

Modelos para la deformación elástica, expansión térmica, termofluencia, hinchado (*swelling*), densificación, re-estructurado, fisurado, y liberación de gases de fisión, entre los principales, están incluidos para las pastillas de UO₂. Por otra parte, para la vaina de Zr el código incluye modelos para deformación elástica, expansión térmica, deformación plástica anisotrópica, termofluencia y crecimiento bajo irradiación. Asimismo, puede ser usado para cualquier dimensión geométrica de una barra combustible cilíndrica con pastillas de UO₂ (o MOX), pudiendo ser sólidas o con un agujero central, con o sin “dishing” y con vainas de Zr.

Una característica destacable del código BaCo es la inclusión de un completo tratamiento del combustible con o sin contacto mecánico entre las superficies de la pastilla y de la vaina en cualquier etapa de la irradiación. Podemos simular vainas combustibles autoportantes (como en los reactores tipo LWR, Atucha I y II [9] o vainas colapsables (como las barras combustibles CANDU, Embalse y CARA) [10], sin cambios particulares para cada caso ni modelos físicos especiales iniciados por “flags” de los datos de

entrada. BaCo mantiene excelente compatibilidad para PWR [11], BWR [11], WWER [12] y MOX [13], como así también para combustibles avanzados y experimentales [11]. La estructura modular de BaCo permite incluir nuevos modelos, o variantes de ellos, como así también otros materiales combustibles (pastillas) y estructurales (vainas) al menos, por el momento, con fines académicos, comparativos y/o ilustrativos [14].

Los casos de estudio los extraemos del CRP FUMEX II por ser irradiaciones exigentes, bien documentadas y recomendadas por el OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) para validación de códigos. La División SiM³ ha participado con BaCo de varios ejercicios de intercomparación entre los que se destacan el D-COM, CRP FUMEX I, II y III, CRP FUMAC y CRP ACTOF, no solo como participante sino también en la etapa de organización de los mismos [11, 12].

3.2. Análisis de comportamiento de EC ATF en un estado estacionario

Definimos una historia de potencia simplificada (EC tipo PWR), condiciones estacionarias y nivel de potencia constante de 200 W/cm hasta un quemado de 60

MWd/kgU) con el objeto de obtener una aproximación sobre el uso de nuevos materiales de vaina (SiC y FeCrAl) además del Zry. Esto permitirá probar la convergencia y verificar la programación del código BaCo y realizar un análisis comparativo de BC de Zry-4/VO₂, SiC/VO₂ y FeCrAl/VO₂.

En la Figura 5 representamos la temperatura central de la pastilla combustible de VO₂ en función del quemado, es decir: la máxima temperatura que se registra en el EC. La reducción en la temperatura para el caso del Zry-4 a partir de ~3 MWd/kgU se debe al contacto entre pastilla-vaina (o PCI) que mejora la conductividad térmica y la transferencia de calor de la pastilla al refrigerante. Esto se ve en la Figura 7 donde se manifiesta la reducción del radio de la vaina por el “creep-down” que conduce a una disminución del “gap” pastilla-vaina hasta el momento del PCI. El aumento posterior del radio se debe al “swelling” del VO₂. Estas observaciones se complementan en la Figura 6. El leve aumento de temperatura a altos quemados se debe a la disminución de la conductancia en el “gap” que, a pesar de estar cerrado, por el incremento de la presencia de productos de fisión gaseosos, disminuye la conductividad térmica (ver Figura 10).

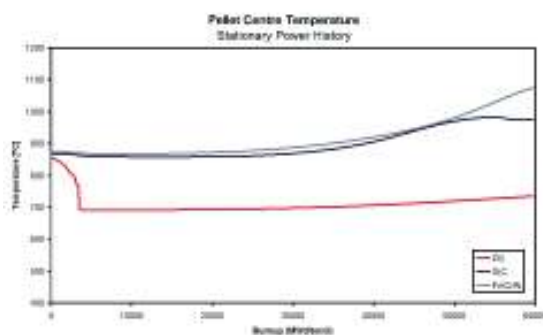


Figura 5: Temperatura central de la pastilla combustible de UO₂ bajo irradiación en estado estacionario (200 W/cm) usando tres materiales de vaina distinto

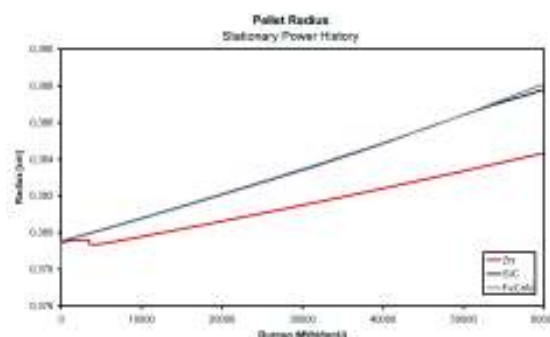


Figura 6: Radio de una pastilla de UO₂ irradiada en condiciones equivalentes.

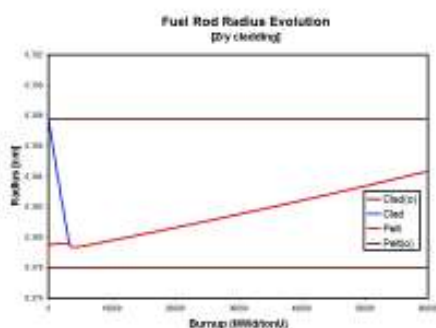


Figura 7: Evolución de los radios externos de una pastilla de UO₂ e interno de la vaina de Zry. Como referencia se incluyen los mismos valores de la BC sin irradiar

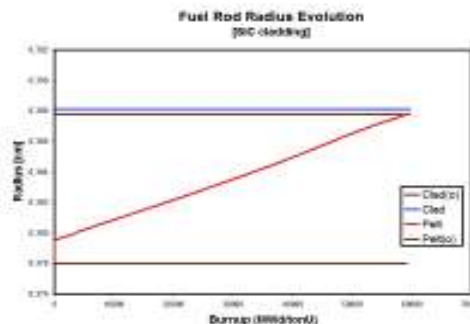


Figura 8: Ídem 7 con una vaina de SiC

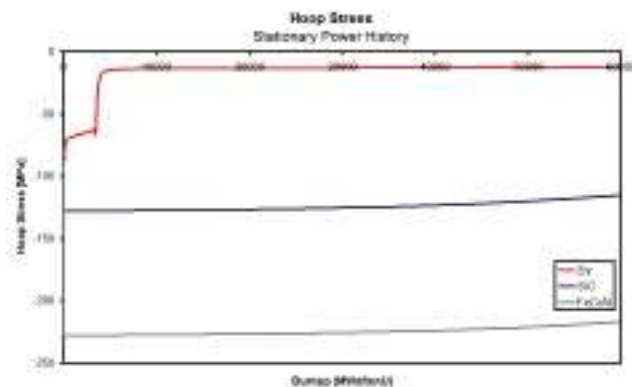


Figura 9: “Hoop stress” de vaina de Zry, SiC y FeCrAl irradiadas en condiciones equivalentes

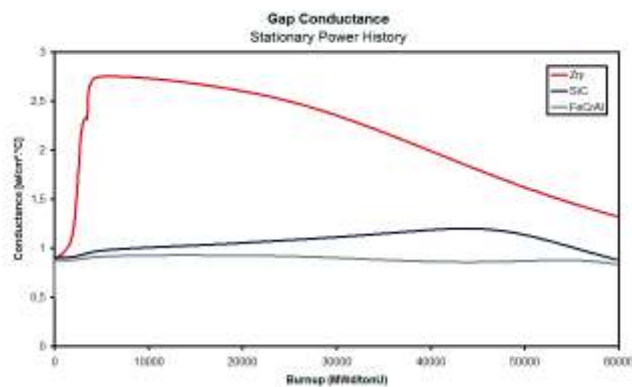


Figura 10: Conductancia en el “gap” pastilla-vaina para BC con Zry, SiC y FeCrAl como material de vaina

Como un ejemplo del análisis de tensiones, en la Figura 9 se representa la tensión tangencial en la cara interna de la vaina (*hoop stress*) en función del quemado, de importancia por su relación con las fallas producidas por PCI. Para los tres materiales de vaina estudiados, encontramos tensiones de compresión que resultan en un estado conservativo. Los máximos valores se obtienen con el uso del Zry-4 debido al “*creep down*” de la vaina que conduce al PCI. En esta aproximación estamos usando todo el paquete de modelos de BaCo para la vaina de Zry (principalmente anisotropía, crecimiento, plasticidad y “*creep*” bajo irradiación).

No se presentaron mayores problemas de convergencia, si bien fue necesario programar los nuevos modelos y el acople de los nuevos materiales. Se encontraron errores en la literatura sobre las propiedades de los modelos y parámetros de estos nuevos materiales.

3.3. Análisis de comportamiento de EC ATF en un caso realista

La historia de potencia utilizada para esta comparación está incluida en la Figura 11. Esta irradiación corresponde a una simplificación realista de una irradiación comercial y fue provista por FANP (*Framatome Advanced Nuclear Power, Inc.*) para su

estudio (Caso 27.2d) dentro del CRP FUMEX II (*Coordinated Research Project on Fuel Modelling at Extended Burnup II*) del OIEA donde participamos con BaCo [11 y 12]. Comenzamos a una potencia promedio de 350 W/cm seguidos por 4 ciclos de potencia a un nivel decreciente. El tiempo de irradiación de ~1700 días hasta un quemado de extracción de ~70 MWd/kgU (ver Figura 11). Estas simulaciones nos ayudarán a representar visualmente y comprender los mecanismos principales, y en forma comparativa, del uso de vainas de Zry, CSi y FeCrAl bajo irradiación (con una historia de potencia tipo PWR genérica, conservativa y a muy alto quemado) en forma esquemática, simplificada, útil y válida.

La Figura 12 representa la evolución del “gap” pastilla-vaina a través de los radios de la pastilla y el radio interior de la vaina. El efecto predominante es el “*creep down*” de la vaina que produce el contacto o PCI que a su vez implica una mejora en la transferencia térmica de la pastilla combustible al refrigerante.

La Figura 13 corresponde a la temperatura central de la pastilla combustible para los casos de vainas de Zry, SiC y FeCrAl. La temperatura a BOL (“*Beginning Of Life*” o “comienzo de vida”) son equivalentes con los tres materiales. Para el Zry comienza a decrecer debido a la disminución del “gap” y se afianza luego del PCI.

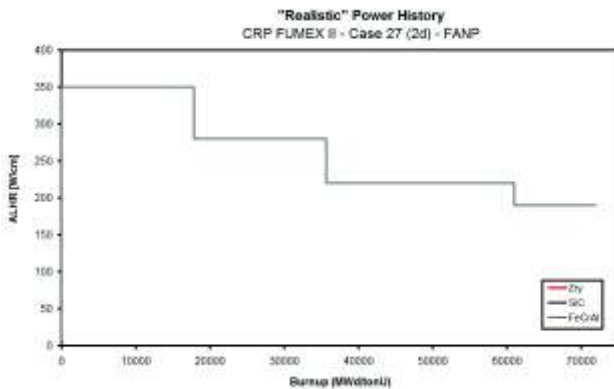


Figura 11: Historia de potencia promedio de una BC PWR en un caso realista

La Figura 14 es similar a la 15 pero con el uso del SiC como material de vaina. Se observa un aumento del radio de la vaina a BOL respecto de la vaina fresca producido por la expansión térmica. Al tener un relativamente alto módulo de Young, “resistencia” a la plasticidad y al “creep”, la vaina de SiC no altera mayormente sus dimensiones. Antes del EOL (“End Of Life” o “fin de vida”) hay PCI. A partir de ese evento, la pastilla arrastra a

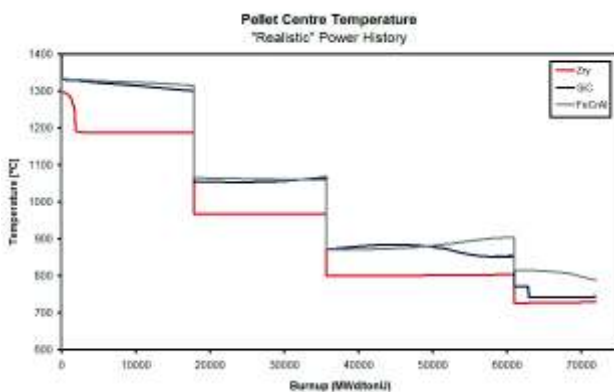


Figura 13: Temperatura central de una pastilla de UO₂ con vainas de Zry, SiC y FeCrAl irradiadas en condiciones equivalentes

La Figura 16 representa el “hoop stress” de la vaina. Para el caso del Zry se obtiene mucho trabajo mecánico sobre la vaina, generalmente en estado de compresión y con inversión de tensiones. El SiC se presenta muy conservativo hasta que aparece el PCI donde la tensión se incrementa hasta llegar a un estado de tracción que, debido a las características de poca elasticidad de este material, podría involucrar una falla por PCMI (“Pellet-

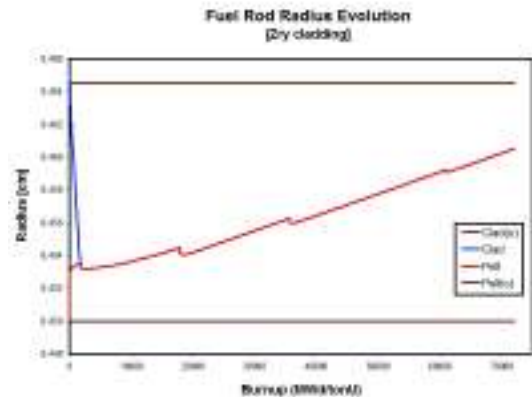


Figura 12: Evolución de los radios de pastilla y vaina de Zry

la vaina y, ese aumento del radio de vaina, puede significar el comienzo de una falla en la BC.

La Figura 15 representa la variación del radio de pastilla para los tres casos analizados. Para los tres materiales se observa un aumento del radio con el quemado producto del “swelling”. El cambio de pendiente cerca de EOL del caso de SiC se debe al PCI (ver Figura 14).

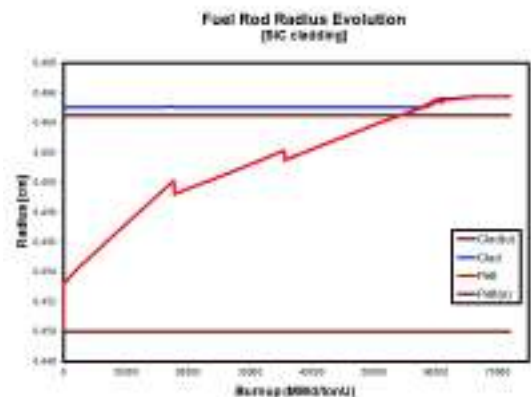


Figura 14: Evolución de los radios de pastilla y vaina de SiC

Cladding Mechanical Interaction” o “interacción mecánica pastilla-vaina”). El uso de vainas de FeCrAl parecería ser el más prometedor pero debe tenerse en cuenta que en los aspectos mecánicos de la simulación del código BaCo, con la versión actual, en estado β , no estamos incluyendo plasticidad, creep y crecimiento, solamente elasticidad y los aspectos térmicos.

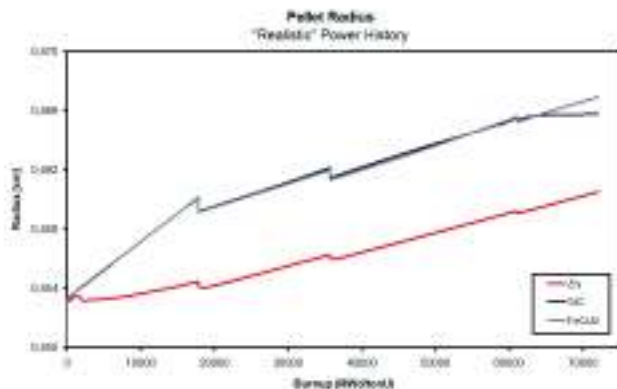


Figura 15: Radios de pastilla para BC con vainas de Zry, SiC y FeCrAl

La Figura 17 incluye las curvas de conductancia en el “gap” pastilla-vaina. Los valores más favorables los encontramos con el uso de Zry aunque eso es debido al PCI. Al aumentar el quemado, disminuye la conductancia por el aumento en la liberación de gases, lo que entorpece la transferencia térmica al refrigerante.

La Figura 18 representa las curvas de la presión interna de los gases libres en la vaina (gases de llenado –He– y productos de fisión gaseosos –Xe y Kr–). Este

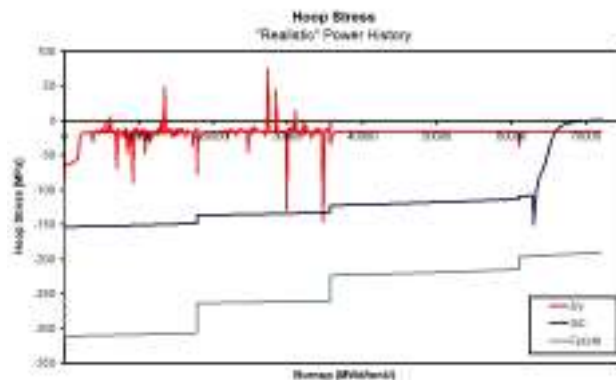


Figura 16: “Hoop stress” en las vainas de Zry, SiC y FeCrAl.

aspecto del cálculo con el código BaCo resulta del acople de los aspectos térmicos y mecánicos pues son relevantes la temperatura y la evaluación del espacio libre dentro de la vaina. El mayor valor de presión lo obtenemos con el uso del Zry debido al PCI que elimina los espacios libres entre pastilla y vaina.

Se concluye que, para el caso del SiC, será necesario garantizar que el “gap” pastilla-vaina permanezca abierto. Es decir, se debe evitar PCI.

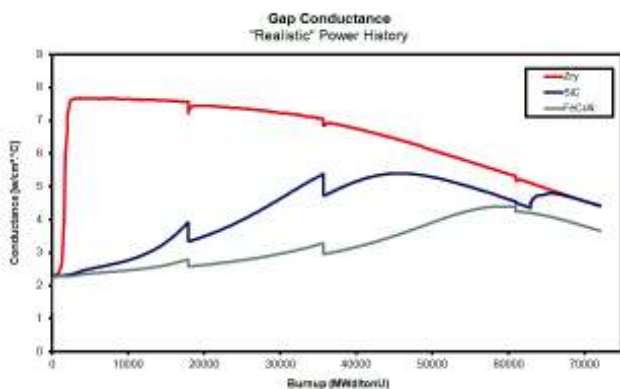


Figura 17: Conductancia en el “gap” pastilla vaina en un’a BC con vaina de Zry, SiC y FeCrAl.

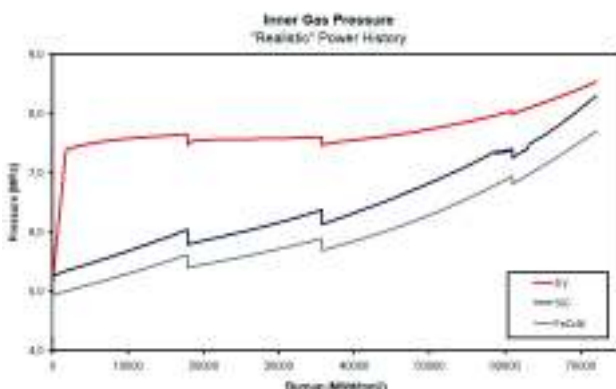


Figura 18: Presión interna producidas por los gases de fisión en las BC con vainas de Zry, SiC y FeCrAl.

3.4. Análisis de EC ATF en condiciones de irradiación “comercial” (o “real”)

Un EC tipo WWER-440, estándar, pre-caracterizado e identificado como FA-222, fue irradiado en el reactor Kola-2 durante 5 ciclos. La operación de este ensamble fue exitosamente realizada durante el período 1990-1991 completando un quemado promedio de 48.2 (FA-222) MWd/kgU. Esta irradiación corresponde al caso 9 del CRP FUMEX II [12] y servirá como base para el estudio comparativo de la utilización de otros materiales

de vaina además del Zry.

Los resultados obtenidos con BaCo para este caso fueron enviados al OIEA durante el desarrollo del CRP para su evaluación. En la Tabla 2 se resume la performance de BaCo en comparación con los valores experimentales y los resultados del código TRANSURANUS-WWER para los casos WWER del CRP FUMEX II [12]. El código BaCo muestra una excelente comparación con las mediciones y con los resultados obtenidos por el código TRANSURANUS.

	Caso 9 (BC 7)			Caso 10 (BC 52)			Caso 11 (BC 86)			Caso 12 (BC 120)		
	Exp.	BaCo	TRANS	Exp.	BaCo	TRANS	Exp.	BaCo	TRANS	Exp.	BaCo	TRANS
Burnup a EOL [MWd/kgU]	55,3	54,2	53.43	46,2	47,6	46.86	44,4	45,8	45.2	50,4	50,4	49.7
Máximo burnup [MWd/kgU]	63,8	61,2	60.0	54,0	53,3	52.23	52,1	51,0	50.3	57,8	56,3	55.23
FGR [%]	3,71	2,97	3.71	0,99	2,33	0.87	0,69	2,07	0.72	2,26	2,39	1.25
Presión [MPa]	1,40	1,07	1.03	1,01	1,00	0.87	0,95	0,96	0.84	1,10	1,05	0.94
ΔR [Om]	(40~43)	56,7	40.3	80,0	60,5	53.4	60,0	61,4	55.2	50,0	58,7	49.7
ΔL [mm]	~12	30,1	12.83	~12	25,6	12.24	~12	24,3	12.01	~12	32,7	12.43

Tabla 2: CRP FUMEX II Casos 9 al 12, combustibles WWER'440. Comparación entre datos experimentales y cálculos de los códigos BaCo y TRANSURANUS'WWR

La historia de potencia de esta irradiación está en la Figura 19. Trabajamos con 10 segmentos axiales. Los segmentos más exigidos son el 6° y el 7°. Por tal motivo, los aspectos particulares de comportamiento de las BC los analizaremos sobre la sección axial 7°.

La Figura 20, con el cálculo de la temperatura central de la pastilla en el segmento más exigido, repite el comportamiento ya visto en los análisis simplificado y paramétrico mostrado en las secciones previas. Es decir, para el caso de una vaina de Zry tenemos una primera etapa de “creep-down” que disminuye el “gap” y mejora la transferencia de calor al refrigerante hasta alcanzar el PCI donde esta situación se estabiliza. Sin embargo, el uso del Zry frente al SiC representa una reducción de

temperatura de ~200°C. El uso de FeCrAl se muestra muy similar al comportamiento de SiC pero hay que notar que no estamos incluyendo creep en el FeCrAl.

La Figura 21, representa la evolución del “gap” pastilla-vaina para el caso de una BC con SiC. Se presenta un pequeño aumento en el radio de la vaina, producto de la dilatación térmica. No hay “creep-down” en la vaina de SiC (ver Tabla 1). El radio de la pastilla se incrementa con el quemado por efecto del “swelling” producido por los productos de fisión y la relativamente baja temperatura de trabajo que implica una baja liberación de gases de fisión en la BC. A EOL se llega a una situación de PCI que no debería afectar la integridad de la BC (ver Figura 23).

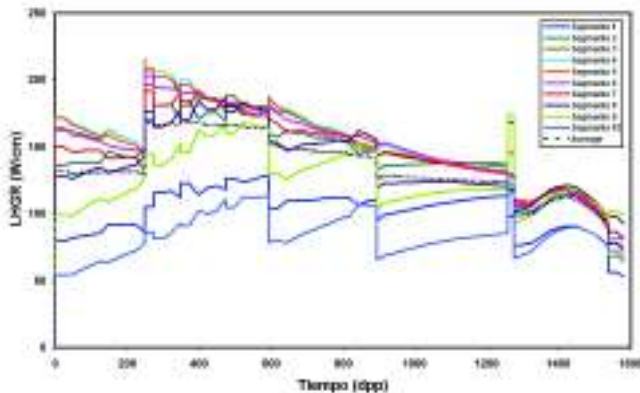


Figura 19: Historia de potencia a diez secciones axiales de un EC tipo WWER utilizado como uno de los casos incluidos en el CRP FUMEX II del OIEA

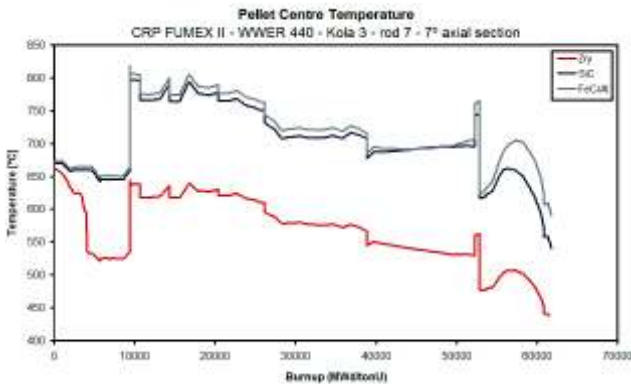


Figura 20: Temperatura central de pastilla en la sección axial más exigida (7° segmento) para barras con vaina de Zry, SiC y FeCrAl

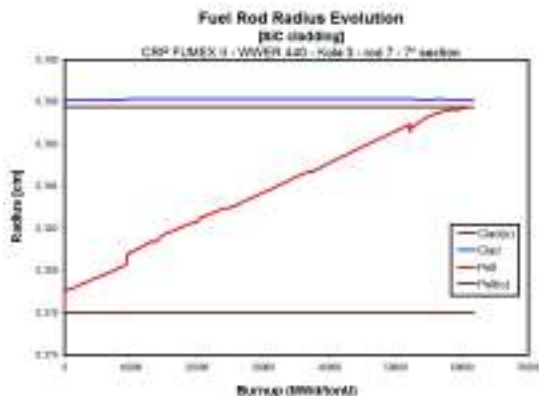


Figura 21: Evolución de los radios de la pastilla y la vaina en la sección axial más exigida para una BC de SiC

El cálculo previo con vaina de Zry muestra resultados similares a los dos casos analizados previamente. Es decir, “creep-down” de la vaina hasta el PCI, reducción de la temperatura y aumento del trabajo mecánico sobre la vaina. Esto se puede ver en la Figura 22 donde vemos la

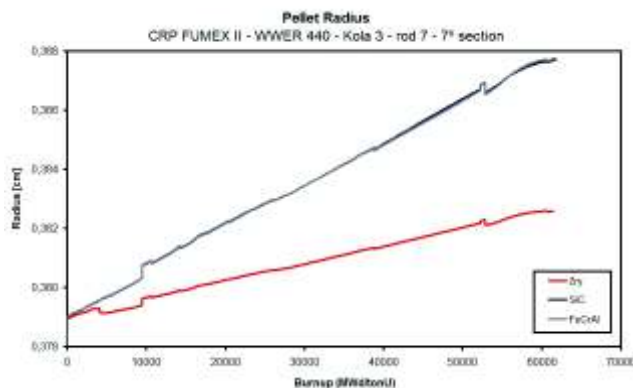


Figura 22: Radio de las pastillas en la sección axial más exigida para las barras con vaina de Zry, SiC y FeCrAl

evolución del radio de la pastilla de UO_2 . El FeCrAl produce un comportamiento similar al SiC solo debido a las simplificaciones en el modelado que hemos incorporado por el momento.

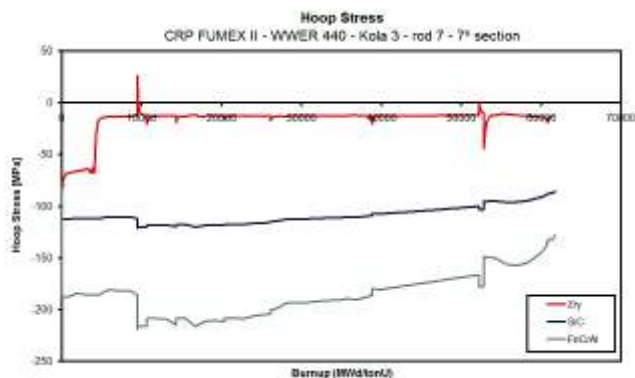


Figura 23: “Hoop stress” en la sección axial más exigida para las barras con vaina de Zry, SiC y FeCrAl.

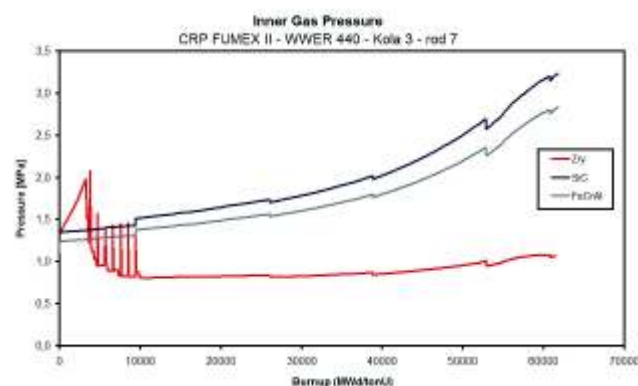


Figura 24: Presión interna de gases en las barras con vaina de Zry, SiC y FeCrAl.

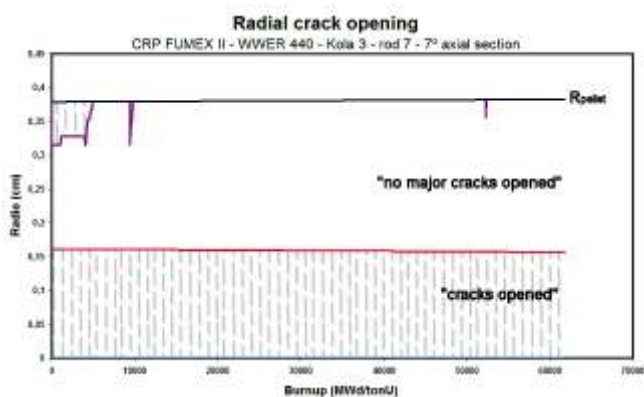


Figura 25: Alcance de las fisuras abiertas por tensiones tangenciales en una BC con vaina de Zry

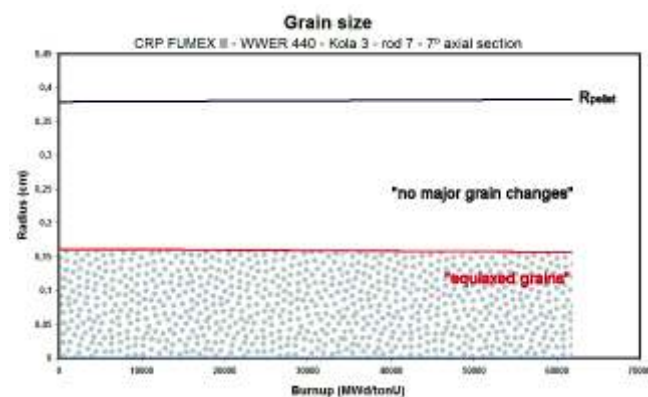


Figura 26: Tamaño de grano en una pastilla de UO_2 de una BC con vaina de Zry

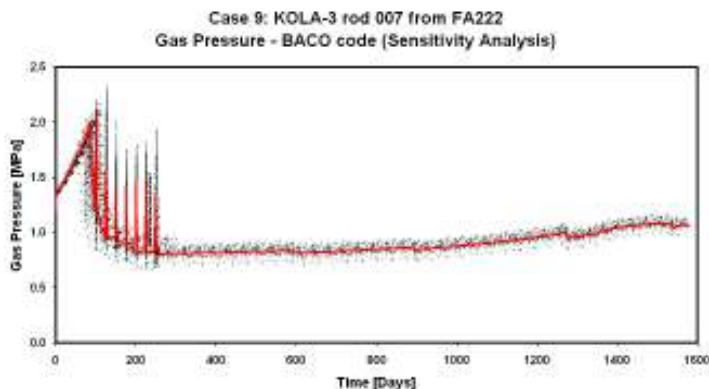


Figura 27: Análisis estadístico de la presión interna de la BC 7 (del Caso 9 del CRP FUMEX II) utilizando las desviaciones normales en los parámetros de la BC con vaina de Zry. La curva roja es el cálculo estándar de BaCo (ver Figura 24)

La Figura 23, analiza la “hoop stress” para los tres materiales estudiados. En todos los casos tenemos mayormente a la vaina en estado de compresión (tensiones negativas). Para el Zry, al momento de iniciar el PCI, tenemos un pico de tensión que produce inversión de tensiones pero sin llegar valores que induzcan una falla en la BC por PCI-SCC (*Pellet Cladding Interaction-Stress Corrosion Cracking*).

A título ilustrativo de las capacidades del código BaCo incluimos la Figura 24 donde tenemos la presión interna en la BC, en la Figura 23 la apertura de fisuras debido a tensiones radiales (es decir, no todas las fisuras) y el tamaño de grano en la Figura 26 (donde solo encontramos granos equiaxiados en la zona central de la pastilla de UO_2). La Figura 27 incluye un análisis estadístico de la presión interna de la BC para el caso del Zry utilizando las variaciones normales que presentan los combustibles en su fabricación.

3.5. EC con Vainas de SiC en Condiciones de Almacenamiento Temporal

Se observa en los análisis previos que es conveniente evitar el PCI al trabajar con vainas de SiC. Esto se

relaciona con las características normales de un “material cerámico” como SiC. Debido a este motivo es conveniente comenzar a esbozar el comportamiento de este tipo de vainas en condiciones de almacenamiento prolongado seco [15]. Para ello utilizamos la historia de potencia del caso presentado en la sección 3.4 simulando la estadía de una BC hasta un tiempo de ~4000 días en condiciones de presión normal y 200°C.

Para el caso “real” y exigente de la sección 3.4 (Caso 9 del CRP FUMEX II, irradiación en la CN Kola 3, BC 007 del FA222 [12]) en la que se alcanza PCI a EOL, nos encontramos con que el “gap” se abre al pasar a las condiciones de almacenamiento (ver Figura 28). La pastilla combustible permanece con un diámetro mayor a BOL debido al “swelling” acumulado y sólo disminuye levemente debido a la disminución de temperatura. A EOL tenemos inversión de tensiones en la vaina debido a que la presión normal es mucho menor que la presión del refrigerante y la “hoop stress” pasa a ser positiva, es decir, se impone un estado de tensiones de tracción en la vaina que puede ser favorable a inducir una falla en la BC (ver Figura 29). Por el momento no disponemos de un modelo de fallas de vainas de SiC y queda planteado este tipo de estudios.

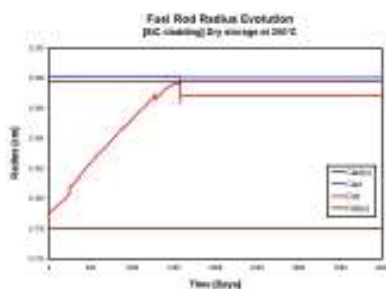


Figura 28: Evolución del “gap” pastilla vaina (ver Figura 21) durante irradiación y condiciones de almacenaje en seco a 200°C. Vaina de SiC. Caso 9 del CRP FUMEX II

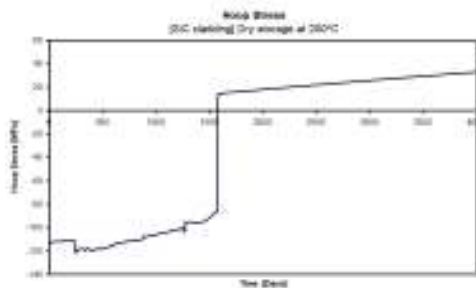


Figura 29: “Hoop stress” de la vaina de SiC correspondiente a la BC de Figura 28

4. ASPECTOS NEUTRÓNICOS INVOLUCRADOS EN LOS EC TIPO ATF

La elección de Zr como elemento base de las aleaciones utilizadas como material estructural en el núcleo del reactor se debe a su baja sección eficaz de captura neutrónica. Dicha propiedad física no resulta tan favorable para el conjunto de los nuevos materiales propuestos. Es decir, la economía neutrónica se verá afectada. Por lo tanto, deberá considerarse un aumento del enriquecimiento que compense esa pérdida neutrónica.

4.1. Código DRAGON

DRAGON es un código de cálculo neutrónico para simular el comportamiento de los neutrones a nivel de una celda unitaria o de un arreglo combustible. El mismo es de tipo "Open Source" y posee todas las funciones que caracterizan a un código de celda [15]:

- Interpolación de secciones eficaces provistas por librerías estándares.
- Cálculo de auto apantallamiento por resonancias en múltiples geometrías.
- Cálculo multi-grupo y multidimensional del flujo neutrónico teniendo en cuenta las fugas.

- Equivalencia transporte-transporte o transporte-difusión, así como edición de propiedades condensadas y homogeneizadas.
- Quemado.

Para obtener la solución de los flujos neutrónicos, DRAGON plantea dos metodologías de cálculo:

- Método de probabilidad de colisiones.
- Método de las características.

La librería empleada para los cálculos de quemado fue la WIMS D4. Una librería provista por el código de 64 grupos de energía y 167 isótopos dentro de los cuales se pueden identificar materiales de tipo moderador, productos de fisión, actínidos, materiales quemables, reacciones de dosimetría y materiales estructurales y otros.

4.2. Cálculo de reactividad en celda unitaria a BOL

Para poder evaluar el cambio de reactividad debido a un material de vaina diferente, se realizó un cálculo de celda con una discretización simple, como se muestra en la Figura 30, en dos casos distintos. Por un lado, se calculó k_{∞} para una BC de UO_2 de enriquecimiento 4,2% y vaina de Zry-4. Por otro lado, se calculó k_{∞} para la misma BC pero con una vaina de una aleación de FeCrAl. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.

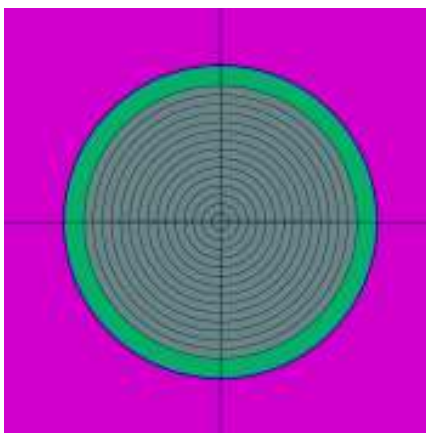


Figura 30: Celda unitaria de UO_2 con una vaina de Zry'4 o FeCrAl

Material de Vaina de la BC	k_{∞}
Zry' 4	1.348831
FeCrAl	1.085540

Tabla 3: Valores de reactividad para la misma barra combustible con distinto material para la vaina.

Como se puede ver de la tabla anterior, el hecho de utilizar el mismo espesor que en el caso de Zry-4, la aleación FeCrAl posee una absorción neutrónica mucho mayor. Por otro lado, se debe tener en cuenta que la resistencia mecánica de un acero en general es mucho mayor que la de las aleaciones base circonio, por lo que se planteó una reducción del espesor de la vaina hasta valores tolerables de fabricación y de esta manera, se evaluó cuanto disminuyeron las absorciones.

Los resultados obtenidos para la reducción en el espesor de la vaina de 10, 20, 30 y como caso límite un 50% del valor de base y se muestran en la Tabla 4.

Se puede observar en esa Tabla que, con una reducción del 50% del espesor, no se alcanzan los valores de k_{∞} de referencia del Zry-4. De esta manera, para poder compensar las pérdidas de reactividad introducidas por el nuevo material de vaina se propone como solución aumentar el enriquecimiento del combustible.

Porcentaje de reducción del espesor de la vaina [%]	k_{∞}
10	1.10966
20	1.138218
30	1.166286
50	1.224846

Tabla 4: Valores de reactividad para la misma barra combustible con distintos espesores de vaina

4.3. Análisis del Comportamiento de la Optimización

Si se plantean como variables el espesor y el enriquecimiento, se esperaría ver una tendencia de un valor óptimo para enriquecimientos altos y espesores bajos que luego sería limitado por las absorciones del combustible donde k_{∞} volvería a disminuir. Por lo tanto, se deberá buscar un rango de enriquecimientos aceptables para los valores de espesor que no penalicen la reactividad del combustible.

5. MODELADO MULTIESCALA DE MATERIALES TIPO ATF

Para combustibles no tradicionales, en particular los ATF y los de Generation-IV, los datos disponibles necesarios para el desarrollo de nuevos materiales se pueden obtener a través del Modelo Multi-escala de Materiales (o M^3), una metodología que proporcionará la aproximación teórica al modelado de las propiedades de los materiales a través de los métodos “*ab initio*”, dinámica molecular, Monte Carlo cinético y cálculos de Elementos Finitos.

El carburo de silicio se presenta como una gran familia de estructuras cristalinas denominadas “politipos”. Esto manifiesta la habilidad de este compuesto a cristalizarse en numerosas modificaciones que pueden ser descritas como diferentes secuencias de apilamiento de una misma capa unidad. La mayoría de los politipos son modificaciones de la fase alfa (de estructura hexagonal). Sin embargo, por razones de aplicación nuclear, nos interesó comenzar con el estudio de la fase (de estructura cúbica) que se forma por debajo de los 1700°C. Los resultados obtenidos se describen a continuación.

5.1 Detalles de cómputo

Las simulaciones fueron realizadas con cálculos “*ab initio*” basados en la teoría de funcional densidad (DFT), implementados mediante la utilización del programa Quantum Espresso. Para expandir los estados electrónicos en la aproximación de pseudopotenciales se utiliza una base de ondas planas. En un sistema periódico, las funciones de onda de los electrones se pueden representar mediante una base de ondas planas. Las ondas planas se incluyen hasta una cierta energía de corte o “*cutoff*” (*ecutwfc*). En este trabajo se aplicó *ecutwfc* = 300 Ry.

Se tuvieron en cuenta los efectos de intercambio y correlación utilizando la aproximación de gradiente generalizado (GGA) en la formulación de Perdew, Burke & Ernzerhof. Los pseudopotenciales utilizados para los átomos de Si y C fueron respectivamente “*norm-conserving*” (NC) y “*ultrasoft*” (US). El “*cutoff*” en energía cinética se definió como *ecutrho* = 2400 Ry (8 veces *ecutwfc*) ya que se utilizó un pseudopotencial US.

La integración del espacio recíproco en la zona de Brillouin se realizó mediante una suma sobre puntos k en una grilla de Monkhorst-Pack de 16x16x16 sin corrimiento.

Para el cálculo de fonones y propiedades térmicas se utilizó el código Phonopy. Con este programa se generan dos superceldas que se obtienen mediante la duplicación en cada uno de los ejes de la estructura -SiC y en cada una de ellas se produce el desplazamiento de un átomo. Luego, mediante un cálculo autoconsistente realizado con el Quantum Espresso, se calculan las fuerzas resultantes sobre los átomos debido a dichos desplazamientos. Finalmente, mediante un trabajo de post-procesamiento se calculan las frecuencias fonónicas y propiedades térmicas.

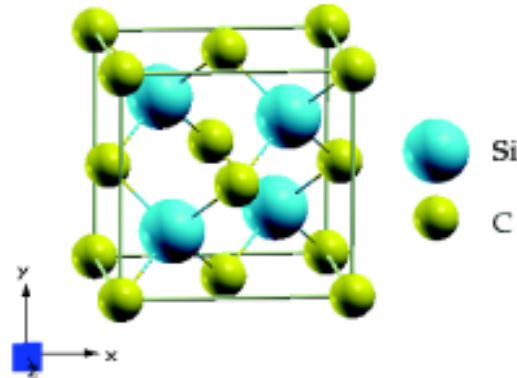


Figura 31: Estructura cristalina correspondiente a la fase -SiC

5.2 Estructura cristalina

La fase -SiC tiene estructura cúbica de tipo Zinc Blenda correspondiente al grupo espacial **# 216 F43m**.

Esta estructura cristalina, ilustrada en la Figura 31, se caracteriza por tener 8 átomos por celda convencional (4 C y 4 Si), pero sólo dos posiciones atómicas son no equivalentes por simetría. Según las tablas cristalográficas, los átomos de C se encuentran en las posiciones (4a) (0 0 0) y los átomos de Si en las posiciones (4c) ($\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$).

5.3 Optimización de volumen

Para obtener el parámetro de red teórico óptimo (a 0°K) y el módulo de "bulk" se calculó la energía total para 21 volúmenes diferentes. A partir del ajuste con un polinomio de grado 3 se obtiene que la energía es mínima para un valor del parámetro de red de **a= 4.3895 Å**. Este resultado se encuentra un 6% por encima del valor medido experimentalmente (a=4.36 Å) [18].

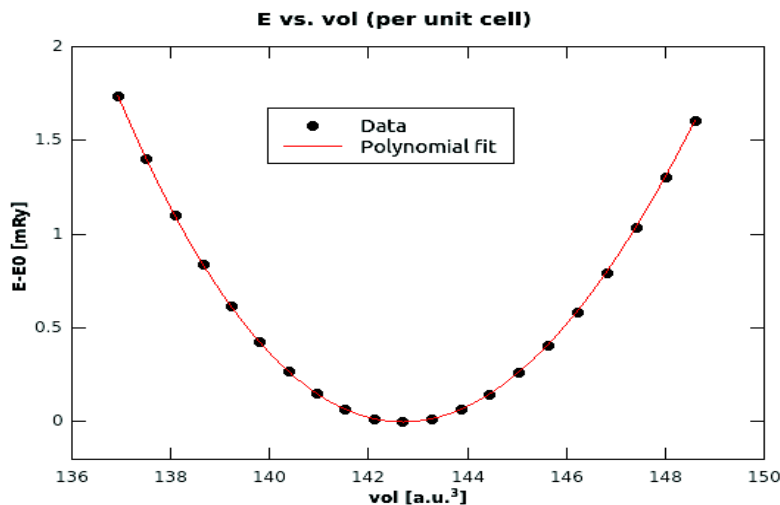


Figura 32: Variación de la diferencia de energía total por celda unidad con respecto al valor de su valor en el mínimo para los diferentes volúmenes considerados

El ajuste de los datos obtenidos mediante un polinomio de grado 3 está representado en la Figura 32 y la ecuación de ajuste es:

ecuación de ajuste es:

$$E(V) = 2629.99 - 48.2598 V + 0.288912 V^2 - 0.00055974 V^3$$

El volumen de la celda unitaria correspondiente a la mínima energía es:

$$V_0 = 142.69 a.u.^3$$

$$\left. \frac{d^2 E}{dV^2} \right|_{V_0} = 0.0986193 \frac{mRy}{a.u.^6}$$

El módulo de Bulk obtenido es del orden de:

$$B \cong 207 GPa$$

Este valor se encuentra razonablemente bien comparado con el obtenido por Luga et. al. de 220 GPa [19].

1.4 Dispersión de fonones

Para calcular la dispersión de fonones se crea una supercelda de $2 \times 2 \times 2$ de β -SiC, que no es otra cosa que la duplicación en cada uno de los ejes de la estructura que se muestra en la Fig. 31. Se crean entonces dos nuevas superceldas a cada una de las cuales se le efectúa el desplazamiento de un átomo en 0.01 Å con respecto a la posición de equilibrio. En una se desplaza un átomo de Si y en otra un átomo de C. Utilizando el Quantum Espresso, se calculan entonces las fuerzas percibidas por todos los átomos debido a estos desplazamientos. Para calcular la

dispersión de fonones se trabaja en el espacio recíproco de los momentos. En este problema en el que la estructura cristalina tiene estructura fcc, la primera zona de Brillouin en el espacio de los momentos tiene la forma que se muestra en la Fig. 33. Por lo tanto, para representar mejor las propiedades del cristal se consideran las direcciones de mayor simetría. Las curvas de dispersión de fonones se muestran en la Figura 34. Como se puede observar, no aparecen frecuencias imaginarias (de hacerlo, en la Figura 34. habría frecuencias por debajo de 0), lo que indica que esta estructura es dinámicamente estable.

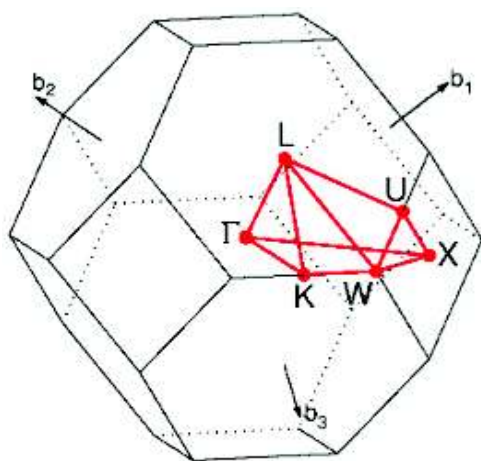


Figura 33: Puntos de mayor simetría en la primera zona de Brillouin considerados para calcular la dispersión de fonones

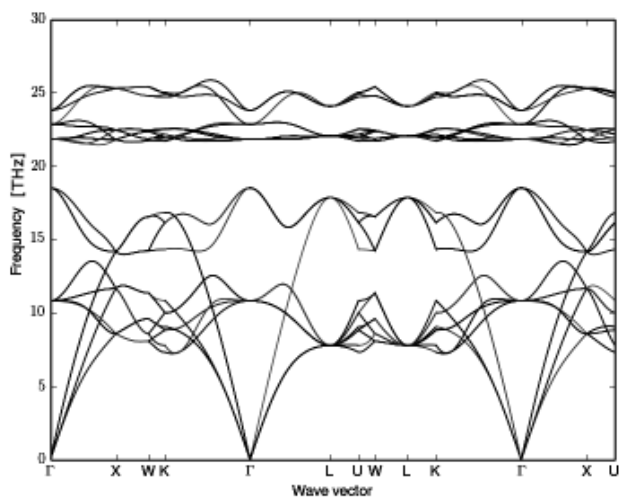


Figura 34: Dispersión de fonones para β -SiC graficadas a lo largo de las direcciones de alta simetría

Comparando las Figuras 34 y 35, se puede observar que la mayor densidad de estados se da para frecuencias de 25 THz y 22 THz, donde están las ramas ópticas,

que son aquellas en las que tiene un valor finito cuando q tiende a 0 (es decir en el punto Γ).

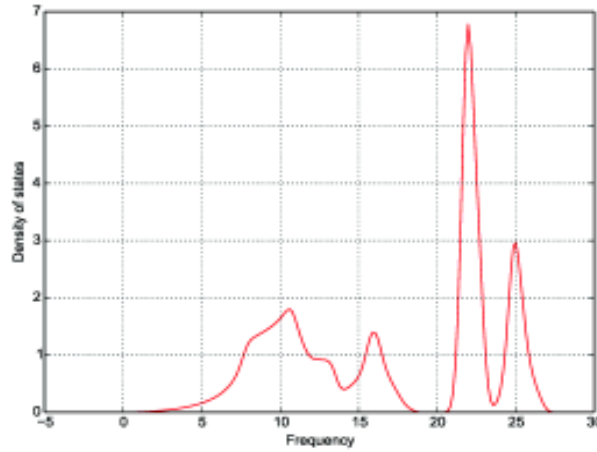


Figura 35: Densidad de estados fonónicos total en función de la frecuencia [THz]

1.4 Propiedades térmicas

La cantidad de calor transferido por un material está controlada por la cantidad de energía térmica presente, la naturaleza portador de calor en el material (electrones o fonones) y la cantidad de disipación. La energía térmica

es función de la capacidad calorífica. A partir del cálculo de fonones y utilizando las tres ecuaciones siguientes, se puede calcular la energía libre de Helmholtz (F), la entropía (S) y la capacidad calorífica a volumen constante (C_V) como función de la temperatura absoluta:

$$F = \frac{1}{2} \sum_{\mathbf{q},s} \hbar\omega(\mathbf{q},s) + k_B T \sum_{\mathbf{q},s} \ln[1 - \exp(-\hbar\omega(\mathbf{q},s)/k_B T)]$$

$$S = -k_B \sum_{\mathbf{q},s} \ln[1 - \exp(-\hbar\omega(\mathbf{q},s)/k_B T)] - \frac{1}{T} \sum_{\mathbf{q},s} \frac{\hbar\omega(\mathbf{q},s)}{\exp(\hbar\omega(\mathbf{q},s)/k_B T) - 1}$$

$$C_V = \sum_{\mathbf{q},s} k_B \left[\frac{\hbar\omega(\mathbf{q},s)}{k_B T} \right]^2 \frac{\exp(\hbar\omega(\mathbf{q},s)/k_B T)}{[\exp(\hbar\omega(\mathbf{q},s)/k_B T) - 1]^2}$$

Los resultados obtenidos para la fase β' SiC se ilustran en la Fig. 36

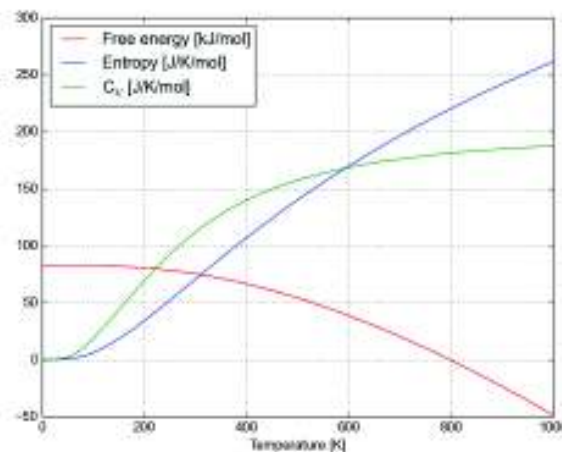


Figura 36: Energía libre de Helmholtz, entropía y capacidad calorífica a volumen constante en función de la temperatura absoluta para β' SiC

Se espera continuar con el estudio de este material analizando sus propiedades estructurales y electrónicas. También se contempla analizar otras posibilidades de reestructuración de este compuesto que puedan resultar convenientes para ser utilizadas como recubrimientos de los combustibles nucleares.

6. EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DE UNA ALEACIÓN DE UN EC TIPO ATF

Las aleaciones tipo FeCrAl son, bajo algunos de los escenarios considerados, potencialmente útiles para su aplicación en ATF. El desarrollo de esta familia de materiales comenzó en *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL). El objetivo es conseguir una aleación base Fe para vainas, que podríamos enmarcar entre los aceros, que posea propiedades mecánicas adecuadas en un intervalo amplio de temperaturas con buenas propiedades de resistencia a la corrosión y la irradiación. La familia de las aleaciones tipo FeCrAl incluye los materiales comerciales denominados “Kanthal” y “Alkrothal”, que son habitualmente aplicadas en la construcción de hornos y elementos resistivos para alta temperatura. La selección de estos materiales se basa en su excelente resistencia a la corrosión en ambientes con vapor hasta los 1475°C [1].

La resistencia a la corrosión de estos materiales está relacionada con su contenido de Cr y Al. Además, las aleaciones que se consideran de interés desde el punto de vista nuclear, contienen Y, y cantidades menores de elementos promotores de la formación de fases secundarias como Si, Mo y Nb. De esta forma, se busca obtener una mayor resistencia mecánica. El contenido, en peso, de los componentes principales de las aleaciones estudiadas por los grupos de Oak Ridge es Fe-13Cr-4.5Al-0.15Y.

En la literatura existe abundante información sobre las propiedades mecánicas y térmicas del material, y sobre su comportamiento frente a la oxidación a temperaturas elevadas en presencia de vapor de agua. Sin embargo, no existe suficiente información sobre estas propiedades en intervalos de interés para la industria nuclear, por lo cual se están llevando a cabo tareas para suplir la falta de información en ese sentido [17].

A nivel local, consideramos viable sumarnos a dicho esfuerzo combinando la capacidad de la División SiM³ con la del Departamento de Físicoquímica de Materiales de la Gerencia de Investigación Aplicada en el CAB. Las actividades que se realizarán incluyen la fundición de aleaciones FeCrAl con distintos contenidos de los elementos principales y secundarios, el estudio básico de su microestructura y propiedades mecánicas, con el

objetivo de identificar aquellas más promisorias para su uso práctico. También será necesario aumentar el conocimiento sobre el efecto de la irradiación sobre la evolución de las propiedades mecánicas y sobre su comportamiento en termofluencia bajo irradiación.

7. CONCLUSIONES

Las secciones 3.3 y 3.4 corresponden a un análisis paramétrico del uso de Zry, SiC y FeCrAl en una situación muy simplificada pero, a la vez, exigente y útil, y luego de una historia realista y exigente desde el punto de vista del comportamiento de los combustibles. Se obtienen resultados variados donde se manifiesta claramente la necesidad de impedir la ocurrencia de PCI en los ATF basados en SiC. Es decir, se deberá prestar particular atención al dimensionar el “gap” pastilla-vaina sin dejar de tener en cuenta el almacenamiento posterior del EC. El código BaCo se presenta como una sólida herramienta para el desarrollo de combustibles tipo ATF.

Los cálculos neutrónicos preliminares realizados con el código DRAGON indican que es posible encontrar un rango de enriquecimientos aceptables para los valores de espesor que no penalicen la reactividad del combustible.

La búsqueda inicial de parámetros y propiedades básicas del SiC a través de Modelado Multiescala de Materiales de la sección 5, muestra que estamos frente a un panorama prometedor para el desarrollo de modelos de comportamiento y simulaciones de materiales de EC tipo ATF donde los resultados estarán validados por principios físicos más sólidos.

Al no tener suficiente información sobre las propiedades de estos materiales en intervalos de interés para la industria nuclear, se comenzaron tareas de evaluación de desarrollos locales cuyo objetivo es conseguir una aleación base Fe para vainas del tipo FeCrAl, que posea propiedades mecánicas adecuadas en el rango de temperaturas de interés, con buenas propiedades de resistencia a la corrosión y al daño por irradiación.

El OIEA ha organizado el CRP ACTOF (“Coordinated Research Project”, “Analysis of Options and Experimental Examination of Accident Tolerant Fuels for Water-Cooled Reactors”) en el cual estamos incluidos a través del Proyecto AtoATF (“An approach to the Modelling and Simulation of the Behaviour, Neutronic and Economy of ATF”) centralizado en la División SiM³ del la GCCN de CNEA en el CAB. Estos conceptos ya están incluidos en los contenidos que se dictan en las materias de materiales y combustibles de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro.

REFERENCIAS

- [1] Y. Yamamoto, Y. Yang, K.G. Field, K. Terrani, B.A. Pint, L.L. Snead: "Letter Report Documenting Progress of Second Generation ATF FeCrAl Alloy Fabrication". Oak Ridge National Laboratory technical report ORNL/LTR-2014/219 (2014).
- [2] NIST Property Data Summaries: Sintered Silicon Carbide (SiC), <http://www.ceramics.nist.gov/srd/summary/scdscs.htm>
- [3] Wu et al. "Neutronic and Fuel Performance Evaluation of Accident Tolerant Fuel under Normal Operation Conditions", INL/EXT-14-32591, July 2014.
- [4] K. Yueh y K. Terrani, "Silicon carbide composite for light water reactor fuel assembly applications", JNucMat 448(2014)380-388.
- [5] Marino A. C. et al., "BaCo (BArra COmbustible) Code Version 2.20: a thermo-mechanical description of a nuclear fuel rod", J.Nuc.Mat. Vol. 229, April II, 1996.
- [6] Marino A. C., "Starting Point, Keys and Milestones of a Computer Code for the Simulation of the Behaviour of a Nuclear Fuel Rod", Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2011, Article ID 326948.
- [7] Marino A. C. y Demarco G. L., "Comportamiento de Materiales Combustibles Nucleares bajo Irradiación a Bajas Temperaturas de Operación", 13^{er} Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales 2013, SAM/CONAMET, 20 al 23 de Agosto de 2013, Iguazú, Argentina.
- [8] Furlano L., Marino A.C. y Villarino E., "Modelado de la Distribución Radial del Inventario de los Isótopos de U y Pu en Barras Combustibles tipo PWR a Alto Quemado", esta conferencia.
- [9] Marino A.C. y Florido P.C., "High Power Ramping in Commercial PHWR Fuel at Extended Burnup", Nuclear Engineering & Design 236(2006) 1371-1383.
- [10] Marino A.C., "Computer simulation of the behaviour and performance of a CANDU fuel rod", 5th International Conference on CANDU fuel, 1997, September 21-24, Canada.
- [11] Chantoine P., "Fuel modelling at extended burnup", Report of the Co-ordinated Research Programme on Fuel Modelling at Extended Burnup – FUMEX, 1993-1996, IAEA, IAEA-TECDOC-998, 1998.
- [12] J. Killeen, V. Inozemtsev y A. Turnbull, "Fuel Modelling at Extended Burnup: IAEA Coordinated Research Project FUMEX-II", Top-Fuel 2006, 22 al 26 de Octubre de 2006, Salamanca, España.
- [13] Marino A.C., Pérez E.E. y Adelfang P., "Irradiation of Argentine MOX fuels. Post-irradiation results and experimental analysis with the BACO code", J.Nuc.Mat. Vol. 229, April II, 1996.
- [14] Marino A. C., "Pushing the Limits of the Simulation of Nuclear Materials and Fuels by using the BaCo code and M³ (Multiscale Modelling of Materials)", IAEA Technical Meeting on High Burn-up Economics and Operational Experience, 26 al 29 de Noviembre de 2013, Buenos Aires, Argentina.
- [15] Marino A.C., "Almacenamiento seco prolongado de combustibles nucleares: Influencia del diseño y de las condiciones de su irradiación comercial", XXXVI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear (AATN XXXVI), paper # 14, 16 al 20 de Noviembre de 2009, Buenos Aires, Argentina.
- [16] "A User Guide for DRAGON Release 3.06L" (2013/07/05)
- [17] M. Snead, L. Snead, K. Terrani, K. Field, A. Worrall, K. Robb, Y. Yamamoto, J. Powers, S. Dryepondt, B. Pint, X. Hu, "Technology Implementation Plan ATF FeCrAl Cladding for LWR Application". Oak Ridge National Laboratory technical report ORNL/TM-2014/353 (2015).
- [18] "Silicon carbide (SiC), lattice parameters, thermal expansion", Chapter Group IV Elements, IV-IV and III-V Compounds. Part b - Electronic, Transport, Optical and Other Properties, Volume 41A1b of the series Landolt-Börnstein - Group III Condensed Matter pp 1-11, Springer (2002)
- [19] M. Iuga, G. Steinle-Neumann, and J. Meinhardt, "Ab-initio simulation of elastic constants for some ceramic materials", Eur. Phys. J. B 58, 127–133 (2007)

Trabajo presentado en la XLII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 30 de noviembre al 4 de diciembre de 2015.

Proyecto Antena Radar de Apertura Sintética

MARTÍN GHISELLI A., LORENZO A., BELINCO N., QUIROZ H., TERLISKY S., HAZARABEDIAN A., FORLERER E., GARONIS H., DHERS H., DI PASQUALE G, SACCHI M., BELINCO C. - Comisión Nacional de Energía Atómica

A partir de un contrato de cooperación firmado entre la CNEA y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE), la primera asumió la responsabilidad de proveer la estructura, los mecanismos de despliegue y los módulos radiantes de la antena del Instrumento Radar de Apertura Sintética (SAR) para los satélites del Proyecto SAOCOM. Este trabajo presenta una descripción de la Antena SAR diseñada por la CNEA para este Proyecto y de los procesos desarrollados por la CNEA para la fabricación, integración y ensayo de sus componentes.

Antenna for Synthetic Aperture Radar Project in CNEA

Under a cooperation agreement between CNEA and the National Space Activities Commission (CONAE, by its Spanish acronym), CNEA takes responsibility for supplying the structure, deployment mechanisms and radiant modules of the SAOCOM Project satellite antennas for the Synthetic Aperture Radar Instrument (SAR). The paper presents a description of the SAR Antenna designed by CNEA for the SAOCOM Project and the processes developed at CNEA to carry out the manufacture, integration and test of components.

1.- INTRODUCCIÓN

El Proyecto SAOCOM de la CONAE comprende la puesta en órbita de dos satélites destinados a la observación de la Tierra, cuyos principales objetivos son la medición de la humedad del suelo y aplicaciones en emergencias, tales como detección de derrames de hidrocarburos en el mar y seguimiento de la cobertura de agua durante inundaciones. La realización de estas mediciones se realiza a partir de imágenes obtenidas por un Radar de Apertura Sintética (SAR) que es un instrumento activo que trabaja en el rango de las microondas y que puede proveer información en forma independiente de las condiciones meteorológicas y de la hora del día.

Como parte de los convenios de cooperación entre instituciones del Estado Nacional y a partir del contrato firmado en el marco de la la "Ley de Promoción y Fomento a la Innovación Tecnológica" (Ley 23.877), entre la CNEA y la CONAE, la primera asumió la responsabilidad de proveer la estructura, los mecanismos de despliegue y los módulos radiantes de la antena del Instrumento SAR para los satélites del Proyecto SAOCOM. Esta responsabilidad comprende desde la ingeniería conceptual de la antena hasta la integración de la misma al satélite y la posterior asistencia a la CONAE durante las campañas de ensayo y lanzamiento, pasando por las etapas de ingeniería básica y de detalle, el desarrollo y calificación de los métodos de fabricación empleando nuevos materiales, e incluyendo el desarrollo de los equipos y instrumental necesario para las tareas de integración y ensayo.

2.- REQUERIMIENTOS

En los años en que se ha llevado a cabo la fase de desarrollo de este proyecto, la CNEA conjuntamente con la CONAE, consolidaron los principales requerimientos

que debe cumplir el diseño mecánico de la Antena SAR, los que se pueden resumir en los siguientes:

- La Antena SAR debe presentar una configuración estructural que incluya un panel central fijo a la Plataforma de Servicio del satélite, y dos conjuntos simétricos de tres paneles plegados. El conjunto en configuración plegada debe poder incluirse en un cilindro de un diámetro máximo de 3 metros.
- La Antena SAR debe sobrevivir al menos 5 años después del lanzamiento, en el medioambiente de la órbita terrestre, cumpliendo con la funcionalidad especificada.
- La masa total de la Antena SAR no debe superar los 1.460 kg, incluyendo la totalidad de su estructura, los componentes electrónicos y los mecanismos de despliegue instalados en la misma.
- La primera frecuencia natural de vibración de la antena desplegada debe ser mayor a 2 Hz.
- La primera frecuencia natural de vibración de la antena plegada en dirección axial (la del lanzamiento) debe ser mayor a 44 Hz, mientras que en las direcciones laterales debe superar los 22 Hz.
- La superficie radiante de la antena desplegada será de aproximadamente 35 m² con casi 3,5 m de altura y 10 m de longitud.
- La estructura de la antena y sus componentes deben diseñarse para soportar, sin degradación de sus funciones y características, las cargas cuasi estáticas producidas por aceleraciones de aproximadamente 6 g que se producen durante el lanzamiento.
- Cada panel de la antena contiene 20 Módulos Radiantes que son los componentes encargados de emitir y recibir las señales de radiofrecuencia del instrumento. El tamaño de estos módulos es de aproximadamente 167 mm de ancho y 1.400 mm de longitud.
- Las deformaciones de la antena en el espacio deben ser tales que, respecto de una superficie de referencia

completamente plana y entre dos puntos cualesquiera de la antena, debe presentar un valor máximo de 0,024 m.

3.- DISEÑO DE LA ANTENA

Para cumplir con los requerimientos establecidos, se diseñó una estructura desplegable formada por 7 paneles, con el panel central fijo a la estructura del satélite y con los conjuntos desplegables en ambos lados del mismo y plegados en forma espiral, por lo que las dimensiones de los distintos paneles son diferentes a fin de permitir esta estrategia de plegado. Si se considera una estrategia de despliegue simultáneo la misma sería como se presenta en la Figura 1.

El subsistema del Instrumento denominado Antena SAR está formado por 5 componentes principales:

- Los Módulos Radiantes que, en un total de 140, se encuentran montados sobre los paneles estructurales de la antena y cuya fabricación y diseño mecánico

realiza la CNEA (CONAE realizó el diseño de este componente para que cumpla con las características electromagnéticas requeridas).

- La estructura de la antena formada por los 7 paneles y la estructura que la vincula a la Plataforma de Servicio del satélite y los mecanismos de despliegue que la mantienen en configuración plegada durante el lanzamiento y permiten el despliegue de los paneles en órbita, todos componentes bajo responsabilidad de la CNEA.
- La electrónica distribuida en los paneles del instrumento SAR y la electrónica que controla el despliegue de los paneles, cuyo desarrollo y fabricación realiza la CONAE.
- El conjunto de cableado de radiofrecuencia, potencia y datos distribuido en los paneles y que realiza la CONAE.
- El componente de control térmico, diseñado por la CONAE y formado por blindajes térmicos, pinturas, termopares, radiadores y calefactores.

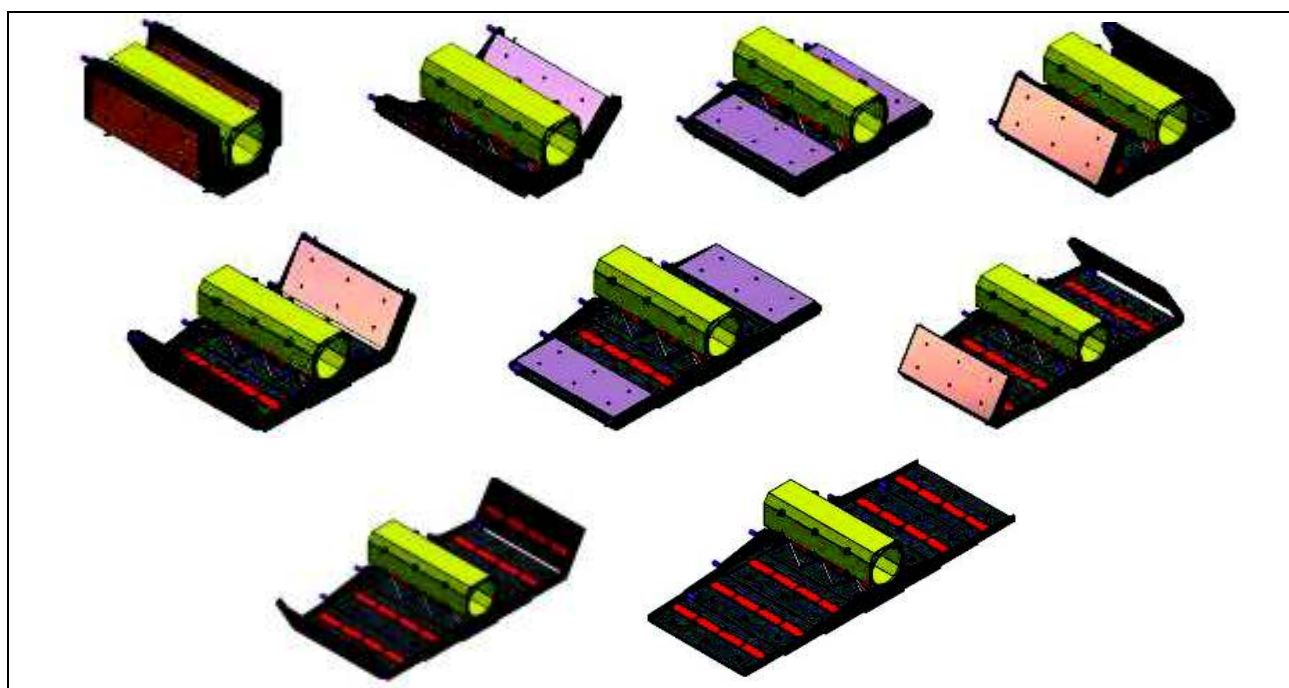


Figura 1. Secuencia de despliegue de la Antena SAR

Las principales dimensiones de la antena plegada son aproximadamente 4.250 mm en el eje axial y de aproximadamente 2.400 y 2.055 mm en los ejes transversales. Cada conjunto de paneles plegados tiene un espesor máximo de más de 600 mm medidos sobre las vigas que forman los laterales de los paneles. La Figura 2 presenta las vistas superior y frontal de la antena en esta configuración.

En configuración desplegada las principales

dimensiones son de casi 10 m de largo y 4 m de altura, mientras que la distancia desde el plano de la superficie radiante al plano de vinculación con la Plataforma de Servicio del satélite es de aproximadamente 600 mm. La Figura 3 muestra el satélite en configuración de vuelo con la Antena SAR y los paneles solares desplegados, debiéndose señalar que la integración de las celdas fotovoltaicas en estos últimos también fue realizada por la CNEA.

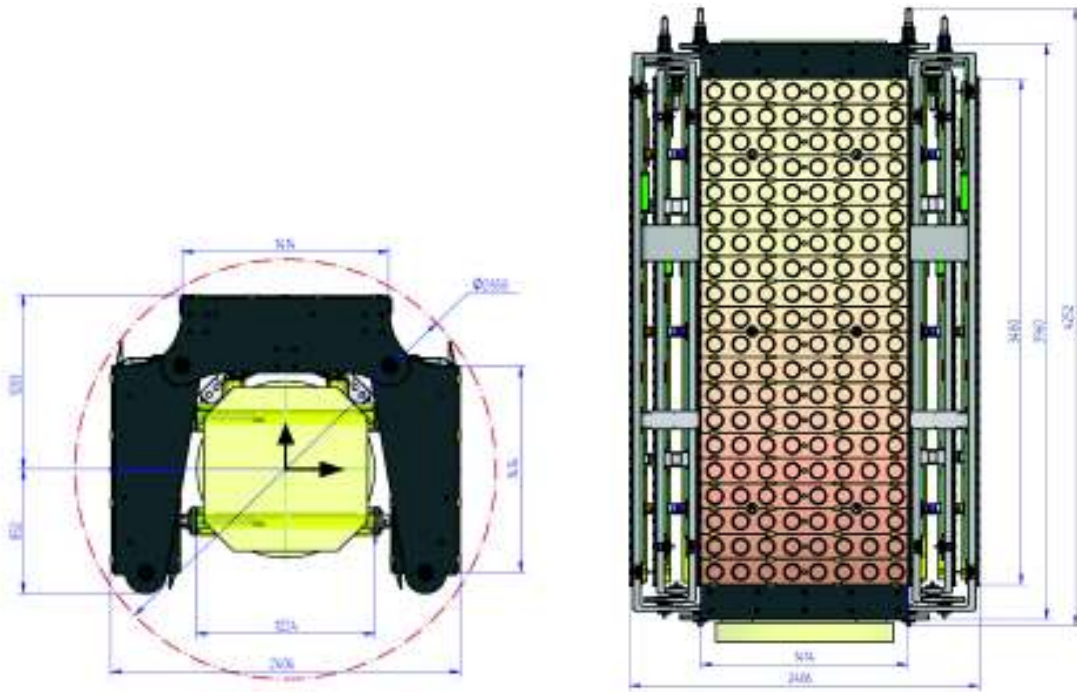


Figura 2. Vistas superior y frontal de la Antena SAR plegada

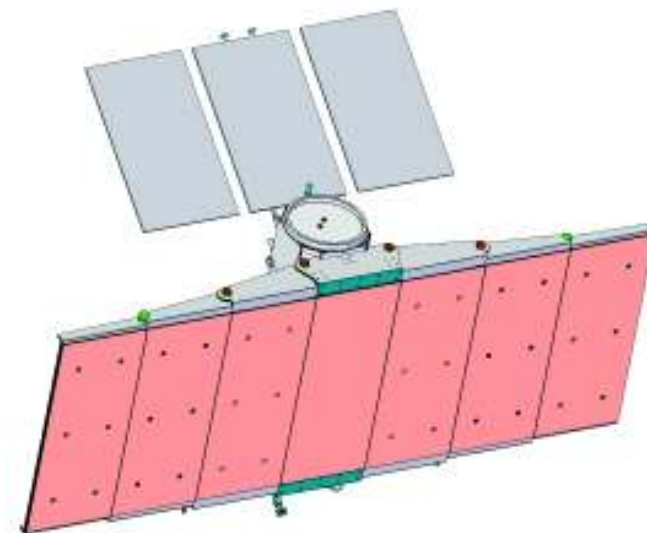


Figura 3. Satélite SAOCOM en configuración de vuelo

3.1.- Estructura

Los paneles estructurales de la antena están formados por los denominados Paneles Base, que soportan parte de los mecanismos, los Módulos Radiantes y todo el conjunto de electrónica que se instala en la antena; y las Vigas Laterales, ubicadas en ambos extremos de los primeros y que tienen como función darle al conjunto desplegado la rigidez requerida y también dar soporte a parte de los mecanismos de despliegue.

Ambos elementos estructurales se fabrican como paneles de estructura sándwich con un núcleo de panal de abeja de aluminio y pieles realizadas con un laminado de cianatoéster y fibra de carbono de alto módulo (CFRP). Estos elementos se pegan empleando refuerzos de CFRP para formar una única estructura de alta rigidez como se muestra en el esquema de la Figura 4. El diseño y procesos de fabricación de estos paneles siguen los lineamientos de la normativa de la Agencia Espacial Europea (ESA).

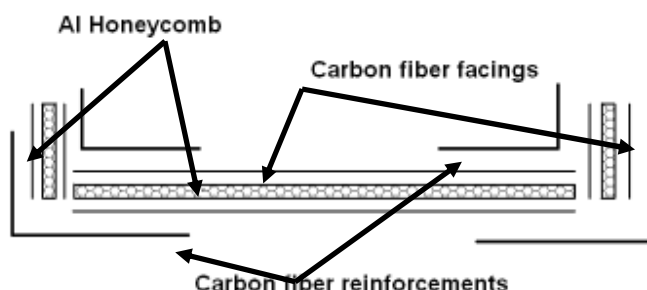
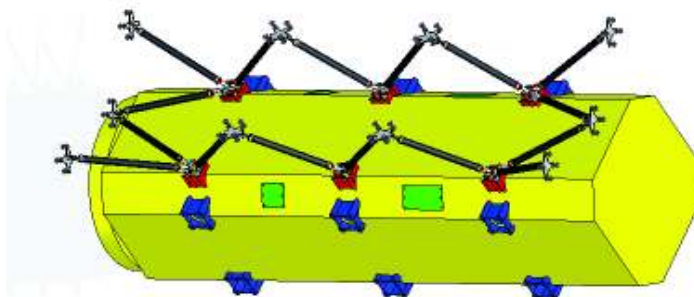


Figura 4. Fabricación de los paneles estructurales

Los paneles luego son mecanizados, empleando una fresadora CNC, para poder instalar insertos metálicos mediante adhesivos, que permiten la fijación de cajas de electrónica, mecanismos y otros componentes sobre los mismos. Por otra parte, la Estructura de Interfaz que vincula el panel central con la Plataforma de Servicio del satélite, está formada por un reticulado de tubos laminados de CFRP con extremos rotulados fabricados en

aleación de aluminio y pegados a los tubos, que impiden la transmisión de esfuerzos de flexión originados en cambios de temperatura entre ambos componentes principales del satélite. La vinculación de los tubos a las estructuras principales se realiza empleando herrajes fabricados en aleación de titanio. Un esquema general de esta estructura se presenta en la Figura 5.



3.2.- Mecanismos de despliegue

En la configuración de lanzamiento, cada conjunto de paneles plegados se encuentra unido a 6 puntos de la estructura primaria de la Plataforma de Servicio mediante los denominados Mecanismos de Retención-Liberación. Esos puntos de vinculación y de transferencia de cargas entre ambas estructuras se muestran también en la Figura 5.

Los Mecanismos de Retención-Liberación cumplen la función de mantener la posición de los paneles plegados, evitar golpes entre los mismos y transferir las cargas a la estructura de la Plataforma de Servicio durante el lanzamiento. Luego, con el satélite en órbita, el accionamiento de estos mecanismos permite liberar los

paneles para ejecutar la maniobra de despliegue.

Estos mecanismos, cuyo esquema se presenta en la Figura 6, están formados por un conjunto de piezas tubulares ubicadas en cada panel y sobre la Plataforma de Servicio, con secciones de unión de tipo copa y cono que transmiten las cargas y momentos flectores. La unión de las piezas se mantiene y permite la transmisión de cargas, mediante una barra precargada que se ubica en el interior de la sección tubular. En el extremo externo de la barra se ubica un dispositivo que soporta la precarga de la barra y cuando es accionado la libera, permitiendo la retracción de la misma mediante un juego de resortes y asegura así la posibilidad de desplegar los paneles.

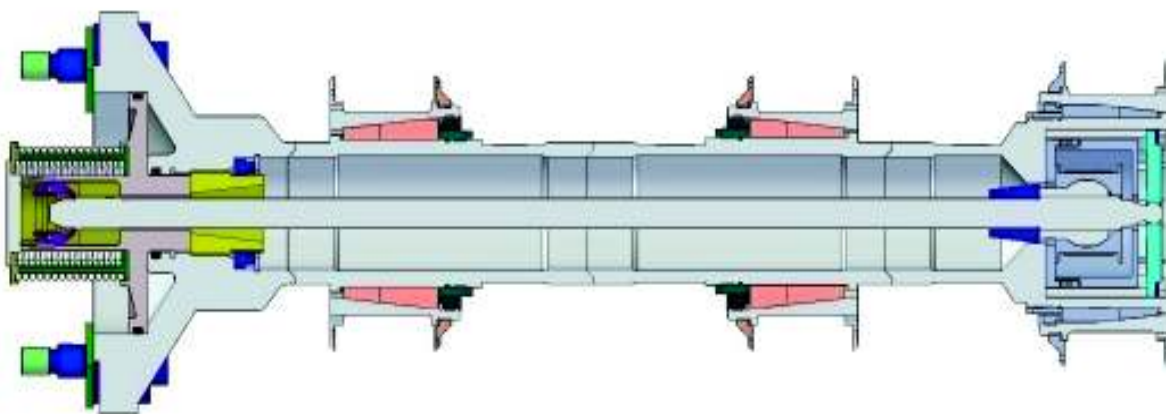


Figura 6. Esquema del Mecanismo de Retención-Liberación

Todas las secciones de tubo, los insertos que las vinculan a los paneles y la barra de precarga están fabricadas en aleación de titanio, mientras que el conjunto de resortes es de acero inoxidable. El dispositivo de separación se muestra en la Figura 7 y es una tuerca de separación electromecánica de la firma NEA Electronics Inc. (Estados Unidos) con una capacidad de carga de hasta 148 KN.

Para realizar la operación de precarga, el mecanismo tiene dentro de la pieza ubicada sobre la Plataforma de Servicio, un pistón neumático vinculado al que se aplica presión mediante nitrógeno. Una vez aplicada la carga, la misma es mantenida mediante una tuerca que se ajusta sobre la barra.

Una vez que los paneles se han liberado en órbita, el

despliegue se realiza mediante actuadores rotacionales vinculados a Mecanismos de Bisagra ubicados en las vigas laterales de paneles adyacentes.

Se emplean para el despliegue 6 actuadores rotacionales, uno por cada etapa de despliegue. Estos actuadores deben proporcionar el par necesario para vencer la inercia del conjunto y la resistencia producida por la fricción en los mecanismos de bisagra, de traba y por los cables que pasan entre paneles. Para cumplir esta función se seleccionaron moto reductores paso a paso de corriente continua que tienen una capacidad de aproximadamente 100 Nm en las condiciones de operación previstas para el despliegue. Los actuadores, que se muestran en la Figura 8, son provistos por la empresa CDA Intercorp (Estados Unidos).



Figura 7. Dispositivo de liberación

Los actuadores de despliegue están vinculados a los Mecanismos de Bisagra mediante un acople elástico que permite absorber posibles desalineamientos entre ambos conjuntos, el cual está formado por dos piezas de aluminio de alta resistencia separadas por un elastómero apto para uso espacial (Hytrel ®).

Los Mecanismos de Bisagra permiten el despliegue de los paneles manteniendo la posición relativa de los mismos y soportan a los actuadores rotacionales. El diseño emplea un rodamiento esférico autolubricado (PTFE) y de bajo juego, apto para uso espacial suministrado por Ampep Ltd. (RU). Las piezas de estos mecanismos están fabricadas en aleación de titanio, exceptuando los insertos que permiten la vinculación del



Figura 8. Actuadores rotacionales

mecanismo en los paneles, que están fabricados en INVAR 36 ® (aleación de Fe-Ni con bajo coeficiente de expansión térmica) para mantener la posición relativa entre paneles frente a cambios de temperatura.

La Figura 9 muestra una vista y un corte de uno de los Mecanismos de Bisagra que soportan los actuadores de despliegue, en donde también se puede ver el acople elástico que los vincula. Las únicas diferencias que presentan los Mecanismos de Bisagra sin actuador son que los mismos permiten el desplazamiento axial para compensar diferencias de fabricación o integración y que poseen un potenciómetro de uso espacial que indica la posición angular de los paneles en el despliegue (Betatronix LLC, Estados Unidos.).

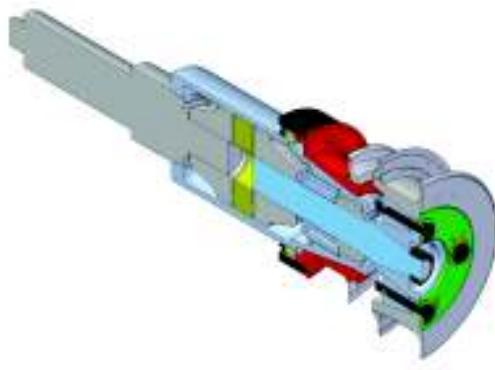


Figura 9. Vista frontal y corte esquemático del Mecanismo de Bisagra

La maniobra de despliegue de los paneles se completa con el accionamiento de los Mecanismos de Traba ubicados entre cada par de paneles adyacentes. Estos mecanismos fijan la posición relativa de los paneles y permiten que el conjunto de paneles desplegados alcance la rigidez requerida.

La Figura 10 presenta una vista y un esquema de estos mecanismos que están formados por una pieza denominada Base que se encuentra en el panel fijo y una

pieza denominada Trinquete que se ubica en el panel móvil que se está desplegando. La traba del mecanismo se produce cuando una placa denominada Perno ubicada en la Base del mecanismo, cae dentro de la garganta que tiene el Trinquete al deslizarse éste último dentro de la Base. Para evitar distorsiones en la posición relativa de los paneles frente a cambios de temperatura, las piezas de estos mecanismos también están fabricadas en INVAR 36 ®.



Figura 10. Imagen y vista esquemática del Mecanismo de Traba

Para reducir el torque resistivo que generan los mazos de cables que pasan de un panel a otro de la antena se diseñaron soportes especiales, fabricados en aleación de aluminio, que guían los conjuntos de cables

durante el despliegue. La Figura 11 muestra un ejemplo de estos dispositivos, que presentan distintas formas y dimensiones según sea el par de paneles sobre los que deben trabajar.

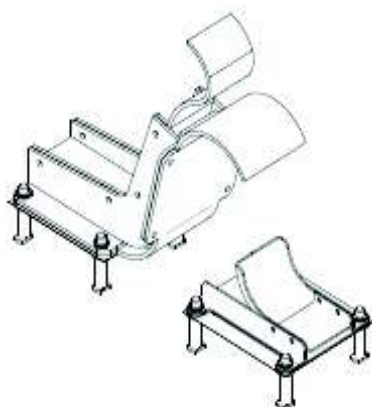


Figura 11. Esquema y vista de un soporte guía de cables

3.3.- Módulos Radiantes

Los Módulos Radiantes que se fabrican en la CNEA están formados por un apilamiento de capas de circuito impreso flexible (fibra de vidrio tipo E con un depósito de cobre electrolítico) intercaladas con una espuma dieléctrica. Las dimensiones del arreglo y la geometría que se le da a los circuitos impresos es lo que le confiere al conjunto las propiedades electromagnéticas requeridas. Las distintas capas no están pegadas entre sí, sino unidas a través de un conjunto de pines de cobre y para el soporte se les agrega unas guías laterales de fibra

de vidrio que otorgan la rigidez necesaria al conjunto. Estos Módulos Radiantes se cubren además con una pintura blanca que actúa como parte del sistema de control térmico de la antena.

El soporte de los Módulos Radiantes a los paneles se hace mediante un conjunto de piezas de soporte fabricadas en aleación de aluminio que los fijan desde el centro geométrico y desde los laterales. La Figura 12 muestra un Módulo Radiante armado, antes del proceso de pintado, y un esquema de la ubicación y características de los soportes que los fijan a los paneles.

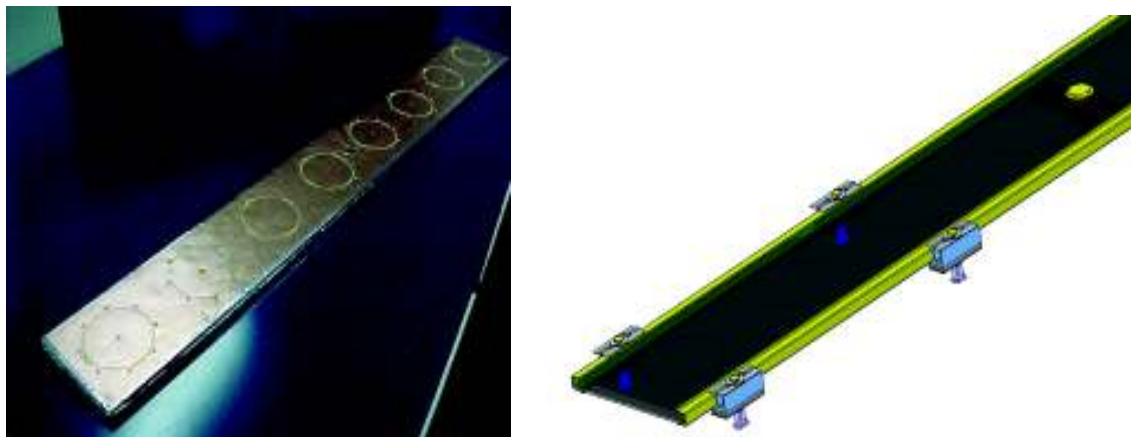


Figura 12. Imagen de un Módulo Radiante y esquema de los soportes del mismo

4.- IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO EN LA CNEA

Para encarar este desafío de diseñar, fabricar y ensayar un sistema que tiene casi 35 m² de superficie radiante, aproximadamente 1.400 kg de masa y que emplea materiales de nueva tecnología, se formó en la CNEA un grupo interdisciplinario de personal con el aporte de distintos Departamentos, Gerencias y Gerencias de Área que se encuentran en el Centro Atómico Constituyentes, en el que a la fecha colaboran aproximadamente 70 personas.

Desde el inicio de las actividades, estas fueron realizadas bajo un sistema de gestión de la calidad implementado para el Proyecto y acorde a los requerimientos de la CONAE, que se basan en normas de las agencias espaciales NASA y ESA. Posteriormente se decidió complementar el mismo sistema de gestión con el cumplimiento de los estándares internacionales de la norma ISO 9001.2008, y en la actualidad se está trabajando en la adaptación del sistema de gestión a los nuevos requisitos de la norma ISO 9001 emitida en septiembre del 2015.

En los años en que lleva adelante este proyecto en la CNEA, se completaron las fases de desarrollo y calificación que comprendieron diversas tareas que abarcan la ingeniería básica y de detalle de todos los conjuntos y partes, el desarrollo y calificación de los procesos de fabricación y la realización de los ensayos sobre los modelos de calificación, también fabricados e integrados en la CNEA, debiéndose compatibilizar todo esto con el desarrollo de otros componentes de la antena que se encuentran a cargo de la CONAE como es el caso del cableado, control térmico y la electrónica del instrumento.

El desarrollo del proyecto en sus distintas fases incluyó un programa de auditorías internas periódicas realizadas por la CNEA y distintas auditorías externas realizadas por la CONAE. Además, la planificación del Proyecto SAOCOM definida por la CONAE incluye la participación de este proyecto de la Antena SAR en la CNEA, en las distintas etapas de revisión como las PDR (Preliminar) y CDR (Crítica) con comités de revisión integrados por expertos de NASA, ESA y agencias espaciales de otros países.

Después de concluida la etapa de desarrollo de los procesos de manufactura, actualmente se cuenta con instalaciones para la fabricación de los componentes estructurales de la antena y la integración de los paneles, para la fabricación de los Módulos Radiantes (cabina de pintura y procesos de soldadura calificados según normas ESA) y para la realización de distintos tratamientos sobre las superficies de piezas de sujeción de componentes y mecanismos de despliegue para que cumplan distintas funciones como conducción eléctrica, lubricación, barrera difusiva, anti-corrosión, rugosidad para pegado estructural, etc. También se cuenta con la capacidad y equipamiento necesario para realizar ensayos de calificación de componentes y todos los ensayos asociados al control de los productos a lo largo del proceso de fabricación, que van desde el control de los materiales hasta el del panel terminado.

Para el desarrollo y verificación de la ingeniería de los distintos componentes de la antena, se trabaja empleando "software" de diseño 3D con capacidad CAD-CAM, de simulación dinámica y de simulación por el método de elementos finitos (Figura 12).

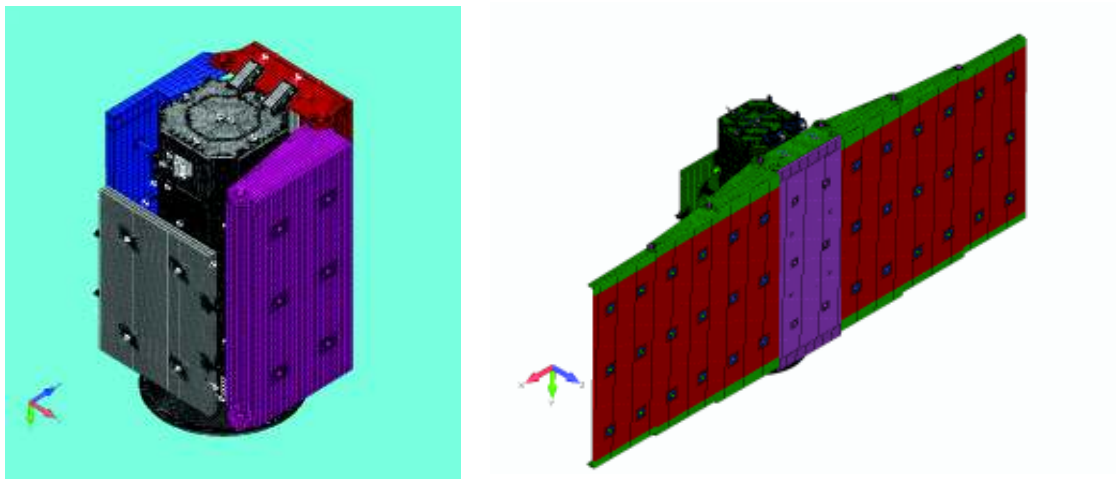


Figura 12. Modelos de verificación de diseño por elementos finitos

Para el proceso de polimerizado del preimpregnado de fibra de carbono que se emplea en la fabricación de los componentes estructurales se cuenta con una sala

para la preparación de los laminados y con una autoclave que permite el curado de paneles de hasta 5 metros de longitud y 1,6 m de ancho que se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Elaboración de laminados de fibra de carbono y autoclave para el proceso de polimerización

El mecanizado de los paneles sándwich fabricados para alcanzar las dimensiones finales y realizar los agujeros para la instalación de los insertos metálicos se realiza empleando una fresadora configurada especialmente para esta tarea, mientras que el para el

mecanizado de insertos metálicos y partes de los mecanismos de despliegue se cuenta con equipos CNC convencionales. Ejemplos de este equipamiento se presentan en la Figura 14.



Figura 14. Izquierda: Fresadora para el mecanizado de paneles. Derecha: Equipo CNC para la fabricación de piezas metálicas

Las tareas de integración y acondicionamiento para el transporte (Figura 15) se realizan en una sala limpia Clase 100 000 (ISO 8). Además del diseño y fabricación del equipamiento necesario para las tareas de integración y ensayo, se diseñaron y fabricaron contenedores para el

transporte de los paneles que pueden emplearse con atmósfera inerte y aseguran que los mismos no sean sometidos a aceleraciones que puedan afectar sus características.



Figura 15. Equipos soporte para la integración de paneles y contenedor de transporte

En esta área de trabajos, denominada Equipos Mecánicos de Soporte en Tierra (MGSE), una de las tareas de desarrollo más destacables fue el diseño, fabricación y calificación de un conjunto de dispositivos, denominados OG, que permiten simular las condiciones de falta de gravedad que tendrán los paneles de la antena durante las maniobras de despliegue en órbita, a fin de

realizar en tierra los ensayos de despliegue y asistir las tareas de integración.

Estos dispositivos, que se presentan en la Figura 16, adoptaron el concepto de soportar el peso de los paneles durante el despliegue deslizándose sobre una superficie apropiada mediante el empleo de suspensiones neumáticas y un colchón de aire.

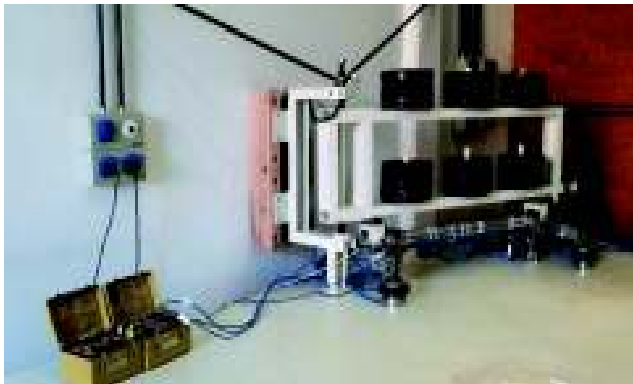


Figura 16. Ensayos de calificación y empleo de los Dispositivos 0G para los ensayos de despliegue de los paneles de la Antena SAR en Tierra

5.- CALIFICACIÓN Y ESTADO DE AVANCE

Una vez confirmadas las características del lanzador que se empleará para la puesta en órbita de los satélites SAOCOM y congelado el diseño básico adoptado para la Antena SAR, se realizó el diseño de detalle y la fabricación en la CNEA de los siguientes modelos de calificación:

- Un panel estructural para calificar los procesos de fabricación mediante ensayos de vibración y acústico, y para determinar las cargas de calificación a emplear a nivel de componentes como las cajas de electrónica (campaña de ensayos realizada en el LIT-INPE de Brasil, Figura 17).

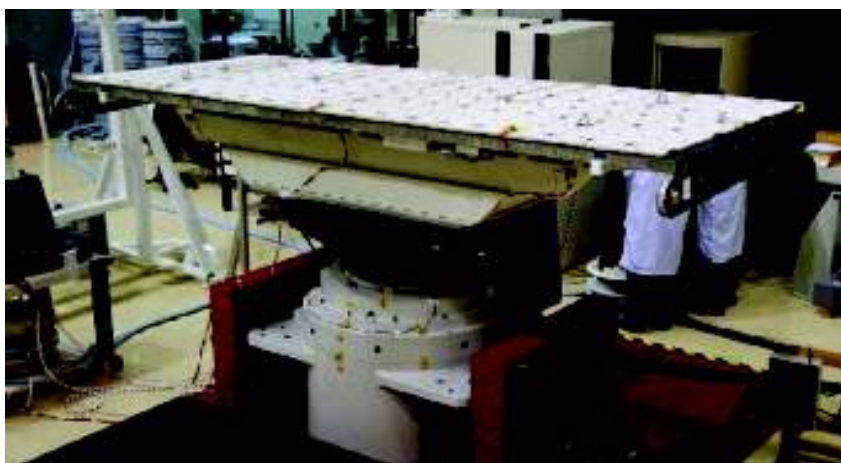


Figura 17. Modelo de panel estructural ensayado en el LIT-INPE

- Dos paneles de desarrollo para evaluar las características funcionales de radiofrecuencia del instrumento, que se muestran en la Figura 15, al completarse su fabricación e integración en la CNEA (ensayos realizados por la CONAE en sus instalaciones del LIE-CETT).
- Un Modelo Estructural formado por un conjunto de paneles desplegables, un panel fijo central y la Estructura de Interfaz, para la calificación de la estructura y los mecanismos mediante ensayos

ambientales de vibración y acústicos realizados conjuntamente con el Modelo Estructural de la Plataforma de Servicio. Esta campaña de ensayos también permitió verificar la ingeniería de detalle y calificar los procedimientos de integración y montaje de la antena, conjunto de tareas que se realizaron en las instalaciones de CNEA como se muestra en las Figuras 18 y 19 (campaña de ensayos realizada en CEATSA-INVAP, Figura 20).



Figura 18. Integración en CNEA del Modelo Estructural de la Antena SAR



Figura 19. Modelo Estructural de la Antena SAR en CNEA

- Un modelo “*ad-hoc*”, denominado Modelo de Calificación de Mecanismos, para calificar el diseño y funcionalidad de los mecanismos de despliegue mediante ensayos ambientales de vibración y de ciclado térmico en vacío (campaña de ensayos realizada en el LIE-CETT de la CONAE).
- Varios modelos de Módulos Radiantes para calificar el diseño mecánico y funcional mediante ensayos ambientales de vibración y ciclado térmico en vacío (campaña de ensayos realizada en la CNEA y en el LIE-CETT de la CONAE).
- Dos modelos térmicos (medio panel y un panel completo de la antena), que se emplearon para

verificar los modelos matemáticos que definen el sistema de control térmico de la antena mediante ensayos en cámara de termovacío y en un simulador solar, también en condición de vacío (campañas de ensayo realizadas por la CONAE en el LIE-CETT y en la ESA, Alemania).

- Un panel estructural para el denominado Modelo de Ingeniería de la Antena SAR destinado a la calificación funcional del Instrumento SAR (campañas de ensayo realizadas por la CONAE en INVAP S.E.).



Figura 20. Ensayos de calificación del Modelo Estructural

Una vez completada la fase de calificación con la verificación experimental de todos los parámetros del diseño, se inició la fabricación de las antenas para los modelos de vuelo del satélite cuya integración se realizará en las instalaciones de la CONAE. Actualmente la CNEA se encuentra completando la entrega de las últimas partes correspondientes al primer modelo de vuelo de la antena, debiéndose considerar que la provisión prevista hasta el presente comprende para los dos modelos de vuelo los siguientes componentes:

- 14 Paneles Estructurales completamente integrados
- 2 Estructuras de Interfaz con la Plataforma de Servicio del satélite
- 24 Mecanismos de Retención-Liberación
- 24 Mecanismos de Bisagras
- 24 Mecanismos de Traba
- 36 Dispositivos de Guía de Cables entre paneles y Placas de conexión
- 300 Módulos Radiantes

6.- CONCLUSIONES

El Proyecto Antena Radar de Apertura Sintética significó incorporar a la CNEA la capacidad para el

desarrollo, diseño, calificación y fabricación de sistemas y componentes para su empleo en satélites, siguiendo los lineamientos establecidos por la normativa internacional vigente.

El Proyecto Antena Radar de Apertura Sintética permitió desarrollar en CNEA los procesos de caracterización y manufactura de componentes empleando materiales compuestos avanzados, tecnologías con cada vez mayor aplicación en distintas ramas de la ingeniería, incluyendo el sector nuclear.

La conclusión de la etapa de calificación del Proyecto ha validado el diseño adoptado y los procesos de fabricación e integración desarrollados en la CNEA para la Antena del Instrumento SAR del Proyecto SAOCOM de la CONAE.

Trabajo presentado en la XLIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 21 al 25 de noviembre de 2016.

Vinculación entre la Planificación Estratégica y la Planificación Operativa

APANASIONEK J.; COPPARI N. R.; PARERA M. D. - Gerencia Planificación, Coordinación y Control – Comisión Nacional de Energía Atómica

El Plan Estratégico de la CNEA 2010-2019 (PEI-2010) realizado entre los años 2008/2010 permitió retomar las actividades de planificación estratégica. Para su elaboración se decidió dividir las actividades en Áreas Temáticas. Del trabajo surgieron documentos que contenían la información de base para cada una de ellas.

Posteriormente, en el año 2012, dentro de un proceso de mejora continua, se trabajó con la Oficina Nacional de Presupuesto a los efectos de identificar indicadores de gestión de la Institución. Para llevar a cabo esta tarea, basándose en el esquema de una cadena energética donde se grafican los niveles energéticos desde los recursos hasta la demanda contemplando todas las tecnologías de transformación, se diseñó una representación del Sistema Nuclear Argentino, incluyendo las Áreas Temáticas, Proyectos e Instalaciones de la CNEA, las Empresas Asociadas y Vinculadas, los Centros de Medicina Nuclear y las Empresas Privadas.

Esta representación se basa en las vinculaciones entre las Áreas Temáticas, mostrando la complejidad de la Institución y los aportes que hacen en su conjunto para satisfacer los dos objetivos fundacionales de la CNEA, que son la producción de nucleoelectricidad y las aplicaciones de la energía nuclear a la salud y a la industria. Como parte del proceso también se identificaron los productos generados por la CNEA.

Con la Actualización del PEI-2010, el Plan Estratégico Institucional CNEA 2015-2025, se estableció la vinculación entre Planificación Estratégica y Planificación Operativa, que permite relacionar las Áreas Temáticas con los Proyectos de Inversión que poseen las Gerencias de Área, y/o las Gerencias de primer nivel de apertura.

Los resultados de este trabajo permiten a los tomadores de decisión disponer de información ejecutiva para la priorización de Proyectos de Inversión y sus correspondientes asignaciones presupuestarias para el cumplimiento de los dos Objetivos Institucionales, visualización de los Proyectos de Inversión Innovadores y su estado de maduración, la identificación de las Áreas Temáticas beneficiadas por producto final de cada Proyecto de Inversión y la detección de duplicación de los esfuerzos como las asignaciones de presupuesto, entre otros beneficios asociados.

Connection between Strategic and Operational Planning

CNEA Strategic Plan 2010-2019 (Plan Estratégico Institucional, PEI 2010) was made during the period 2008-2010 and enabled CNEA to resume strategic planning activities. In order to prepare it, the activities were divided in Thematic Areas. A number of documents resulted from this work, which had basic information about each of them.

Later in 2012, CNEA and the Department of Strategic Planning worked jointly with the National Office of Budget in order to identify management indicators from the Institution. In order to undertake this task, based on the structure of an energy chain where energy levels are presented in a chart—from resources to the demand by taking into account all of the transformation technologies, a representation of the Argentine Nuclear System has been designed, including Thematic Areas, CNEA Projects and Facilities, Associates and Related Companies, Medicine Centers and Private companies.

This is based on connections among thematic areas which show the intricacy of the Institution and contributions towards meeting the main objectives of CNEA—nuclear power generation and applications of nuclear energy to health and industry. During the process, the products generated by CNEA were identified.

Thanks to the update of the PEI-2010, CNEA Strategic Plan 2015-2025, the connection between Strategic and Operational Planning was established, which enables the relation among the Thematic Areas with investment projects included in the Departments and/or Sections.

The results of this work give decision-maker executory information for the prioritization of investment projects and its budgetary assignments for fulfilling two institutional objectives—visualization of innovative investment projects and its level of maturity—the identification of thematic areas benefitted by the final product of each investment project and detection of the duplication of efforts such as budgetary assignments, among other associated benefits.

1. Introducción

En la CNEA, el desarrollo de los conocimientos científicos y tecnológicos en sus áreas de incumbencia, los logros obtenidos y la superación de obstáculos que se fueron presentando en cada momento histórico por los que ha transitado la Institución, le han permitido trascender en el tiempo y han sido sus características más relevantes.

Esto le ha permitido dar respuestas de alto contenido tecnológico e innovativo a la sociedad y a empresas productoras de bienes y servicios, específicamente en el área nuclear como así también en otras áreas relacionadas.

El Plan Estratégico de CNEA 2010-2019 (PEI-2010) realizado entre los años 2008-2010 permitió retomar las actividades de planificación estratégica. Para su elaboración se decidió dividir las actividades en Áreas Temáticas. Como resultado del trabajo, surgieron documentos para cada una de ellas que contenían la información de base. En total había 26 Áreas Temáticas, de las cuales 15 de ellas desarrollan actividades matricialmente y se dedican a actividades que pueden agruparse en Gestión, Servicios y Capacitación:

- Seguridad Nuclear, Protección Radiológica, Protección Física y Salvaguardias
- Gestión Ambiental
- Gestión de la Calidad
- Planificación
- Recursos Humanos
- Administración y Finanzas
- Comunicación Institucional
- Relaciones Institucionales Nacionales e Internacionales, y Mecanismos de Vinculación
- Asistencia y Transferencia Tecnológica
- Institutos Académicos
- Gestión de Recursos y Servicios de Información Científico-Tecnológica
- Infraestructura
- Informática y Comunicaciones
- Asuntos Jurídicos
- Gestión Técnica Administrativa

Mientras que las restantes componían el núcleo de investigación y desarrollo (I&D) tradicional dentro del sector nuclear:

- Exploración de Materias Primas
- Producción de Materias Primas
- Restitución Ambiental de la Minería del Uranio
- Combustibles Nucleares
- Enriquecimiento de Uranio
- Reactores Experimentales y de Producción de Radioisótopos

- Reactores de Potencia
- Aplicaciones de la Tecnología Nuclear a la Salud, la Industria y el Agro
- Investigación y Desarrollo en Física, Química, Materiales y Ensayos No Destructivos, y en Robótica
- Residuos Radiactivos y Combustibles Gastados
- Desmantelamiento

Los ejes alrededor de los cuales se trabajó en el plan fueron:

- Contribuir tecnológicamente a la generación eléctrica a través de la energía nuclear.
- Asegurar las reservas y provisión de uranio para las centrales nucleares argentinas.
- Contribuir a la salud de la población mediante las aplicaciones de la energía nuclear, en particular con la producción de radioisótopos y centros de medicina nuclear de vanguardia.
- Consolidar a la Argentina como país proveedor de reactores de investigación y producción de radioisótopos y de sus combustibles.
- Lograr que la Argentina ingrese al grupo de países diseñadores de centrales nucleares de potencia, mediante la construcción y operación de la Central Nuclear CAREM 25.
- Afianzar el dominio tecnológico de todas las etapas del ciclo de combustible, comenzando por el enriquecimiento de uranio, reactivando el proyecto de obtención por difusión gaseosa y desarrollando otras tecnologías.
- Reafirmar el desarrollo y provisión nacional de los elementos combustibles para los reactores argentinos.
- Continuar con el cumplimiento del Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos y la remediación de los pasivos ambientales de la CNEA.
- Fortalecer el compromiso de la Institución y su personal con la seguridad y el ambiente.
- Fortalecer las líneas de investigación y desarrollo que contribuyan a sustentar las actividades nucleares.
- Preservar y repotenciar el capital intelectual de la Institución.

1. Sistema Nuclear Argentino

Todas las actividades se desarrollan dentro del marco de los usos pacíficos de la energía nuclear, en forma planificada, siguiendo los lineamientos fijados por las políticas de calidad y ambiente de la Institución, de acuerdo a las normativas de seguridad y protección radiológica fijadas por la Autoridad Regulatoria Nuclear y cumpliendo con toda la legislación vigente y con los compromisos internacionales asumidos por el país.

Si se siguen con atención, es decir con un interés específico, las actividades de la CNEA, vemos que tiene una gran diversidad de tareas y que el público en general no siempre tiene una idea clara del vínculo que hay entre la investigación y desarrollo y los productos que se obtienen con el fin de cumplir los Ejes del PEI-2010. Así, cada persona tiene una idea basada según su formación en preconceptos que suelen diferir bastante de la realidad.

Para la elaboración del PEI, se realizó un diagnóstico inicial que contempló la situación interna y externa, la identificación de actores y variables claves, los recursos presupuestarios y de capital intelectual, y un análisis FODA para definir líneas estratégicas para la eficiencia de la gestión institucional. El trabajo incluyó la definición de la misión, visión, objetivos estratégicos/generales y específicos/particulares con sus correspondientes metas, con sus respectivos cronogramas y los presupuestos asociados, para llevar adelante cada uno de los objetivos. Con toda ésta información se elaboraron documentos individuales para cada área temática y se trabajó en la definición de indicadores de gestión.

Posteriormente, en el año 2012, dentro de un proceso de mejora continua, se trabajó con la Oficina Nacional de Presupuesto (ONP) a los efectos de identificar indicadores de gestión de la Institución. De dicho trabajo surgió el inconveniente planteado

precedentemente, donde la ONP identificó que el mejor indicador era aquel que estuviera referenciado a la electricidad generada por las centrales nucleares.

Así surgió la necesidad de que sectores externos a la Institución se interiorizaran del PEI y de las múltiples y distintas actividades que se desarrollaban en la CNEA. Si bien esto fue un paliativo, no fue suficiente, ya que no lograban entender cómo se vinculaban las Áreas Temáticas entre ellas. Para lograr explicar la complejidad de las diversas actividades que se desarrollan en esta Institución, surgió la necesidad de que la Subgerencia de Planificación Estratégica realizara un Esquema de Vinculación entre dichas Áreas Temáticas, como así también el contexto que vincula las empresas y organismos del sector nuclear argentino.

Para llevar a cabo esta tarea fue necesario basarse en la experiencia en Prospectiva Nuclear y Planificación Energética y en el esquema utilizado por el Modelo MESSAGE auspiciado por el OIEA de una cadena energética, donde se grafican los niveles energéticos desde los recursos hasta la demanda, contemplando todas las formas de energía de cada nivel, las tecnologías de transformación y la vinculación entre ellas. Tal como se muestra en la Figura 1 a modo de ejemplo, el objetivo es encontrar el mínimo costo del sistema sujeto a restricciones para satisfacer la demanda.

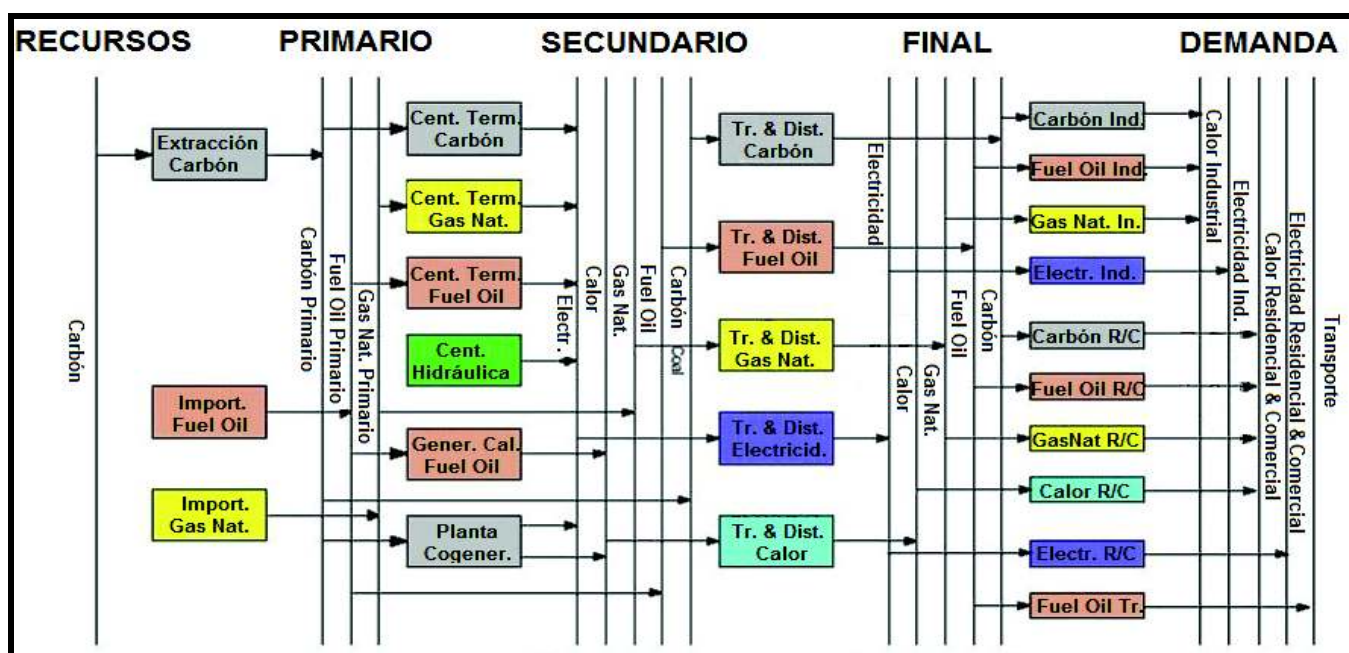


Figura 1: Esquema simplificado de una cadena energética

Tomando estos conceptos y por analogía, se diseñó así un esquema que representara el Sistema Nuclear Argentino, incluyendo a todos los actores. Esta representación se basa en las vinculaciones entre las Áreas Temáticas, Proyectos e Instalaciones relevantes, mostrando la complejidad de la Institución y los aportes que hacen cada una de ellas y en su conjunto para satisfacer los dos objetivos fundacionales de la CNEA establecidos en el año 1950. Estos objetivos son la producción de nucleoelectricidad y las aplicaciones de la energía nuclear a la salud y a la industria. Como parte del proceso también se identificaron los productos generados por la CNEA.

El esquema se dividió en cinco bloques:

- Áreas temáticas, Proyectos e Instalaciones.
- Empresas Asociadas y Vinculadas
- Centros de Medicina
- Empresas Privadas
- Productos y Objetivos

Con respecto al primer bloque, se dividió en tres sectores, el primero con aquellas Áreas Temáticas que trabajan matricialmente, el segundo con aquellas que están vinculadas al “Front End” y “Back End” del ciclo de combustible nuclear y el último, por los Proyectos y las Instalaciones relevantes.

Cada una de las Áreas Temáticas está representada por un rectángulo, y se relacionan entre sí por flechas que representan “inputs” y “outputs”. Las líneas punteadas representan vinculaciones a futuro, identificadas ya sea por reemplazo de importaciones o por nuevos proyectos.

Un área puede prestar servicios para que otra realice el desarrollo. Así se establece un diagrama de flujo donde se identifican los servicios, la asistencia tecnológica, la gestión, las aplicaciones tecnológicas y la investigación y desarrollo (I&D).

A modo de ejemplo se puede citar a Exploración de Materias Primas que recibe “inputs” del Área Temática Química relacionados con Análisis Químicos de muestras geológicas de minerales y se nutre de la I&D en Química y de los Servicios y Asistencia Tecnológica que esa Área presta. A su vez, Exploración de Materias Primas tiene tres “outputs” asociados con respecto a los análisis que le solicitará a Química, a su propia I&D y a la identificación de los Recursos Razonablemente Asegurados, cuya información será el “input” del Área Temática Producción de Materias Primas.

De esta manera, repitiendo el análisis se vinculan las restantes Áreas Temáticas. Existen dos caminos troncales, uno vinculado a la generación de electricidad a través de los Reactores de Potencia y otro a las Aplicaciones Tecnológicas a la Salud, Industria y Agro con los Reactores Experimentales y de Producción de Radioisótopos (REP's).

En cuanto a las instalaciones actuales y futuras se

identificaron los REP's 0, 1, 3, 4, 6 y 8, el RA-10, la Planta de Fisión, el Ciclotrón, la Planta de Producción de Radioisótopos, la Planta Industrial de Elementos Combustibles para Reactores de Investigación (PIECRI), el CAREM 25 y el CAREM Formosa.

Otro ejemplo es el “output” de la I&D del CAREM 25, que representa un “input” para el CAREM Formosa, teniendo ambas como fin la generación de electricidad.

De manera similar, el RA-10 se nutre de la I&D de las Áreas de Reactores Experimentales de Producción de Radioisótopos, del Área de Combustibles Nucleares y de la gestión del Área de Residuos Radiactivos y Combustibles Gastados, y a futuro de la Gestión del Área de Desmantelamiento.

Así, este conjunto que representa el primer bloque, tiene una “Vinculación Tecnológica” con las Empresas Asociadas y Vinculadas: NA-SA, DIOXITEK, CONUAR, FAE, ENSI e INVAP.

También hay una “Vinculación con los Centros de Salud” a través de los Centros de Medicina, entre los que se incluyeron el Hospital de Clínicas, el Hospital Roffo y la FUESMEN.

Mientras que la “Vinculación con Empresas” se realiza con las Empresas Privadas y se incluyeron las Nacionales de Calidad Nuclear, las que comercializan radioisótopos BACON y Tecnonuclear, los Privados que manejan radioisótopos y las Empresas u Organismos que manejan fuentes radiactivas.

Estas ideas puestas en orden y coordinadas permitieron identificar los siguientes productos:

- Reservas de uranio
- Superficie Recuperada para la Sociedad-PRAMU
- Ahorro de divisas
- Generación del Conocimiento
- Combustibles REP's a exportar
- Desarrollo de Proveedores de Calidad Nuclear
- Placas de uranio para exportar
- Exportación de Instalaciones Nucleares Llave en Mano
- Posicionamiento estratégico regional e internacional
- Fuentes Selladas de Co⁶⁰ a exportar
- Radioisótopos a exportar
- Radioisótopos (Itrio) CNEA
- Dosis Puestas en el Sistema de Salud
- Pacientes - Aplicaciones Tecnológicas a la Salud
- Radiofármacos para uso social (Algunos Hospitales Nacionales)
- Radiofármacos para uso social (Hospitales Privados y Estatales)
- Aumento del Capital Intelectual del País
- Electricidad - Centrales Nucleares – NA-SA

En la Figura 2 se muestra la representación de todo el Sistema Nuclear Argentino y su Vinculación.

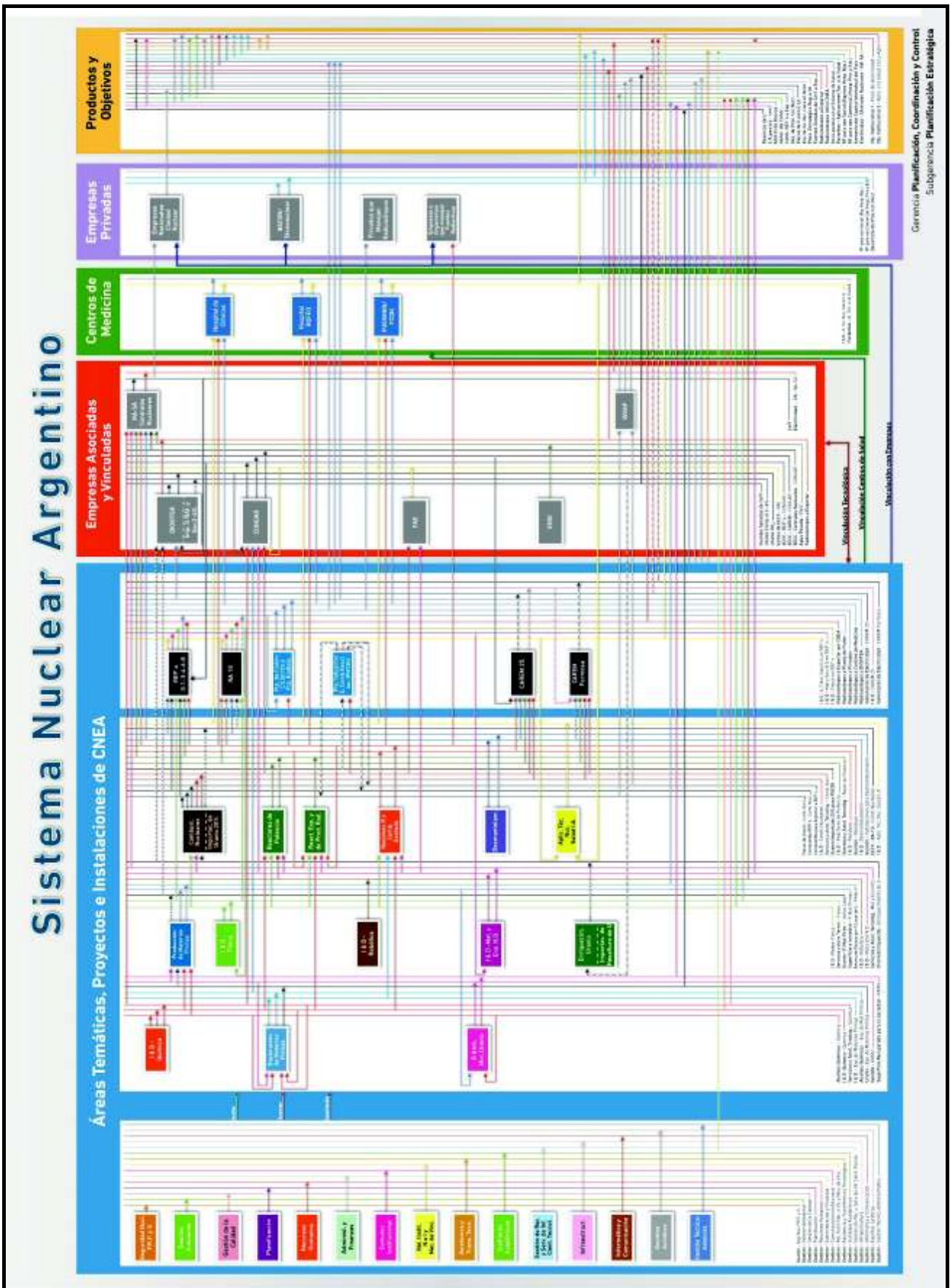


Figura 2: Esquema del Sistema Nuclear Argentino

Vinculación entre Planificación Estratégica y Operativa

Entre las actividades de Planificación Operativa se encuentra el seguimiento de los Banco de Proyectos de Inversión (BAPIN), y extiende en el año 2016 una cartera con 78 proyectos.

La actualización del PEI 2010-2019 derivó en el PEI 2015-2025, donde se identificaron logros, se agregaron los grandes proyectos y se modificaron y actualizaron las Áreas Temáticas.

La vinculación entre Planificación Estratégica y Planificación Operativa permite relacionar las Áreas Temáticas del PEI 2015-2025 vigente con los Proyectos de Inversión en curso, que poseen las Gerencias de Área, y/o las Gerencias de primer nivel de apertura.

Desde la Gerencia Planificación Coordinación y Control (GPCC) se trabajó en la vinculación de cada BAPIN con el PEI 2015-2025, identificando así la relación existente entre los proyectos, las Áreas Temáticas y el presupuesto, a los efectos de facilitar el análisis y la toma de decisiones.

La información generada entre estas dos subgerencias (Planificación Estratégica y Planificación Operativa) pertenecientes a la GPCC, es resumida en forma esquemática y se toma como modelo el esquema del “Sistema Nuclear Argentino”, para que sus resultados sean analizados en su conjunto por los tomadores de decisión, permitiendo así realizar:

- Representación gráfica esquemática a nivel ejecutivo
- Priorización de Proyectos de Inversión
- Cuantificar el aporte de los Proyectos de Inversión al cumplimiento de los dos Objetivos Institucionales
- Visualización de los Proyectos de Inversión Innovativos y su estado de maduración, basándose en un marco común
- Ofrecer una rápida respuesta frente a auditorías
- Análisis a nivel Macro en la Institución
- Análisis a nivel Micro en las Gerencias de Área y las Gerencias de primer nivel de apertura
- Identificación rápida de proyectos asignados por Gerencia de Área y/o Gerencias de primer nivel de apertura y su vinculación con el PEI 2015-2025 en cuanto a Objetivos estratégicos y Generales
- Identificación del producto final de cada Proyecto de Inversión
- Identificación de las Áreas Temáticas beneficiadas por producto final de cada Proyecto de Inversión
- Detección de duplicación de los esfuerzos como las asignaciones de presupuesto

- Comunicación en distintos niveles, internos y externos

Mediante esquemas simples basados en la representación del “Sistema Nuclear Argentino”, se concentra la información relevante en un Mapa de Integración de los Proyectos de Inversión al PEI 2015-2025, para ser brindada a las autoridades.

Se están realizando Mapas de Integración para cada una de las Gerencias de Área y/o Gerencias de primer nivel de apertura. Estos contienen los montos presupuestarios totales, ejecutados y faltantes, fechas de inicio y finalización y de los estados de avance porcentual tanto físicos como económicos de todos los Proyectos de Inversión en curso que poseen dichas Gerencias. De manera tal que las autoridades podrán priorizar las asignaciones presupuestarias.

Cada Mapa indica en montos y en porcentajes relativos del total presupuestario cuánto es destinado a cada uno de los objetivos fundacionales, correspondientes a la generación de electricidad y a las aplicaciones tecnológicas de la energía nuclear a la salud, industria y agro. Permite destacar cuales son los proyectos que cuyo producto es considerado innovativo sobre los demás, sometiendo todos los proyectos a una “Escala de Medida de Madurez Tecnológica”. Además, en él es posible visualizar cuáles son las Áreas Temáticas a las que pertenecen dichos Proyectos Innovativos.

La información de cada Mapa será actualizada trimestralmente en forma continua, de manera tal que, frente a requerimientos externos, esté siempre disponible.

El esquema permite identificar a la Gerencia de Área y/o las Gerencias de primer nivel de apertura, el número de proyectos encarados, los recursos económicos totales asignados a lo largo del tiempo, así como también lo ejecutado a la fecha, para ser comparado con el monto total que se le asigna a la CNEA.

Además, vincula los Objetivos Estratégicos y/o Generales de las distintas Áreas Temáticas pertenecientes a la Gerencia de Área y/o a las Gerencias de primer nivel de apertura con sus respectivos Proyectos de Inversión en curso, lo que permitirá el establecimiento de prioridades internas y de estados de avance. A la vez revela aquellas Áreas que no poseen Proyectos de Inversión asociados. Por otra parte, sirve como instrumento para detectar cuáles de ellos retroalimentan el Área Temática.

Esto contribuirá al análisis previo a la toma de decisión, del cierre de los proyectos de larga data de inicio que han tenido pequeños porcentajes de avances en plazos muy prolongados de tiempo, o que bien han perdido vigencia, entre otras consideraciones.

Cabe destacar que en la definición del nivel de importancia de los Proyectos de Inversión no sólo entra en juego el monto presupuestario que se necesitará, sino también los beneficiarios de dicha obra.

El Mapa de Integración constituye una herramienta importante para que el “cliente” -quien va a obtener los beneficios del proyecto- analice y se muestre de acuerdo o en disconformidad con el producto y su proceso.

Al disponer de todos los Mapas de Integración, es posible detectar la duplicación de los esfuerzos como las asignaciones de presupuesto. A nivel de economía de trabajo, sirve para detectar proyectos similares.

Es a su vez un método eficiente de comunicación para que, tanto las Gerencias de Área, como las Gerencias de primer nivel de apertura, brinden información para que otras Gerencias a las que pertenecen las Áreas Temáticas beneficiarias, conozcan los productos de sus Proyectos de Inversión.

Cada responsable de Área debería identificar cuáles son sus Productos Innovativos. A los efectos de fijar un marco de análisis común para la Institución y decidir qué Proyectos o Productos serían Innovativos, se establecen dos conceptos, que son:

- Definición de Innovar
- Escala de Medida de Madurez Tecnológica

La Innovación requiere el cumplimiento de cuatro factores en forma simultánea para que la “Idea” sea exitosa: ^{(1) (2)}

- Grado de novedad: Qué tan novedosa es la “Idea”
- Desarrollo: Qué grado de desarrollo tiene la “Idea”
- Nivel de impacto: Cuál es el nivel de impacto de la “Idea”
- Viabilidad comercial: Cuán competitiva es la “Idea” en un mercado competitivo

En los mencionados cuatro factores, el decisor (juicio experto en el área) analizará y puntuará cada una de las ideas o proyectos a los efectos de nivelar y estandarizar las evaluaciones. Para ello, se realizará un instructivo dentro de la Guía 1: “Guía para la presentación de idea de Proyecto de Inversión” y la Guía 2: “Guía general de presentación de Proyectos de Inversión”, para las cuales se realizará la revisión 01 correspondiente en el año 2017.

La Escala de Medida de Madurez Tecnológica establece una variación de 1 a 9 donde el valor más alto corresponde al mayor grado de madurez y se expresa en escala TRL (*Technology Readiness Level*) (Estados Unidos):

- TRL 9. Sistema final probado en entorno operacional
- TRL 8. Sistema completo y cualificado
- TRL 7. Demostración de prototipo de entorno operacional
- TRL 6. Tecnología demostrada en entorno relevante
- TRL 5. Tecnología validada en entorno relevante
- TRL 4. Tecnología validada en laboratorio
- TRL 3. Prueba de concepto experimental
- TRL 2. Concepto tecnológico formulado
- TRL 1. Principios básicos observados

La Vinculación entre la Planificación Estratégica y la Planificación Operativa está siendo realizada para las gerencias que a continuación se detallan:

- Gerencia de Área Energía Nuclear
- Gerencia de Área Aplicaciones de la Tecnología Nuclear
- Gerencia de Área Seguridad Nuclear y Ambiente
- Gerencia de Área Investigación y Aplicaciones No Nucleares
- Gerencia de Área CAREM
- Gerencia Ciclo de Combustible Nuclear
- Gerencias de Exploración y de Producción de Materias Primas
- Gerencia de Tecnología de la Información y de las Comunicaciones

Se presenta en la Figura 3 un esquema a modo de ejemplo correspondiente a la Gerencia de Área Seguridad Nuclear y Ambiente.

¹ Usuarios: NASA, DOE y DOD. Actualmente se usa en las Universidades de EE.UU., en la Comisión de Energía Atómica de Francia y en la Unión Europea en los proyectos de Programa.

² Estos cuatro criterios se utilizaron en el Programa Innovar para evaluar las propuestas presentadas.

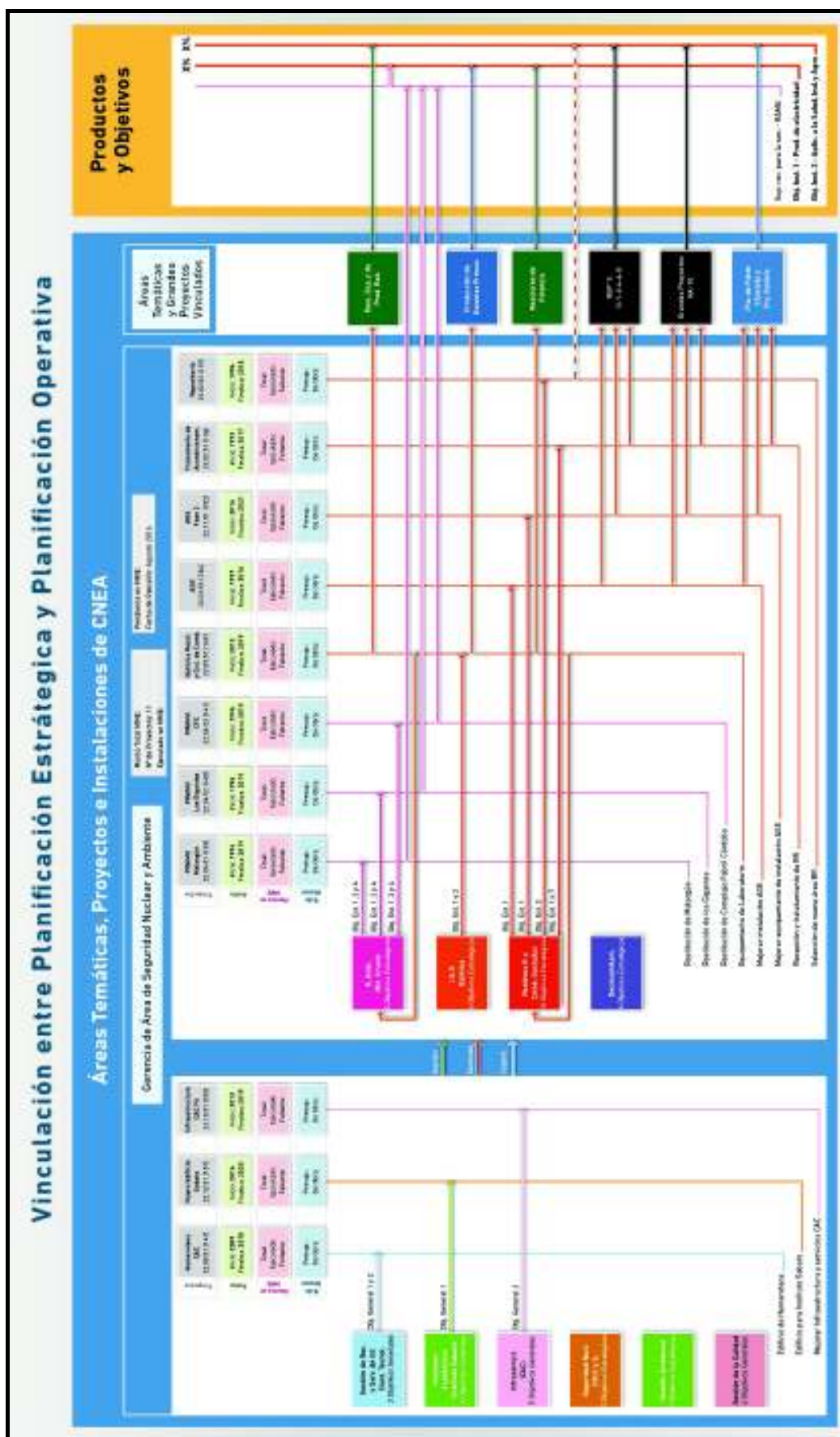


Figura 3: Vinculación entre Planificación Estratégica y Operativa

A continuación, en la Figura 4, se muestra una

ampliación del esquema anterior para un Área Temática en particular.

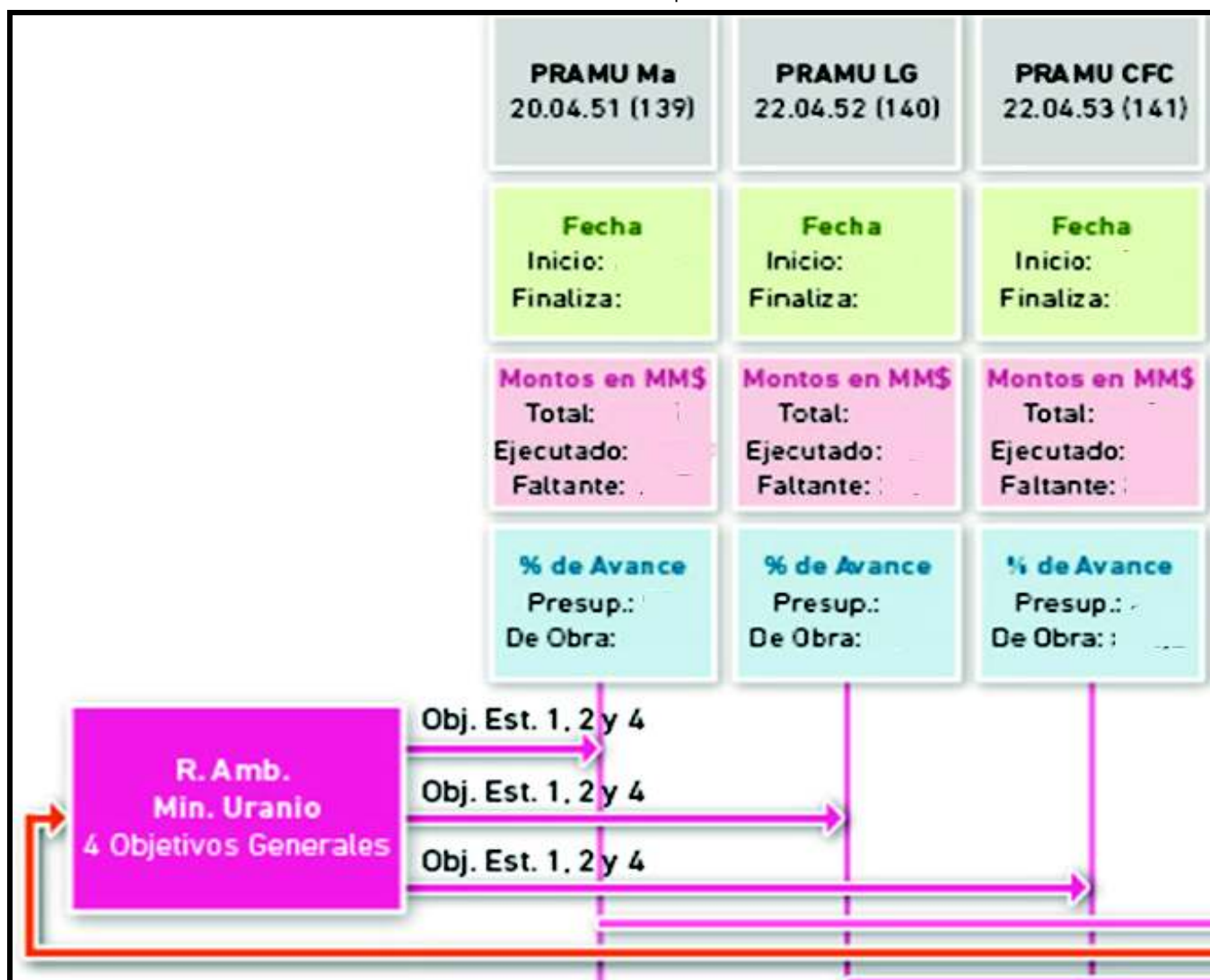


Figura 4: Ejemplo de un Área Temática vinculada

En el ejemplo presentado se observan las variables económicas fundamentales que describen un proyecto, a qué Gerencia y a qué Área Temática pertenecen, la relación entre los proyectos y los objetivos del PEI y la contribución a cada Objetivo fundacional. Dado que es información dinámica, el análisis de situación debe realizarse periódicamente, cada tres meses.

4. Comentarios Finales

La información así esquematizada es completa y los resultados de este trabajo permiten a los tomadores de decisión disponer de información ejecutiva para la priorización de Proyectos de Inversión y sus correspondientes asignaciones presupuestarias.

Esto se realiza para el cumplimiento de los dos Objetivos fundacionales, visualización de los Proyectos de Inversión Innovativos y su estado de maduración, la

identificación de las Áreas Temáticas beneficiadas por el producto final de cada BAPIN y la detección de duplicación de los esfuerzos como las asignaciones de presupuesto, entre otros beneficios asociados.

De esta manera se llegó a que el 71,6 % de las asignaciones de los proyectos de Inversión están relacionados con el Objetivo fundacional 1 y el 28,4 % con el Objetivo fundacional 2.

Para continuar con estas actividades, es de interés ampliar este trabajo con la incorporación de la Vinculación de Capital Intelectual a la Planificación Estratégica y a la Planificación Operativa a los efectos de disponer de un sistema integrado de comunicación de la información de GPCC.

Trabajo presentado en la XLIII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, Buenos Aires, 21 al 25 de noviembre de 2016

CNEA ^{AL} DÍA

NOTICIAS INSTITUCIONALES

Comienza a funcionar en Entre Ríos el CEMENER

El Centro de Medicina Nuclear y Molecular de Entre Ríos (CEMENER) que está ubicado en la localidad de Oro Verde, a 10 kilómetros de la ciudad de Paraná, comenzó a funcionar formalmente el lunes 27 de junio, con la atención de los primeros 5 pacientes. En su primera semana de funcionamiento se atendieron 20 pacientes.

Su construcción y puesta en marcha se enmarcó dentro del Plan Federal de Medicina Nuclear y requirió una inversión de 92 millones de pesos para la obra civil y 13 millones de dólares para el equipamiento. El proyecto fue encarado por los gobiernos nacional y provincial; la CNEA aportó la aparatología y el Instituto de Obra Social de Entre Ríos (IOSPER) se encargó de la realización de la obra civil.

Con la incorporación del CEMENER, son 5 los centros de diagnóstico y tratamiento de enfermedades oncológicas del sistema de salud pública con los que se apunta a facilitar el acceso de la comunidad a los servicios de diagnóstico, terapia, asistencia, investigación y docencia mediante el uso de tecnologías nucleares de alta complejidad aplicadas a la salud. Además de los servicios de diagnóstico y tratamiento de enfermedades oncológicas, neurológicas y endocrinológicas, el CEMENER tiene un área exclusiva dedicada al trabajo de investigación y docencia que tiene como fin la formación de recursos humanos en la región.

Estudios ambientales en el yacimiento uranífero Cerro Solo

Cumpliendo con la Política Ambiental de la CNEA, se presentaron los resultados de los estudios de flora, fauna y suelo realizados en el Yacimiento ubicado en la meseta central de la provincia del Chubut.

Estos estudios forman parte de la Línea de Base Socio Ambiental del Yacimiento Cerro Solo y fueron iniciados en el año 2009 en el marco de los Trabajos de Prefactibilidad para el desarrollo de un proyecto productivo de uranio en la citada meseta chubutense. En ese contexto, la CNEA realizó ante el Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable provincial la presentación de los resultados de estos estudios, que abarcan las disciplinas Ecología Terrestre y Edafología. Los estudios dan cumplimiento a lo dispuesto por el Decreto 185/09 - Anexo VII del citado Ministerio provincial y a la Política Ambiental de la CNEA, y permiten obtener datos de variables susceptibles de ser monitoreadas en el tiempo, lo que aporta antecedentes fundamentales para el desarrollo de la actividad minera extractiva sustentable. Además, aportan a los distintos organismos de los estados provincial y nacional y a la comunidad científica, datos relevantes en estas disciplinas para esa meseta.

Premian a investigadora del CAB

La doctora en ingeniería Fabiana Gennari – quien se desempeña en el Departamento Físicoquímica de Materiales de la Gerencia de Área de Aplicaciones de la Tecnología Nuclear en el Centro Atómico Bariloche – fue reconocida con el Premio Nacional L'Oréal-Unesco “Por las Mujeres en la Ciencia”, que cada año se entrega con el fin de promover la participación de las mujeres en el ámbito científico. Siendo premiada por liderar el proyecto “*Producción y almacenamiento de energía limpia de manera sustentable*”, con el objetivo de desarrollar energías alternativas de la mano de la nanotecnología.

Desde el año 2000, la investigadora y su equipo trabajan en un proyecto de producción de hidrógeno para generación de energía a partir de una mezcla etanol-agua y su almacenamiento, que involucra el diseño y desarrollo de materiales nano-estructurados para su aplicación en la producción de energía limpia y el cuidado del medioambiente. Este proyecto incluye el desarrollo de catalizadores basados en CeO₂ para la producción de hidrógeno y la conversión de CO₂, matrices sólidas consistentes en hidruros complejos para el almacenamiento y purificación de hidrógeno en aplicaciones móviles o estacionarias, como también óxidos mixtos para la captura selectiva de CO₂ presente en efluentes gaseosos industriales.

Avanzan las obras de la Nueva Planta Procesadora de Dióxido de Uranio

Las obras de la Nueva Planta Procesadora de Dióxido de Uranio (NPUO2) de la empresa asociada Dioxitek S.A. que se está construyendo en la provincia de Formosa avanzan a paso firme. Este proyecto implica el diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de una planta industrial que contará con la tecnología más avanzada que existe actualmente a nivel mundial para este tipo de instalaciones.

La nueva planta de Dioxitek tendrá capacidad para producir 460 toneladas de dióxido de uranio por año, lo que significa triplicar el actual nivel de producción con el que se cuenta. El Proyecto fue concebido respetando una rigurosa política ambiental a través del cumplimiento de los estándares nacionales e internacionales en la materia.

CNEA en la *World Nuclear Exhibition*

Una delegación de la CNEA, encabezada por su Presidenta, Lic. Norma Boero, participó en la segunda edición de la *World Nuclear Exhibition (WNE)*, iniciativa propiciada por la Asociación Francesa de Industriales Exportadores Nucleares (AIFEN), que tuvo lugar en París. La WNE es la mayor exhibición nuclear francesa. Participan en ella representantes de las principales compañías y organismos de ese país y de empresas e instituciones extranjeras de la industria nuclear. Dada la trayectoria y relevancia de la Argentina en el campo de los usos pacíficos de la energía nuclear, nuestro país fue invitado –por segunda vez– a participar en las actividades contempladas dentro del pabellón internacional.

El evento contó con un espacio argentino, el cual fue muy visitado y suscitó un profundo interés de la comunidad internacional nuclear. En ese espacio se dio cuenta de las principales iniciativas y proyectos que comprenden el Plan Nuclear Argentino. En este sentido, el “stand” oficial de nuestro país se destacó por la alta representatividad de organismos y empresas que conforman al sector, dando lugar a la participación de la CNEA conjuntamente con las empresas INVAP S.E., Nucleoeléctrica Argentina S.A., Combustibles Nucleares Argentinos S.A. y la Asociación de Industriales Metalúrgicos de la República Argentina. La CNEA también participó en las actividades del programa oficial de la Feria, particularmente en uno de los paneles de cierre del evento bajo el título “Desarrollo de la Energía Nuclear: una necesidad para el cambio climático, una oportunidad para la cooperación internacional”. Durante el mismo, la Presidenta de la CNEA expuso junto a importantes referentes de empresas internacionales. Nuestro país también formó parte del jurado que otorgó los premios a la innovación tecnológica en materia nuclear.

Experimentos virtuales en el reactor de investigación RA-6

El reactor de investigación RA-6, ubicado en el Centro Atómico Bariloche, comenzó a funcionar como nodo del proyecto “*Internet Reactor Laboratory*” impulsado por Organismo Internacional de Energía Atómica para capacitar a estudiantes de toda América Latina. En el marco de ese proyecto se realizó la primera transmisión de experiencias y experimentos virtuales. La actividad fue transmitida en forma remota para alumnos de universidades de Latinoamérica con el objetivo de facilitar el acceso a experimentos virtuales a estudiantes de otras instituciones de la región que no cuentan con estas complejas tecnologías.

A lo largo del año participaron de la actividad alumnos del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de Cuba, de la Universidad Nacional de Colombia y de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador.

En esta primera experiencia, profesionales de la CNEA coordinaron la práctica “Instrumentación Nuclear” que realizan 7 alumnos de la Escuela Politécnica Nacional de Quito (Ecuador), asistidos por una profesora que se desempeñó como instructora remota. En total, se realizan 6 prácticas durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. De esta manera, se busca maximizar la enseñanza académica de la energía nuclear y la física, contribuyendo a la capacitación y el entrenamiento de ingenieros y operadores nucleares de América Latina.

El RA-6 fue inaugurado en 1982 con el fin de satisfacer las necesidades de formación de la carrera de Ingeniería Nuclear del Instituto Balseiro y completar el desarrollo argentino de este tipo de reactores nucleares. Desde entonces, ha funcionado como unidad docente formado a centenares de profesionales argentinos y extranjeros en sus carreras de físicos, ingenieros, radioquímicos nucleares, reactoristas y expertos en materiales.

CNEA concluye la remediación del ex-Complejo Fabril Malargüe

Tras varios años de gestión se ha concretó el proceso de encapsulamiento de las colas de uranio residuales de la explotación de las minas Huemul y Sierra Pintada, depositadas en el ex-Complejo Fabril Malargüe, a escasas cuadras del centro de esa ciudad mendocina.

La CNEA fue la encargada de llevar a cabo el plan de remediación del sitio mediante un proceso de ingeniería denominado "encapsulado" que consistió en la disposición segura y definitiva de las colas del mineral para así evitar su dispersión e interacción con el ambiente y las personas.

Cabe recordar que durante los años 1954 y 1986 se procesaron más de 752 mil toneladas de minerales en dicho ex Complejo Fabril provenientes de las referidas minas. Como resultado de ello se produjeron las denominadas colas de mineral, que quedaron en el sitio y que, aunque poseen una baja cantidad de uranio, resulta necesario aislarlas definitivamente. Durante ese tiempo se generó electricidad suficiente para abastecer durante 15 años a una ciudad del tamaño de Mendoza y permitió ahorrar al país 300 millones de dólares. Fue la primera planta de estas características en la Argentina. Su producción fue en forma de pasta llamada "torta amarilla", materia prima para el combustible usado en los reactores de potencia e investigación.

El encapsulado de las colas se realizó con materiales provenientes de la zona. Primeramente, se compactó el piso natural que fue luego tapado con una capa de grava, una de suelo arenoso y otra capa de arcilla compactada. Las colas del mineral se asientan sobre esa capa, se neutralizan con cal y se compactan. Luego se recubrió con una cubierta multicapa para finalmente construir un enrocado que permite aislarlas totalmente del ambiente. Esta obra de ingeniería garantiza sequedad, estanqueidad y resistencia estructural a largo plazo, resistiendo a factores externos como nevadas, vientos, lluvias, terremotos, inundaciones o intrusión de raíces arbustivas o animales cavadores.

De acuerdo a la planificación urbana del Municipio de Malargüe, el lugar será parqueizado y tendrá monitoreo ambiental realizado por la CNEA y supervisado por la Autoridad Regulatoria Nuclear.

Entrega de personería jurídica a fundación que gestionará el Centro Integral de Medicina Nuclear y Radioterapia de Bariloche

El Gobernador de Río Negro, Alberto Weretilneck, recorrió junto al Presidente de la CNEA, Lic. Osvaldo Calzzeta Larrieu, el Centro Integral de Medicina Nuclear y Radioterapia en construcción en el predio del Centro Atómico Bariloche, entregando allí la personería jurídica a la Fundación Instituto de Tecnologías Nucleares para la Salud, organismo que gestionará operativamente a ese Centro. El Centro estará dedicado a la investigación en medicina nuclear y radioterapia, la producción de radioisótopos y radiofármacos, la atención médica a pacientes y la formación de especialistas en física médica, medicina nuclear y radioterapia. Contará con tres plantas, con "bunkers" de radioterapia y para el ciclotrón, laboratorios, consultorios, área de recepción, servicios, administración, sectores académicos y de investigación. Estará equipado con ciclotrón, laboratorio de radiofarmacia, equipo de braquiterapia, acelerador lineal y tomógrafos PET-CT y SPECT/CT, equipamiento considerado como de los más avanzados.

Científicos de la CNEA ganan el Gran Premio INNOVAR 2016

Los investigadores Paolo Catalano y Martín Bellino, del Departamento de Micro y Nanotecnología del Instituto de Nanociencia y Nanotecnología de la CNEA fueron premiados con el Gran premio INNOVAR 2016 y el premio INNOVAR 2016 en la categoría de Investigación Aplicada. Los científicos recibieron este galardón –que cada año entrega el Ministerio de Ciencia y Tecnología e Innovación Productiva de la Nación– por el desarrollo del proyecto Nano-Bact, un recubrimiento nanoporoso con efecto antibacteriano de larga duración, trabajo que realizaron en conjunto con investigadores de las universidades nacionales de Buenos Aires y de San Martín.

Además de presentar un alto efecto antibacteriano, este recubrimiento es transparente y no modifica ópticamente las superficies sobre las que se aplica. Se basa en una película mesoporosa de óxidos inorgánicos en la que se adsorben iones plata. Sus principales ventajas son su capacidad de reducir el número de bacterias no deseables en más del 99,9%, su alta durabilidad, su no toxicidad, su bajo costo, su fácil aplicación y su transparencia.

Sus posibles usos van desde los hogares hasta centros de salud y otros lugares donde sea necesaria la limpieza microbiológica. Los recubrimientos podrían aplicarse a superficies metálicas tales como grifos y picaportes, utensilios de cocina o equipamiento médico e instrumentos, superficies cerámicas y superficies de vidrio. Todas estas ventajas se obtienen sin modificar las propiedades de la superficie tratada.

RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS



HACIA EL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA EN LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA NACIONAL. 1ª Edición

Dr. Daniel M. Pasquevich, compilador
Ciencia y Tecnología, CDD 333.79

Buenos Aires, Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS), 2016,

ISBN: 978-987-1323-45-6

Rústica 24 x 18 cm - 214 pp.

Consumir menos energía produciendo más, o al menos lo mismo, puede parecer una fantasía, pero ya es una realidad. De eso se trata el uso racional y eficiente de la energía (UREE): emplear la energía adecuadamente y contribuir a mejorar la economía nacional, hacer un buen uso de los recursos naturales disponibles y mitigar el cambio climático.

La experiencia internacional revela que es posible evitar el consumo innecesario de hasta aproximadamente un 40 % de energía cuando se dispone de un adecuado marco político energético, y este a su vez se acompaña de procedimientos, normativas, innovaciones tecnológicas, capacitaciones y pautas culturales. Implementarlo en los organismos públicos es parte ineludible de un Estado Nacional moderno y eficiente.

El Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, por iniciativa de su Director, Dr. Daniel Pasquevich ha convocado a varios especialistas que han analizado la situación actual y que a través de su experiencia y conocimiento proponen acciones para promover y facilitar la incorporación de medidas y pautas de eficiencia energética en el sector público.

La obra está dirigida a lectores no especializados interesados en comprender ideas básicas y acciones posibles que puedan aplicarse en el UREE. No requiere de una base de conocimientos específicos. Los temas han sido organizados en capítulos que pueden leerse de manera independiente, y cada uno de ellos representa un aspecto del UREE desde la visión de cada autor. Tiene una sección "índice por autor", que presenta un resumen cronológico de los temas tratados en cada capítulo: definiciones, conceptos, arquitectura bioclimática, uso de media potencia, uso de energía solar, uso del gas, experiencias específicas, etiquetado, capacitación, formulación de proyectos de inversión pública, son algunos de los ellos.

Es un ensayo indispensable para descubrir y reafirmar que la República Argentina dispone de científicos, especialistas, centros de estudios y empresas que bajo el adecuado marco legal y regulatorio hagan posible desarrollar el UREE en el ámbito de la Administración Pública Nacional. Está disponible en formato .pdf en el sitio web: www.cab.cnea.gov.ar/ieds



DEGRADACIÓN DE LOS ACEROS POR EFECTO DEL HIDRÓGENO, 1a Edición

Dr. José Ovejero García

Ciencia y Tecnología de los materiales, CDD 620.11

Buenos Aires, Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS, 2016,

ISBN: 978-987-1323-44-9

Rústica 24 x 18 cm - 106 pp.

El siglo XXI se estima será la ERA DEL HIDRÓGENO y el material más usado en la producción, en el almacenamiento y en el transporte de hidrógeno será el acero, debido a su bajo costo, buenas propiedades mecánicas y décadas de experiencia en la industria del hidrógeno.

Se conoce que, la interacción del hidrógeno con los aceros produce cambios importantes en sus propiedades pudiendo conducir a la rotura catastrófica del material. Es por ello que tanto en las aplicaciones convencionales como en su potencial uso comercial en vehículos eléctricos o en motores de combustión o como vector de energía en general, el uso del hidrógeno a gran escala requiere un conocimiento detallado de los aceros utilizados en cada etapa, ya que los aceros deben garantizar actividades seguras tanto para los materiales y equipos utilizados como para los operarios y usuarios. Dentro de este contexto, el objetivo del documento es presentar los aspectos más destacados del “Daño por hidrógeno en los aceros”.

El Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable (IEDS), ha convocado al Dr. José Ovejero García, un especialista con más de 40 años de experiencia y conocimiento adquirido en estudios llevados a cabo en la CNEA en la materia, a presentar los aspectos más destacados que permiten comprender los distintos procesos que degradan a los aceros y producen fisuras y roturas. De manera didáctica y sencilla describe los mecanismos específicos para distintas situaciones del uso del hidrógeno mencionando los distintos tipos de fallas posibles.

Esta obra recorre temas tales como: los aspectos básicos de la penetración del hidrogeno en el metal; los distintos tipos de daños y problemas que produce en los aceros en el proceso de su fabricación y servicio, y un análisis de efectos inducidos por hidrógeno, tales como la fisuración y la fragilización de aceros inoxidables y al carbono de baja aleación. Integra la obra un anexo con la descripción de la técnica Micro Impresión de Hidrógeno, de utilidad en la visualización de los sitios de “atrapado” del hidrógeno en el material, y ensayos para detectar el daño por hidrógeno. Además, brinda una extensa bibliografía que permite profundizar en el tema.

La publicación está dirigida a un amplio abanico de lectores interesados en el uso del hidrógeno y está disponible en formato .pdf en el sitio web: www.cab.cnea.gov.ar/ieds



1980 - 2016

Mutual Cnea

*Cumplió ya 36 Años
acompañando a la
Actividad Nuclear*

La Mutual CNEA es
el exitoso fruto de la
inquietud de un grupo de
empleados de la CNEA que, con
espíritu solidario, concibió la
creación de un fondo compensador
que mejorase la situación de
jubilados y pensionados
de la actividad nuclear

14 DELEGACIONES EN TODO EL PAÍS MÁS DE 2000 ASOCIADOS

**656 COMPLEMENTOS JUBILATORIOS Y
504 COMPLEMENTOS PENSIONARIOS
OTORGADOS VIGENTES**

BENEFICIOS PARA LOS ASOCIADOS

Complementos jubilatorio o pensionarios
Créditos hipotecarios, personales y otros
Subsidios por casamiento, nacimiento/adopción o fallecimiento
Descuentos en comercios y hoteles adheridos

**CONSULTE CONDICIONES DE
INGRESO O REINGRESO EN
SU DELEGACIÓN**

**MUTUAL DEL PERSONAL DE
LA COMISIÓN NACIONAL DE
ENERGÍA ATÓMICA**

**FONDO COMPENSADOR DE
LA ACTIVIDAD NUCLEAR**

Administración Central:
Tel/Fax: 011-4701-0355 / 5059
11 de septiembre N°4366/68
(C1429BJF) C. A. de Buenos Aires
Info@mutualcnea.com.ar

**EMPRESAS Y FUNDACIONES DEL SECTOR NUCLEAR ARGENTINO
ASOCIADAS O VINCULADAS CON LA CNEA B1802AYA) Ezeiza**

COMBUSTIBLES NUCLEARES ARGENTINOS S.A. (CONUAR)

CONUAR fue creada por Decreto N° 1719/81. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde el 33,33% a la CNEA y el 66,67% restante a la empresa privada SUDACIA S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene como objetivo producir, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, elementos combustibles para el abastecimiento de las centrales nucleoelectricas y de los reactores de investigación argentinos. Su dirección es Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1300 - Fax: (54 – 11) 6326-1490 - www.conuar.com.ar

DIOXITEK S. A.

DIOXITEK fue creada en 1996 por Decreto N° 1286/96. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde en un 99% a la CNEA y el 1% restante a la provincia de Mendoza. Su objetivo inicial fue garantizar el suministro del dióxido de uranio que se utiliza en la fabricación de los elementos combustibles para las centrales nucleares de potencia. En 2002 incorporó a su actividad la producción y comercialización de fuentes selladas de cobalto 60 para uso medicinal e industrial. Su planta de producción de dióxido de uranio se encuentra en la ciudad de Córdoba y la planta industrial de elaboración de fuentes selladas de cobalto 60 en el Centro Atómico de Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Su dirección es Avenida del Libertador 8.250 (B1429BNP) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Teléfono: (54 – 11) 4704 - 1035/1236 - Fax: (54 – 11) 4704 - 1043 - www.dioxitek.com.ar

EMPRESA NEUQUINA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA S. E. (ENSI)

ENSI fue constituida el 21 de diciembre de 1989 entre el Gobierno del Neuquén y la CNEA. Es una sociedad del estado neuquino cuyo capital accionario corresponde en un 51% a dicho estado y un 49% a la CNEA y su sede se encuentra en la localidad de Arroyito de la citada provincia. Su objetivo principal es operar plantas químicas a escala piloto e industrial y elaborar y comercializar productos químicos. Por contrato con la CNEA se hizo cargo de la operación de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) situada en la citada localidad de Arroyito. ENSI, además, presta servicios de ingeniería a empresas dedicadas a la producción de petróleo, gas y energía eléctrica que operan en la región. Su dirección es Ruta Nacional 237 km. 1278 Arroyito, Neuquén. Casilla de Correo 636 (8300) Neuquén Arroyito - Pcia. del Neuquén - Teléfono: (54 – 299) 440706/440411/440572 - Fax: (54 – 299) 440534 – E-mail: piap@ensi.com.ar - www.ensi.com.ar

FABRICA DE ALEACIONES ESPECIALES S.A. (FAE)

FAE fue creada por Decreto N° 1088/86. Es una sociedad anónima cuyo capital accionario corresponde un 32% a la CNEA y el 68% restante a la empresa CONUAR S.A., estando su planta de producción situada en el Centro Atómico Ezeiza, provincia de Buenos Aires. Tiene por objetivo la producción, a partir de la utilización de tecnología suministrada por la CNEA, de vainas y semiterminados de zircaloy 4 para la fabricación de elementos combustibles para reactores de potencia y la producción de tubos de acero inoxidable y aceros especiales de alta calidad. Su dirección es Prebistero Juan González y Aragón N° 15 - Centro Atómico Ezeiza – (B1802AYA) Ezeiza – Pcia. de Buenos Aires – Teléfono: (54 – 11) 6326-1493 - Fax: (54 – 11) 6326-1496 - www.fae.com.ar

INVAP S. E.

INVAP fue creada por Decreto del Gobierno de Río Negro N° 661/76. Es una empresa de tecnología cuyo capital accionario corresponde en un 100% al estado rionegrino, estando vinculada a la CNEA mediante un acuerdo con la referida provincia. Su sede se encuentra en San Carlos de Bariloche. Su objetivo estatutario original es servir al desarrollo nuclear argentino, aunque más tarde ha extendido sus actividades a otros campos tecnológicos como el aerospacial. Se dedica principalmente al desarrollo y construcción de reactores de investigación e instalaciones nucleares de todo tipo, así como también de sistemas de aplicación médica y científica y al desarrollo y fabricación de satélites y radares. Su dirección es Avda. Cmte. Luis Piedrabuena 4950 - (R8403CPV) San Carlos de Bariloche – Pcia. de Río Negro – Teléfono: (54 – 2944) 4409 300 - Fax: (54 – 2944) 4409 336 - www.invap.com.ar

NUCLEOELÉCTRICA ARGENTINA S.A (NA-SA)

La NA-SA fue creada por Decreto N° 1.540/94. Es una sociedad Anónima cuyo capital accionario corresponde el 79% a la Secretaría de Energía de la Nación, el 20% a la CNEA y el 1% al Ente Binacional de Emprendimientos Energéticos S.A. Tiene a su cargo la operación y comercialización de la energía eléctrica generada por las Centrales Nucleares Atucha I- Unidades I y II y Embalse, así como por las futuras unidades de generación nucleoelectrica. Su dirección es Arribeños 3619 – (C1429BKQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires- Teléfono: (54-11) 4701 – 7070 - Fax: +54 11 4701 8621- E-mail: ri@na-sa.com.ar - www.na-sa.com.ar

POLO TECNOLÓGICO CONSTITUYENTES S.A. (PTC)

El PTC fue creado por Decreto N° 894/98 y está constituido por la asociación de instituciones de desarrollo tecnológico con capacidades distintas y complementarias. La CNEA es poseedora del 20% del capital accionario. El PTC tiene por objeto prestar servicios en las áreas de la investigación y el desarrollo tecnológico cuando ellos requieran complementar las capacidades de sus integrantes. Su dirección es Parque Tecnológico Miguelete – Edificio 1 - Avda. General Paz (entre Constituyentes y Albarellos) (1650) San Martín - Pcia. de Buenos Aires - Teléfono / fax: (54 – 11) 754 – 4070 – www.cnea.edu.ar/polo

FUNDACIÓN CENTRO DE DIAGNÓSTICO NUCLEAR (FCDN)

La FCDN constituye un emprendimiento conjunto de la CNEA y la FUESMEN con el objeto de dotar al conglomerado bonaerense de un centro de última generación de diagnóstico por técnica de emisión de positrones (PET). Fue creada el 14 de diciembre de 2004 y su Centro de Diagnóstico Nuclear fue inaugurado el 23 de mayo de 2007. Su dirección es Avenida Nazca 3449 (1429) Buenos Aires – Teléfono / fax: (54 – 11) 4566-7597 - E-mail: info@fcdn.org.ar – www.fcdn.org.ar

FUNDACIÓN ESCUELA DE MEDICINA NUCLEAR (FUESMEN)

La FUESMEN fue creada por convenio suscrito el 21 de diciembre de 1990 entre la CNEA, el Gobierno de Mendoza y la Universidad Nacional de Cuyo, con el objetivo de desarrollar actividades científicas, docentes y asistenciales en un marco de excelencia técnica y humana en el campo de la medicina nuclear y el radiodiagnóstico. Su dirección es: Garibaldi 405 (M5500CJI) Mendoza – Pcia. de Mendoza - Teléfono: (54 – 261) 4201615 - Fax: (54 – 261) 4203288 - E-mail: info@fuesmen.edu.ar - www.fuesmen.edu.ar



Comisión Nacional
de Energía Atómica

ISSN 1666-1036