



DEPARTAMENTO MATERIALES NUCLEARES

Jefe del Departamento: Sr. Gonzalo Torres O., Ing. Civil Mecánico y Nuclear, Master en Gerencia Pública
gtorres@cchen.cl

Objetivo

Acorde con el mandato legal para la CCHEN, el DMN asume la misión de disponer de conocimientos, tecnologías y capacidades en etapas del ciclo del combustible nuclear con el fin de satisfacer los requerimientos del estado chileno y los propios de la institución en conexión con la explotación de reactores nucleares, y en áreas de la ciencia de los materiales contribuyendo al desarrollo científico y tecnológico del país.

Jefatura del Departamento

Desde la jefatura del DMN se ha impulsado el desarrollo de actividades en forma más intensiva relacionadas con la minería y metalurgia del uranio en el país, incluyendo procesos de hidro metalurgia y de análisis químico elemental, junto con ciertas etapas de la parte frontal del ciclo de combustible de reactores experimentales: conversión de uranio enriquecido y fabricación de combustible en base a uranio de bajo enriquecimiento.

Se ha fomentado la participación de los especialistas del DMN en proyectos, congresos y reuniones con alcance internacional en sus respectivas disciplinas con notorios avances: proyecto regional sobre prospección de uranio, reuniones internacionales sobre combustible, participación del JDMN en reuniones nacionales, internacionales y del OIEA en materias de combustible para reactores experimentales, seguridad de reactores experimentales, y núcleo-electricidad, entre otras.

Se ha formulado proposiciones de nuevas actividades tendientes a potenciar las líneas de investigación y de desarrollo de tecnologías en el ciclo de combustible y de reactores nucleares, acorde con los nuevos requerimientos que se avizoran para la CCHEN en estos temas.

Líneas de Trabajo

- Fomento y apoyo a la minería del uranio en el país en cumplimiento al marco legal de la CCHEN, a través de la I+D en tecnología de procesos minero metalúrgicos para recuperación de uranio.
- Desarrollo de capacidades tecnológicas para el desarrollo y producción de combustible para los reactores chilenos y para exportación a otros reactores.

Actividades Realizadas

- En relación con minería de uranio se formularon proposiciones a la Dirección Ejecutiva sobre activación de la implantación de las atribuciones que la ley asigna a al CCHEN en la materia. De igual modo, se ha completado la consolidación de la fase II de pilotaje para extraer uranio de solución de lixiviación en Codelco Norte, y suscrito el convenio respectivo para dicha fase. Junto a esto, se han atendido requerimientos de empresas privadas interesadas en la exploración de uranio en el país, iniciativas que son de demanda creciente.

PARTICIPACIÓN INTERNACIONAL

- Se participó en reunión de la European Nuclear Society – Research Reactor Fuel Management, marzo 2009 en Viena. (informe respectivo entregado al DE)
- Se participó en reunión del programa Reduced Enrichment Research and Test Reactors, noviembre 2009, en Beijing (informe respectivo entregado al DE)
- Gestión del DMN con el resultado del cumplimiento pleno de las metas grupales (informes respectivos a OPCyG)

A continuación el detalle resumido correspondiente a cada unidad del DMN

LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Jefe del Laboratorio: Lic. en Química Sr. Sergio Marín Arrieta
smarin@cchen.cl

El Laboratorio está ubicado en el Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre

Líneas de Trabajo

- Prestación de servicio en análisis químico elemental a proyectos desarrollados dentro de CCHEN, mediante las técnicas de espectrometría de absorción atómica, espectrometría de emisión óptica de plasma inductivo, cromatografía líquida de alta resolución y técnicas clásicas.
- Mantenimiento del sistema de Calidad dentro de normas internacionalmente aceptadas.
- Apoyo en análisis químico especializado a organismos nacionales, en el área de los materiales de interés nuclear, medioambiente y ciencia de los materiales.

Resultados Relevantes del Periodo

Servicio de Análisis Químico a Proyectos Institucionales

Durante el año 2009 se efectuó el análisis de 2.757 muestras en apoyo a proyectos desarrollados dentro de CCHEN, lo que implicó la realización de 4.876 determinaciones mediante técnicas instrumentales. Las muestras analizadas provinieron principalmente de:

- **Control de Operaciones y Materiales Nucleares:** Se realizó el control en química analítica de los materiales provenientes de los procesos de la fabricación de elementos combustibles, de los estudios sobre la conversión de compuestos de uranio, de las aguas de los reactores de investigación y de los estudios relacionados con el tratamiento de desechos radiactivos.
- **Estudios de Recuperación de Uranio:** Se realizó el control en análisis químico de los procesos metalúrgicos, de muestras provenientes de los estudios sobre recuperación de uranio, realizados por la CCHEN.
- **Geología del Uranio:** Se realizó la determinación de uranio y otros elementos asociados, en apoyo a los estudios sobre la geología del uranio que CCHEN en prospectos nacionales.

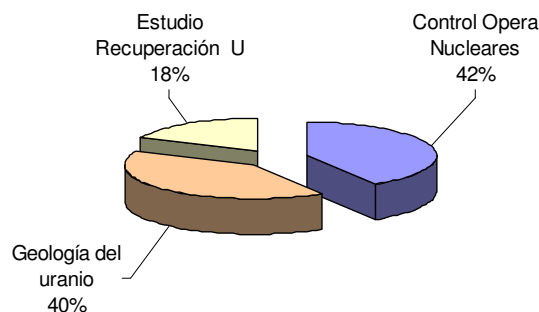


Figura 1: Distribución porcentual de las determinaciones realizadas en apoyo a los diferentes proyectos institucionales.

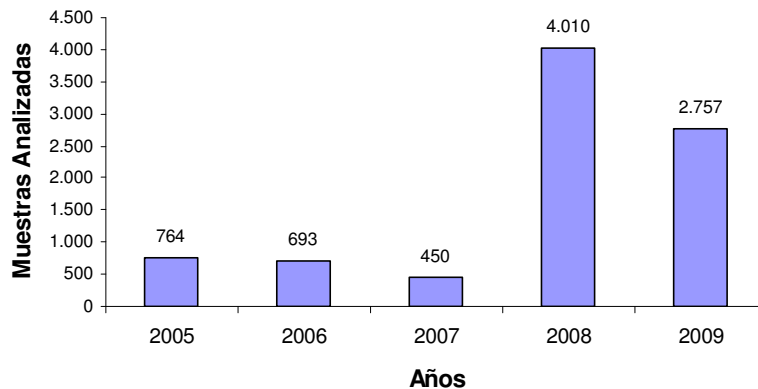


Figura 2. Evolución en los últimos 5 años del servicio de análisis químico en apoyo a los proyectos institucionales.

Apoyo en Análisis Químico a Instituciones Externas a la CCHEN

Durante el año 2009 se efectuó el análisis de 8.132 muestras, en apoyo a instituciones externas a la CCHEN, lo que implicó la realización de 11.325 determinaciones mediante técnicas instrumentales. Las muestras analizadas provinieron principalmente de los siguientes sectores:

- **Medioambiental:** Se realizó el análisis de aguas naturales y de descarte y material particulado sedimentable de procesos de tratamiento de minerales por posible contaminación de suelos agrícolas.
- **Geología y Minería:** Se determinó Uranio en muestras de minerales, rípios y soluciones de procesos metalúrgicos, provenientes de Codelco Norte, en el marco del convenio CCHEN-CODELCO.
- **Metalurgia extractiva del Uranio:** En cumplimiento al convenio CCHEN-CODELCO sobre Estudios de Recuperación de Uranio en Codelco Norte, se realizó el control en análisis químico de las muestras provenientes de los ensayos metalúrgicos realizados en la CCHEN, para la recuperación de Uranio.

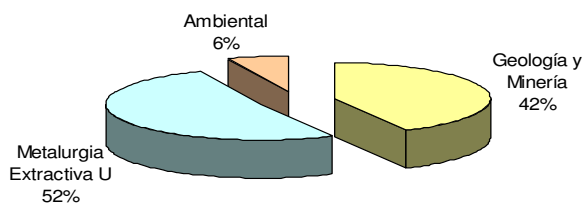


Figura 3. Participación porcentual de los diferentes trabajos que el laboratorio ha realizado en apoyo a instituciones externas, de acuerdo a las determinaciones realizadas.

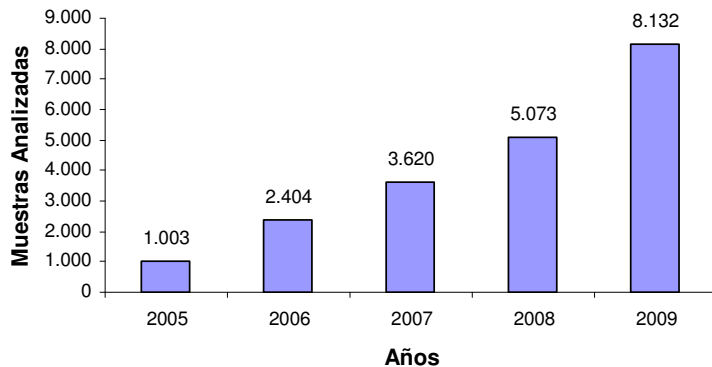


Figura 4. Evolución durante los últimos 5 años del servicio de análisis químico en apoyo al sector externo a la institución.

Sistema de Garantía de Calidad

- Durante el año 2009 se mantuvo el mejoramiento del Sistema de Aseguramiento y Gestión de Calidad del laboratorio y se dio cumplimiento a la auditoría interna programada, levantando las no-conformidades establecidas durante la auditoría.
- Se realizó el seguimiento a las actividades propias del laboratorio y se realizaron reuniones de coordinación con integrantes de otros laboratorios de la CCHEN para actualizar la documentación del Sistema de Calidad de los Laboratorios.
- Con la finalidad de comprobar la confiabilidad de los procedimientos utilizados en el análisis químico de diferentes tipos de materiales, el laboratorio participó en ejercicios de aptitud (ver participación Internacional), donde las matrices analizadas correspondieron a aguas de precipitación, aguas naturales y algas. Los resultados obtenidos en estos ensayos mostraron un alto grado de concordancia con los informados.

Técnicas de Análisis Químico Utilizadas

Diferentes técnicas de análisis químico fueron utilizadas en el desarrollo de las actividades de servicio. En la figura 5 se puede apreciar la incidencia porcentual de cada técnica en el trabajo realizado, medido este por la cantidad de determinaciones realizadas.

- Técnicas clásicas (Clásica). Potenciometría y gravimetría.
- Espectrofotometría de absorción molecular (EAM). Esta técnica se utilizó principalmente para la determinación de uranio mediante la metodología de Br-Padap
- Espectrometría de Absorción atómica (EAA). En esta técnica están consideradas tanto la espectrometría de absorción atómica con llama, como con generador de hidruros.
- Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Se utilizó solamente para la medición de aniones en aguas puras y soluciones acuosas.
- Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivo (ICP-OES). En esta técnica está considerada solamente la espectrometría de emisión óptica con sistema de nebulización neumática.

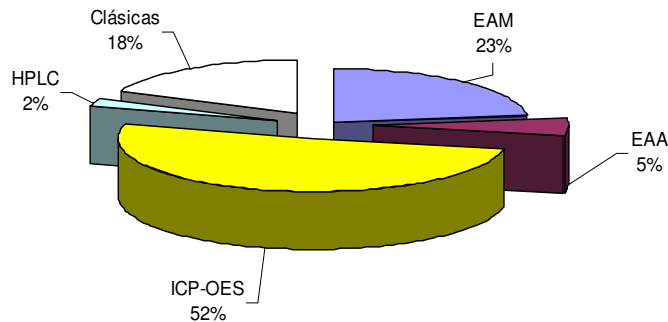


Figura 5. Distribución porcentual del trabajo realizado por las diferentes técnicas usadas en el laboratorio, de acuerdo a las determinaciones realizadas.

Participación Internacional

- Participación en el cuadragésimo (40th) programa Anual de comparación entre laboratorios para la determinación de cationes y aniones en muestra de precipitaciones ácidas. Evento organizado por el Organismo Mundial de Meteorología.
- Participación en el vigésimo séptimo programa Inter.-Laboratorio “Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe (EMEP)” para la determinación de metales traza y ultratrazas en muestras sintéticas de lluvia ácida. Este evento fue organizado por el Instituto Noruego para la Investigación del Aire.
- Participación en Ensayos de Aptitud (IAEA-CU-2009-02) para la determinación de elementos traza en algas y agua organizado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA).

Participación Nacional

- El Laboratorio de Análisis Químico participó en el convenio CCHEN-CODELCO apoyando al avance de las actividades relacionadas con la recuperación de uranio de las soluciones de proceso de CODELCO Norte. Actualmente está en desarrollo la segunda fase de este programa en la cual tendrá participación activa en laboratorio.
- Actualmente está participando en el análisis químico de aguas naturales, en apoyo al Proyecto OIEA CHI 8/029 “Evaluación del Recurso Hídrico en Cuencas Áridas del Norte de Chile Usando Isótopos y Técnicas Hidrogeoquímicas para un Manejo Sustentable del Recurso”, que está desarrollando la Universidad de La Serena y la Pontificia Universidad Católica.



SECCIÓN GEOLOGÍA Y MINERÍA

Jefe Sección: Mg. Cs.- Ingeniero Civil Metalurgista Sr. Pedro A. Orrego Alfaro
porrego@cchen.cl

En esta Sección se desarrollan actividades en proyectos en las áreas de Geología “Investigación Geológica del Potencial Uranífero” código # 519 y en el área de Metalurgia Extractiva “Metalurgia” código # 607. Las instalaciones de esta sección están ubicadas en el Centro de Estudios Nucleares de Lo Aguirre.

Objetivos

- Establecer, incrementar y mantener una estimación geológica actualizada, del potencial de los Materiales Atómicos Naturales (MAN) y Materiales de Interés Nuclear (MIN) del país, para las consideraciones del Estado en las políticas nacionales.
- Desarrollar e investigar tecnologías destinadas a la obtención, concentración y purificación de los Materiales Atómicos Naturales y Materiales de Interés Nuclear.

Líneas de Trabajo

- Investigar el potencial geológico Uranífero del país
- Desarrollar tecnologías para obtener, concentrar y purificar Materiales Atómicos Naturales (MAN) o Materiales de Interés Nuclear (MIN).
- Aplicar el conocimiento adquirido, en la investigación del Uranio, a la búsqueda geológica y recuperación metalúrgica de elementos de interés económico.
- Optimizar procesos mineros existentes que podrían conducir a desarrollar procesos innovadores.
- Buscar alternativas para proporcionar valor agregado a los productos actuales, poniendo énfasis en trabajos orientados al desarrollo tecnológico de procesos.

Estrategias de Operación

- ✓ Prestación de Servicios en Geología y Metalurgia Extractiva
- ✓ Proyectos y Convenios de cooperación técnica.
- ✓ Participación en fondos concursables

Resultados Relevantes del Período

- En el marco del convenio técnico de cooperación entre la Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN y CODELCO, se han desarrollado pruebas a nivel laboratorio que permitieron determinar que para recuperar Uranio y Molibdeno presentes en las soluciones acuosas del circuito de tratamiento de Cobre de Radomiro Tomic, se deben realizar operaciones unitarias tales como Intercambio iónico, Extracción por Solventes y Precipitación. CODELCO-NORTE efectúa un aporte directo de 21,8 millones de pesos para ser destinados al desarrollo de este estudio.
- Los profesionales Srs. Pedro A. Orrego Alfaro; Mario Arancibia Nanjarí y Mauricio Núñez Rojas, participaron activamente en la Dirección de Estudios y Políticas Públicas de COCHILCO, en reuniones relacionadas con la búsqueda de “Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Uranio” realizadas en el mes de noviembre.
- Visita a Terreno en sectores Productora y Cerro Carmen del 12 al 19 de Noviembre de 2009, III Región, Chile, Tras la visita al Prospecto Cerro Carmen, fue posible constatar la presencia de tres plataformas (abandonadas) de sondajes en el lado Oeste de la propiedad, junto con la detección y muestreo de anomalías radiométricas en este mismo sector.

- En el transcurso del 2009 se han atendido numerosas consultas, de geólogos, ingenieros de minas, ingenieros químicos, ingenieros metalurgistas, periodistas y asesores legales, de empresas públicas y privadas interesadas en la exploración y recuperación de uranio. Esta actividad responde a empresas nuevas y a otras que disponen de información sobre el país a partir de informes públicos de CCHEN
- Servicios y asesorías en metalurgia extractiva, se participó en varias licitaciones, adjudicándose y facturando servicios por \$1.330.403.
- Se realizan estudios para producir CaCl_2 , de acuerdo a la solicitado por Minera Michilla S. A. que encarga a CCHEN, realizar investigaciones tendientes a obtener cloruro de calcio mediante técnicas pirometalúrgicas.

Participación Internacional

Proyecto RLA/3/006, denominado "Prospección de Uranio en Latino América", patrocinado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA).

El geólogo de la SGM, Sr. Mario Arancibia Nanjarí, asiste al "Curso de entrenamiento de Geología y Exploración de Uranio (IAEA/INB)". 28 de Septiembre al 9 de Octubre. Poços de Caldas, Brasil. A vista de los presentes llaman la atención los depósitos superficiales de Uranio presentes en Chile, que son depósitos de explotación y exploración relativamente sencilla y de costos relativamente bajos dentro de la industria. Este creciente interés en la exploración por uranio ha llevado a muchas empresas a buscar de manera precipitada nuevos prospectos.

Participación Nacional

CONVENIO ESPECÍFICO CCHEN – CODELCO NORTE

Con fecha 28 de Mayo del año 2009 se aprueba el convenio N° 092/2008, llamado FASE II, suscrito entre la COMISION CHILENA DE ENERGIA NUCLEAR y CODELCO CHILE DIVISION CODELCO NORTE, con duración de 10 meses, siendo el objeto del convenio el que ambas partes se comprometen a realizar en conjunto un programa de actividades destinadas al estudio a nivel piloto, en dependencias de Radomiro Tomic, de la recuperación de Uranio y Molibdeno contenidos en soluciones de lixiviación ácida de sus faenas productivas, para esto, CODELCO efectúa un aporte directo de US\$ 1.362.986 (Un millón trescientos sesenta y dos mil novecientos ochenta y seis dólares), para ser destinados al desarrollo de este convenio específico.

PARTICIPACIÓN DE CCHEN EN PROYECTO SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN TERRITORIAL (SNIT).

Participación en las actividades de mesas de trabajo por grupos temáticos del proyecto Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT). Además se ingresaron fichas de presentación de informes técnicos de geología al Sistema Nacional de Información Territorial

Publicaciones Internacionales

El geólogo, Sr. Mario Arancibia Nanjarí presentó el trabajo "Historical review of unconventional sources of Uranium in northern Chile", en "Technical Meeting On Uranium from Unconventional Resources" efectuado entre el 4 y 6 de noviembre de 2009, en la sede del IAEA, Viena, Austria. En la reunión se destacan puntos que deben ser revisados y replanteados, como el concepto de "recursos no convencionales", que es un término totalmente variable al ser dependiente de las condiciones de mercado. En el caso de los recursos convencionales, a pesar de que tecnologías



relativamente nuevas y procesos llamativos han sido empleados para evaluar la recuperación de Uranio de distintas fuentes (por ejemplo agua de mar en el caso de Japón), las fuentes secundarias clásicas siguen siendo las fosforitas y las arcillas negras/carbón bituminoso. Sin embargo, tres países presentaron lo que será un nuevo e importante recurso secundario, debido a su geología y a la sencilla factibilidad operacional, recursos de Uranio presente en Salares, China, India y Chile presentaron ocurrencias y prospectos en distintas etapas de desarrollo.

Informes Técnicos

- Informe Final FASE I; Convenio específico de Cooperación Técnica existente entre CCHEN y CODELCO NORTE "FASE LABORATORIO PARA RECUPERACION DE URANIO Y MOLIBDENO DE SOLUCIONES ACUOSAS DE CODELCO NORTE"
- Informe Final relacionado con los resultados obtenidos en el estudio "OBTENCION DE CLORURO DE CALCIO", desarrollado a Minera Michilla S.A.



SECCION COMBUSTIBLES NUCLEARES

Jefe Sección: Ingeniero Civil Metalúrgico Sr. Jorge Marín Espinoza
jmarin@cchen.cl

Esta Sección la integran el Laboratorio de Conversión, LCONV, y la Planta de Elementos Combustibles, PEC, ambas instalaciones ubicadas en el Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre.

Objetivos

- Investigar y desarrollar procesos de producción de compuestos combustibles nucleares en base a uranio, tanto metálicos como cerámicos, para su aplicación en la fabricación de combustible para reactores nucleares experimentales.
- Diseñar, desarrollar y producir elementos combustibles con uranio de bajo enriquecimiento y componentes para irradiación de materiales en reactores nucleares de investigación y ensayo de materiales.

Líneas de Trabajo

LABORATORIO DE CONVERSION

Durante el año 2009, comienza la ejecución del proyecto “Desarrollo de Procesos de Recuperación de Uranio Enriquecido”, código 629, el que se encuentra en materiales generados en la obtención de uranio metal y en la fabricación de elementos combustibles tipo MTR, el cual se divide en las siguientes líneas de trabajo:

- ***Recuperación de uranio desde escorias de magnesioterma***

En la etapa de reducción del UF_4 con Mg para producir U metal se generaron 34 kg. de escoria formada principalmente por MgF_2 , uranio metal y compuestos de uranio, con un contenido de uranio de alrededor de 15 %.

- ***Recuperación de uranio desde placas y compactos rechazados***

Durante la fabricación de elementos combustibles tipo MTR, alrededor de un 5% de las placas fabricadas corresponden a placas no conformes y otro tanto a placas utilizadas en ensayos destructivos, como requerimientos de calidad. Para recuperar este uranio, se deben realizar los siguientes procesos:

- disolución del aluminio con NaOH
- disolución del Si del U_3Si_2 y precipitación del U como UF_4 utilizando HF
- disolución del UF_4 con ácido nítrico para obtener solución de nitrato de uranilo.

La solución de nitrato de uranilo obtenida contiene impurezas, por lo que debe ser sometida a extracción por solventes, igual que en el caso anterior, para obtener una solución de pureza nuclear.

- ***Recuperación de uranio desde scrap y U_3Si_2 oxidado***

Durante la síntesis de siliciuro de uranio, etapa previa a la fabricación de placas combustibles, se genera un scrap, compuesto en su mayor parte de U_3Si_2 , UO_2 , grafito y Al_2O_3 . También durante la síntesis de este compuesto intermetálico, se generó una cantidad de siliciuro de uranio oxidado y dependiendo de las características químicas del scrap, se digerirá con HF y/o HNO_3 , para obtener nitrato de uranilo que se someterá a SX para su purificación.

- **Recuperación de uranio desde soluciones líquidas**

Durante la precipitación de UF_4 utilizando cloruro estañoso y ácido fluorhídrico, se generaron 1320 litros de solución sobrenadante, constituida por HF, sales de estaño en solución y pequeñas cantidades de uranio (540 mg U/l), más una solución de lavado de UF_4 , 1% HCl, (835 litros, 202 mg U/l) y alcohol etílico (270 litros, 359 mg U/l).

- **Regularización de inventario de uranio HEU del RECH-2**

Desde hace varios años existía en dependencias del RECH-2, 284,9 g de uranio al 87,54 % U^{235} , es decir de alto enriquecimiento, HEU, en un volumen de 2,23 lt de una solución de nitrato de uranio. Debido a requerimientos del DOE de EEUU, se planteó la necesidad de reducir el enriquecimiento a niveles inferiores a 20% en peso de ^{235}U (LEU), lo que se hizo con éxito.

PLANTA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

1. Desarrollo de Combustibles MTR.

- **Desarrollo de combustibles basados en aleaciones U-Mo**

Esta línea de trabajo responde al concepto de actualización en el “estado del arte” en el desarrollo de combustibles para reactores experimentales. Su objetivo es estar en el conocimiento de frontera en el campo de la I+D de nuevos materiales para combustibles nucleares con densidades de uranio por sobre los 8 gU/cm^3 , cuyo propósito con el uso de este tipo de combustible es el de mejorar de la eficiencia en la gestión de combustible LEU para los reactores experimentales, como los que posee Chile.

- **Prueba de material combustible de alta densidad.**

Desde Julio del 2007 se lleva a cabo la irradiación en el reactor RECH-1 de un elemento combustible experimental con una placa combustible fabricada en base al compuesto siliciuro de uranio (U_3Si_2) con la más alta densidad de uranio licenciada para este tipo de compuesto ($4,8 \text{ gU/cm}^3$). La irradiación de este combustible tiene como propósito validar bajo irradiación tanto el elemento combustible, su proceso de fabricación y el sistema de aseguramiento de calidad aplicado por la Planta de Elementos Combustibles.

- **Preparación Uranio Metálico LEU para combustible**

Usando la materia prima de uranio metálico obtenido por el Lab Conversión en 2008, se ha realizado la caracterización del uranio metálico y de la escoria productos del proceso de conversión. Posteriormente se contempla la refinación por refusión de este producto con lo cual se propone disminuir la presencia de impurezas, especialmente estaño y otros elementos perjudiciales para la utilización de este en combustibles.

- **Mantenimiento del Sistema de Gestión de Calidad**

Mantener y mejorar continuamente el sistema de gestión de calidad – SGC, basado en el estándar ISO 9000 que posee la instalación desde 2003 por la empresa Bureau Veritas Quality International, BVQI, con acreditación internacional otorgada por ANSI-RAB de EEUU. Durante el periodo se registraron avances en la actualización de documentación y en la integración del SGC de la PEC con el Sistema Integral de Calidad de la CCHEN.

- **Servicios**

Esta línea de trabajo persigue el uso integral de la infraestructura y la aplicación de metodologías desarrolladas a propósito de la fabricación de combustibles, aplicadas esta vez a la elaboración de dispositivos o componentes estructurales que, sin contener materiales nucleares, tienen como destino su utilización en el núcleo de los reactores de investigación lo cual hace más exigentes los niveles de calidad, introduciendo conceptos de trazabilidad y calidad nuclear que en definitiva mejoran la confiabilidad y seguridad de estos dispositivos.

- **2. Desarrollo de material blanco en base a foil de uranio metálico para producción de molibdeno de fisión**

Trabajo iniciado hace cuatro años como parte de un proyecto internacional con el OIEA, cuyo objetivo es disponer en la CCHEN de la tecnología de obtención del molibdeno de fisión para generadores de Mo-Tc, a partir de la irradiación de blancos fabricados con uranio metálico de bajo enriquecimiento (LEU).

En paralelo, se hace desarrollo de blancos en base a láminas delgadas de uranio metálico consistentes en diseñar, planificar y ejecutar actividades tendientes a disponer de una metodología local validada por resultados experimentales para la fabricación por laminación y aseguramiento de calidad de láminas delgadas de uranio metálico tales que cumplan especificaciones internacionales de seguridad y calidad para este tipo de productos.

Resultados Relevantes del Período

LABORATORIO CONVERSIÓN

Este proyecto se encuentra en etapa a nivel laboratorio, y sólo se ha avanzado en algunas de las líneas de trabajo anteriormente mencionadas. Durante el 2009 se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Recuperación de uranio desde escorias de magnesioterapia**

Durante el periodo se realizaron 13 experiencias de lixiviación de escorias con uranio LEU, variando temperatura y tiempo de ataque, dejando constante la concentración y cantidad de ácido. De este set de pruebas experimentales se logró determinar los parámetros óptimos a ser aplicados a mayor escala, para una recuperación de uranio LEU de un 98%.

- **Recuperación de uranio desde placas y compactos rechazados**

En el año 2009 se realizaron 9 experiencias de disolución de Al de placas rechazadas variando la concentración de NaOH y el porcentaje de exceso, logrando determinar la concentración y porcentaje de exceso óptimo de reactivo (3M, 30% de exceso). También se llevaron a cabo 9 pruebas experimentales de disolución del Si del U_3Si_2 y precipitación del U como UF_4 , logrando obtener una solución de nitrato de uranio impuro, faltando aún experiencias en los últimos 2 procesos para obtener los parámetros óptimos de operación.

- **Recuperación de uranio desde soluciones líquidas**

En el año 2009, se llevó a cabo una disminución de volumen mediante evaporación, de las soluciones de lavado de 1% HCl y del alcohol etílico, con el consiguiente aumento en la concentración de uranio y eliminación de HCl y alcohol.

- **Regularización de inventario de HEU líquido del RECH-2**

Para bajar el enriquecimiento de la solución HEU, se decidió realizarla por etapas para evitar una disminución excesiva de la cantidad del isótopo U^{235} . Es así que luego de 2 etapas de mezcla con solución de uranio natural, la solución intermedia resultante hasta la fecha tiene un enriquecimiento de $20.046\% \pm 0.037$.

PLANTA DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES

- **Desarrollo de Combustibles MTR.**

Mantenimiento de la experticia en fabricación de combustibles

El avance de esta actividad se materializó el 2009 a través de un estudio preliminar de curvado de placas. En este estudio desarrollado con la participación de un egresado de ingeniería mecánica de la Universidad Católica de Chile se logró identificar las variables involucradas y los factores determinantes de la recuperación de las aleaciones de aluminio al ser sometidas a procesos de curvado mediante conformado en frío. Otro resultado relevante de esta actividad lo constituye la fabricación de boquillas y placas soporte para prototipos de combustibles con diseño RECH-1.

Desarrollo de combustibles basados en aleaciones U-Mo

Durante el 2009 se lograron importantes avances en el desarrollo de láminas delgadas de aleaciones U-7Mo. A través del proceso de laminación en caliente y frío fue posible obtener láminas con espesores inferiores a 100 micrones, material utilizado para patrones de homogeneidad por análisis por densitometría. Otro resultado relevante de esta actividad fue la fabricación de láminas delgadas por laminación en caliente de aleación U-10Mo, lográndose espesores finales de entre 300 y 600 μm .

También se completó la construcción de un sistema atomizador por electrodo rotatorio en base a diseño realizado el 2008. Basado en un motor eléctrico de alta velocidad de giro (> 40000 RPM) y un contenedor cilíndrico de acero inoxidable, se realizaron pruebas preliminares de producción de polvos con partículas esféricas a partir de electrodos de cobre, aluminio y acero inoxidable. Se diseñó y está en construcción una caja de guantes de acrílico para producir polvos de uranio y aleaciones UMo bajo atmósfera inerte.

Finalmente se fabricaron miniplacas bajo especificaciones del Programa de bajada de enriquecimiento RERTR utilizando polvos de UMo fabricados por hidruración en base a uranio natural y también uranio de bajo enriquecimiento.

Desarrollo de Combustibles Densos

En el contexto del programa de calificación bajo irradiación de un elemento combustible experimental tipo RECH-1 con diseño modificado, LR EX 01, constituido por una placa combustible fabricada con uranio de bajo enriquecimiento y 15 placas de aluminio. Hasta septiembre del 2009 el desempeño del elemento combustible experimental continuaba siendo de acuerdo a lo esperado y tanto las inspecciones visuales, los controles dimensionales y los cálculos de quemado han dado resultados satisfactorios, siendo el quemado estimado de un 7,5% en U-235.

Preparación Uranio Metálico LEU para combustible

Durante el 2009 se destacan el muestreo y análisis de impurezas de las materias primas (lingotes de uranio metálico enriquecido producto de magnesioterapia). Además de pruebas de refusión y colada en vacío y atmósfera inerte (Ar), con la respectiva extracción de muestras y análisis químico y mediante difracción de rayos X, tanto de los lingotes obtenidos como de las escorias producidas en cada operación. La parte analítica se encuentra en proceso.

Mantenimiento del Sistema de Gestión de Calidad

El Sistema Integral de Gestión de Calidad de la PEC superó exitosamente nuevas auditorías internas y de vigilancia de la Certificación de Calidad, aplicada por la compañía Bureau Veritas International en el marco de un proceso de Certificación Institucional que considera dentro de su alcance, además de la PEC, a otras secciones operativas de la CCHEN. De esta forma la PEC ratifica su certificación de calidad, otorgada por primera vez en el 2003 por parte de Bureau Veritas International y la acreditación, en la última renovación, por parte del Sistema Nacional de Acreditación del INN.

Durante el 2009 se desarrolló el programa de mantenimiento de equipamiento y calibraciones de instrumentos y equipos de acuerdo al plan anual y al desarrollo de actividades de mejoramiento continuo. También en este período se registraron avances en la actualización de documentación y se logró la plena integración del SGC de la PEC con el Sistema Integral de Calidad de la CCHEN.

Servicios

En esta línea de trabajo, desarrollada sistemáticamente desde hace dos años e incorporada al alcance de la certificación de calidad desde 2008, se ha logrado en el año 2009 la fabricación y entrega de 800 cápsulas de irradiación, además de la fabricación de cinco (5) cestos de irradiación para capsulas para el LPRI y RECH-1.

- **Desarrollo de target para molibdeno de fisión, usando foil de uranio metálico (PCI del OIEA)**

Durante el 2009 se realizó el ensamblado de prototipos con láminas de uranio natural. Otra actividad desarrollada el 2009 fue el entrenamiento de dos becarios del OIEA provenientes de Libia, específicamente en tecnología de fabricación de targets, tanto con foil de cobre como con foil de uranio natural. Otro resultado fue la elaboración de procedimientos técnicos y formularios de registros, entregados al DSNR como parte de la documentación para el licenciamiento del proceso.

Desarrollo de láminas de uranio metálico para producción de Mo de fisión

Durante el 2009 se logró obtener láminas de uranio natural con espesores finales entre 130 a 150 μm mediante laminación en caliente a partir de piezas de uranio encapsuladas en acero de bajo carbono.

Participación Internacional

Acuerdo de Cooperación CCHEN- INL

Durante el 2009 se realizaron una serie de reuniones entre profesionales de la PEC y del JDMN con expertos a cargo del Programa de Desarrollo y Experimentos de Irradiación de Combustible U-Mo del Laboratorio Nacional de Idaho (INL) - Departamento de Energía de EEUU. En dichas reuniones se analizaron las capacidades de la Planta y los resultados obtenidos a la fecha en el tema. Como el logro más importante de esta ronda de reuniones y visitas científicas, llevadas a cabo tanto en Chile como en el extranjero, está la incorporación de Chile dentro del grupo mundial de desarrollo de este combustible de alta densidad, junto con Francia, Argentina, Estados Unidos, Rusia, Canadá, Corea del Sur, Bélgica y Australia. Una de las primeras tareas encomendadas a Chile en el marco de este acuerdo es la fabricación de miniplacas de combustible tipo disperso en base polvos de U-Mo obtenidos por hidruración. Una vez enviadas, estas miniplacas serán incluidas en los experimentos de irradiación del programa de bajada de enriquecimiento RERTR iniciados hace más de 7 años en el reactor avanzado de pruebas del INL (Reactor ATR – INL).

Proyecto de Cooperación Técnica

La PEC, representada por su Jefatura y con la participación de todos sus integrantes han continuado su contribución durante el 2009 en el desarrollo de un Proyecto Coordinado de Investigación (CRP-T1.20.18) patrocinado por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) bajo el título de “Developing Techniques for Small-Scale, Indigenous Production of ⁹⁹Mo Using Low-Enriched Uranium (LEU) or Neutron Activation”.

Participación en eventos internacionales

- En Octubre del 2009 el Jefe de la Sección acompañado del ingeniero Sr. Jaime Lisboa participaron como expositores en el XI Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales, SAM/CONAMET 2009 realizado en Buenos Aires, Argentina. El propósito fue la presentación de dos trabajos científicos relativos al tema de desarrollo de combustibles en base a aleaciones UMo.
- En noviembre del 2009, 4 profesionales participaron en la versión N° 31 del International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactor - RERTR realizado en Beijing, República Popular China. El propósito fue la interacción con grupos de otros países afines a la temática de combustibles nucleares, además de la presentación de dos publicaciones con los más recientes resultados de las actividades del programa de bajada de enriquecimiento en la CCHEN, especialmente en los temas de procesos de conversión y el desarrollo de miniplacas combustibles en base a polvos fabricados por hidruración de aleaciones UMo.

Publicaciones

Presentaciones a Congresos Internacionales			
Título	Autores	Presentado En	Fecha Presentación
Análisis comparativo de polvos obtenidos por hidruración de aleaciones U-Mo en fases α -U y γ -U para uso en combustibles	Jorge Marin Jaime Lisboa Luis Olivares Mario Barrera	SAM/CONAMET 2009 9° Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales Buenos Aires – Argentina	19 – 23 Octubre 2009
Estudio de pegado del sistema UMo/Al 6061 mediante método TLBP con recubrimiento de aleación Al-Si y colaminación en caliente	Jorge Marin Jaime Lisboa Mario Barrera	SAM/CONAMET 2009 9° Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales Buenos Aires – Argentina	19 – 23 Octubre 2009
Manufacturing and Characterization of LEU dispersion miniplates based on hydrided UMo powders	Luis Olivares Jorge Marin Mario Barrera Jaime Lisboa	31 th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors - RERTR Beijing – China	11 al 5 de Noviembre 2009
Process to obtain metallic uranium from UF ₆	Patricia Rojas Hernán Contreras Arturo Garrao Felipe Valdés	31 th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors - RERTR Beijing – China	11 al 5 de Noviembre 2009

Informes Técnicos

Laboratorio de Conversión

- Informe “Desarrollo del proceso de recuperación de uranio desde escorias de magnesioterapia”. INF-DMN-CONV-004/2009 - Noviembre 2009
- Informe “Desarrollo del proceso de recuperación de uranio desde placas y compactos rechazados en la fabricación de combustibles MTR” INF-DMN-CONV-005/2009- Noviembre 2009.

Planta de Elementos Combustibles

- Informe Técnico 1-2009: Informe de Práctica Profesional: Experiencias Preliminares en Curvado de Placas de Aluminio - Ignacio Durruty, Febrero 2009.
- Informe Técnico 2-2009: Informe de actividades y resultados miniplacas UMo.
- Informe Técnico 3-2009: Actividades y Resultados del desarrollo de target para molibdeno de fisión.
- Informe Técnico 4-2009: Objetivos de calidad 2009 – Formulación y Resultados.
- Informe Técnico 5-2009: Sistema de Gestión de Calidad PEC - Actividades de mejoramiento.
- Informe Técnico 6-2009: Informe de actividades y resultados UMo monolítico.



SECCION CARACTERIZACION DE MATERIALES

Jefe Sección: Ingeniero Civil Químico, Sr. Iván Escobar Pérez
iescobar@cchen.cl

Objetivos

- El objetivo de esta sección es apoyar, en el área de caracterización de materiales, las actividades desarrolladas por el Departamento de Materiales Nucleares (DMN).
- Generar actividades que complementen proyectos del departamento.
- No obstante lo anterior, la capacidad para generar servicios instrumentales esta disponible para el resto de las actividades CCHEN, así como para usuarios externos.

Líneas de Trabajo

Durante el año 2009 se desarrollaron tres líneas de trabajo:

Uso de Cobre para Contenedores HLW

Objetivo del proyecto: Estudiar la corrosión del cobre dopado con fósforo, tipo UNS C10100 en particular el efecto del ión sulfuro y el efecto de las radiaciones ionizantes. La importancia del material radica en su aplicación en la fabricación de contenedores para desechos radiactivos de alta actividad

Control de la Corrosión en Reactores de la CCHEN

Objetivo de la actividad: Evaluación desde el punto de vista de la corrosión de sistemas y componentes del reactor RECH -1 y RECH-2. Los resultados de esta evaluación permitirían recomendaciones para minimizar el deterioro o en su defecto, el efecto de la corrosión y asegurar la integridad estructural del sistema o componentes en el tiempo.

Caracterización de Materiales

Objetivo del proyecto: El Servicio de Caracterización de Materiales, tiene como objetivo la prestación de servicio en la medición de características y propiedades de los materiales, para ello cuenta con capacidad instrumental y personal competente.

Resultados Relevantes del Periodo

Uso de Cobre para Contenedores

En el desarrollo del Proyecto 516 "Uso del Cobre como Contenedor de Desechos Radiactivos de Alta Actividad", se determinó el efecto de la temperatura y la radiación en la resistencia a la corrosión que experimenta el cobre OFP. Para tal efecto se prepararon soluciones que simulan la composición promedio de las aguas subterráneas existentes en los alrededores de un repositorio nuclear sueco. Se sometieron las soluciones y las probetas de cobre a 40, 30, 10 R/h y para cada una de estas tasas de exposición se determinaron el potencial de corrosión a 80, 40, 25, 10 °C.

A la fecha se implementó el sistema que permitió contar con una celda electroquímica termostatazada dentro de la cámara de irradiación, con la cual fue posible simular un contenedor de combustible nuclear gastado que recién instalado en un repositorio nuclear se encuentra a la temperatura de 80 °C, producto de su carga radiactiva. También en este período se instaló un sistema de monitoreo de radiación, el cual consiste de un gabinete en el que se instalaron tres monitores de radiación. Este equipo permite, vía PLC, enviar la señal de los monitores de radiación, en forma inalámbrica a un computador en el que se puede obtener la gráfica de radiación. Los detectores de radiación son Geiger Müller.

Control de la Corrosión en Reactores de la CCHEN

Las actividades relacionadas con el control de la corrosión en los reactores experimentales de la CCHEN, RECH-1 y RECH-2 como una necesidad permanente para preservar los componentes de los reactores.

Se realizó la elaboración de catálogos de imágenes de los elementos combustibles gastados de los reactores RECH-1 y RECH-2, a través de una inspección con la cámara submarina disponible en reactores. Esta actividad fue solicitada por reactores y se realizó en conjunto con personal de la instalación. De esta manera se caracterizaron estos elementos desde el punto de vista de la corrosión de las placas combustibles externas que han permanecido durante años en almacenamiento en húmedo en las piscinas de ambos reactores durante el periodo de decaimiento de éstos. De esta tarea se elaboraron 2 Catálogos:

- “Catálogo de Elementos combustibles MTR Gastados almacenados temporalmente en la Piscina del Reactor RECH-1”
- “Catálogo de Elementos Combustibles MTR Gastados Almacenados Temporalmente en la Piscina del Reactor RECH-2”

Además, se realizó una asesoría para el proyecto regional RLA/4/20 de los materiales seleccionados que serían utilizados en la fabricación de un contenedor de almacenamiento interino de elementos combustibles MTR de bajo enriquecimiento, LEU, fabricados por la Planta de Elementos Combustibles. Esta asesoría, debido a la complejidad de la temática, fue elaborada apoyándose en material bibliográfico y experiencias de laboratorio. La información recopilada contribuye al capítulo de Corrosión del informe preliminar de seguridad.

De los resultados de estudios anteriores alcanzados en el desarrollo en un proyecto regional, RLA/4/018, sumado a otros estudios que derivaron del mismo proyecto regional se originó una publicación: “Corrosion behavior of aluminium alloy coupons submerged in the storage pools of spent nuclear fuel in Chile”, la que fue enviada y presentada al “13 th International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management (RRFM)” cuyos autores son C. Lamas, J. Klein, H. Torres y D. Calderón. Esta reunión internacional se realizó en Viena, desde el 22 al 25 de Marzo del año 2009. El financiamiento fue otorgado a través de un Grant del OIEA y de la CCHEN.

Caracterización de Materiales

Durante el año 2009 se trabajó en determinar la cantidad de Sílice Libre Cristalina en muestras de Calidad de Aire provenientes de la Provincia de Palena, principalmente de las localidades afectadas por la erupción del Volcán Chaitén. Esto, debido a que nuestro laboratorio es el único en el país que cuenta con la técnica de determinación de Sílice respirable vía DRX, la cual es la más recomendada para este análisis. Este trabajo se ha realizado en conjunto con el MINSAL y como es de interés nacional nuestra institución ha cobrado solo los costos de análisis.

Se ha programado el análisis cuantitativo de sílice respirable por DRX, consiguiendo una reducción de la atención del analista de 45 min por muestra, a un par de segundos para todo un directorio de mediciones. Este Análisis se aplica a aproximadamente 500 análisis por año.

TABLA Nº 1: Demandas de Servicios 2009

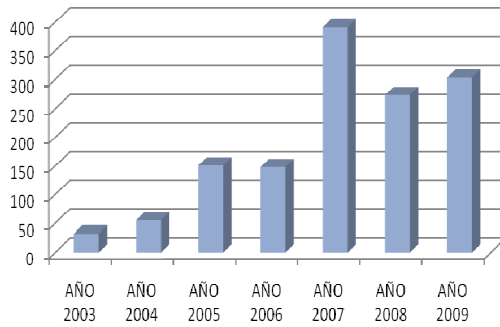
Servicios Internos y Externos

TECNICA	Nº MUESTRAS INTERNAS	Nº ANALISIS INTERNOS	Nº MUESTRAS EXTERNAS	Nº ANALISIS EXTERNOS	Nº TOTAL MUESTRAS	Nº TOTAL ANALISIS	% de MUESTRAS
Análisis Térmico	4	15	50	96	54	111	2.7
Análisis De Tritio	1042	1091	0	0	1042	1091	51.3
Porosimetria De Mercurio	3	9	3	10	6	19	0.3
Difracción De Rayos X	94	94	93	130	187	224	9.2
Picnometría	11	46	11	23	22	69	1.1
Propiedades Mecánicas	0	0	7	7	7	7	0.3
Tamaño De Partículas	12	156	291	3033	303	3189	14.9
Ensayo Granulometrico	0	0	0	0	0	0	0
Sílice Respirable	97	595	313	1249	410	1844	20.2
TOTAL	1263	2006	768	4548	2031	6554	100

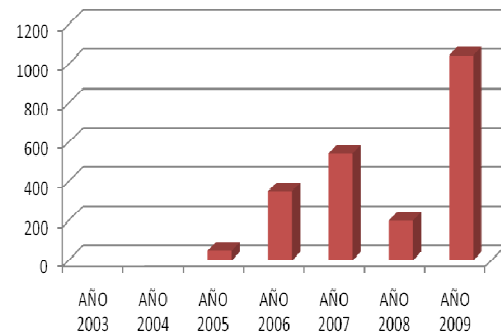
TABLA Nº 2 : Tabla histórica de servicios prestados, año 2003 - 2009

TECNICA	NUMERO DE MUESTRAS						
	AÑO 2003	AÑO 2004	AÑO 2005	AÑO 2006	AÑO 2007	AÑO 2008	AÑO 2009
Análisis Térmico	99	150	146	53	18	57	54
Análisis De Tritio			47	350	541	199	1042
Área Superficial		3	0	5	2	0	0
Difracción De Rayos X	140	273	159	188	127	163	187
Picnometría	10	10	3	19	40	10	22
Propiedades Mecánicas	7	67	83	23	60	4	7
Tamaño De Partículas	33	55	151	148	391	274	303
Ensayo Granulométrico	-	-	-	3	1	0	0
Porosimetria De Hg							6
Sílice Respirable	-	-	-	-	121	98	410
Total	317	562	589	789	1301	805	2031

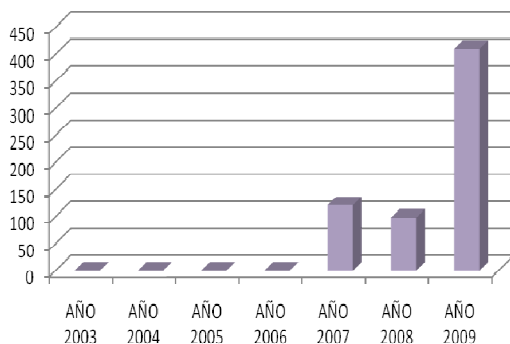
TAMAÑO DE PARTÍCULAS



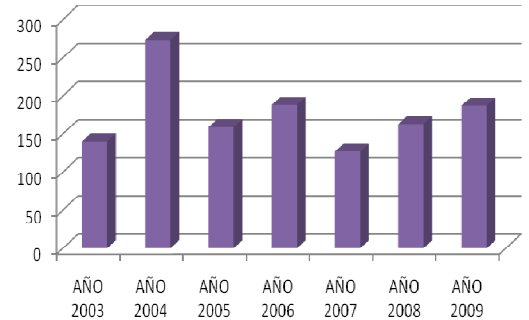
ANÁLISIS DE TRITIO



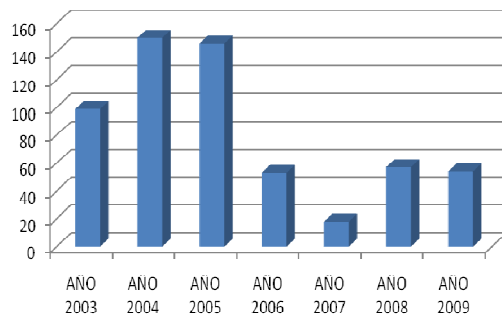
SÍLICE RESPIRABLE



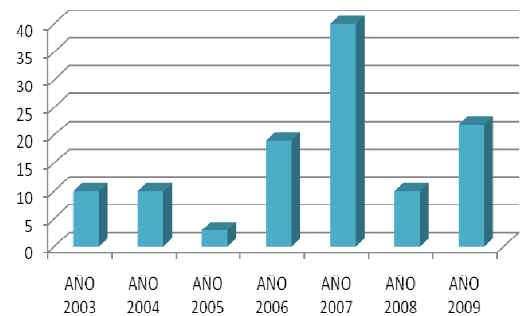
DIFRACCIÓN DE RAYOS X

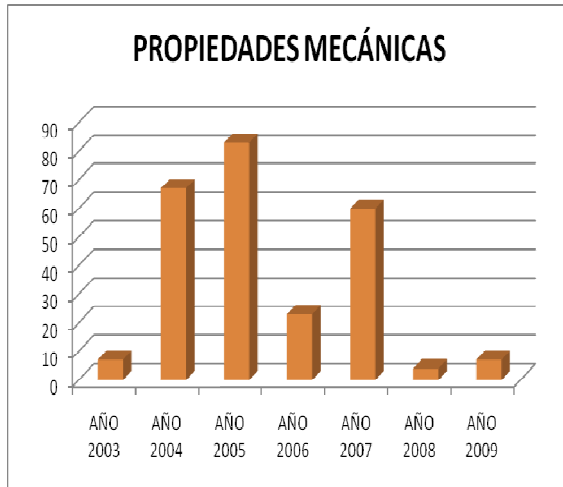


ANÁLISIS TÉRMICO



PICNOMETRÍA





Participación Internacional

En el proyecto 516: "Uso del Cobre para la Fabricación de Contenedores de Desechos Radiactivos de Alta Actividad (HLW)", se ha estado trabajando en uno de los requisitos importantes exigidos a todo material que sea candidato a contenedor para desechos radiactivos de alta actividad, como es la resistencia a la corrosión, debido a que este material debe mantenerse íntegro por, al menos, 100.000 años en el repositorio en el cual será dispuesto. Este proyecto se realiza en conjunto con la empresa SKB, que es la empresa encargada de la gestión de los desechos radiactivos de Suecia.

Participación Nacional

Aprobación de proyecto a Fondecyt : "Design, development and performance analysis of low temperature operating planar Gd-CeO₂ SOFC cells: An economical next generation energy source" presentado por el Dr. R.V. Mangalaraja (U. de Concepción) como Investigador Principal, con los Coinvestigadores: Ricardo Ávila (CCHEN), y Marta López Jenssen (U. de Concepción).

Publicaciones Internacionales

1. "Electrical and Magnetic Properties of Quaternary Rare Earth Thiophosphate: K₄Sm₂[PS₄]₂[P₂S₆]" Víctor Manríquez, Antonio Galdámez, Andrea Cerda-Monje, Octavio Peña and Ricardo E. Ávila, (2009). J. Braz. Chem. Soc., Vol. 20, No. 8, 1499-1503.
2. "Processing and Application of Ceramics 3 [3] (2009) 137–143, Electrical and thermal properties of 10 mol% Gd³⁺ doped ceria electrolytes synthesized through citrate combustion technique" R. V. Mangalaraja, S. Ananthakumar, M. Paulraj, Ka. Uma, M. López, C. Porro Camurri, R. E. Ávila. "Journal of Processing and Application of Ceramics" en el volumen 3, tomo 3 del año 2009, paginas 137-143.
3. "Corrosion behavior of aluminium alloy coupons submerged in the storage pools of spent nuclear fuel in Chile", C. Lamas, J. Klein, H. Torres y D. Calderón. "13 th International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management (RRFM)", Viena, Austria, 22 al 25 de marzo de 2009.

Publicación Nacional

"Propiedades eléctricas de fases calcopnictido Ag_{1-x}Cu_xMQ₂ (M=Sb,Bi; Q=S,Se,Te)". F. López-Vergara, A. Galdámez, V. Manríquez, R. Ávila. XII Encuentro de Química Inorgánica, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile. 13 al 16 de enero 2009.