



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## DEPARTAMENTO MATERIALES NUCLEARES

**Jefe Departamento: Ingeniero Civil Mecánico y Nuclear,  
Master en Gerencia Pública,  
Sr. Gonzalo Torres Oviedo**

E-mail: 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.

### DESCRIPCIÓN

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

En relación con minería de uranio se elaboraron informes para la Dirección Ejecutiva para ser elevados al Gobierno Central, en cuanto a la implantación de las atribuciones que la ley asigna a al CCHEN en la materia. De igual modo, se ha atendido requerimientos de empresas privadas interesadas en la exploración de uranio en el país, iniciativas que son de demanda creciente.

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 del OIEA en materias de seguridad de reactores experimentales, entre otras.

Se han formulado proposiciones de nuevas actividades tendientes a potenciar las líneas del 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.

Para el logro de los objetivos, el Departamento Materiales Nucleares se agrupa en las siguientes unidades:



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## SECCIÓN DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

**Jefe Sección: Geólogo Sr. Heriberto Fortín Medina**

E-mail: fortin@cchen.cl

En esta Sección se desarrollan dos actividades que albergan diversos proyectos, y está ubicada en el Centro Nuclear de Lo Aguirre:

N° 519 Investigación Geológica del Potencial Uranífero

N° 607 Metalurgia

### 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.
- Desarrollar e investigar tecnologías destinadas a la obtención, concentración y purificación de Materiales Atómicos Naturales y Materiales Interés Nuclear y/o soluciones que los contengan.
- Integrar las distintas áreas del conocimiento geológico y aplicarlas para implementar facilidades nucleares.

### LÍNEAS DE TRABAJO

- investigación geológica, prospección, exploración y evaluación de recursos de minerales radiactivos (uranio y torio).
- Investigación metalúrgica y geo-metalúrgica de los Materiales Atómicos Naturales y Materiales de Interés Nuclear.
- Colaborar con el conocimiento sobre la distribución de los minerales radiactivos (uranio - radón) a la seguridad en minería subterránea.

### RESULTADOS RELEVANTES DEL PERÍODO

#### Prospección Geológica

- Se ha atendido numerosas consultas, de geólogos, ingenieros de minas y asesores legales, de empresas privadas interesadas en la exploración 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.
- Se retomaron trabajos geológicos preliminares de prospección regional en el área de Quebrada Codo cedo en la III región de Atacama.
- Se constituyó grupo de trabajo con la Comisión Chilena del Cobre para preparar un perfil técnico económico de la recuperación de uranio del



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

prospecto de uranio cobre denominado Productora, ubicado en la III región de Atacama.

- Se han preparado documentos técnicos al Director Ejecutivo, Consejo Directivo de CCHEN, Subsecretaría de Minería y al Ministro de Minería, en relación al recurso energético uranio y el avance de su investigación en el país.
- Se participó en la reunión anual y en el curso realizado en Brasil del Proyecto RLA/3/006, denominado “Prospección de Uranio en Latino América”, patrocinado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- Se participó en el llamado a concurso de proyectos de inversión nacional, convocado por la Comisión Nacional de Energía con tres proyectos del área de geología y minería, quedando seleccionado en primera instancia el proyecto de exploración de recursos de Uranio y Tierras Raras e Itrio, en el prospecto Cerro Carmen, propiedad de ENAMI y CCHEN, ubicado en la Comuna de Diego de Almagro en la III Región de Atacama.
- Se iniciaron actividades de evaluación de recursos geológicos y mineros de uranio en la Mina Productora, aprovechando las labores de desarrollo y explotación excavadas por la Empresa Minera Playa Brava. Estos trabajos se iniciaron a pequeña escala en el año 2007 aumentando la inversión en tiempo y recursos durante el año 2008. Se han estimado preliminarmente 150 t de uranio en dicha mina. La potencialidad del prospecto supera las 500 t de U.

## PARTICIPACIÓN NACIONAL

- **Convenio Cooperación CCHEN – CODELCO; Estimación de Recursos de uranio**

Se firmó convenio de cooperación N° 092/2008 para asesorar a CODELCO Norte, en el área de geología, para la evaluación de recursos de uranio contenido en los minerales oxidados de cobre en la Mina Radomiro Tomic y otras fuentes por definir. El programa de trabajo se ha cumplido y se está a la espera de la obtención de muestras de los sondajes, en proceso de perforación, para avanzar en las actividades.

- **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 30 fichas de presentación de informes técnicos de geología al Sistema Nacional de Información Territorial

- Servicios y asesorías en metalurgia extractiva, se participó en varias licitaciones, adjudicándose y facturando servicios por \$43.604.448, lo que representa un 28.25% sobre la meta impuesta destacándose los servicios prestados a Haldeman Mining Company S.A., Instituto minero Metalúrgico-IM2, entre los mas importantes



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

- **Convenio Cooperación CCHEN – CODELCO; Recuperación de Uranio y Molibdeno desde soluciones de lixiviación.**

Se firmó convenio de cooperación técnica para asesorar a CODELCO Norte, en la recuperación de uranio y molibdeno contenido en soluciones de lixiviación de Radomiro Tomic, Sulfuro de Baja Ley, Hidro Sur, etc. La recuperación de ambos elementos, se realizará en forma conjunta mediante técnicas de intercambio iónico y extracción por solventes, finalmente se espera obtener precipitado de uranio ó ADU y trióxido de molibdeno.

- Se avanzó en acuerdos con SERNAGEOMIN para participar en un proyecto de prevención de riesgos en minería subterránea en relación a la presencia de radón, en las regiones de Atacama y Coquimbo.
- Se realizaron reuniones, entre CCHEN y COCHILCO, para constituir un grupo de trabajo para tratar las proposiciones de empresas mineras en relación con la recuperación de uranio asociado a mineralización de cobre.

## PUBLICACIONES

- Prospecto Cerro Carmen: Recursos de Uranio y Tierras Raras. Región de Atacama, autor Sr. Heriberto Fortin M., Chile. 2008. Revista Nucleotécnica, CCHEN.
- Precipitación de hierro con NaOH previa oxidación de  $Fe^{2+}$  desde soluciones de lixiviación conteniendo elementos de tierras raras, autores Sres. P. Orrego A., J. Jara B., Cristian Celpa, presentado y publicado en el 8º Congreso Internacional Conamet-Sam 2008.

## INFORMES TÉCNICOS

- Muestreo Radiométrico y de Minerales; Mina Productora. 13 páginas, 5 Figuras.
- Recuperación de uranio desde relaves de flotación mediante técnicas de lixiviación e intercambio iónico, preparado para el Instituto Minero Metalúrgico-IM2.
- Evaluación de fase orgánica para refinados de HMC-Iquique, a nivel piloto, preparado para Haldeman Mining Company S.A.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO

**Jefe Laboratorio: Licenciado en Química Sr. Sergio Marín Arrieta**

E-mail: smarin@cchen.cl

El Laboratorio está ubicado en el Centro Nuclear de 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

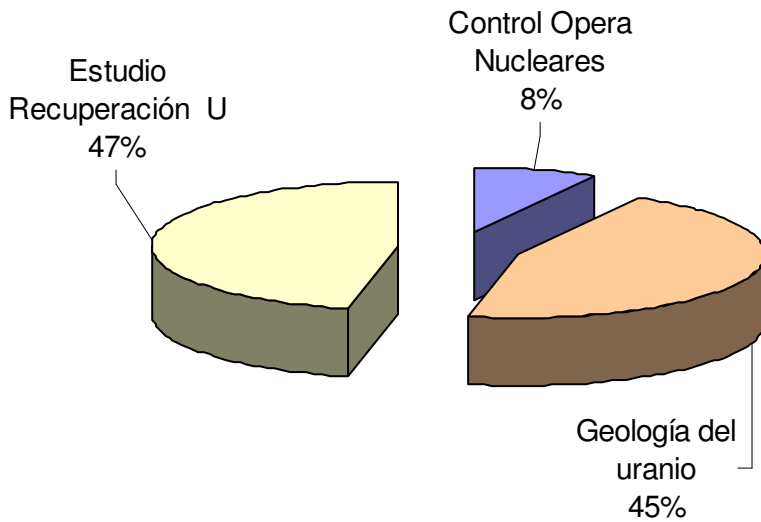
Durante el año 2008 se efectuó el análisis de 4.010 muestras en apoyo a proyectos desarrollados dentro de CCHEN, lo que implicó la realización de 6.500 determinaciones mediante técnicas instrumentales. Las muestras analizadas provinieron principalmente de:

- **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 uranio, de muestras provenientes de los estudios sobre recuperación de uranio, realizados por CCHEN.
- **Geología del uranio**  
Se realizó la determinación de uranio y otros elementos asociados en muestras de terreno, en apoyo a los estudios sobre la geología del uranio en diferentes prospectos nacionales.

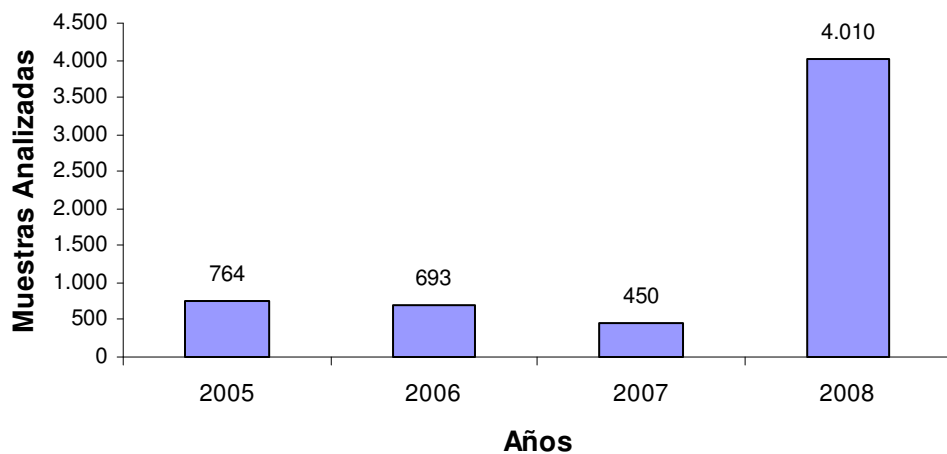


GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

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



**Figura 2.** Evolución en los últimos 4 años del servicio de análisis químico en apoyo a los proyectos institucionales.





GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## Sistema de Garantía de Calidad

Durante el año 2008 se mantuvo el mejoramiento del Sistema de Aseguramiento y Gestión de Calidad del laboratorio y se dio cumplimiento a la auditoria interna programada.

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.

El laboratorio participó en ejercicios de aptitud (ver participación Internacional y Nacional), con la finalidad de comprobar la confiabilidad de los procedimientos utilizados en el análisis químico de diferentes tipos de materiales. Los resultados obtenidos en estos ensayos mostraron un alto grado de concordancia con los informados.

Se participó en ensayos de aptitud donde las matrices analizadas corresponden a aguas de precipitación, aguas de mar y minerales.

## Apoyo en análisis químico a instituciones externas a CCHEN

Durante el año 2008 se efectuó el análisis de 5.070 muestras en apoyo a instituciones externas a CCHEN, lo que implicó la realización de 8.140 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**

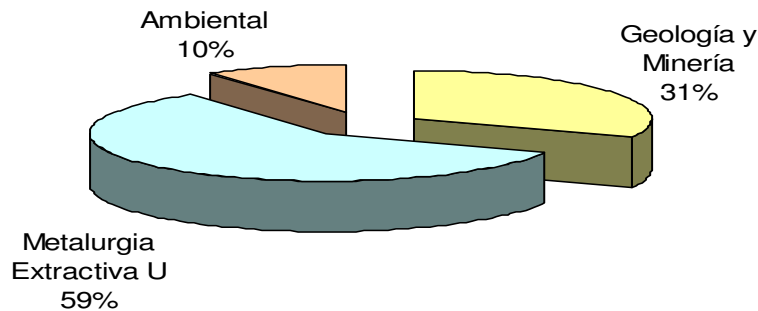
Se determinó principalmente uranio en muestras de minerales, ripios y soluciones de procesos metalúrgicos, provenientes de mineras nacionales.

- **Metalurgia extractiva del uranio**

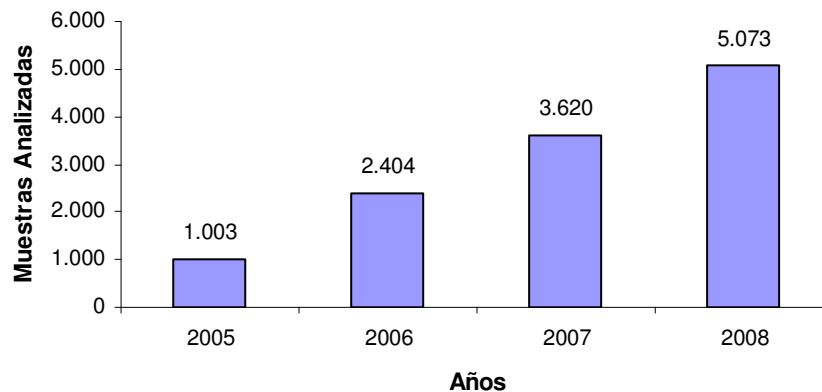
En cumplimiento a solicitudes de mineras nacionales, se realizó el control en análisis químico de las muestras provenientes de los ensayos metalúrgicos realizados en la CCHEN, para la recuperación de uranio.



**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 4 años del servicio de análisis químico en apoyo al sector externo a la institución.



### 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. **La figura 6** presenta el tiempo que se utilizó en las determinaciones realizadas, para cada una de las técnicas empleadas. Al observar esta última figura se aprecia que la técnica que tiene el mejor





rendimiento es la espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente.

- **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.

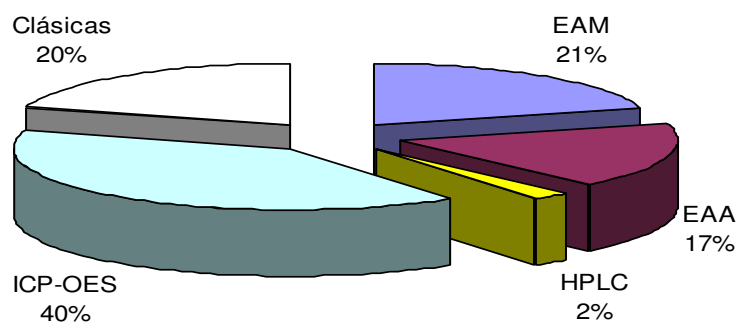
- **Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)**

Se utilizó solamente para la medición de aniones en aguas puras y soluciones acuosas.

- **Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivo (ICP-OES)**

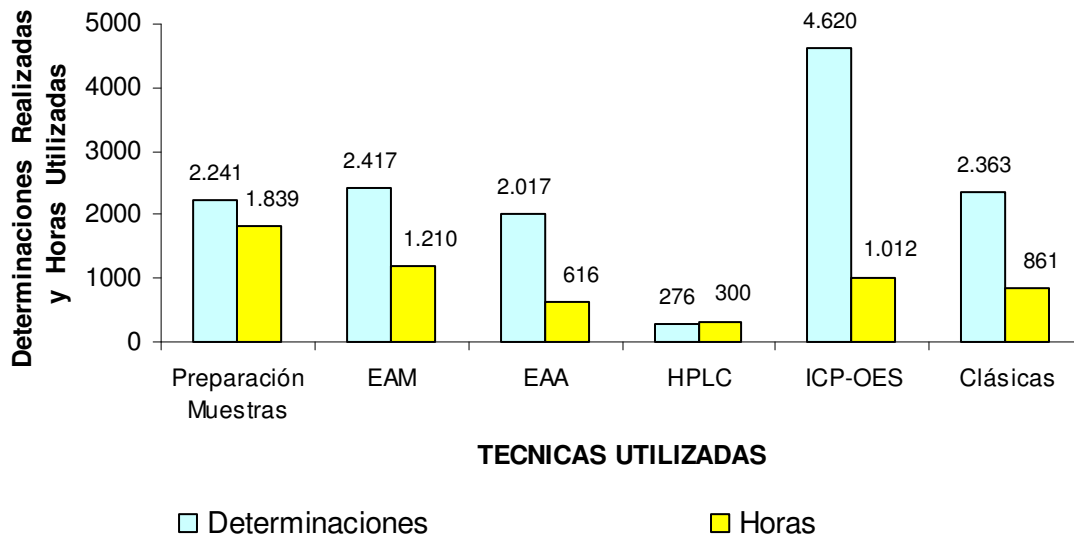
En esta técnica está considerada tanto la espectrometría de emisión óptica con sistema de nebulización neumática.

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





**Figura 6.** Relación entre las horas utilizadas y las determinaciones realizadas, para cada una de las técnicas empleadas



## PARTICIPACIÓN NACIONAL

- Se participó en ejercicio de comparación entre laboratorios organizado por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA) a través de La Universidad Andrés Bello, para la determinación de  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  y pH en muestras de agua natural y agua de mar.

## PARTICIPACIÓN INTERNACIONAL

- Participación en el trigésimo séptimo (37th) y en trigésimo octavo (38th) 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 a través del Centro de Investigación de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Albany (New York, USA), realizando I.
- Participación en el vigésimo sexto 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.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

- Participación en Programa de Ensayos de Aptitud organizado por el Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO). Las muestras correspondieron a un mineral de cinc y un mineral de plomo para ser analizados ambos por Sb, As, Cu, Sn, Pb, Zn.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## SECCION COMBUSTIBLES NUCLEARES

**Jefe Sección: Ingeniero Civil Metalúrgico Sr. Jorge Marín Espinoza**

E-mail: jmarin@cchen.cl

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

### OBJETIVOS

- Desarrollar tecnologías para la obtención de compuestos de uranio a partir de hexafluoruro de uranio,  $UF_6$ , enriquecido, y otros, aptos para ser usados en la fabricación de combustible para reactores experimentales. Objetivo terminado durante el 2008 fue el de la conversión de  $UF_6$  a uranio metálico.
- Diseñar, desarrollar y producir elementos combustibles con uranio de bajo enriquecimiento (UBE) y componentes para irradiación de materiales en reactores nucleares de investigación y ensayo de materiales.

### LÍNEAS DE TRABAJO

#### Laboratorio de Conversión

##### *Proceso Productivo de Conversión de $UF_6$ en Uranio metálico*

Este proceso desarrollado algunos años atrás considera tres etapas, es decir tres procesos distintos que se explican a continuación:

- **Obtención de  $UO_2F_2$  por hidrólisis de  $UF_6$**   
Contempla la gasificación de hexafluoruro de uranio, ( $UF_6$ ), enriquecido al 19,99% en  $U^{235}$ . Producto de esta reacción de hidrólisis se genera una solución de  $UO_2F_2$ .
- **Obtención de  $UF_4$  por reducción de  $UO_2F_2$  mediante la adición de cloruro estanoso,  $SnCl_2$ , y ácido fluorhídrico, HF**  
Consiste en la reducción química de una solución de  $UO_2F_2$
- **Obtención de uranio metálico mediante reacción metalotérmica de  $UF_4$  con magnesio, Mg, en polvo**  
Reacción fuertemente exotérmica cuyo producto principal es uranio metálico.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## Planta de Elementos Combustibles

- **Desarrollo de Elementos Combustibles MTR de alta densidad para reactores de investigación.**

Desde hace dos años se en el núcleo del reactor RECH-1 un elemento combustible experimental con una placa combustible fabricada en base al compuesto  $U_3Si_2$  densidad de uranio de  $4,8 \text{ gU/cm}^3$  con el propósito de evaluar bajo irradiación su comportamiento y validar, en consecuencia, el proceso de manufactura.

- **Desarrollo de blancos (targets) para producción de Mo de fisión.**

Línea de trabajo iniciada hace tres años en conjunto con el Departamento de Aplicaciones Nucleares de la CCHEN, con el fin de desarrollar la tecnología de fabricación de blancos de UBE metálico para obtener, por irradiación en el reactor, molibdeno de fisión para aplicaciones médicas a partir de la irradiación de blancos fabricados con uranio.

- **Mantención del Sistema de Gestión de Calidad.**

Actividades destinadas a mantener y mejorar continuamente el sistema de gestión de calidad – SGC, basado en el estándar ISO 9000 que posee la instalación, cuya primera certificación fue otorgada el 2003 por la empresa Bureau Veritas Quality International, BVQI, con acreditación internacional otorgada por ANSI-RAB de EEUU. Durante el 2008 el Sistema de gestión de Calidad de la PEC fue nuevamente auditado por parte de VBQI como parte de un proceso de certificación y acreditación, en esta oportunidad a nivel institucional. Durante el periodo también 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.

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

Línea de trabajo en tecnología de frontera en combustibles para reactores experimentales. El propósito fundamental es investigar y desarrollar nuevos compuestos de materiales para combustibles nucleares tendiente a lograr densidades de uranio por sobre los  $8 \text{ gU/cm}^3$ , cuyo fin es favorecer aún más la iniciativa internacional de conversión de todos los reactores de investigación del mundo hacia combustible con uranio de bajo enriquecimiento, junto con mejorar la eficiencia para los reactores experimentales ya convertidos como los que posee el país.

- **Desarrollo de láminas de uranio metálico producción de molibdeno de fisión.**

Esta línea de trabajo guarda directa relación con el desarrollo de blancos para producción de Mo de fisión y consiste en diseñar, planificar y ejecutar actividades tendientes a disponer de una metodología local validada por resultados experimentales para la elaboración y aseguramiento de calidad de



láminas delgadas de uranio metálico tales que cumplan especificaciones internacionales de seguridad y calidad para este tipo de productos.

- **Desarrollo de componentes para la irradiación de materiales.**

Esta nueva línea de trabajo constituye una muestra de la utilización 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, careciendo de uranio, 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.

## RESULTADOS RELEVANTES DEL PERÍODO

### Laboratorio Conversión

Se realizó la conversión completa de la UF<sub>6</sub> existente, y en cumplimiento con las consideraciones de seguridad exigidas por el Departamento de Seguridad Nuclear, en el sentido de evitar toda posibilidad de masa crítica considerando que el proceso se aplica a uranio enriquecido en el isótopo 235. Durante el 2008 se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Obtención de UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> por hidrólisis de UF<sub>6</sub>**

Se realizaron las últimas operaciones de hidrólisis que permitieron extraer las últimas cantidades de UF<sub>6</sub> posible (con uranio enriquecido al 19,99 % en U<sup>235</sup>), totalizando, un 99,2% respecto del total de UF<sub>6</sub> contenido en los cilindros de almacenaje.

Las hidrólisis llevadas a cabo durante 2008 permitieron alcanzar una cifra total acumulada de solución de UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> de 628,57 litros con una concentración promedio de 75,57 gU/l.

- **Obtención de UF<sub>4</sub> por reducción de UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> mediante la adición de cloruro estanoso, SnCl<sub>2</sub>, y ácido fluorhídrico, HF.**

Se finalizó el proceso de precipitación iniciado el año anterior, se llevaron a cabo 3 operaciones de precipitación de UF<sub>4</sub>, completando un total de 41 operaciones. De estas se obtuvo un rendimiento final de la operación de precipitación de UF<sub>4</sub> de 97,02%.

- **Obtención de uranio metálico mediante reacción metalotérmica de UF<sub>4</sub> con magnesio, Mg, en polvo**

En el año 2008 se efectuaron 4 operaciones metalotérmicas, totalizando 9 operaciones, de las cuales se obtuvo un 87,8% de la cantidad teórica a producir.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

Finalmente, la conversión de  $UF_6$  a uranio metálico tuvo un rendimiento global de 85,1% y el uranio metálico producido cumple con las especificaciones técnicas establecidas en la Norma BNL-325.

Así se finalizó el proceso productivo y se dio cumplimiento al objetivo planteado.

Se ha formulado un nuevo proyecto que considera el desarrollo de diferentes procesos de recuperación de UBE desde materiales de descarte producidos en la obtención de uranio metálico y en la fabricación de elementos combustibles.

### Planta de Elementos Combustibles

- Desarrollo de Elementos Combustibles MTR de alta densidad para reactores de investigación.

En el contexto del programa de calificación bajo irradiación de un elemento combustible experimental tipo RECH-1 con diseño modificado, constituido por una placa combustible fabricada con uranio de bajo enriquecimiento y 15 placas de aluminio, cabe recordar los objetivos principales de esta actividad, iniciada el 2007, que han sido calificar bajo irradiación con la mayor densidad licenciada internacionalmente con  $U_3Si_2$ , ( $4,8gU/cm^3$ ), además de evaluar las capacidades de la PEC en cuanto a optimización del diseño de combustibles nucleares y también en el seguimiento y calificación de elementos combustibles. Hasta la fecha de emisión de este reporte el desempeño del elemento combustible experimental ha sido de acuerdo a lo esperado y tanto las inspecciones visuales, los controles dimensionales y los cálculos de quemado han dado resultados satisfactorios. En virtud de los bajos niveles de quemado de uranio registrados a la fecha y el buen comportamiento del elemento de prueba, se evalúa la posibilidad de cambiar su ubicación en el núcleo hacia una posición de mayor actividad.

- **Desarrollo de Blancos (Targets) para producción de Mo de fisión.**  
En cuanto al desarrollo de blancos para la producción de molibdeno de fisión a partir de LEU, durante el 2008 se ha logrado el ensamblado de prototipos reemplazando el uranio por láminas de cobre. Con estos prototipos de blancos fue posible caracterizar los espacios entre las láminas o gaps de aire formados entre el cobre, sus envoltorios de níquel y las paredes de los tubos de aluminio. También se evaluó experimentalmente la aplicación de laminación en frío como alternativa de acondicionamiento láminas de uranio natural obtenidas por un proceso modificado de colada continua. Con estas láminas acondicionadas se logró finalmente ensamblar blancos con uranio bajo especificaciones incluyendo pruebas de fugas o de estanqueidad de las



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

soldaduras TIG basándose en un detector de He de alta sensibilidad, aplicando una metodología desarrollada el 2007.

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

El Sistema Integral de Calidad de la PEC superó exitosamente una nueva auditoria de Certificación de Calidad aplicada por la compañía Bureau Veritas VBQI International en el marco de un proceso de Certificación Institucional que consideró múltiples Secciones tanto operativas como de gestión y apoyo de la CCHEN. De esta forma la PEC ratifica su certificación de calidad, renovada el 2006 y con vigencia de tres años por parte de Bureau Veritas VBQI International y la acreditación internacional por parte de ANAB (Ex ANSI RAB de USA).

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

Durante el 2008 se lograron importantes avances en el desarrollo de láminas delgadas de aleaciones UMo. A través del procesos de conformado en caliente fue posible obtener láminas con espesores cercanos a los 400 micrones, materia prima fundamental para combustibles nucleares avanzados conocidos como combustibles monolíticos los cuales constituyen hoy en día la mas promisoria alternativa en el desafío mundial de bajada de enriquecimiento de uranio utilizado en los reactores de investigación. Esta tarea, iniciada hace dos años, incluyó durante 2008 la laminación en caliente de la aleación U-10% en peso Mo hasta espesores de entre 450 y 490  $\mu\text{m}$ . También durante el 2008 se realizó un estudio de obtención de polvos de aleaciones U-Mo más un tercer elemento (Si, Ti, Zr) mediante una técnica de hidruración-deshidruración. Los polvos así obtenidos cumplieron especificaciones de morfología, tamaño de partículas y composición de bases por lo cual fueron utilizados en la elaboración de miniplacas tipo disperso utilizando un diseño apto para su futura calificación bajo irradiación en un reactor experimental extranjero. Se fabricó un set de miniplacas las cuales fueron caracterizadas y evaluadas, en general, de manera satisfactoria.

- **Desarrollo de láminas de uranio metálico producción de Mo de fisión.**

Durante el 2008 la PEC continuó por segundo año el desarrollo de la metodología de obtención de láminas delgadas de uranio metálico para su utilización como blancos de irradiación para la producción del isótopo de uso médico  $^{99}\text{Tc}$  a partir de molibdeno de fisión (línea de trabajo N° 2). Esta actividad también forma parte de los esfuerzos internacionales por bajar el enriquecimiento del uranio utilizado a nivel mundial, en esta oportunidad para una aplicación médica, específicamente la producción del radioisótopo de mayor uso en medicina nuclear en el mundo. A este respecto, durante el año pasado se logró mejorar y consolidar la metodología de obtención de láminas delgadas de uranio por laminación en caliente y en frío, todo lo anterior con el fin último de contar con una metodología propia para la producción de





GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

láminas de uranio bajo especificaciones internacionales para este tipo de aplicación.

- **Desarrollo de componentes para la irradiación de materiales.**  
En esta línea de trabajo incorporada en la certificación de calidad, se ha logrado la fabricación y entrega al reactor de 800 cápsulas de irradiación, además de la fabricación de dos canastillos portacápsulas con diseño apto para el RECH-1. Esta línea de trabajo, aprovecha la utilización de la infraestructura y metodologías desarrolladas para la fabricación de combustibles

## **PARTICIPACIÓN INTERNACIONAL**

### **Proyecto de Cooperación Técnica**

La PEC ha continuado su contribución durante el 2008 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 <sup>99</sup>Mo Using Low-Enriched Uranium (LEU) or Neutron Activation”.

### **Participación en eventos internacionales**

- La ingeniero Dra. Patricia Rojas, del Laboratorio de Conversión participó en el Curso Regional de Capacitación sobre los Sistemas Nacionales de Contabilidad y Control de los Materiales Nucleares, 14 al 25 de Julio de 2008, Ciudad de México y Puerto de Veracruz, México.
- En Marzo 2008 el Jefe de la Sección Sr. Jorge Marin, con el Jefe del Departamento de Materiales Nucleares participaron en calidad de expositores en el Congreso Internacional Research Reactor Fuel Management RRFM 2008, realizado en Hamburgo – Alemania, haciendo la presentación de una publicación con el estado actual del desarrollo de combustibles nucleares en la CCHEN.
- En Octubre 2008 el Jefe de la Sección, el ingeniero de la PEC Sr. Luis Olivares y el Jefe del Departamento de Materiales Nucleares participaron en la versión N° 30 del International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactor - RERTR realizado en Washington, Estados Unidos. En ésta se presentó un trabajo con nuevos resultados de las actividades relacionadas con el programa de reducción del enriquecimiento de uranio para combustible en la CCHEN, especialmente en temas relativos a resultados del desarrollo de combustibles en base a aleaciones UMo y de



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

la irradiación en el reactor chileno RECH-1 del elemento combustible experimental en base a  $U_3Si_2$  fabricado en la PEC.

- En Octubre 2008 el ingeniero civil de la PEC Sr. Jaime Lisboa participó como expositor en el X Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, IBEROMET 2008 realizado en Cartagena de Indias, Colombia, del trabajo científico relativo al tema de placas combustibles monolíticas basadas en la aleación UMo.

## **PARTICIPACIÓN NACIONAL**

En Septiembre 2008 el Jefe de la Sección junto al ingeniero de la PEC Sr. Luis Olivares participaron en calidad de expositores en el 8º Congreso Binacional de Metalurgia y Materiales, CONAMET/SAM 2008, organizado en Santiago por la Universidad Tecnológica Metropolitana UTEM. Se expusieron los más recientes resultados obtenidos en la PEC en temas de desarrollo de combustibles nucleares de alta densidad basados en aleaciones UMo.

## **PUBLICACIÓN NACIONAL**

Estado Actual del Desarrollo de Combustibles para Reactores Nucleares de Investigación, autores Sres. Jorge Marín, Jaime Lisboa, Luis Olivares, Mario Barrera, presentado publicado el 28.10.08, en CONAMET/SAM 2008, 8º Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales Santiago - Chile

## **PUBLICACIONES INTERNACIONALES**

- Fabricación de Placas Combustibles Monolíticas con Aleación Uranio-Molibdeno para uso en Reactores Nucleares de Investigación, autores Sres. Jaime Lisboa, Jorge Marín, Mario Barrera, Héctor Pesenti, presentado y publicado el 13.10.08, en IBEROMET 2008 X Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales, Cartagena de Indias Colombia.
- Nuclear Fuel Development Based on UMo Alloys. Under Irradiation Evaluation of LEU  $U_3Si_2 - 4,8 \text{ gU/cm}^3$  Test Fuel, autores Sres. Luis Olivares, Jorge Marín, Mario Barrera,, Gonzalo Torres, Jaime Lisboa, presentado y publicado el 5.10.08., en 30<sup>th</sup> International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors - RERTR Washington – EEUU.
- Current Status and Development of Fuel for Research Reactors in Chile, autores Sres. Jorge Marín, Jaime Lisboa, Mario barrera, Luis Olivares, Gonzalo Torres, en RRFM 2008 Congreso Internacional Research Reactor Fuel Management, Hamburgo-Alemania.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## INFORMES TÉCNICOS

### Laboratorio de Conversión

- Proyecto nivel perfil “Recuperación de uranio enriquecido”, Septiembre 2008
- Informe final proyecto 421 “Obtención de Uranio metálico, Octubre 2008

### Planta de Elementos Combustibles

- Fabricación de polvos de aleaciones UMo-Me en base a metodología de Hidruración-Deshidruración - DMN-PEC, Lo Aguirre, Septiembre 2008.
- Preparación y ensamblado de prototipos Target de Uranio Natural - DMN-PEC, Lo Aguirre, Diciembre 2008.
- Colaminación UMo Monolítico - DMN-PEC, Lo Aguirre, Diciembre 2008.
- Miniplacas UMo-Al-Si - DMN-PEC, Lo Aguirre, Diciembre 2008.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## SECCIÓN MATERIALES AVANZADOS

**Jefe Sección: Licenciada en Química Sra. Silvia Lagos Espinoza**  
E-mail: slagos@cchen.cl

### OBJETIVOS

Desarrollar proyectos de Investigación y Desarrollo: la síntesis, el comportamiento y la caracterización de propiedades físicas y químicas en los materiales aplicados al campo nuclear y otros de la ingeniería. Brindar soporte técnico a proyectos internos y a usuarios externos mediante la utilización de laboratorios especializados y técnicas instrumentales de caracterización termo-física de materiales.

### LÍNEAS DE TRABAJO

Durante el año 2008 se desarrollaron tres líneas de trabajo:

#### **Uso de Cobre para Contenedores hlw**

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**

Evaluación de algunos sistemas que componen el reactor RECH -1 y RECH-2 con la finalidad de establecer el estado actual de su estructura desde el punto de vista de corrosión. Los resultados de esta evaluación permiten proponer medidas para minimizar el efecto de la corrosión y asegurar la integridad estructural del sistema o sistemas en el tiempo.

#### **Caracterización de Materiales**

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.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## RESULTADOS RELEVANTES DEL PERIODO

### Uso de Cobre para Contenedores hlw

El año 2007 se diseñó y fabricó una estructura experimental para realizar estudios de corrosión bajo irradiación, la que utiliza una fuente de Co-60 como fuente de radiación. Esta estructura permite someter a irradiación materiales y para el caso particular de este trabajo, simular la radiación que recibiría la pared interna de un contenedor de cobre que está en contacto con agua subterránea de un repositorio nuclear y que contiene en si interior una carga de elementos combustibles gastados.

Se logró obtener las siguientes autorizaciones requeridas por el DSNR: Autorización de Construcción para la Instalación Radiactiva de Primera Categoría; Autorización de Operación para la Instalación Radiactiva de Primera Categoría, y Autorización de Operador para instalaciones Radiactivas de Primera Categoría.

Se realizaron las primeras experiencias para determinar el potencial de corrosión del cobre en agua que simula agua subterránea de un repositorio nuclear a una tasa de exposición de 50 R/h. donde se alcanzaron resultados preliminares relacionados con: el efecto que la radiación (50 R/h) causa en el sistema cobre/agua subterránea, la naturaleza cristalina del cobre como tal no se ve afectada, que se determina una tendencia a desplazar el potencial de corrosión a valores más catódicos a mediada que la tasa de exposición aumenta.

### Control de la Corrosión en Reactores de la CCHEN

La preocupación de la corrosión y la mejora de procedimientos en los reactores experimentales de la CCHEN es una necesidad permanente hacia el objetivo de trabajar con en condiciones seguras, por lo que allí radica la importancia de esta actividad.

Se examinaron dos sistemas del reactor experimental RECH-2, el que se encuentra en condiciones de detención prolongada. El contenido de la información y resultados se encuentra en los respectivos informes técnicos.

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 para su presentación al "13<sup>th</sup> International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management (RRFM)" a realizarse en Viena el año 2009.

Se realizaron algunas actividades experimentales exploratorias en torno a la protección de los elementos combustibles gastados frente a la corrosión



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

prolongada. Los resultados preliminares alcanzados no son concluyentes y serán aportados, al desarrollo del proyecto regional: "Development of novel cost effective conversión coatings for long term safe wet storage of spent aluminium-clad research reactor fuels". La ejecución de este proyecto está aún sujeta a precisiones de financiamiento.

### **Caracterización de Materiales**

Destaca que la autoridad en salud a través del Instituto de Salud Pública solicitó la colaboración del Laboratorio de Difracción de Rayos X, con su técnica para la medición de polimorfos de sílice respirable y así atender uno de los problemas de la emergencia Chaitén. Durante el año se analizó tridimita, crsitobalita y cuarzo totalizando 80 análisis de filtros y aproximadamente 10 en sedimentos. Es importante destacar que los productos del volcán Chaitén son altamente silíceos ( $\text{SiO}_2 > 70\%$ ) y por esta razón el volcán está asociado con erupciones muy explosivas, desarrollando columnas eruptivas de gran altura. Las cenizas de la erupción ricas en sílice pueden causar daños severos en los sistemas digestivo y respiratorio de personas y animales.

Durante una semana trabajó en el centro Nacional de metrología una profesional del servicio, para comparar y validar las mediciones que se ejecutan en el analizador de tamaño de partículas de nuestra institución.

Durante cuatro meses dos alumnas de Ingeniería Física de la Universidad de Santiago realizaron su práctica profesional en los Laboratorios de Caracterización de Materiales.

El Laboratorio de Difracción de Rayos X con su técnica Análisis Cuantitativo de Sílice respirable para trabajadores profesionalmente expuestos, participó en el Programa Nacional de Evaluación de la Calidad dependiente del Instituto de Salud Pública. Los resultados para la participación del laboratorio fue 100% exitoso, esto es que todos los resultados para las muestras ciegas de sílice respirable mediante DRX fueron ejecutados sin errores, acreditando como competente al laboratorio para la ejecución del análisis de sílice respirable.

Por concepto de facturación, el servicio ingresó un total de \$ 26.800.000. El número de demandas de servicio interno y externo, pueden verse en el cuadro N° 1 y las demandas en años anteriores en el cuadro N° 2.



GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

**TABLA Nº 1: Demandas de servicios 2008:**

**Internas y Externas**

TECNICA	Nº MUESTRAS INTERNAS	Nº ANALISIS INTERNOS	Nº MUESTRAS EXTERNAS	Nº ANALISIS EXTERNOS	Nº TOTAL MUESTRAS	Nº TOTAL ANALISIS	% MUESTRAS
ANÁLISIS TÉRMICO	13	33	44	136	57	169	7.1
ANÁLISIS DE TRITIO	199	212	0	0	199	212	24.7
DIFRACCIÓN DE RAYOS X	52	53	111	106	163	159	20.3
PICNOMETRÍA	0	0	10	16	10	16	1.2
PROPIEDADES MECÁNICAS	0	0	4	4	4	4	0.5
TAMAÑO DE PARTÍCULAS	5	78	269	1942	274	2026	34.0
SÍLICE RESPIRABLE	0	0	98	632	98	632	12.2
TOTAL	347	881	458	2331	805	3218	100

**TABLA Nº 2 : Tabla histórica de servicios prestados, año 2002 - 2008**

TECNICAS	CANTIDAD DE MUESTRAS ANUALES						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
ANÁLISIS TÉRMICO	150	99	150	146	53	18	57
ANÁLISIS DE TRITIO				47	350	541	199
ÁREA SUPERFICIAL	72		3	0	5	2	0



DIFRACCIÓN DE RAYOS X	277	140	273	159	188	127	163
PICNOMETRÍA	88	10	10	3	19	40	10
PROPIEDADES MECÁNICAS	10	7	67	83	23	60	4
TAMAÑO DE PARTÍCULAS	127	33	55	151	148	391	274
SÍLICE RESPIRABLE	-	-	-	-	-	121	98
TOTAL	724	317	562	589	786	1300	805

## PARTICIPACIÓN NACIONAL

Se trabajó en convenio de colaboración con el Instituto de Salud Pública, específicamente con el Laboratorio de Salud Ocupacional en el análisis de muestras de la Emergencia Chaitén y otras para la validación del método de análisis.

Se ha mantenido la colaboración con el Departamento de Física, de la Universidad de Santiago de Chile, para que alumnas del mismo realizaran su práctica y tesis de Ingeniería Física en colaboración con personal de la Sección.

## PUBLICACIONES NACIONALES

"Models of tritium release from  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  and  $\text{Li}_2\text{ZrO}_3$  pebbles", R.E. Avila, L.A. Peña, y J.C. Jiménez, 12 al 14 de noviembre de 2008, XVI Simposio Chileno de Física, Valparaíso, Chile.

"Caracterización eléctrica de cerámicos potencialmente multiferroicos", L. Barcos, R.E. Avila, P. Lara L. Troncoso, D. Serafini, 12 al 14 de noviembre de 2008, XVI Simposio Chileno de Física, Valparaíso, Chile,





GOBIERNO DE CHILE  
COMISION CHILENA  
DE ENERGIA NUCLEAR

## INFORMES TÉCNICOS

1. “Informe Final “ Circuito Secundario de Refrigeración del Reactor RECH-2”
2. “Informe Final “Evaluación de Elementos Combustibles gastados y Elementos reflectores del Reactor RECH-2”
3. “Informe de avance N° 1 “Evaluación de rack de corrosión sumergido durante 5 años en segunda piscina del RECH-1.
4. Informe N° 1 “Estudio Preliminar de formación de capas de lantánidos sobre placas de aluminio 6061 para protección de la Corrosión”.
5. Encuesta de satisfacción al cliente, 2008.
6. Informe de Corrosión Bajo Irradiación, Diciembre 2008