



XA9743884

IAEA/UNDP-ARG/89/012-TR
Informe Final

CARRERA DE INGENIERIA NUCLEAR - FASE II

ARGENTINA

INFORME FINAL



PROGRAMA DES LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESAROLLO
ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

VIENA 1993

WOL 28 N° 13

CARRERA DE INGENIERIA NUCLEAR - FASE II

ARGENTINA

INFORME FINAL

Informe preparado para
el Gobierno de Argentina

por

el Organismo Internacional de Energia Atomica
en su caracter de Organismo de Ejecucion del
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESAROLLO
ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

VIENA 1993



PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO.

INFORME DE TERMINACION DEL PROYECTO.

País: ARGENTINA.

Título del Proyecto: Carrera de Ingeniería Nuclear - Fase II

Número del Proyecto: ARG/89/012

Presupuesto Total: U\$S 240.500.

Institución Ejecutora: Centro Atómico Bariloche - Comisión
Nacional de Energía Atómica e
Instituto Balseiro - Universidad
Nacional de Cuyo.

Agencia Ejecutora Internacional: OIEA : Organismo
Internacional de Energía
Atómica.

Lugar: Centro Atómico Bariloche
8400 - Bariloche (Río Negro).
Argentina
Tel. (0944) 61011.
Tlx: 80723 CAB AR

Responsables del Proyecto:

- **Director Nacional:**
Arturo López Dávalos - Director Centro Atómico e Instituto
Balseiro.

Coordinador General:
Máximo Abbate.

Secretaría del Proyecto:

Secretario Técnico : Juan de Nicola
Secretaria: Lucila Wirth - hasta marzo 1990.

Fecha de Iniciación: 01 Enero 1989

Fecha de Terminación: 20 Noviembre 1991

I . EL PROYECTO.

1. OBJETIVO DE DESARROLLO.

El objetivo de desarrollo al cual el proyecto está relacionado, consiste en consolidar y ampliar las condiciones necesarias para el desarrollo de tecnología nuclear, y para atender a los problemas que la aplicación de la energía nuclear plantea, mediante el aumento y perfeccionamiento de la infraestructura científica y técnica.

2. OBJETIVOS INMEDIATOS.

El objetivo inmediato del proyecto fue completar la promoción de actividades de investigación y desarrollo en ingeniería nuclear en el Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro.

Dichas actividades tendieron a concluir con los trabajos que se venían realizando bajo el Proyecto "Ingeniería Nuclear" Fase I (ARG/78/020) y comprendieron el completamiento de la formación de recursos humanos en temas específicos, la realización de tareas de investigación para concluir la consolidación de grupos de trabajo.

Para el cumplimiento adecuado de los objetivos, el proyecto se organizó en base a las actividades pendientes de concreción previstas en su antecesor (ARG/78/020).

Los resultados sobresalientes de la Fase I estimularon la realización de una segunda Fase, para garantizar la continuidad y el afianzamiento de las actividades en ingeniería nuclear mediante la asistencia directa a líneas específicas de investigación con las cuales fué posible obtener resultados y permitieron formar y estabilizar grupos de trabajo.

Se continuó con las ocho líneas de trabajo ya seleccionadas, con el objeto inmediato de completar y consolidar la carrera de Ingeniería Nuclear a través de un plan de investigaciones específicas, dejando en funcionamiento autónomo los grupos de trabajo de investigación y desarrollo en Ingeniería Nuclear.

a. Línea de investigación B: vibraciones mecánicas y análisis de ruido neutrónico:

- entrenamiento para el desarrollo de software de adquisición de datos para monitoreo electromecánico de sistemas de centrales nucleares.
- actualización de técnicas de instrumentación para análisis por vibraciones y análisis temporal.
- continuar con la cooperación con el IKPH (Universidad de Hannover).

- estudio de técnicas de monitoreo de núcleos de reactores por medio de ruido neutrónico.

b. Línea de investigación D: determinación de quemado:

- continuación de mediciones de quemado en elementos combustibles.

- discusión de problemas experimentales y de técnicas de medición de combustibles enriquecidos al 20%.

- trabajos en cooperación con el LANL, Los Alamos.

c. Línea de investigación E: flujo crítico de calor:

- continuación con los trabajos en cooperación con el RPI de Nueva York, que incluyen estudios teóricos y experimentales.

- recepción de asesoramiento sobre aplicación de métodos numéricos y su aplicación a problemas de transferencia de calor.

d. Línea de investigación F: inestabilidades en flujo bifásico:

- recepción de asesoramiento sobre dinámica de flujos de dos fases e inestabilidades incluyendo aspectos relativos a la instrumentación a utilizar.

- continuación con los trabajos en cooperación con el RPI de Nueva York y los contactos con el CENG de Grenoble. Discusión de los resultados obtenidos en Bariloche hasta el momento.

e. Línea de investigación G: simuladores de plantas nucleares:

- completamiento de la instrumentación relacionada con simuladores de plantas nucleares.

f. Línea de investigación H: redes compactas.

- perfeccionamiento de las facilidades experimentales para la medición de neutrones de energías intermedias y rápidas.

- continuación del trabajo en cooperación con la Universidad de Braunschweig, discusión de los últimos resultados obtenidos en Bariloche, definición de un nuevo plan de trabajo conjunto.

- estudio de nuevos métodos de procesamiento de datos nucleares, especialmente en lo referente a autoblandajes.

- completamiento del sistema de cálculo para incluir quemado, cálculo de elementos combustibles y del reactor completo.

- capacitación y perfeccionamiento en el análisis de resultados experimentales y de cálculo recientemente obtenidos en Japón. Establecimiento de nuevos contactos.



g. Línea de investigación I: seguridad nuclear:

- capacitación para el manejo del software específico de análisis del término de fuente en accidentes.
- capacitación para el manejo del software específico de simulación de accidentes por pérdida de refrigerante.

3. METODOLOGIA.

El método usado para ejecutar el proyecto, como en la fase anterior, consistió en la adecuada combinación de los esfuerzos del PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo), del OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) y del Gobierno, utilizando expertos internacionales y nacionales, visitas científicas y provisión de equipamiento.

El manejo se realizó en forma conjunta y en total armonía, entre un director nacional, un asesor técnico principal y un coordinador.

Se continuó utilizando la secretaría técnica formada en la Fase I, desde donde se efectuó la tramitación y el control de la gestión total de todo el proyecto.

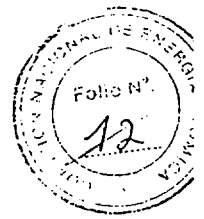
Esto fué completado con un sistema automatizado o computarizado que permitió tener la información permanentemente actualizada de cada línea en forma particular, así como elaborar los resúmenes para las reuniones tripartitas y las propuestas para las revisiones.

Contratación de expertos internacionales: Su misión fué la de actuar como docentes, entrenar personal nacional, asesorar sobre los planes de estudios y proponer y dirigir trabajos especiales. Así como de supervisión e intervención en temas específicos como los de organización, equipamiento y propuesta y dirección de trabajos. Finalmente, actuaron asociados e involucrados en las investigaciones y como consultores.

La cantidad de semanas/hombre utilizada fue de 13. (Ver Anexo 1)

Es de destacar el buen nivel, desempeño y dedicación de los expertos.

Visitas científicas y periodos de entrenamiento en el exterior de personal nacional: Se emplearon 17.25 meses/hombre de visitas (Ver Anexo 2). Se obtuvieron excelentes resultados que abarcaron entrenamiento en temas específicos, realización de trabajos concretos y establecimiento de planes de investigación en cooperación con instituciones del exterior.



Equipos: Este rubro fue también importante y exitoso. A través del proyecto se invirtieron 45.026,58 U\$S. Esto unido a la fuerte contribución del Gobierno permitió alcanzar la suficiente infraestructura básica que más adelante se describe. La distribución por líneas de investigación se indica en el Anexo 3. Se tramitaron 6 pedidos de compra.

Todo el equipamiento fue ingresado a través del sistema patrimonial del Centro Atómico Bariloche, de modo de quedar, desde un primer momento, bajo la responsabilidad directa de funcionarios de dicho Centro.

Fondos del Proyecto: Los desembolsos de los fondos a través del proyecto figuran en el Anexo 4.

4. VERIFICACIONES Y EVALUACIONES.

Se hizo un seguimiento muy detallado del proyecto lo cual contribuyó, en gran medida, al éxito de sus resultados, ya que fue posible ir introduciendo los cambios que la experiencia y la realidad iban indicando.

Se continuó con el método de adjudicar presupuestos a cada línea bajo la responsabilidad directa de su investigador principal.

Se realizaron las correspondientes y previstas reuniones tripartitas y visitas de monitoreo las que fueron complementadas con una misión de evaluación general.

En 1989 se efectuó una exhaustiva evaluación de los resultados alcanzados hasta ese momento. El Comité estuvo formado por los Profesores M.M.R. Williams; D.Stegemann y L.R. Rogers. Su informe se agrega como Anexo 13.

5. PARTICIPACION INSTITUCIONAL.

Debe destacarse la labor eficiente, positiva y de gran magnitud realizada por la oficina del PNUD y especialmente, la participación de la agencia ejecutora, IAEA, que con una fluida comunicación con el proyecto puso a su disposición todos los medios a su alcance así como realizó todas las tramitaciones y acciones necesarias. Esto es destacable, más aún, considerando la complejidad del proyecto.

II - PRINCIPALES RESULTADOS.

1. CARRERA DE INGENIERIA NUCLEAR.

Su plan de estudios continuó siendo perfeccionado a lo largo del proyecto: la última versión es del año 1986 y se agrega como Anexo 5.



También se fue completando el plantel docente nacional el cual ya incluye a un alto porcentaje de egresados.

El actual plantel (Ver Anexo 6) cubre las necesidades de todas las materias y de la dirección de trabajos especiales, en condiciones estables, ya que todo el personal está nombrado en los correspondientes cargos, por la Universidad.

El detalle de los egresados en este periodo y de los actuales alumnos se dá en los Anexos 7 y 8.

Desde un primer momento se previeron actividades de posgrado, fundamentalmente las referidas a la obtención del Doctorado en Ingeniería Nuclear.

Cabe destacar el caracter de pionero del Instituto en este tema a pesar de lo joven de la carrera. Recibieron su título de Doctor 8 ingenieros, con lo cual totalizan 11 desde el inicio de la carrera (casi un 9% del total), mientras que otros están trabajando en su tesis (Ver Anexo 9).

A través del proyecto se apoyó a la Biblioteca a fin de dotarla de bibliografía específica.

2. LABORATORIOS E INFRAESTRUCTURA ANEXA.

Siguiendo el modelo consistente en que la carrera debía desarrollarse en un ambiente de investigación y trabajo en ingeniería nuclear, se fueron creando y apoyando grupos de trabajo en temas relacionados.

Todo ello significó una fuerte contribución del Gobierno.

A través del proyecto se proporcionó un importante equipamiento (Ver Anexo 3).

Los grupos de trabajo formados fueron incorporados orgánicamente al Centro Atómico Bariloche con la estructura del Departamento de Ingeniería Nuclear en 1980 el cual cuenta con presupuesto y personal ya establecidos.

En el Anexo 11 se indica la incorporación de personal a estas actividades.

Todos estos grupos ya están en plena producción como puede verse en el Anexo 12.

En los Anexos 10 y 11 se indican los sectores que están asociados a las actividades del proyecto.



3. ACTIVIDADES DE INVESTIGACION.

1. Línea B: Vibraciones Mecánicas y Análisis de Ruido Neutrónico.

Los trabajos se desarrollaron de acuerdo con los objetivos iniciales: adquirir conocimientos, desarrollar técnicas apropiadas, brindar soluciones a problemas de la industria nacional.

El tema de "Vibraciones Mecánicas" ha superado las expectativas en lo que respecta al desarrollo y aplicaciones de la técnica de análisis de vibraciones. Asimismo, luego de un reordenamiento en la metodología y objetivos funcionales, se pudo implementar un experimento completo de Ruido Neutrónico en el Reactor RA-6.

ACTIVIDADES REALIZADAS.

Capacitación y entrenamiento en diseño e implementación de sistemas para la adquisición, pre-procesamiento de señales vibratorias (Hardware y Software).

Desarrollo de un analizador de frecuencia analógico para mantenimiento en el campo de máquinas rotantes.

Desarrollo de un sistema de diagnóstico de fallas dinámicas computarizado para máquinas rotantes.

Ej.: "Bomba 1PRI-reactor RA-6, (P:45 KW)"; Bomba de alimentación al generador de vapor de la Central Nuclear Embalse (CNE) (P:3.8 MW); "Turbogruppo de 650 MW de la CNE: Sistema de monitoreo y diagnóstico 'on line' de oil whip y desbalanceo". Este mismo sistema puede aplicarse a las turbinas hidráulicas tipo Frnacis y Kaplan de aprox. 250 MW de potencia eléctrica (Hidronor).

Desarrollo de un analizador portátil para aplicaciones varias.

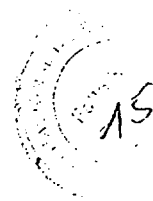
Desarrollo de técnicas no destructivas de componentes del núcleo de la CNE, de tecnología CANDU.

Desarrollo de la técnica no destructiva de análisis de cojinetes; multiplicadores y reductores de velocidad a engranajes.

CONVENIOS DE COOPERACION CON OTRAS INSTITUCIONES

Convenio Argentino-Alemán: desarrollo en Alemania (IKPH), Universidad de Hannover y el Centro Atómico Bariloche de facilidades experimentales para la investigación y desarrollo de análisis de fallas en máquinas rotativas y las correspondientes normativas.

Concurso de proyectos de ingeniería: desarrollo de una facilidad para el estudio de fallas en cojinetes de elementos rotantes.



Convenio de Cooperación con el Departamento de Tecnología Intersectorial de Base de la ENEA, Bologna, Italia, para el desarrollo de técnicas de control de ajuste de motores terminados y de automóvil (Diesel) en desarrollo.

RESULTADOS OBTENIDOS

a) Implementación de un laboratorio para el desarrollo de técnicas de monitoreo y análisis de vibraciones de máquinas de proceso, particularmente rotativas.

Ej.: Turbinas, compresores, válvulas, tuberías y sus componentes tales como ejes y cojinetes.

b) Dictado de cursos y seminarios a ingenieros y estudiantes en la CNEA y en otros países tales como: Brasil, Venezuela, México, Chile, Guatemala y Uruguay.

Asistencia y soporte al Proyecto Regional de Ensayos no Destructivos (PNUD-CNEA-IAEA) en temas relativos a ensayos no destructivos., mediante el uso del análisis de vibraciones.

Desarrollo del contacto permanente con otras instituciones de prestigio e intensa actividad en el tema: IKPH (Universidad de Hannover), Alemania, NDT Center, Harwell, Inglaterra y el CISE, Italia.

c) Servicio a las industrias del sector energético nacional resolviendo problemas mediante la utilización de técnicas de diagnóstico basada en el análisis de vibraciones.

CONCLUSIONES

El Laboratorio de Vibraciones se encuentra funcionando, facilitando el desarrollo de técnicas de procesamiento, análisis de fallas en cojinetes y también el servicio de medición y diagnóstico en diferentes compañías energéticas.

El proyecto ha mostrado su utilidad para la industria energética argentina. La transmisión de conocimientos ha sido provechosa para los participantes del proyecto, como también para otros ingenieros vinculados a distinto nivel del sector productivo

16

Línea de investigación "D" : Determinación de quemado.

Los principales desarrollos llevados a cabo, equipos contruidos y mediciones realizadas en el marco del proyecto fueron:

- Implementación del Programa SAMPO 80 para el análisis de los espectros gamma.
- Diseño y construcción de un sistema detector-colimador para un detector INa(Tl) con movimiento en un plano X-Y para mediciones preliminares. Medición absoluta, mediante este sistema, del quemado de 2 elementos combustibles tipo MTR.
- Diseño y construcción de un sistema detector-colimador para un detector de germanio hiperpuro (HPGe) con movimiento en un plano X-Y.
- Implementación de un equipo Nuclear Data y su correspondiente software en la computadora VAX del CAB para el tratamiento de los espectros gamma.
- Diseño y construcción de un armazón liviano de aluminio para posicionar con alta reproductibilidad el elemento combustible en cualquiera de cuatro posiciones posibles.
- Medición relativa, con el sistema detector HPGe, de los perfiles de quemado longitudinal y transversal y seguimiento a lo largo del tiempo del espectro gamma, de un elemento combustible tipo MTR recientemente irradiado.
- Diseño y construcción de un simulador del elemento combustible y fabricación de 2 fuentes de aproximadamente 3mCi, de Ag-110m y Ta-182, para la determinación de la eficiencia absoluta del sistema de detección.

Una vez hecha esta determinación, se estará en condiciones de realizar mediciones absolutas de quemado usando las mediciones relativas con el sistema detector HPGe, mencionadas más arriba,

Por todo lo dicho, puede concluirse que esta línea de trabajo ha proporcionado resultados que aún exceden lo previsto.

Línea de investigación "E" : Flujo crítico de calor.

Analogía electroquímica con la ebullición.

- Se construyó un circuito (en material plástico) para poder estudiar mecanismos de ebullición nucleada utilizando soluciones de hidróxido de sodio de diferentes concentraciones.

- Se realizaron mediciones de la transferencia de calor en un calefactor cilíndrico sometido a una corriente de líquido uniforme en flujo cruzado.

Mediante una técnica experimental se pudo variar en forma independiente la producción volumétrica de burbujas por electrólisis y el flujo de calor. De esta manera se pudieron separar los procesos térmicos e hidrodinámicos y se pudo cuantificar su importancia relativa en el proceso de transferencia de calor.

- Se complementaron los experimentos anteriores midiendo el diámetro de desprendimiento de las burbujas.

Estudio de inestabilidades hidrodinámicas en una placa porosa.

Se implementó un experimento para determinar si el flujo crítico de calor se puede corresponder a una inestabilidad hidrodinámica debido a los altos caudales de vapor. A través de una placa porosa de bronce sinterizado circula una corriente de aire hacia el agua, simulando ebullición saturada para altos flujos de calor. Se midió la distribución volumétrica de fracción de vacío a los fines de determinar el punto en que se produce la inestabilidad.

Circuito de freón.

- Se construyó un circuito de alta presión (hasta 25 atmósferas) para estudiar fenómenos de transferencia de calor (flujo calórico crítico, entre ellos), utilizando freón 12 como fluido circulante.

- Se construyó una sección de prueba con un calefactor tubular en un canal anular. Mediante un par de posicionadores fué posible variar en forma excéntrica la ubicación del calefactor. La orientación del calefactor puede ser horizontal o vertical.

Se midieron las siguientes variables:

- * temperatura de entrada
- * temperaturas de pared
- * caudal
- * presión
- * caída de presión
- * flujo de calor

- Se realizaron mediciones en un canal horizontal y se desarrolló un modelo de flujo calórico crítico basado en la ocurrencia de un patrón de flujo intermitente.



En el marco del proyecto se realizó el trabajo especial del Ing. Fabián Bonetto y la tesis de Doctorado en Ingeniería Nuclear de los Dres. Fabián Bonetto y Jorge Baliño.

Es claro que se han implementado importantes facilidades experimentales y ha quedado consolidado un grupo de trabajo de gran capacidad y en plena producción.

Línea de investigación "F" : Inestabilidades de flujo bifásico.

El estudio de flujos en ebullición es de gran interés debido a su importancia en aplicaciones tales como reactores de agua en ebullición (BWR) , generadores de vapor, equipos criogénicos o procesos químicos.

Uno de los inconvenientes que pueden surgir en la operación de dichos sistemas es la aparición de procesos oscilatorios e inestables. Las oscilaciones pueden causar dificultades en los flujos en ebullición afectando las características locales de transferencia de calor pudiendo producir flujo calórico crítico, inducir vibraciones mecánicas de los componentes o crear problemas de control.

En el curso del presente proyecto se cubrieron las siguientes etapas:

- Se comenzó con el análisis de oscilaciones de ondas de densidad, mediante la técnica de pequeñas perturbaciones sobre una condición estacionaria de operación. Para esto se linealizan las ecuaciones que gobiernan el fenómeno y éstas son luego analizadas en el campo de las frecuencias por técnicas conocidas tales como diagramas de Mggquist. En esta etapa se analizaron diversos problemas tales como sistemas en circulación natural, en circulación forzada y el circuito en ocho de los reactores CANDU 600.

- Se desarrolló un modelo de volúmenes deformables que permite un análisis más simple de las oscilaciones debidas a ondas de densidad. Por retener los términos no lineales permite el análisis de efectos tales como la amplitud de ciclos límites de oscilaciones.

- Se armó un circuito experimental de agua en ebullición con circulación natural en el cual se midieron amplitudes de ciclos límites obteniéndose una excelente verificación con las predicciones del modelo no-lineal.

También se utilizó dicho modelo para el análisis del comportamiento dinámico de generadores de vapor y en la solución de problemas operativos originados en la estrategia de control en la CNE (Central Nuclear Embalse).

- Se construyó un circuito de circulación natural de agua en ebullición para estudiar el efecto del término gravitatorio en las oscilaciones de ondas por densidad. Se compararon los comportamientos observados con las predicciones teóricas lográndose una acabada comprensión de los fenómenos.

- Se construyó un circuito de circulación forzada de agua y freón 113, para estudiar el fenómeno de oscilaciones de ondas de densidad en canales paralelos. Se desarrolló una forma de análisis simplificado utilizando el modelo de volúmenes deformables. Esta permite obtener no sólo los umbrales de estabilidad sino los modos de oscilación y la interacción entre los mismos. Asimismo permite la obtención de fórmulas analíticas simples para determinar en que condiciones ocurren diferentes modos de oscilación.

- Se construyó un circuito de circulación forzada de agua en ebullición para estudiar la ocurrencia de inestabilidades en condiciones de ebullición subenfriada.

- Se desarrolló una técnica experimental novedosa en base a teoría de Caos y Fractales, que permite el análisis de señales oscilatorias provenientes de inestabilidades de dos fases.

En el curso del proyecto se completaron 2 tesis doctorales, 3 trabajos especiales y un trabajo de post-doctorado en los cuales se desarrollaron aplicaciones de teoría de Caos.

Se han implementado importantes facilidades experimentales y ha quedado consolidado un grupo de trabajo de gran capacidad.

Línea de investigación "G" : Diseño y desarrollo de un simulador en Plantas Nucleares.

Este trabajo consistió en el diseño conceptual, desarrollo, verificación y validación de un Simulador de Principios Básicos de Plantas Nucleares. Los requisitos de diseño impuestos fueron los siguientes:

- 1- Posibilidad de correr el modelo a simular en tiempo real.
- 2 Profundidad de modelos adecuada para entrenamiento de operadores, sin las exigencias de un modelo de diseño de ingeniería.
- 3 Modularidad de interfases hombre-móquina a través de un subsistema gráfico de visualización, monitoreo y comando, tanto para el instructor como para el operador.
- 4 Flexibilidad en la arquitectura que permitiera cambios del modelo de la planta simulada con mínimas modificaciones a la misma.

5 Posibilidad de transferencia del Simulador a los responsables de las plantas nucleares argentinas de potencia y de investigación para su uso específico.

Tareas realizadas.

A continuación se enumeran las tareas realizadas para cumplir estos objetivos:

- Realización de un viaje a Barcelona y Grenoble para recoger información sobre simuladores de este tipo, para la definición de recursos de hardware y software necesarios. Como conclusión se decidió comprar el equipo MICROVAX II como computador central destinado a la ejecución del modelo, dada su buena relación prestaciones/costos y la disponibilidad de mantenimiento en el país.

- Aunque el objetivo final era el desarrollo de un simulador de una planta de potencia, se decidió emplear un modelo del reactor de investigación RA-6 como primer prototipo, dada la disponibilidad del mismo para la validación de los modelos y la posibilidad de interacción con los operadores de la planta. Dicho prototipo modela el reactor, los circuitos primario y secundario del mismo y toda la lógica de control y seguridad de la instalación.

- Desarrollo de un prototipo de subsistema gráfico sobre un micro-computador Cromenco con facilidades gráficas, disponible en la Sección. Como conclusión se vió la necesidad de contar con equipamiento más potente y con mejor compatibilidad con el computador central.

- Desarrollo de la arquitectura informática del simulador, consistente en varios módulos independientes e interconectados, cuyas funciones son: interfaz con el instructor, interfaz con el operador, cálculo del modelo, almacenamiento en disco y monitoreo de alarmas.

- Adaptación de un modelo de la Central Nuclear Embalse existente en el Departamento de Sistema Eléctrico y Control de la Gerencia de Ingeniería de Centrales Nucleares. Se escogió ese modelo por estar validado con respecto a otro código canadiense y con mediciones en la central. Dicho modelo fue adaptado e incorporado a la arquitectura descrita en el punto anterior, reemplazando al anterior modelo del reactor RA-6. Este código modeliza los circuitos primario y secundario de la central, incluyendo el presurizador y el generador de vapor, el sistema de "Feed" y "Bleed", el tanque condensador/desgasificador y su intercambiador de calor y los sistemas de control asociados a estos componentes y sistemas.

- Desarrollo de un subsistema gráfico sobre un computador personal tipo IBM PC/AT, y un protocolo de comunicación de

datos entre el computador central y este subsistema, destinado a las funciones de visualización gráfica y monitoreo de la evolución de la simulación.

- Readaptación de la arquitectura y los modelos para ser usados en computadoras tipo PC bajo sistema operativo UNIX y lenguaje C, como manera de garantizar la transportabilidad entre distintas plataformas.

Conclusiones.

Se consideran satisfechos los 5 requisitos arriba enumerados. Los 4 primeros fueron desarrollados durante la vigencia de este proyecto, el último, de dejar operativo un simulador en una planta de potencia, se logró a posteriori, involucrando 30 meses/hombres extras de desarrollo y adquisición de nuevo hardware y software, todo esto con fondos propios de CNEA.

Es de destacar que a lo largo de todo el proyecto se conservaron las metas originales, sufriendo modificaciones de menor importancia en la medida en que la implementación las exigió.

Hubo si una tarea extra no contemplada originalmente, cual fue la de la actualización tecnológica del equipamiento informático involucrado. El haber llevado los desarrollos al mundo de UNIX y C garantiza un ciclo de vida del simulador que justifica las inversiones realizadas.

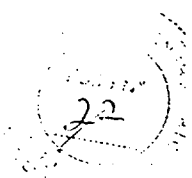
La etapa final de proveer el simulador para la central CNEA involucró otro aspecto no contemplado originalmente pero que merece remarcarse como positivo cual fue la interacción entre los usuarios finales (la central nuclear), su Gerencia de Ingeniería (especificaciones de funcionamiento) y los desarrolladores, nuestro grupo.

Por otra parte el simulador será utilizado en el marco de otros proyectos en marcha en esta Sección como herramienta para el desarrollo de sistemas avanzados de supervisión, control y diagnóstico usando principalmente técnicas provenientes del campo de la inteligencia artificial.

Línea de investigación "H" : Redes Compactas.

Esta línea de investigación está orientada al estudio neutrónico de problemas físicos relacionados con el uso de redes compactas, o sea con una alta relación combustible a moderador.

El uso de este tipo de redes es uno de los recursos contemplados actualmente para el diseño de un nuevo tipo de reactores, caracterizados especialmente por su alta relación de conversión y su mejor utilización del combustible, que se



basa generalmente en cambios a nivel de núcleo de reactores conocidos.

Este trabajo implica entonces, fundamentalmente, perfeccionamientos en el conocimiento y tratamiento de sistemas con heterogeneidades fuertes y con espectros de neutrones de energías altas e intermedias, ya que el espectro de neutrones en estos núcleos es fuertemente submoderado y un alto porcentaje de las reacciones se producen en la zona de resonancia.

Con esta orientación los trabajos se desarrollaron en los siguientes temas:

Creación de nuevos elementos para aumentar y mejorar la capacidad de investigación existente:

- Se modificó y perfeccionó el espectrómetro de neutrones por tiempo de vuelo para ampliar su rango de medición hasta incluir las energías de resonancia (KeV). Ello implicó el cambio casi completo de la cadena de medición y la implementación de un sistema de supresión de gammas, ya que la fuente de neutrones es un acelerador lineal de electrones.

Se implementó un nuevo sistema de adquisición y análisis de datos on-line, basado en un multicanal, un codificador de tiempos y una computadora personal.

Se revisaron y discutieron los métodos y elementos para el manejo y reducción de datos, extendiendo el alcance de los códigos, hasta ahora utilizados en las mediciones en rango térmico, a las nuevas condiciones.

El espectrómetro permite ahora, mediciones en los rangos intermedio y rápido.

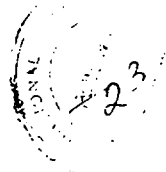
- Se puso en operación el sistema AMPX-II y la biblioteca ENDF/B-IV, con lo cual se creó la capacidad para la generación de bibliotecas de constantes de grupo para cualquier tipo de requerimiento. El sistema incluye también la generación de bibliotecas acopladas gamma-neutrón y fue validado con problemas "benchmark" de sistemas térmicos, rápidos y de fusión.

- Se desarrolló un módulo para cálculo de quemado, incluido en el sistema AMPX-II, así como una cadena completa de cálculo, desde nivel celda hasta reactor completo.

Trabajos de investigación realizados:

- Estudios teóricos y experimentales en sistemas con fuertes heterogeneidades (Zyrcalloy/Uranio/Agua liviana).

- Cinética neutrónica en sistemas altamente sub-criticos.



- Efectos neutrónicos de la presencia de contaminantes en sodio. Medición y cálculo de espectros.
- Análisis teórico de pre-diseños de reactores de fusión (NET), desde el punto de vista de la producción de Tritio y llegada de gammas a los imanes superconductores.
- Estudio sobre los modelos de homogeneización y sensibilidad al tratamiento geométrico en cálculos de celda de reactores de alta conversión.
- Contribución a un benchmark internacional sobre datos básicos de HCLWR establecido por JAERI, Japón.
- Estudio del efecto del tratamiento de autoblandaje de las resonancias y de las correcciones por factores de heterogeneidad.
- Modelado y cálculos de criticidad para informes de seguridad de sistemas multiplicativos, por métodos Sn y Montecarlo.
- Cálculo y evaluación de secciones eficaces para moderadores.
- Estudio sobre la disposición de barras de control en elementos combustibles de reactores de alta conversión.

Además de los resultados propios de los trabajos mencionados, la actividad de la línea permitió la consolidación del grupo de trabajo, con incorporación de nuevos profesionales y la formación de un grupo de datos nucleares, hasta el momento inexistente en el país, con capacidad de generar bibliotecas de trabajo para enfrentar distintos tipo de problemas (criticidad, blindajes, venenos quemables, etc.) y asesorar sobre ellas.

A lo largo del período se efectuaron trabajos en cooperación con:

- Centro di Ricerca Ezio Clemental - ENEA - Bologna, Italia.
- IPR - Technische Universität Braunschweig, Alemania, con el cual se firmó además un memorandum de entendimiento entre ambas universidades para promover actividades de investigación en cooperación e intercambio de personal.

Línea "I": Seguridad Nuclear.

Resultados:



- Se completó la capacitación básica de dos ingenieros junior en las áreas de término fuente y pérdida de refrigerante.

- Se obtuvieron los códigos DUFRAN y MARCH que, si bien no son aplicables a los reactores argentinos, pueden ser utilizados como base de desarrollos propios.

Actividades:

- Se realizó la capacitación en el uso del código DUFRAN en simulación de LOCA en reactores de agua liviana.

- Se realizó la capacitación en el uso del código MARCH para el cálculo del término fuente en el accidente de TMI.

III. - CONCLUSIONES GENERALES.

Puede afirmarse que el proyecto ha sido particularmente exitoso.

Sus objetivos fueron cumplidos muy satisfactoriamente y con holgura.

La Carrera de Ingeniería Nuclear se ha afianzado con un plantel docente estable y de excelente nivel.

Las investigaciones realizadas y las actividades de posgrado han demostrado el firme establecimiento de los grupos de trabajo asociados y el alto nivel de preparación de los egresados.

Los ingenieros nucleares están trabajando en distintos ámbitos y son permanentemente reconocidos por su formación y capacidad. Han brindado muy importantes aportes en diversos temas.

Se han abierto nuevos campos en esta área de la ingeniería y la permanente relación con otros centros ha permitido verificar la calidad de los trabajos que se realizan.

El país ha asumido totalmente la responsabilidad de las acciones con lo que la continuación y el perfeccionamiento de las actividades han quedado aseguradas.

El desarrollo y resultados de la primera fase del proyecto están contenidos en la publicación "Carrera de Ingeniería Nuclear - ARGENTINA - Informe Final", IAEA/UNDP-ARG/78/020 - TR, editado por IAEA en 1990

25

ANEXO 1

MISIONES DE EXPERTOS

Richard Lahey Mar. 1989 - 2 semanas

RPI
Troy, New York - USA
11.04A (11.27B) : Termohidráulica

Claudio Coceva Ago. 1989 - 2 semanas

CBNM
Bélgica
11.06 (11.30) : Redes compactas

Bela Csik Set. 1989 - 1 semana

IAEA
Viena, Austria
11.02: Consultor, evaluador

Michael M.R.Williams Set. 1989 - 1 semana

QUEEN MARY COLLEGE
University of London
London, Inglaterra
11.02 (11.22A): Consultor, evaluador

Dieter Stegeman Set. 1989 - 1 semana

IKPH
Universität Hannover
Alemania
11.02 (11.22I): Consultor, evaluador

Lester Rogers Set. 1989 - 1 semana

USA
11.02: Consultor, evaluador.

John Phillips Nov. 1990 - 3 semanas

LOS ALAMOS NAT. LAB.
USA
11.03 (11.26B); Determinación de quemado

Jean M. Dehaye Oct. 1990 - 2 semanas

CEN, Grenoble
Francia
11.05 (11.28E): Inestabilidades de flujo.

ANEXO 2

VISITAS CIENTIFICAS.

ARG/8807 U - Marcelo Gimenez - Abr. 1989 - 4 meses
Universidad Politécnica de Madrid -
España.

ARG/8808 U Miguel Schlamp - Oct. 1989 - 3 meses
GRS - Garching - Alemania

ARG/8901 U Ricardo Germe - Abr. 1989 - 1 mes
IKPH - Universidad de Hannover
Alemania

ARG/8902 U Fabián Bonetto - Feb. 1990 - 2 meses
RPI - USA

ARG/8906 U Máximo Abbate - Feb. 1990 - 1 mes
TUB - Braunschweig
Alemania
Centro di Calcolo - Bologna - Italia
IAEA - Viena - Austria

ARG/8907 U Néstor Patiño - Abr. 1990 - 1,75 meses
Conferencia PHYSOR - Marsella - Francia
TUB - Braunschweig - Alemania

ARG/8908 U José Converti - Mar. 1990 - 0,5 meses
CEN - Grenoble - Francia

ARG/9001 U Abraham Kestelman - Abr. 1990 - 1 mes
LOS ALAMOS NAT. LAB.
USA.

ARG/8801 U Oscar García Peyrano - Mar. 1988 - 1 mes
IKPH - Universidad de Hannover
Alemania
Centro di Calcolo - Bologna - Italia
Harwell - Inglaterra

ARG/8904 U Miguel Tempestini - Jun. 1990 - 2 meses
IKPH - Universidad de Hannover
Alemania

ANEXO 3

EQUIPAMIENTO

En esta fase el equipamiento fue destinado a las líneas de investigación fundamentalmente.

Línea de investigación	Monto U\$S
B	--
D	--
E	10.025
F	--
G	13.860
H	21.141,58
I	--
TOTAL:	45.026,58



ANEXO 4

FONDOS DEL PROYECTO

AÑO	DESEMBOLSOS	
	PNUD U\$S	CNEA U\$S (Costo compartido)
1989	120.102	---
1990	49.182	53.097
1991	17.418	---
1992	701	
<hr/>		
TOTAL:	187.403	53.097

TOTAL PROYECTO: U\$S 240.500

Contribución adicional del Gobierno Argentino estimada:
U\$S 500.000.



ANEXO 5

PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE INGENIERIA NUCLEAR

El siguiente plan de estudios es el que se encuentra actualmente en vigencia en el Instituto Balseiro, habiendo sido aprobado por la Universidad Nacional de Cuyo en 1986.

A. CICLO BASICO

El ingreso a la carrera se realiza en tercer año, lo que implica que los estudiantes deben haber aprobado previamente los cursos de Física General, Análisis Matemático, Álgebra, Geometría Analítica y Química que se dictan en los ciclos básicos de las carreras de Ingeniería y Ciencias Exactas de cualquier universidad del país.

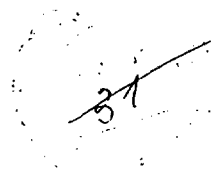
B. CICLO PROFESIONAL

Nº de Orden	AÑO	PERIODO	ASIGNATURA	Horas semanales de clases y/o laborat.
1	3º	1º	Matemática I	8
2	3º	1º	Física Experimental	12
3	3º	1º	Mecánica Clásica	8
4	3º	1º	Probabilidad y Estadística e Introducción al Cómputo	5
5	3º	1º	Electrónica I	5
6	3º	2º	Matemática II	9
7	3º	2º	Termodinámica	7
8	3º	2º	Ciencia de Materiales para Ingeniería	7
9	3º	2º	Instrumentación, Electrónica, Electrónica	10
10	3º	2º	Electrónica II	5
11	4º	1º	Introducción al diseño mecánico	8
12	4º	1º	Física Nuclear	10
13	4º	1º	Mecánica del Continuo	7
14	4º	1º	Materiales Nucleares	7
15	4º	2º	Teoría de Reactores	8
16	4º	2º	Mediciones Neutrónicas	8
17	4º	2º	Mecánica de Fluidos	8
18	4º	2º	Métodos Computacionales	8
19	5º	1º	Cálculo y Análisis	7
20	5º	1º	Aspectos Térmicos de Reactores	8
21	5º	1º	Control	8
22	5º	1º	Combustibles Nucleares	7
23	5º	2º	Reactores, Plantas Nucleares	10
24	5º	2º	Radioprotección	5



25	5Q	2Q	Experimentos en Reactores	5
26	5Q	2Q	Trabajo Especial I	8
27	5Q	2Q	Materia Optativa	4
28	6Q	1Q	Seguridad Nuclear	7
29	6Q	1Q	Proyectos Nucleares	7
30	6Q	1Q	Trabajo Especial II	16
31	6Q	2Q	Diseño	8
32	6Q	2Q	Trabajo Especial III	24

Además, en todos los periodos se dicta idiomas: inglés, francés o alemán, con 5 horas semanales de clases.



ANEXO 6

PLANTEL DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERIA NUCLEAR DEL
INSTITUTO BALSEIRO

Comprende el personal nombrado por la Universidad Nacional de Cuyo para cumplir funciones docentes. Los nombramientos se efectúan por concurso y el personal es, prácticamente estable.

Situación actual.

- Profesores Titulares	4
- Profesores Asociados	7
- Profesores Adjuntos	10
- Jefes Trabajos Prácticos	21
- Auxiliares Docentes de 1ra.	15
- Auxiliares Docentes de 2da.	1

TOTAL;	58

Este plantel es ya el definitivo y necesario para el dictado de toda la carrera.

Cabe destacar que 44 (76%) son egresados del IB; 32 (55%) de éstos son Ingenieros Nucleares, lo cual indica una relación muy razonable, considerando las promociones que se han recibido.

ANEXO 7

INGENIEROS NUCLEARES EGRESADOS

A la fecha han egresado 138 ingenieros nucleares en 11 promociones, a saber:

Año	Egresados
1981	16
1982	17
1983	14
1984	12
1985	6
1986	14
1987	13
1988	14
1989	12
1990	10
1991	10

TOTAL;	138

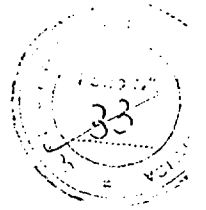
Entre los cuales hay 8 Ingenieros peruanos y 5 uruguayos.

La nómina completa, con su promedio de egreso (sobre base 10) es la siguiente:

Nº DE ORDEN	APPELLIDO/NOMBRE	PROMEDIO DE EGRESO
-------------	------------------	--------------------

Novena Promoción - 1989

1	BUSCAGLIA, Gustavo	8,74
2	SOBERHART, Leonardo	8,03
3	FLURY, Celso	7,96
4	DARI, Enzo	7,92
5	ZAMONSKY, Oscar	7,57
6	GOMEZ, Silvia	7,44
7	ALBORNOZ, Felipe	7,26
8	GUARNIZO OLIVERA, Javier	7,00
9	BLANCO, Anibal	6,71
10	SUAREZ, Patricia	6,62
11	BERGALLO, Juan	6,55
12	SOTO, Adrián	6,41

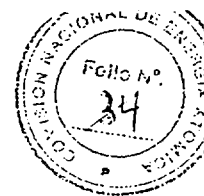


Decima Promoción - 1990

1	CARRICA, Pablo	8,32
2	MACIEL PALACIO, Félix	8,12
3	ISHIDA FUKAMI, Mutsumi	7,64
4	IBARRA, Victor	7,56
5	GAREA, Verónica	7,43
6	SALVATORE, Marcelo	7,38
7	POMERANTZ, Marcelo	7,20
8	CERVIERI BORSANI, Roberto	7,00
9	MANCINELLI, Beatriz	7,35
10	BLANCO, Magdalena	6,08

Decimo primera promoción - 1991

1	TORASSO, Osvaldo	9,17
2	DEBERNARDO, Hector	8,33
3	GUERRA, Mario	7,87
4	PAGANINI, Marcelo	7,63
5	JUANICO GARCIA, Luis	7,47
6	HERZOVICH, Pedro	7,29
7	CORVALAN ESPINA, Pablo	7,23
8	TERRADO, Carlos	6,97
9	ZAMONSKY RIMOLDI, Gabriel	6,71
10	SALIBA, Roberto	6,54



ANEXO 8

ALUMNOS DE LA CARRERA DE INGENIERIA NUCLEAR

Actualmente cursan la carrera 53 alumnos distribuidos de la siguiente manera:

Curso	Cantidad
III	29
IV	10
V	8
VI	6

TOTAL:	53

Responden a las cantidades normales: debe recordarse que la selección se realiza sobre la base de 15 becas por año como máximo.

Los alumnos del Curso III deberán elegir su orientación en el próximo periodo.

ANEXO 9

TESIS DOCTORALES

1. - Tesis presentadas en el Instituto Balseiro durante esta Fase.

1989 - CASSIBA, Roberto
- EVALUACION DE LAS BARRERAS FISICO-QUIMICAS EN EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN REPOSITORIO SUBTERRANEO DE DESECHOS NUCLEARES REACTIVOS.

1990 - BONETTO, Fabián
- SIMULACION DEL FLUJO CRITICO DE CALOR POR INYECCION DE GASES EN LA INTERFASE.

1991 - CALABRESE, Carlos Rubén
- EMPLEO DEL METODO DE PROBABILIDAD DE COLISIONES PARA EL CALCULO DE CELDAS O MULTICELDAS HETEROGENEAS BIDIMENSIONALES DE CONTORNOS ARBITRARIOS. OBTENCION DE FUNCIONES BASES PARA EL CALCULO DE REACTORES CON ELEMENTOS FINITOS.



- BALIÑO, ajorge
- FLUJO CALORICO CRITICO EN CANALES ANULARES HORIZONTALES EXCENTRICOS.

 - 1992 - LARRETEGUY, Axel Eduardo
 - UNA CONCEPCION MULTIDIMENSIONAL PARA EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA VOLUMENES DE CONTROL.

 - DESARROLLO DE UN SISTEMA INTEGRAL PARA EL CALCULO NEUTRONICO DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES TIPO ATUCHA Y CANDU. VILLARINO, Eduardo

 - FORMULACION ESTADISTICA DE FLUJOS BIFASICOS. TEORIA Y EXPERIMENTO. GUIDO LAVALLE, Germán

 - UTILIZACION DE VIDRIOS SINTERIZADOS PARA INMOVILIZAR RESIDUOS RADIOACTIVOS. BEVILACQUA, Arturo

2. - Tesis en ejecución.

- MODELACION DE COMPORTAMIENTO DE RECINTOS DE CONTENCIÓN EN ACCIDENTES SEVEROS Y COMPARACION CON DATOS E INCIDENTES REALES. Jorge Barón.

- SIMULACION POR EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS DE PROBLEMAS DE DOBLE DIFUSION. Sergio Felicelli.

- MODELOS NUMERICOS DE CONVECCION NATURAL EN CIRCUITOS TERMOHIDRAULICOS. Patricia Quaglia

- SISTEMA INTEGRADO DE CONTROL PARA CENTRALES MULTIMODULARES. Luis Rovere.

- TECNICAS ADAPTIVAS Y GENERACION DE MALLAS DE ELEMENTOS FINITOS PARA PROBLEMAS EN 3 DIMENSIONES. Marcelo Venere.

- DINAMICA NO LINEAL EN FLUJO DE DOS FASES. Dario Delmastro.

- METODO FUNCIONAL DE SOLUCION DE LAS ECUACIONES MULTIGRUPO DE DIFUSION CON Y SIN DEPENDENCIA.ESPACIAL Fabián Jatuff.

- SIMULACION COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO DE FLUIDOS VISCOELASTICOS. Gustavo Buscaglia.

- FLUJO DE DOS FASES EN EBULLICION. Pablo Carrica.



CARACTERIZACION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES MTR IRRADIADOS
USANDO ESPECTOMETRIA GAMMA. Sergio Ribeiro Guevara.

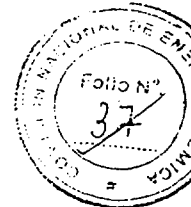
- DESARROLLO DE METODOS NODALES PARA LA RESOLUCION DE LA
ECUACION DE TRANSPORTE NEUTRONICO EN DIFERENTES GEOMETRIAS
TRIDIMENSIONALES.

Oscar Zamonsky.

- APLICACIONES TECNOLOGICAS DE ALEACIONES CON MEMORIA DE
FORMA.

Alejandro Yawny

- APLICACION DE TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA
ORGANIZACION DE DATOS DE COMBUSTIBLES NUCLEARES SEGUN UN
MODELO DE REPRESENTACION BASADO EN EL CONOCIMIENTO. Demetrio
Agüero.



ANEXO 10

LABORATORIOS Y GRUPOS DE TRABAJO RELACIONADOS.

El Proyecto originó el apoyo a laboratorios y grupos de trabajo en tareas relacionadas ya existentes y la creación de otros específicos.

En este sentido quedó conformada una infraestructura de investigación y de apoyo a la docencia que se considera especialmente apta para sus fines, se encuentra establecida y en producción y cuya continuidad de tareas está asegurada por su inclusión como parte del Centro Atómico Bariloche del cual depende su plantel (Anexo 11) y recibe un presupuesto anual.

Estos grupos son:

1. Creados con el apoyo del proyecto.

- Departamento de Ingeniería Nuclear.
- División Termohidráulica.
- División Control de Procesos
- División Reactor RA-6.
 - * Grupo Desarrollo
 - * Grupo Operación
 - * Grupo Mantenimiento
 - * Grupo Radioprotección
- Sección Seguridad de Instalaciones Nucleares
- Sección Protección Radiológica
- Sección de Vibraciones
- Secretaría Técnica
- División Física de Reactores Avanzados
- Laboratorio de Física Nuclear y Neutrónica.

2. Otros grupos relacionados y/o apoyados por el proyecto.

- División Neutrones y Reactores
- División Metales
- Grupo de Combustibles Nucleares
- Biblioteca del Centro Atómico
- División Electromecánica

En estos grupos se efectúan investigaciones en ingeniería nuclear; de sus planteles proviene el personal docente de la carrera; en sus ámbitos realizan los trabajos especiales los alumnos de los últimos cursos y las ejercitaciones experimentales de las materias que así lo requieren.

Asimismo, son también lugares de trabajo para parte de los egresados.



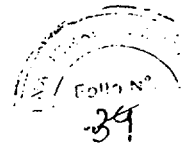
ANEXO 11

PLANTEL DE PERSONAL DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA NUCLEAR.

Comprende el personal nombrado por la Comisión Nacional de Energía Atómica para formar este Departamento en el Centro Atómico Bariloche. Se trata de personal estable.

Situación actual:

Profesionales	:	33
Técnicos		18
Becarios		8
TOTAL :		59



ANEXO 12

PUBLICACIONES, COMUNICACIONES A REUNIONES, SIMPOSIOS Y CONGRESOS E INFORMES.

AÑO	PUBLICACIONES	COMUNICACIONES E INFORMES
1989	17	10
1990	15	22
1991	27	27
TOTAL:	59	59

40

ANEXO 13

MISION DE EVALUACION CONJUNTA DEL PROYECTO ARG/89/012

25 a 29 de Setiembre de 1989

43

A. Propósito de la Misión

El Proyecto ARG/78/020 se inició el 30 de Enero 1979 para establecer un sistema académico que permitiera la formación de ingenieros nucleares altamente calificados en apoyo de la infraestructura técnica requerida para los programas de energía nuclear y de investigación en la Argentina. La finalización del Proyecto está fijada para el 31 de Diciembre 1989. El propósito de la Misión era efectuar una evaluación final sobre la efectividad de la implementación del Proyecto y el impacto del mismo en satisfacer la necesidad de ingenieros nucleares calificados. La Misión se llevó a cabo en el Centro Atómico Bariloche, San Carlos de Bariloche, Argentina, durante el período 25-29 de Septiembre 1989.

B. Miembros de la Misión

La Misión estaba formada por las siguientes personas:

Profesor M.M.R. Williams
Profesor Dieter Stegemann
Sr. Lester R. Rogers

C. Términos de Referencia

Los términos de referencia fueron los siguientes:

- a) Evaluar la calidad y oportunidad en la entrega de insumos y la marcha de las actividades de acuerdo con los planes de trabajo establecidos oportunamente.
- b) Determinar cuán adecuadamente se han alcanzado los resultados previstos y el grado de cumplimiento de los objetivos inmediatos establecidos en las distintas etapas de la vida del Proyecto.
- c) Evaluar el impacto socio-económico a partir de los resultados obtenidos hasta el presente.

D. Actividades de la Misión (Apéndices 1, 2 y 3)

La Misión efectuó su evaluación a través de las siguientes actividades:

- a) Discusiones con la Dirección del Proyecto

Se mantuvieron extensas discusiones con el Director Nacional, el Coordinador Nacional del Proyecto, con los Jefes de Departamentos y Laboratorios del Centro Atómico Bariloche, con el Asesor Técnico Principal del OIEA y con el Técnico Responsable del OIEA. La Misión analizó en detalle los antecedentes sobre la procuración de equipos, contratación de expertos, implementación de visitas científicas y otras tareas relacionadas con la oportuna y efectiva utilización de los recursos provistos en el marco del Proyecto. Se examinó la relevancia que tiene el plan de estudios en la formación de ingenieros nucleares con la capacidad profesional necesaria para los sectores industrial, académico y de investigación en la Argentina. La Misión estaba particularmente interesada en determinar si existía una buena interacción y cooperación entre la Industria Nuclear y el Centro Atómico Bariloche en la definición y consecución de los requisitos específicos del potencial humano necesario. También se discutió el futuro del Proyecto con respecto a su supervivencia al no contar más con el apoyo del PNUD.

b) Visitas a Laboratorios

Se realizaron visitas al reactor de investigación y entrenamiento, así como a otros laboratorios disponibles para el programa de ingeniería nuclear. La Misión discutió con el cuerpo de profesores y con estudiantes las líneas de investigación y las actividades de entrenamiento y su relación con la formación en ingeniería nuclear.

c) Entrevistas con Estudiantes y Graduados

Se mantuvieron entrevistas tanto con estudiantes como con graduados del programa. La Misión estaba interesada en conocer sus puntos de vista respecto a la pertinencia del plan de estudios, a la adecuación del equipamiento, a la calidad de la enseñanza por parte del cuerpo de profesores -incluyendo a los expertos invitados- y al valor del programa en cuanto a su contribución al desarrollo de la carrera.

d) Entrevistas con la Dirección de Instituciones que emplean a Graduados

La Misión mantuvo discusiones con la dirección de una institución en la cual están trabajando graduados. El propósito de las discusiones era determinar la eficacia del programa de ingeniería nuclear en cuanto a la preparación de sus graduados para satisfacer los requerimientos prácticos de la institución con necesidad de tal potencial humano y el impacto socio-económico resultante para la Argentina. Es de hacer notar que la falta de tiempo impidió a la Misión entablar discusiones adicionales con otras instituciones, lo cual hubiera sido deseable.

e) Análisis de Documentos

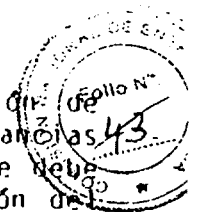
La Misión analizó en detalle los excelentes documentos preparados por la Dirección del Proyecto. Estos documentos en su integridad, con agregados y modificaciones sugeridos por la Misión, se incorporan al presente Informe.

2. CONCLUSIONES

La Misión concluyó lo siguiente:

A. El Proyecto ARG/78/020 estuvo bien concebido y planificado. La oportuna y efectiva implementación del Proyecto ha resultado en un cumplimiento total de sus objetivos. El programa de Ingeniería Nuclear en el Centro Atómico Bariloche cuenta ahora con personal de dirección propio, con un cuerpo de profesores y con facilidades de entrenamiento que le permiten proceder en el futuro sin asistencia externa en estas áreas. El Centro ha establecido una reputación nacional e internacional de excelencia, a través de la cooperación y colaboración con universidades y laboratorios en todo el mundo. El éxito futuro del programa depende ahora de un fuerte apoyo del Gobierno Nacional, de las industrias locales y de otras industrias argentinas.

B. Si bien se han experimentado ciertas demoras y dificultades en la procuración de algunas becas y visitas científicas, en realidad han existido muy pocos problemas en la implementación de las mismas. La Misión desea hacer notar que la formulación de un plan de estudios



maduro de ingeniería nuclear y de un programa de investigación y apoyo, en el tiempo de duración del Proyecto y en las circunstancias encontradas en el mismo, constituyen un logro imponente. Esto se debe en gran medida a la actitud eficaz y cooperativa de la Dirección del Proyecto en todos sus niveles y a la calidad del asesoramiento proporcionado por los Expertos del OIEA.

C. Todas las fases del programa, según lo establecido en el documento del Proyecto, han sido ya implementadas. Los fondos asignados para equipos y facilidades han sido comprometidos. No se han experimentado retrasos significativos en la compra de equipos y se han creado adecuadas facilidades de apoyo para el entrenamiento y la investigación, las cuales se utilizan en su totalidad.

D. Se ha formulado un Plan de Estudios de Ingeniería Nuclear de alta calidad con el asesoramiento de expertos de amplia experiencia. El plan de estudios ha sido revisado y modificado en base a la experiencia surgida en la práctica de la enseñanza. La Misión tomó nota de la importancia de los proyectos especiales que permiten a los estudiantes la obtención de experiencias "prácticas" de estudio, complementando así la teoría. Con respecto a las materias del plan de estudios se encontró que el importante área de seguridad nuclear está aún muy débil y sería deseable poner más énfasis en este tema.

E. Se ha formado un cuerpo de profesores permanentes de alta calidad, integrado por 63 personas. Este cuerpo incluye 19 personas con el rango de profesores, 15 supervisores de trabajos prácticos, 21 técnicos de laboratorio y 8 instructores generales. El cuerpo docente incluye 23 miembros que son graduados de la Escuela de Ingeniería Nuclear.

F. Se ha establecido un sistema para seleccionar a los alumnos que ingresan a la Escuela en base a sus calificaciones. Estas calificaciones permiten asegurar un alto porcentaje de graduación de los estudiantes que ingresan. Hasta ahora, el 85% de los que ingresaron a la Escuela se han graduado.

G. Alrededor del 90% de los graduados están trabajando en puestos que se relacionan con la ingeniería nuclear. Además, el cuerpo de profesores está proporcionando algunos servicios de consulta a través de contratos con las industrias locales. En el Centro se ha desarrollado un alto nivel en computación y en otras especialidades, lo que permitiría proporcionar valiosos servicios adicionales a las industrias argentinas. Los graduados de Bariloche son una fuente de valioso potencial humano para todas las industrias argentinas. Si bien se los conoce como "Ingenieros Nucleares", su formación y conocimiento abarca en profundidad muchas disciplinas científicas y técnicas y los prepara para trabajar competentemente, no sólo en la industria nuclear sino también en la mayor parte de las industrias. A este respecto, se hace notar que la interacción y cooperación entre el Centro Atómico Bariloche y la industria local -particularmente la industria nuclear- en la definición de los requerimientos del potencial humano y la utilización del Centro para conseguir esos requerimientos no es tan amplia como debería ser.



H. El éxito del Proyecto indica que podría servir como modelo para el desarrollo de otras áreas técnicas o no técnicas. El esquema de expertos invitados para dictar cursos, estando en permanente contacto con el personal local, ha funcionado muy bien y permitió el dictado efectivo y bien fundado de los cursos. Una estructura general en la cual la asistencia en la enseñanza y el desarrollo es seguida por un asesoramiento en la investigación, constituye un procedimiento positivo que motiva al cuerpo docente. Las relaciones con instituciones extranjeras de intereses similares se puede forjar a través de visitas que también permiten el desarrollo de contactos personales, siendo esto vital para una institución que está creciendo.

En un esquema como éste, surgen algunas dificultades inevitables. Por ejemplo, cuando un profesor recientemente entrenado renuncia antes de que se pueda encontrar a un reemplazante, o cuando los expertos están solamente disponibles por períodos cortos y en momentos inconvenientes para el año académico. En estas situaciones se debe adoptar medidas muy pragmáticas.

I. Con respecto al éxito del Proyecto, es de destacar que las inversiones aportadas por la Argentina fueron mucho mayores que los insumos del PNUD. La Misión considera que una inversión de este tipo es el elemento clave para el éxito de un compromiso como este Proyecto.

J. Con respecto a los Términos de Referencia (punto 1.C.), la Misión reconoció que una evaluación exhaustiva del impacto socio-económico del Proyecto consistiría en un análisis cuantitativo del costo-beneficio de los recursos invertidos en el Proyecto en comparación con el valor monetario de la investigación y el desarrollo y del valor de los servicios prestados por los graduados. La Misión no pudo disponer de información de este tipo y, por lo tanto, en este Informe se considera esta cuestión sólo en forma cualitativa.

Se sugiere que si este tema se incluye en los Términos de Referencia para la evaluación de otros proyectos, el mismo sea introducido al comienzo del proyecto a fin de que se pueda desarrollar a lo largo de la existencia del proyecto.

3. RECOMENDACIONES

A. Se recomienda que la capacidad técnica y científica que se ha desarrollado en el Centro Atómico Bariloche, a través de varios años de grandes esfuerzos, continúe manteniéndose. Se debería realizar un esfuerzo conjunto para establecer una colaboración más estrecha entre el Centro Atómico Bariloche, la industria argentina y otras instituciones. Un ejemplo de este tipo de colaboración y de los servicios que el Centro Atómico puede poner a disposición de la industria lo constituye el Grupo de Ruido Neutrónico y Vibraciones. Utilizando técnicas avanzadas y equipamiento adecuado, un importante número de problemas prácticos se han solucionado en las industrias hidroeléctrica y de energía nuclear. El mismo potencial existe análogamente en otros laboratorios del Centro y debería utilizarse en



forma similar. La actividad en estas áreas es recomendable. Sin embargo, se debería reconocer que los honorarios obtenidos en este tipo de actividades deberían ser devueltos al grupo del proyecto que realizó el trabajo. Aparte del presupuesto normal, estas retribuciones proporcionarían motivación e incentivo al grupo y además suministrarían una contribución para los trabajos de desarrollo e investigación en el área de referencia.

B. Se recomienda realizar los esfuerzos necesarios para ampliar y actualizar constantemente la biblioteca y para mantener, y si posible aumentar, los contactos que se han establecido con los expertos extranjeros, las entidades y las organizaciones involucradas en actividades similares.

C. Teniendo en cuenta al éxito de este Proyecto y las implicaciones importantes con respecto al desarrollo del programa de energía nuclear en la Argentina y la capacidad científica y técnica de apoyo al sector industrial argentino, la Misión recomienda que el PNUD considere en forma positiva las futuras solicitudes de asistencia por parte del Centro Atómico Bariloche.