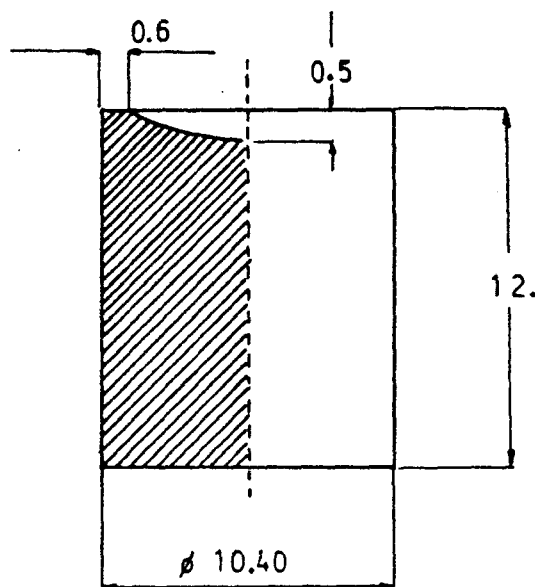


Desarrollo y Puesta a Punto de Técnicas Experimentales

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1978

PASTILLAS COMBUSTIBLE

FIG: 1



El licenciado José V. Lolich, es jefe de la División Neutrones y Reactores del Centro Atómico Bariloche, mientras que el Dr. Máximo Abbate, que pertenece al Ejército, se desempeña como Vicedirector de la carrera de Ingeniería Nuclear en el Instituto de Física "José Balseiro" del Centro Atómico Bariloche.

MATERIAL $UO_2(\text{nat.})$

DENSIDAD $10.55 \pm 0.15 \text{ gr/cm}^3$

Plan de Investigaciones Neutrónicas en COMBUSTIBLES NUCLEARES

por J. Lolich y M. Abbate

Introducción

El problema actual más importante de la física de reactores de potencia, es el referente al uso de uranio enriquecido y/o plutonio en sistemas de uranio natural.

Esto es debido a que en sistemas físicos enriquecidos de esta forma se presenta una doble heterogeneidad (entre combustible y moderador; y entre combustible de distinta composición), una

fuerte absorción de neutrones en el uranio enriquecido y/o plutonio, y una absorción "no $1/v$ " en el plutonio.

La necesidad de establecer criterios para el reciclado de plutonio es claramente reconocida en vistas a la gran cantidad de reactores térmicos de potencia en los cuales dicho reciclado o ha sido ya planeado o es factible de ser realizado. Debido a la imposibilidad de suponer que los métodos

de diseño y seguridad normalizados para núcleos de uranio sean válidos para núcleos enriquecidos con plutonio, el estudio de las características de sistemas conteniendo plutonio es esencial.

Principalmente, la complejidad de la física de neutrones en reticulados conteniendo uranio enriquecido y/o plutonio, se debe a que el neutrón puede interactuar con un gran número de nucleidos. La predicción por cálculo

lo de las propiedades de estos reticulados, se debe realizar con suficiente precisión, de manera que permitan obtener las condiciones de seguridad y diseño características de centrales de potencia.

De ello se desprende la necesidad de planificar experimentos característicos en geometrías limpias, relacionados con el enriquecimiento con uranio y/o plutonio, comenzando con estudios en sistemas conteniendo uranio natural, a fin de desarrollar los métodos experimentales y de cálculo necesarios para el estudio de sistemas conteniendo uranio enriquecido y/o plutonio.

Es necesario realizar mediciones experimentales en reticulados con características similares a las de un reactor real pero bajo condiciones de simplicidad que permitan el cálculo de las mismas sin aproximaciones. Ello permitirá el estudio sistemático de los distintos métodos analíticos y la verificación y/o ajuste de los datos nucleares básicos.

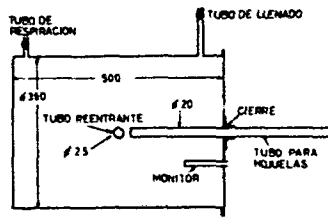
El presente informe, concierne a una serie de mediciones a realizarse en la División Neutrones y Reactores del CAB, las cuales han sido planeadas poniendo énfasis en la necesidad de desarrollar y poner a punto las técnicas experimentales necesarias para la determinación de magnitudes neutrónicas, tanto por métodos integrales como diferenciales, en geometrías tales que permitan un estudio de los distintos métodos de cálculo. La determinación experimental de magnitudes neutrónicas en reticulados combustibles es costosa, requiriendo largos tiempos de medición, reducción y análisis de datos; por ello es evidente la necesidad de contar con un programa experimental previo, que permita evaluar los resultados obtenibles, a fin de asegurarse la factibilidad de realizar con ellos la posterior evaluación de los distintos métodos de cálculo.

Debe destacarse que desde 1970 viene realizando en la División, actividades de potencial utilidad para resolver el citado problema. Al presente se cuenta con los métodos experimentales y de cálculo para el estudio detallado de sistemas moderadores, como lo demuestran los trabajos al respecto realizados.

También debe destacarse que las experiencias descriptas en el presente informe no se consideran suficientes para obtener la capacidad experimental requeri-

RECIPIENTE PARA MEDICIONES CON D_2O

FIG 2



MATERIAL ACERO INOXIDABLE
ESPESOR 3 mm

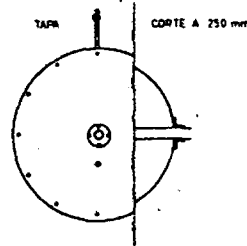


Figura 2

da para el estudio del enriquecimiento con uranio y/o plutonio de centrales de potencia, pero es evidente que ellas formarían parte de cualquier programa experimental que se realice para satisfacer este requerimiento. Un programa completo, requeriría experiencias complementarias en facilidades subcríticas, pero previo a todo programa experimental, debería realizarse un estudio detallado de costos y factibilidades. A pesar de las limitaciones ya expuestas a la presente serie de experiencias, las mismas redundarían en beneficios inmediatos, ya que permitirían contar con la capacidad experimental para resolver problemas específicos actuales como son el estudio del espectro neutrónico en reticulados moderados con D_2O y refrigerados con moderadores orgánicos o H_2O ; estudio de accidentes (como sería la pérdida del refrigerante); estudio de los modelos teóricos existentes y/o desarrollo de uno adecuado para el estudio de la dispersión de neutrones en Zircaloy; etc.

El presente programa no incluye el análisis de los distintos métodos de cálculo existentes para reticulados de reactores, debido a que ello sobrepasa la capacidad computacional actual con que cuenta el CAB; tampoco se incluyen cotas temporales, dado que en la actualidad la disponibilidad de personal capacitado en el CAB en esta línea de investigación es la mínima necesaria para la realización de experiencias de este tipo.

En resumen, se pretende desarrollar técnicas experimentales

para el estudio del campo neutrónico en reticulados de elementos combustibles a fin de contar con la capacidad necesaria para satisfacer requerimientos específicos de la CNEA emergentes del Plan Nuclear Argentino.

Generalidades

Se realizarán experiencias en distintos reticulados de elementos combustibles de uranio natural, comenzando por geometrías simples cuyo cálculo es realizable en el CAB por programas unidimensionales. Dado que la bondad de dichos programas para el cálculo neutrónico ha sido verificada, este tipo de geometría permitirá adquirir confiabilidad en los métodos a desarrollar para las determinaciones experimentales.

Posteriormente, se realizarán experiencias en geometrías con una complejidad similar a las de un reactor real, pero bajo condiciones de simplicidad que permitan el cálculo de las mismas con las menores aproximaciones posibles, lo cual permitirá un estudio sistemático de los distintos métodos de cálculo y/o verificación de la bondad de los datos básicos utilizados en ellos.

Los reticulados estarán formados por elementos combustibles constituidos por pastillas de UO_2 (nat.), fig. 1, similares a las del reactor de Atucha. Su provisión, conjuntamente con las vainas y separadores ha sido al presente acordada por el Departamento de Combustibles Nucleares de la CNEA. En las experiencias se utilizarán en principio vainas de aluminio, a fin de simplificar el cálculo; las vainas tipo Atucha serán utilizadas en las mediciones finales.

Como una segunda etapa, se podrían realizar, a requerimientos de la CNEA y con los métodos experimentales y de cálculo desarrollados para las experiencias descriptas en el presente informe, los siguientes trabajos:

- a) experiencias en reticulados con moderador envenenado con boro; tomando como parámetro a modificar la concentración de boro. El interés de este tipo de estudio, radica en que este procedimiento es el utilizado para el control de Reactores de potencia
- b) experiencias en reticulados, en los cuales se simule la temperatura media del moderador de reactores de potencia, mediante la disminución de la

cantidad del mismo por introducción de microbarras de aluminio entre las barras que conformen el reticulado. Los resultados serían aplicables al estudio de la bondad de los distintos métodos de cálculo para el tratamiento del coeficiente de densidad.

- c) experiencias en las que se determine el espectro neutrónico en soluciones de nitrato de erbio por el método de tiempo de vuelo. El interés de dicho estudio estaría dado en que la estructura resonante de dicha solución es similar a la del plutonio, lo cual permitiría el estudio de la bondad de los métodos de cálculo para el tratamiento resonante del plutonio.
- d) todas las experiencias se realizarían a temperatura ambiente, su determinación a otras temperaturas que puedan considerarse de interés (por ej.: a la temperatura de operación de un reactor de potencia), serían factibles de realizarse si se contase con un recipiente de presión y calefactores adecuados. El diseño y construcción de un tanque de presión dependerá evidentemente de la experiencia y

GEOMETRIA UNIDIMENSIONAL

FIG 3

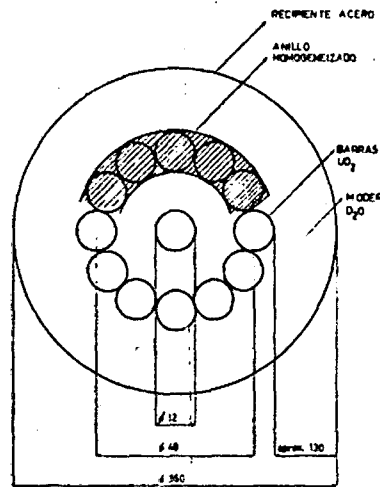


Figura 3

resultados que se obtengan de las mediciones en reticulados a temperatura ambiente.

Método de cálculo

Dada la complejidad de los reticulados a estudiar experimentalmente, el cálculo de los mismos debería realizarse con programas que utilicen el método

multigrupo, deberán ser bidimensionales y no serían aplicables programas que utilicen el método de difusión. Ello se debe a que:

- a) dado que se realizarían determinaciones del flujo en función de la energía, los programas a utilizar para el cálculo deberían contar con más de 20 grupos de energía térmicos (método multigrupo); ello estaría además impuesto por la necesidad de escribir en detalle la resonancia térmica del plutonio.
- b) Geométricamente, ningún reactor y sólo algunos experimentos pueden ser descriptos por programas unidimensionales. La mayoría de los reticulados de reactores están formados por disposiciones de barras rectangular o cuadrada, con moderador entre las barras. Los programas a utilizar, deberían permitir describir con exactitud al menos dos dimensiones. La fuga axial (tercera dimensión), sería tenida en cuenta con la introducción de un "buckling" axial que la contenga. Dicho "buckling" es determinable experimentalmente por activación con hojuelas de Indio. La aplicación de esta técnica pa-

LA TECNOLOGIA NUCLEAR YA ES ADULTA EN NUESTRO PAIS

Nosotros acompañamos el proceso realizando todas las instalaciones Termomecánicas auxiliares de:

- CENTRAL NUCLEAR ATUCHA: Edificio del reactor y auxiliares.
- LABORATORIOS DE PRODUCCION DE RADIO ISOTOPOS-CAE
- CELDA COBALTO 60 - CAE
- CENTRAL NUCLEAR EMBALSE RIO III: Edificio del reactor y auxiliares.
- CELDAS QUIMICAS DE ALTA ACTIVIDAD - CAE


TOOL RESEARCH
ARGENTINA S.A.
 INDUSTRIAL Y COMERCIAL



División TERMECO
 INSTALACIONES TERMOMECHANICAS

Av. Córdoba 657 - Piso 5º - BUENOS AIRES
 TEL. 392-4849 - 3871 - 6737
 TELEX 12-2883 AR TOOLR.

ra considerar la fuga axial, ha sido ampliamente verificada. c) el cálculo del flujo neutrónico entre un medio moderador y otro fuertemente absorbente no puede ser realizado en aproximación de difusión, ya que dicha teoría no es aplicable para estos casos, por ello el método de cálculo a utilizar debe ser tal que trate adecuadamente interfaces entre medios de este tipo. Las aproximaciones S_n y P_n han demostrado ser las adecuadas para estos casos.

Las geometrías simples, serán calculables por programas unidimensionales como el DTF IV, ANISIN, THERMOS, actualmente en operación en la computadora del CAB. Para dichos programas se cuenta con la biblioteca básica⁴.

Fuente neutrónica

Como fuente de neutrones se utilizaría tanto para las mediciones integrales como para las diferenciales, el acelerador lineal con que cuenta el CAB, conjuntamente con un blanco pesado⁵.

Esquema experimental

A fin de lograr los objetivos propuestos en el presente informe, se describe el esquema experimental a seguir:

- 1) Estudio del espectro neutrónico en medios moderadores por el método de tiempo de vuelo (etapa ya realizada). Todas las geometrías conteniendo reticulados combustibles, estarán contenidas en el recipiente cilíndrico de acero inoxidable descrito en fig. 2. Al no disponerse de programas bidimensionales, no es posible determinar "a priori" si es este el recipiente óptimo para contener los reticulados más complicados, ya que la zona de moderador que rodeara al reticulado puede no ser el adecuado.
- 2) Medición en una barra tipo Atucha, con H_2O como moderador. Esta geometría permitirá la puesta en operación y verificación de las técnicas experimentales necesarias para la determinación con hojuelas de distribuciones neutrónicas en reticulados. El uso del H_2O , está motivado por la simplicidad de manipuleo que dicho moderador presente frente al D_2O .
- 3) Geometría compuesta por una

mico dentro de la barra, etcétera.

La presente geometría permitirá la verificación de los métodos experimentales, ya que el cálculo sería realizable sin aproximaciones con programas unidimensionales en operación en el CAB. Esta geometría permitirá además la verificación de programas bidimensionales, ya que si dichos programas no calculan con exactitud geometrías simples, menos lo podrían hacer en otras más complicadas.

La bondad de los programas unidimensionales a utilizar para el cálculo es ampliamente conocida, por lo cual se verificaría nuestra capacidad para determinar experimentalmente espectros neutrónicos y otras magnitudes en medios moderadores con combustible nuclear.

Además, esta geometría permitirá verificar el programa a desarrollar para el cálculo de la fuente neutrónica requerida como dato de entrada en los programas de cálculo. Dicho programa de fuente, es similar al NYR232⁸, utilizado en medios moderadores y que fuera desarrollado en el CAB.

- 4) Opcionalmente podría realizarse un estudio similar al de la geometría descrita en³, en la configuración geométrica de la fig. 3. Dicha geometría permitiría homogeneizar el anillo exterior sin grandes aproximaciones por lo cual sería calculable con programas unidimensionales.
- 5) Medición en una geometría compuesta por una barra de zircaloy con D_2O y H_2O como moderador (sin combustible nuclear), lo cual permitiría un detallado estudio de la ley de dispersión de zircaloy.
- 6) Estudio de un reticulado compuesto por un elemento combustible tipo Atucha de 60 cm de largo, al cual se le han sacado las 7 barras centrales a fin de colocar un tubo de zircaloy de 4 cm de diámetro (fig. 4). El tubo de zircaloy permitirá determinar el espectro neutrónico por el método de tiempo de vuelo dentro del reticulado. El zircaloy actuará como dispersor de neutrones. Esta configuración geométrica es necesaria si se quiere estudiar en detalle la influencia de las vainas de los elementos combustibles en el espectro neutrónico, ya que se estima

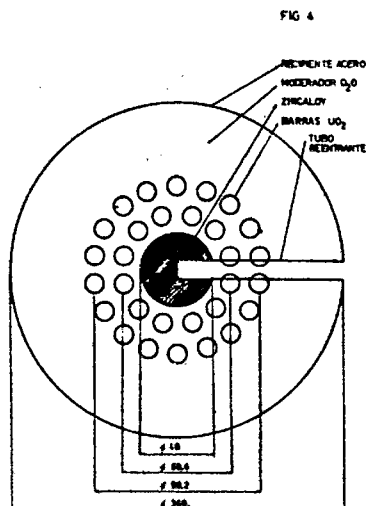


Figura 4

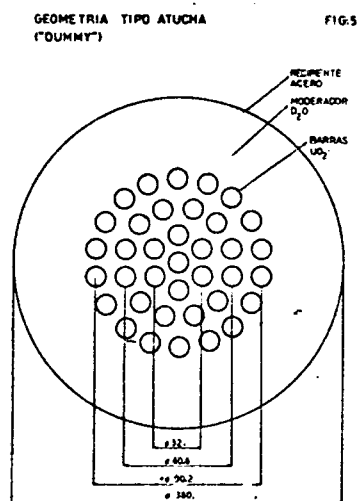


Figura 5

barra tipo Atucha, con D_2O como moderador. Experimentalmente se determinará:

- a) espectro de neutrones en el moderador en función de la energía por el método de tiempo de vuelo. Dicha determinación no es realizable en la barra combustible, dado que el diámetro del tubo reentrante mínimo utilizable en mediciones de este tipo, es del orden del diámetro de la barra.
- b) determinación de magnitudes integrales, temperatura efectiva, distribuciones del flujo térmico y epitér-

que distintos espesores de vainas producirán variaciones observables en el espectro neutrónico del dispersor. El interés de reducir el espesor de las vainas de zircaloy de los elementos combustibles del reactor de Atucha, se debe a que se producirían dos efectos al reemplazar material estructural por moderador: la reducción de las absorciones y el aumento de la moderación. El tratamiento correcto por cálculo de esta geometría requerirá la utilización de programas bidimensionales.

- 7) Estudio de un reticulado compuesto por un elemento combustible tipo Atucha ("DUMMY"), al cual se le ha reemplazado la barra estructural por una barra combustible a fin de simplificar el cálculo (fig. 5). Es evidente que el estudio de esta geometría presenta gran interés, ya que este reticulado es equivalente a la configuración de un reactor real en operación en el país. Su simplicidad geométrica permitiría un detallado estudio acerca de la bondad de los métodos de cálculo para evaluar parámetros neutrónicos de interés para el diseño, optimización, seguridad, cálculo de quemado y esquema de recambio, etc.
- 8) Estudio del reticulado "DUMMY" en la configuración geométrica de la figura 6; utilizando:
- a) moderador D₂O y refrigerante H₂O.
 - b) moderador D₂O y refrige-

"La necesidad de establecer criterios para el reciclado de plutonio es claramente reconocida en vista a la gran cantidad de reactores térmicos de potencia en los cuales dicho reciclado ha sido ya planeado o es factible de ser realizado. Debido a la imposibilidad de suponer que los métodos de diseño y seguridad normalizados para núcleos de uranio sean válidos para núcleos enriquecidos con plutonio, el estudio de las características de sistemas conteniendo plutonio es esencial..."

rante orgánico (C₆H₆). Este tipo de configuración, moderador/refrigerante, ha sido sugerido para reactores del tipo CANDU. Al presente se encuentra en estudio en el CAB un modelo para obtener la ley de dispersión del benceno a fin de poder realizar este tipo de experiencia. Sistemas heterogéneos conteniendo moderadores orgá-

nicos ofrecen ciertas ventajas para ser utilizados en centrales de potencia, ya que poseen propiedades termodinámicas aceptables y una suficiente resistencia a la radiación.

Como etapa previa a configuraciones con interfases entre medios moderadores, se han realizado en el CAB estudios que permitieron desarrollar las técnicas necesarias⁶.

- c) Moderador D₂O y aire como refrigerante. Este tipo de configuración permitirá el estudio de acci-dentes por pérdida del refrigerante ("void effect"), en reactores del tipo Atucha o CANDU.

Método experimental

Para el estudio del campo neutrónico existen dos técnicas experimentales básicas:

- 1) Medición directa del flujo neutrónico diferencial por el método de tiempo de vuelo. Dicha determinación tiene aplicación en tres objetivos fundamentales:
 - a) si es determinado con suficiente precisión, permite obtener una idea cualitativa de las modificaciones y/o refinamientos necesarios a realizar en los modelos moleculares.
 - b) permite verificar la bondad de los distintos métodos de cálculo.
 - c) puede ser utilizado para una aplicación específica,

Hacia una tecnología nuclear argentina...

asinel s.a.

está construyendo equipos de instrumentación electrónica para la
CENTRAL NUCLEAR EMBALSE RIO TERCERO

ASINEL S.A. fue seleccionada por la C.N.E.A. para tomar a su cargo el desarrollo y construcción del sistema de amplificadores para detectores de flujo dentro del núcleo del reactor para cumplir funciones de regulación, relevamiento de flujo neutrónico y seguridad.

Esta constituye la primera experiencia de la industria electrónica nacional en la materia.

Toma forma así, el desarrollo de una tecnología nacional, inexistente hasta ahora.

Para que cada vez haya mayor integración nacional en futuras centrales nucleares y superior tecnología.

ASINEL S.A., empresa 100 x 100 argentina, con capital, ingenieros y técnicos argentinos, agradece la confianza que le depositara la Comisión Nacional de Energía Atómica.



Instrumentación electrónica para hacer el futuro - Cangallo 1615, 3º/32 - Tel. 35-5345 - Buenos Aires

por ej.: determinar la variación del espectro neutrónico con el espesor de las vainas combustibles.

2) Medición de magnitudes neutrónicas integrales por activación de hojuelas. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados para.

a) construir el espectro neutrónico a partir de los datos integrales (método de Wescott, Campbell, Fremantle, etc.), dada las aproximaciones, aplicar este método no es conveniente para comparaciones con cálculo.

b) utilizar el método teórico (cálculo) para obtener magnitudes que puedan ser determinadas experimentalmente en forma directa (por ej.: variación espacial de la actividad total de un dado isótopo). Los materiales usualmente utilizados para hojuelas son: In, Eu, U, Pu, Au, etc.

En general es preferible obtener experimentalmente el espectro neutrónico diferencial; sin embargo por problemas de extracción del haz, generalmente sólo es factible la determinación de parámetros neutrónicos integrales.

Dada la falta de experiencia previa de personal del CAB en trabajos con reticulados combustibles, se estima que sería factible la determinación experimental de magnitudes neutrónicas de gran interés para su posterior comparación con valores calculados que no han sido incluidas en el presente informe. Por ello las determinaciones experimentales a realizarse que a continuación se describen no deben tomarse como definitivas o excluyentes de otras, ya que a medida que se vaya realizando el presente plan de trabajo se irán incluyendo aquellas determinaciones experimentales de interés, cuya técnica experimental sea factible de realizarse en el CAB.

Experimentalmente se determinará:

1) Flujo neutrónico en función de la posición, energía y ángulo, por el método de tiempo de vuelo. Dicha determinación es factible de ser realizada en el moderador y/o dispersor colocado en el interior del reticulado.

2) Distribución del flujo neutrónico térmico y epitérmico a través del reticulado y/o a través de las barras que lo

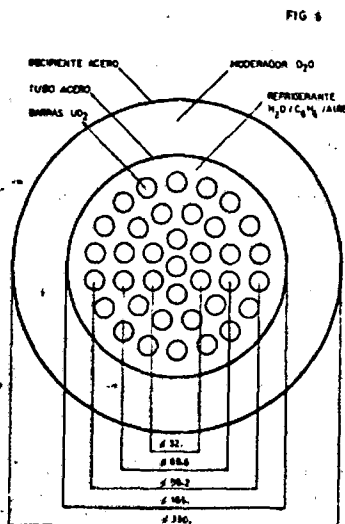


Figura 6

componen. Dicha determinación integral se realizaría con hojuelas de Indio y Manganeso.

De ser de interés se desarrollarían las técnicas necesarias para determinaciones de este tipo de hojuelas de Oro, Cobre, etc., para lo cual se contará con un detector de Ge(Li). De ser necesario se pondrían en operación un sistema de detección beta.

3) Determinación de la temperatura efectiva del neutrón en lugares de interés. Al presente se encuentra en desarrollo el método experimental para su determinación utilizando hojuelas de Lutecio y Manganeso.

4) Valores relativos de la relación del ritmo de fisión de barra a barra. Para su determinación se propone un método aún no desarrollado, el cual se basa en la utilización de hojuelas de Aluminio a fin de capturar los productos de fisión; de fisiones producidas en el combustible. El uso de los métodos convencionales por activación de hojuelas de Uranio no es factible dada la imposibilidad actual de la CNEA de adquirir u obtener por algún medio hojuelas de Uranio.

Equipamiento adicional requerido

La restricción actual más grave al presente programa es la imposibilidad de realizar cálculos

los estimativos detallados para la planificación completa de cada experiencia, al no contar el CAB con capacidad computacional para poner en operación programas numéricos bidimensionales. Dicha restricción no podría ser solucionada con cálculos realizables en la computadora con que cuenta la CNEA en Buenos Aires, ya que todos los experimentos requieren cálculos numéricos durante el periodo de planificación y optimización.

Además de la experiencia en cálculo que se tiene al presente a partir de los estudios realizados en medios moderadores simples, se desprende la necesidad de poder modificar los programas existentes, confeccionar programas o subrutinas adicionales o repetir cálculos con parámetros, constantes o dimensiones distintas.

Para solucionar este problema existe una sola solución que es la instalación de una memoria adicional de 32 k a la computadora IBM 360/44 con que actualmente cuenta el CAB. De esta manera se permitiría la participación activa del CAB en el desarrollo científico y tecnológico de los reactores argentinos; ya que los principales problemas actuales de los reactores nucleares no están relacionados sólo con la termalización de neutrones en moderadores, único tema en el cual existe capacidad computacional como para poder realizar investigación en el COB. ♦

Bibliografía

1. Abbate, M., et al. "Facilidad para la medición de Espectros de Neutrones por el Método de Tiempo de Vuelo". CNEA 369, 1974.
2. Volkis, J., et al. "Método de cálculo para la obtención de Parámetros de Difusión". Informe CAB/1972/6.
3. Abbate, M., et al. "Estudio y desarrollo de un blanco para la producción de neutrones con acelerador lineal". Informe CAB/1973/5.
4. Boado, H., et al. "Obtención de constantes multigrupos con la biblioteca del sistema GGC-3". Informe CAB 6/1977.
5. Abbate, M., et al. "Neutron Thermalization in Light Water. Measurement and Calculation of Spectra". Nucl. Sci. Eng., 60, 471 (1976).
6. Abbate, M. "Espectros de Flujo Angular de neutrones cerca de una interfase entre agua liviana y agua pesada". Tesis Doctoral, IFB, 1977.
7. Lolich, J. y Abbate, M. "Determinación de la densidad neutrónica espacial por activación de hojuelas de indio". Reunión AFA, Tucumán, mayo 1974.
8. Abbate, M. "NYR232 FUDIS. Cálculo de fuentes distribuidas". ACNYR, CAB, 1975.