

08.63.09

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1963

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE ENERGIA

Comisión Nacional de Energía Atómica
BIBLIOTECA

TRABAJOS REALIZADOS Y PLANES EN EL GRUPO DE
FISICA DE REACTORES

D.B. de RICABARRA y G. RICABARRA

-.--.-.-.-.-.-

CNEA. Re/11

PROGRAMA DE REACTORES

TRABAJOS REALIZADOS Y PLANES EN EL GRUPO DE
FISICA DE REACTORES ,

D.B. de RICABARRA y G. RICABARRA ,

-.--.-.-.-.-.-

CNEA. Re/11

R E S U M E N

Se hace una descripción del trabajo hecho hasta ahora en el campo de Física de Reactores. Se muestra cómo el trabajo con facilidades críticas del mismo diseño del reactor a construir o en funcionamiento permite resolver problemas con flexibilidad y rapidez. Se relatan las determinaciones encaradas hasta el momento, de constantes nucleares importantes en el diseño de reactores. Se describe brevemente el programa de Física de Reactores concerniente al proyecto del Reactor de Ezeiza (R.A.E.P.) y se puntualizan las dificultades con que se cuenta para su realización.

-.--.-.-.-.-.-

1. - TRABAJOS REALIZADOS EN EL GRUPO DE FISICA DE REACTORES

El trabajo realizado puede dividirse más o menos ampliamente en los siguientes items:

- A - Construcción y operación de las facilidades críticas RA 1,5 , RA 2,5 y RA0.
- B - Parámetros nucleares relacionados con el estudio de las diversas configuraciones críticas, y puesta a punto de técnicas de determinación de parámetros interesantes en el diseño de reactores de potencia.
La determinación de los parámetros nucleares a su vez podría dividirse en los siguientes items:
 - 1 - Determinación de flujo térmico, epitérmico y rápido.
 - 2 - Determinación de Laplaciana (Buckling), edad de Fermi, area de Migración, y constantes microscópicas tales como el ρ 28, § 28, y factor de utilización térmica. Determinación de masas críticas y alturas críticas.
 - 3 - Determinación de reactividad, calibración de barras de control. Coeficientes de vacío y de temperatura. La mayor parte de los trabajos han sido realizados en la Argentina, y algunos que por su complejidad e instrumental necesarios son inaccesibles por el momento, han sido realizados en el exterior.

1.1. - CONSTRUCCION Y OPERACION DE LAS FACILIDADES CRITICAS RA 1,5 , RA 2,5 y RA0.-

Desde un principio surgió la necesidad de la construcción y operación de una facilidad crítica de uranio enriquecido al 20%, con moderador de agua liviana y reflector de grafito. En la primera facilidad crítica construida (RA 1,5), los elementos combustibles utilizados eran placas de 610x73x2,1 mm. conteniendo una mezcla de U_3O_8 y Al, estaban colocados en cajas de Al, y la distancia entre las placas era de 6 mm.

El sistema de seguridad tenía dos placas de cadmio de control y una de seguridad. El sistema de control estaba formado por 3 canales independientes de corte automático y 1 de alarma. Dos de los canales son cámaras de ionización conectadas a un disparo de seguridad y el tercero es un contador de trifluoruro de boro que acciona un escalímetro y un integrador. Los disparos de seguridad y el integrador al llegar a un valor prefijado de la escala accionan un relevador abriendo un circuito y produciendo el corte del dispositivo,

El corte del dispositivo consiste en la caída de las barras de seguridad, control, y apertura de la válvula de descarga del agua.

Las disposiciones geométricas del núcleo de uranio enriquecido estudiadas fueron:

- a) Núcleo de sección cuadrada (30x30 cm) y con reflector interno y externo de grafito.
- b) Núcleo de sección cuadrada y sin reflector interno de grafito.
- c) Núcleo de sección rectangular. Determinaciones de masa crítica y distribuciones de activación térmica se hicieron en todas las configuraciones mencionadas. (1)

Estas experiencias críticas tenían relación con el proyecto de construcción de un reactor denominado en su época R.A.2, y aunque el proyecto de construcción del reactor no se llegó a concretar, se ganó una experiencia valiosa en la operación de facilidades críticas, y su flexibilidad para resolver problemas en el diseño de reactores.

Las facilidades críticas RA2,5 y RAO, tenían como objeto investigar disposiciones críticas con barras cilíndricas en vez de láminas como en el caso anterior. Los elementos combustibles que se usaron consistían en tubos de aluminio de 40 cm de altura, 9,5 mm de diámetro exterior y 1 mm. de espesor de pared. El óxido de uranio enriquecido se introdujo en estos tubos y se obtuvo una densidad de 2,3 gm/cm³ por simple compactación mediante vibrado.

El RAO es una facilidad crítica destinada a estudiar el reemplazo de los elementos combustibles de tipo chapa del R.A.1 modificado, por elementos combustibles en forma de barra cilíndrica. El núcleo del R.A.1 modificado es un anillo cuyo diámetro exterior es de 33,5 cm y su diámetro interior es de 15,3 cm. Es moderado y reflejado a agua y tiene un reflector interior y exterior de grafito.

Los problemas que tenía que resolver primariamente esta facilidad crítica eran:

- 1º - Longitud óptima de los elementos combustibles;
- 2º - Exceso de reactividad disponible con una configuración de este tipo.

Diversas relaciones de VH₂O/V U₃O₈ se estudiaron (3,33 a 5,28) y se ensayó espaciar los elementos combustibles entre si alternadamente simulando así elementos combustibles de distinto largo (espaciamiento desde 7 cm. a 16 cm.). Se hicieron determinaciones de masa crítica y de altura crítica, excesos de reactividad disponibles, y distribuciones de flujos y coeficiente de temperatura. (2)

En este tipo de configuración crítica fuertemente perturbada radialmente por el reflector interno y externo se comprobó la importancia de la interfase entre el reflector y el núcleo en el porcentaje de reactividad disponible. Por ejemplo para una determinada relación de $V H_2 O / V U_3 O_8$ si se utilizaba un reticulado de malla exagonal nuestro sistema no se ponía crítico; sin embargo adoptando una disposición de los elementos combustibles en circunferencias concéntricas podíamos obtener un exceso de reactividad razonablemente alto (1,8%). Esto se debía a que la disposición geométrica regular (malla exagonal) dejaba espacios de agua en la interfase del reflector de grafito y el núcleo (entre 5 mm. y 10 mm.).

El cálculo en un sentido confirmó este resultado puesto que se advierte lo importante que es esta zona en el cálculo del Keff y de la distribución de flujo. (2)

Esto da una idea de la utilidad de una facilidad crítica para el diseño de una determinada configuración, en problemas que no pueden ser resueltos por los cálculos nucleares con la aproximación deseada. Una nueva experiencia crítica se realizará con elementos combustibles en los cuales el óxido de uranio estará compactado en una matriz de grafito.

1.2. - MEDICION DE PARAMETROS NUCLEARES

- a) Una determinación de importancia en un reactor o en una facilidad crítica es la de su índice espectral (λ o r de acuerdo a la notación de Wescott). Es bien sabido que una simple relación de Cd, de In o Au no suministra esta información puesto que es necesario aplicar correcciones teóricas de dudosa exactitud. Un trabajo de determinación del espectro se hizo en el R.A.1 modificado, midiendo λ , flujo térmico y flujo rápido en función de la posición en el núcleo y en el reflector. (3)
- Se puso a punto también un método de determinación del flujo térmico absoluto mediante el contaje ^4pi beta en un contador proporcional de flujo de gas. (4)
- Se han usado detectores de umbral convencionales (n, α y n, p) para la determinación de flujo rápido (3), (5). Sin embargo es necesario un conocimiento más detallado del flujo rápido en las zonas de bajas energías (0,1 Mev a 3 Mev).
- Un trabajo de este tipo se está desarrollando en este momento en el grupo de Física de Reactores mediante el uso de detectores de umbral de baja energía de umbral (isómeros producidos por dispersión inelástica de neutrones).

- b) Una determinación del área de migración y de la edad de Fermi para una fuente de $Po-\alpha$ -Be se hizo fundamentalmente para poner a punto el método de activación de hojuelas para la determinación de los parámetros nucleares interesantes en el diseño de reactores. El acuerdo fué muy bueno con los resultados experimentales publicados. (6)

El método fué luego aplicado para la determinación del Buckling o Laplaciana de un reticulado de U-H₂O con tubos conteniendo U₃O₈ enriquecido al 20% (RA 2,5); el acuerdo con el Buckling calculado teóricamente fué bueno. (7)

Parámetros microscópicos de importancia en el diseño de reactores de potencia como ρ 28, δ 28 y factor de utilización térmica o factor de desventaja que la puesta a punto de sus técnicas no pueden ser efectuadas en conjuntos críticos de alto enriquecimiento, fueron realizados en el exterior. (8), (9), (10).

- c) La calibración de barras de control se ha encarado por diversos métodos. El método más exacto para determinación de la reactividad es el de la medición del período asintótico de crecimiento de la población neutrónica que se alcanza cuando se saca de un sistema crítico un $\Delta\rho$. Sin embargo, por razones de seguridad es conveniente trabajar con métodos diferentes de medición de reactividades. Se ha desarrollado en ese sentido un método en el que se mide la respuesta neutrónica inmediata del reactor a una inserción o sacado de un determinado $\Delta\rho$. De la medición de la respuesta neutrónica inmediata es posible obtener el valor de la reactividad. (11)

Como un perfeccionamiento de este método se ha estudiado la calibración de las barras de control mediante su inserción desde su posición de criticidad, estudiando la respuesta neutrónica instantánea a medida que la barra se mueve, en un registrador rápido, se puede resolver con este dato la ecuación integral de la cinética en una computadora electrónica Mercury Ferranti y de allí obtener la reactividad en función de la posición de la barra. El tiempo de calibración de la barra se reduce con este método a 30' (básicamente el tiempo de computación) que es favorable respecto del método de período estable que puede tomar de 4 a 6 horas. Presenta además la ventaja de ser inherentemente seguro puesto que significa la introducción de una reactividad negativa en el conjunto crítico.

Es obvio que usando una computadora analógica de la cual no se dispone por el momento, el tiempo de resolución de la ecuación de la cinética se reduce apreciablemente. Este método puede usarse favorablemente para la medición de la variación de reactividad en función de la altura de agua; es bien conocido que el método de medición de período estable en este caso es difícil en su aplicación y ofrece desventajas desde el punto de vista de la seguridad.

2. PROGRAMA DE TRABAJO DEL GRUPO DE FISICA DE REACTORES

2.1. FACILIDAD CRITICA PROYECTO R.A.E.P.

La Comisión Nacional de Energía Atómica de la República Argentina (C.N.E.A.) está construyendo un reactor de diseño propio, sobre la base de la experiencia existente en otros países en reactores de este tipo. Se trata de un reactor para producción de radioisótopos y uso experimental que se está construyendo en Ezeiza, a unos 30 Km. de Buenos Aires. Su núcleo estará constituido por elementos combustibles tipo MTR de uranio altamente enriquecido. Será de tipo tanque, moderado y refrigerado con agua, y será por lo tanto sumamente flexible en cuanto a configuraciones de núcleo.

A pesar de que esta clase de reactores es bien conocida, resulta evidente que muchas respuestas a problemas que se presentarán en la utilización del R.A.E.P., no se encuentran ni en la bibliografía ni en manuales de operación de reactores similares.

Es necesario por lo tanto una verificación cuidadosa de sus parámetros nucleares para las distintas configuraciones antes de su operación rutinaria. Ello se hará en un dispositivo crítico que se construirá con tal motivo.

El plan del grupo de física de reactores comprende por lo tanto la construcción, la operación del dispositivo crítico para el R.A.E.P. y la medición de los parámetros nucleares que facilitarán el diseño final y suministrarán la información necesaria para la operación a potencia del reactor.

Las mediciones que se efectuarán pueden dividirse en los siguientes grupos:

- a) - Estudio de diferentes configuraciones geométricas del núcleo; determinación de masas críticas, masas operativas, excesos de reactividad de núcleos limpios.
- b) - Importancia de la absorción en los tubos o lugares de irradiación, efectos en la reactividad producida por la inundación de los tubos o lugares de irradiación, cambios de posición de los tubos de irradiación, y su efecto en la reactividad.
- c) - Calibración de las barras de control, en función de su ubicación en el núcleo y para cada nueva disposición del mismo, y para distintos materiales absorbentes de neutrones.

Conectado con este punto, es importante señalar que la calibración de barras de control en el R.A.E.P., exige la introducción de un método diferente de calibración. El R.A.E.P. tendrá, con todas las barras adentro y en condiciones normales de operación, una antireactividad (reactividad negativa) de 4%. Es sabido que el valor de esta antireactividad sólo puede ser medido con exactitud mediante el método de la fuente pulsada de neutrones. Este método ha de ser desarrollado, y se ha pedido, como parte de la asistencia técnica solicitada a la O.I.E.A., un multicanal que permitirá utilizarlo en el análisis temporal del decaimiento de la población neutrónica en el sistema crítico o subcrítico.

d)- Determinación de Coeficientes de Temperatura y de Vacío.

Es obvio que el conocimiento de los parámetros mencionados en los puntos 1), 2), 3) y 4) es de suma importancia para la evaluación de los riesgos de arranque del reactor, inserción y extracción de muestras de los tubos de irradiación, inundación de los tubos de irradiación, y distribución adecuada de los elementos combustibles y barras de control en el núcleo del R.A.E.P.

e)- Determinación de las Distribuciones de Flujo Neutrónico Térmico y Rápido en el Núcleo, Canales de Irradiación y Haces de Irradiación.

Dado el número de configuraciones críticas a estudiar, la medición de las distribuciones relativas de flujo se hace un trabajo tedioso y largo. Es por lo tanto recomendable disponer de un medio automático para medir la actividad de las hojuelas, que evite los errores y permita concentrar el trabajo en problemas más importantes.

Son necesarias determinaciones absolutas del índice espectral, o proporción relativa de neutrones epitérmicos a térmicos (r o λ de acuerdo a la notación de Wescott), especialmente en los canales de irradiación, haces de irradiación y columna térmica. Este conocimiento es importante para los usuarios del reactor de investigación puesto que les permite calcular las activaciones aguardables en condiciones de autodepresión y autoprotección de la muestra despreciable.

Una medición del espectro de neutrones rápidos, especialmente en la zona de bajas energías (0.1 Mev a 3 Mev), es de suma importancia para aquellos grupos que están interesados en los daños por radiación.

Este trabajo ha sido discutido con el Dr. Rudolph Sher, profesor de la Universidad de Standford, que visitó esta Comisión por dos semanas

en el mes de mayo del presente año para orientar nuestras actividades en la física de reactores, como experto del O.I.E.A., y en viaje costado por USAEC. Se llegó a la conclusión de que éste era el trabajo que debía encararse en los próximos dos años. Y que otros proyectos, como sería el de física de reactores de agua pesada, deberían encararse cuando se contara con más personal y equipos.

La dificultad actual más importante consiste en la escasez de equipos para las mediciones, y el presupuesto exiguo que se ha dedicado hasta ahora para la provisión del laboratorio de Física de Reactores. (12)

Como parte de este programa de trabajo se ha solicitado a el O.I.E.A. asistencia técnica consistente en equipo por valor u\$s. 16.000.- y la provisión de un experto de Física de Reactores, que tendría como misión fundamental la de evaluar en detalle la seguridad de los experimentos críticos y preparar un informe de seguridad de los experimentos que pueden ser ejecutados, asistir en el planeamiento general de los experimentos, y participar en su ejecución.

2.2 - FACILIDAD CRITICA RA-0

Las modificaciones a introducir en el núcleo del R.A.1, consistente en una nueva carga de combustible de características totalmente distintas a la anterior y el cambio de las barras de control tanto en geometría como en posición, crean la necesidad de una serie completa de experiencias en la facilidad crítica RA-0, adaptada a las nuevas condiciones. Estas experiencias son en líneas generales similares a las descriptas más arriba y se piensa efectuarlas simultáneamente con la marcha de los trabajos mecánicos y modificaciones estructurales que se realicen en el R.A.1.-

La conveniencia de contar con una facilidad crítica para el estudio del núcleo de un reactor, previo a su funcionamiento se ha analizado ampliamente en su oportunidad y no exige más discusión.

De la experiencia adquirida durante la operación del R.A.1 y de las impresiones recogidas sobre la forma de trabajar en otros centros, se desprende la conveniencia de mantener en funcionamiento la facilidad crítica RA-0. Esta facilidad constituirá una herramienta auxiliar para la operación racional del R.A.1.-

Se propone en la medida en que se disponga del instrumental necesario y de la carga de combustible suplementaria, continuar el trabajo en esta facilidad en los siguientes puntos:

- a) - Estudio de distintos moderadores, berilio, agua pesada, agua liviana, en distintas geometrías y combinaciones, a fin de obtener un pico de flujo máximo. Esto requiere la determinación de las distribuciones de flujo en las zonas de interés y del exceso de reactividad disponible en cada caso. Como también de las depresiones originadas por introducción de muestras y establecer los casos particulares en que sea conveniente cada configuración.
- b) - Estudio de la influencia del diámetro del reflector interno y del diámetro externo del núcleo, en la masa crítica, excesos de reactividad, efecto trampa y facilidades de irradiación.
- c) - Estudio de las geometrías más convenientes para dejar libre acceso vertical para la ubicación de facilidades exponenciales en el R.A.1, y establecer un compromiso con los otros parámetros, masa crítica, exceso de reactividad, etc.

- d) - La geometría anular de esta facilidad permite ubicar con comodidad, en el reflector interno un modulador de pila para la determinación de la función de transferencia y otros estudios de cinética.

Se han iniciado en este sentido los estudios preliminares para la realización de esta experiencia, así como la preparación del instrumental necesario.

- e) - Asimismo cabe la posibilidad de realizar la puesta a punto de métodos de medición, cuando se crea conveniente no interferir con los trabajos en la facilidad R.A.E.P. Por ej.: medidas de reactividad como extracción de fuente, distintos métodos de rod-drop, etc. Como también medidas de efectividad de una barra de control ubicada en el centro con núcleo pleno, para correlación con métodos de cálculo, como había sugerido el grupo de Teoría y Cálculo,-

Para la realización de los puntos a) b) y c) será necesaria una activa colaboración de la sección taller, para la construcción de las partes estructurales que deban variarse (tanques, piezas de grafito) y de dispositivos auxiliares de medición que aseguren la exactitud de la geometría. El punto a) exige como es obvio, la adquisición del material moderador mencionado.

Para las medidas de reactividad es importante mejorar el sistema de comando e instrumentos de medición de recorrido de barras de control para poder tener una medida exacta de la posición y asegurar la reproducibilidad de las experiencias. También es necesario contar con la válvula de descarga estanca que asegure la constancia de nivel de agua sin tener que recircular la misma, pudiéndose así trabajar en condiciones estables. Cabe señalar que un programa de experiencias en la facilidad crítica exige una exactitud y confiabilidad en el funcionamiento de los equipos electrónicos que actualmente no existe debido a las oscilaciones violentas de alta tensión y las dificultades de "service".

Estas observaciones se hacen desde el punto de vista de las necesidades del grupo de física de reactores y entendemos que el detalle sobre las modificaciones y mejoras de la facilidad crítica se harán en el informe correspondiente a "funcionamiento y operación de la facilidad RA-0".

No es necesario insistir en esta sección que la factibilidad de este programa depende del soporte de los equipos y laboratorios auxiliares de medición.

Es necesario afectar dos profesionales y dos técnicos para el desarrollo de los trabajos especificados en a) b) y c). El punto d) ha sido encarado por el licenciado Rapoport. En cuanto a las posibilidades mencionadas en e), dependerán de las necesidades que surjan de las experiencias en la facilidad crítica R.A.F.P. y del grupo de Teoría y Cálculo y deberán contemplarse en su oportunidad.

2.3. - DETERMINACION DEL ESPECTRO DE NEUTRONES RAPIDOS EN UN REACTOR POR MEDIO DE DETECTORES DE UMBRAL, USANDO ESTADOS ISOMERICOS PRODUCIDOS POR DISPERSION INELASTICA DE NEUTRONES.-

2.3.1.- Importancia general del problema y objetivos del Proyecto:

Es bien conocida la importancia que tiene la determinación del espectro de neutrones rápidos de un reactor en la región de 0.1 a 2 o 3 Mev. Nuestro propósito es estudiar algunas reacciones de dispersión inelástica de neutrones, de bajo nivel de excitación y su aplicación para obtener información sobre el espectro neutrónico en el rango de energía mencionado. Para la determinación del flujo rápido de un reactor se han usado extensamente detectores de umbral y sus ventajas son indudables, pero se trata casi siempre de reacciones de alta energía efectiva que aún en los casos más favorables comienza en el rango de aproximadamente 2 Mev. El estudio de la moderación de neutrones de fisión, muestra que la desviación del espectro de neutrones rápidos, en un reactor térmico respecto al espectro de fisión de los neutrones de fuente, se acentúa justamente a energías menores que 2 Mev, como puede apreciarse en los trabajos de Rowlands (13) y (14).

Por lo expuesto, nos parece razonable obtener más información con detectores de umbral de baja energía que concentrarse en el estudio experimental de los detectores convencionales de alta energía de umbral. Es importante destacar que el uso de reacciones (n,n) presenta ventajas de índole práctica en la medición del flujo de neutrones rápidos de baja intensidad, como sucede trabajando con facilidades críticas, donde no es permisible elevar la potencia. Estos detectores de umbral tienen una sección eficaz razonable, del orden de decimas de barn, y producen isómeros excitados que decaen por emisión gamma y electrones de conversión y por lo tanto es posible medir el rayo gamma con un analizador y obtener fondo prácticamente nulo.

2.3.2.- Trabajo ya realizado en relación a este proyecto:

La suspensión de las facilidades de irradiación en el R.A.1 ha obligado a postergar las experiencias iniciadas. Se han empezado mediciones de los isómeros excitados por dispersión inelástica del In y Au y las reacciones (np) y (n,α) del Al. Estas medidas han tenido hasta ahora, el carácter de tentativas, para establecer las condiciones de irradiación y medición, así como la pureza de los detectores, posibilidad de separar los períodos que interesan etc. Se ha trabajado en la construcción y puesta a punto de un contador 4 pi proporcional y su equipo electrónico. Este sistema ya está funcionando de manera satisfactoria (plateau de alta tensión de 300 V., pendiente menor que el 0.1% por 100 V.).-

Se ha realizado un estudio numérico del espectro de neutrones rápidos de un reticulado de uranio enriquecido y agua liviana de características similares a aquéllos en que se realizan las mediciones. El cálculo basado en el método propuesto por G. Rowlands (13) y (14), se ha realizado en la computadora Mercury Ferranti, del Instituto del Cálculo.

Los resultados preliminares muestran lo inadecuado que es, en el caso que nos interesa, aproximar el flujo rápido mediante la multiplicación del espectro de fisión por una función correctiva deducida de la "removal cross-section theory", con un parámetro ajustable. Este planteamiento y el ajuste del parámetro con las medidas integrales de los detectores de umbral subestima el flujo rápido de bajas energías ya que desprecia la contribución de los neutrones moderados a altas energías, por lo que parece indicado, usar una función correctiva que tenga en cuenta este efecto.

2.3.3. PROGRAMA DE TRABAJO Y TECNICAS A EMPLEAR:

- a) Se propone estudiar el flujo de neutrones rápidos de un reactor, en la zona de 0.1 a 3 Mev, usando por lo menos cuatro detectores cuyas secciones eficaces por dispersión inelástica de neutrones en función de la energía es conocida en la literatura relevante (15) y (16), y con un umbral suficientemente bajo, que son el In, Au, Hg y Ba. Se medirá su actividad absoluta y relativa respecto de algunos detectores de umbral conocidos (de alta energía de umbral) y cuya sección eficaz de acuerdo a las últimas mediciones publicadas (17) y (18) ofrezcan pocas dudas sobre su corrección.
- b) Se utilizarán algunos de los detectores investigados en la determinación del flujo rápido en la facilidad crítica R.A.E.P. Esto nos interesa por razones de orden práctico y teórico. Desde un punto de vista práctico es necesario conocer el espectro de neutrones rápidos, especialmente en los tubos de irradiación y haces del reactor, conocimiento de importancia para el grupo que hará experiencias de daño por radiación. Como se proyecta estudiar un gran número de configuraciones del reticulado R.A.E.P., es necesario reducir el mínimo posible la potencia, para no dificultar la manipulación de los elementos, Por eso nos interesa disponer de detectores en los que podamos hacer máxima sensibilidad del detector a los neutrones rápidos respecto al fondo ("background") del equipo de conteo. Ello puede hacerse por diferentes métodos, uno es usar un dispositivo 4 pi proporcional para la medición beta y usar anticoinciden////////

cias para reducir el fondo del equipo. En nuestro caso mediremos directamente el rayo gamma del isómero producido por dispersión inelástica, lo que nos asegurará un fondo prácticamente despreciable. Se hará una comparación de las actividades medidas y del flujo rápido calculado con la teoría. La distribución del flujo de neutrones rápidos en función de la energía, en medios homogéneos, compuestos de varios nucleídos de distintas propiedades absorbentes, se obtendrá en 1ª aproximación por el método numérico, ya programado y mencionado más arriba.

En este cálculo no se tiene en cuenta la distribución espacial, por lo que se está estudiando un método de calcular la dependencia espacial del espectro neutrónico. Parece conveniente adoptar la aproximación P₁ y de Selengut-Goertzel (19) y (20), recurriendo a la resolución numérica de la ecuación integral diferencial de moderación.

- c) Se piensa extender este trabajo al estudio de otros detectores de umbral aún más bajo, como el Rh103 m, cuyo estado excitado es de aproximadamente 0.04 Mev. Su medición se complica, debido a que la mayor parte de la actividad aparece como electrones de conversión de baja energía y rayos X de 2 Kev.
- d) El trabajo consistirá en la medición de los cuatro detectores propuestos en 6A, conjuntamente con otros detectores de umbral usuales (n,p o n,alfa) como el S o el Al, irradiados en un punto del reactor actualmente en funcionamiento de 20 Kw (R.A.1). El rayo gamma se detectará mediante un espectrómetro que se calibrará por la determinación absoluta de un número de nucleídos, comparando el área del fotopico con la verdadera actividad obtenida por medición en un contador 4 pi beta. En los casos en que sea más conveniente se utilizará directamente el conteo 4 pi beta, para la medición de actividades absolutas. La medición absoluta del Hg199m y el Au197m se hará por coincidencia gamma-gamma. Son indispensables para este trabajo dos fotomultiplicadores y dos cristales de INa (Tl) de 2"x2", dos espectrómetros de un canal y un circuito de coincidencias. De estos elementos de trabajo no se dispone actualmente, pero se piensa construir el circuito de coincidencias en la C.N.E.A. En la actualidad el equipo electrónico para la medición en el contador 4 pi beta presenta ciertos inconvenientes: el tiempo de resolución es elevado (30 microsegundos) y el rango de la fuente de alta tensión no es suficiente, lo que obliga a elevar excesivamente la ganancia del sistema. Por lo cual sería necesario reemplazar el sistema por uno de menor tiempo de resolución, de 1 microsegundo y disponer de una fuente de alta tensión de hasta 5000 V.

Un equipo duplicado del anterior será necesario para mediciones beta relativas en un contador proporcional de flujo de gas de ventana,

3. - CONDICIONES Y ELEMENTOS NECESARIOS PARA LA REALIZACION DE LOS PLANES DE FISICA DE REACTORES.-

La totalidad de los trabajos realizados hasta ahora en el grupo de Física de Reactores se realizaron con elementos escasísimos, en algunos casos con equipos y elementos de otros laboratorios de la Casa. La filosofía evidentemente hasta ahora fué otra, pues se construyó un reactor de entrenamiento (Argonauta) en el año 1958 sin siquiera las comodidades básicas para el personal. Al respecto cabe citar el informe de la memoria anual del año 1959 titulado "UN AÑO DE OPERACION DEL R.A.1": "los laboratorios y oficinas anexas al reactor aún no han sido construídos. Provisoriamente se instaló en julio de 1958 una casilla prefabricada con 2 baños, lugar para cambiarse y una habitación que sirve de oficina, sala de dibujo, sala de recepción y salón de fumar al personal del reactor (5 profesionales, 3 técnicos, 1 empleado y 3 obreros). Ha servido también para instalar el tablero de comando en irradiaciones fuertes y temporariamente para equipos de conteaje". A pesar de que esta situación mejoró a fines de 1961 con respecto a las comodidades básicas del personal, la situación con respecto a equipos auxiliares y laboratorio no ha mejorado. Es necesario señalar que por ejemplo la facilidad crítica está construído en un galpón de Zn, que soporta temperaturas extremas en invierno y en verano, lo que perjudica extraordinariamente el funcionamiento de los equipos (sin contar las molestias personales). Además el equipo generador de Constituyentes alimenta el taller de mecánica y el laboratorio de Metalurgia, ello produce caídas y elevaciones de tensión especialmente cuando los hornos de metalurgia se prenden que oscilan entre 160V y 350 voltios instantáneas lo que ha ocasionado frecuentemente la inutilización de varios equipos. Si a eso se agrega que hay un solo técnico del taller de electrónica que se ocupa solamente "part time" a la reparación de los equipos del grupo de reactores, se tendrá una idea de las dificultades que se encaran. A este respecto cabe citar el informe del año 1959 (x) : "Es absolutamente necesaria una conexión con la red externa".

Con respecto a los laboratorios anexos, sala de conteaje, etc., no es necesario comentario adicional, solamente comparar magnitud relativa del taller de mecánica con los equipos disponibles actualmente para Física de Reactores. Sería lógico esperar, que se volcara un esfuerzo similar para proveer los laboratorios adecuados para desarrollar un programa de trabajo acorde a las necesidades básicas de física de reactores.

(x) Informe anual, Carlos Domingo año 1959.-
"Un Año Operación del R.A.1"

3.1. -NECESIDADES DE EQUIPOS Y ELEMENTOS ACCESORIOS DE LA- BORATORIO.-

A continuación se enumeran las necesidades de equipos y demás elementos necesarios, que por otra parte se han considerado con mayor o menor extensión en repetidas ocasiones.

Pedido de compra de equipos del 16 de setiembre de 1963, pedidos al día de electrónica en Abril de 1963, propuesta de presupuesto para los planes de trabajo de 1964, informe de la visita de R.S. Sher de mayo de 1963, pedido de ayuda técnica al O.I.E.A., propuesta de un contrato de investigación al O.I.E.A.-

3.1.1. EQUIPOS PARA LA SALA DE CONTAJE

- 3 - Analizadores monocanal (3 fuentes de alta tensión para los contadores de centelleo, 3 amplificadores de ganancia 1000, 3 preamplificadores y 3 escalímetros).
- 4 - Amplificadores para contadores de flujo de gas.
- 2 - Fuentes de alta tensión hasta 5000 V.
- 4 - Escalímetros rápidos para contadores de flujo de gas.
- 1 - Equipo automático para conteo de muestras (hojuelas) que consista en: 1 fuente de alta tensión de hasta 5000 V, 1 amplificador, 1 escalímetro rápido con reloj electrónico (posibilidad de preestablecer el tiempo de conteo), 1 sistema automático de cambio de muestras, salida a una impresora que imprima el nº de muestra, el tiempo de conteo y la actividad medida.

Espectrómetro monocanal con barrido automático, avance de 1 V. por paso y conteo por tiempo predeterminado, salida para una impresora que imprima al canal, el nº de cuentas y el tiempo de conteo.

Espectrómetro multicanal de características tales que pueda ser usado para mediciones de reactividad con una fuente pulsada de neutrones.

Las características de estos equipos, han sido establecidas en los pedidos de equipos hechos a la casa, en la propuesta de contrato de investigación al O.I.E.A., en el pedido de ayuda técnica al O.I.E.A. y pedidos de compra de equipos elevados a la Gerencia de Energía.

3.1.2. FUENTE PULSADA DE NEUTRONES - CARACTERISTICAS -

Fuente de iones que provea pulsos perfectamente determinados, con "risetime" y "decay time" de 0,5 microseg. Longitud de pulso que pueda ser variada en forma continua entre 1 y 10^4 microseg. Frecuencia de pulsos continuamente variable entre 10 y 10^7 pulsos/seg., consistente con la longitud de pulso elegida. Corriente de deuterones de hasta 1000 microA. para proveer un output total de hasta 10^{11} n/seg.

3.1.3. DETECTORES DE RADIACION

- 4 - Contadores proporcionales de flujo de gas, para ser utilizados en la sala de contaje. Ya se han entregado los planos a la sección taller de reactores para su construcción.
- 4 - Tubos Geiger Müller de ventana.
- 4 - Cabezales para centelleo . (cristal, fotomultiplicador y preamplificador).
- 1 - Cabezal para centelleo . de pozo.

Se ha solicitado la construcción de los contadores proporcionales al taller de reactores. Las características de los demás detectores están especificados en el pedido de trabajo mencionado más arriba.

3.1.4. OTROS ELEMENTOS DE LABORATORIO

Elementos accesorios como balanza de precisión, un pequeño laboratorio de química con elementos básicos, se supone que serán provistos al grupo de reactores correspondiente.

Aunque se posee provisión de hojuelas de distintos materiales para irradiación, es necesario hacer un pedido de hojuelas especiales, particularmente algunas tierras raras (Eu, Lu, Dy).

Planchetas calibradas para absorción β y γ de aluminio y plomo, se han incluido en el pedido ya mencionado.

Fuentes standard β y γ , pueden solicitarse a la sección Radioquímica.

3.1.5. PROBLEMAS PARA LA REALIZACION DE ESTOS PLANES

Consideremos en primer lugar las dificultades para la realización de las experiencias críticas R.A.E. P. Previamente cuando se desarrolló el plan a principios del año 1963, se descontó que estas experiencias podrían empezar en la primera mitad del año 1964. Luego, después de un denodado esfuerzo para tener infor-

mación de cuando los elementos combustibles serían entregados por la Gerencia de Tecnología, se obtuvo la información que se entregarían los primeros elementos combustibles a partir de 5 meses de la recepción del uranio enriquecido y el total de los elementos combustibles a los 6 meses.

Como la fecha seguía dependiendo evidentemente de algo condicional, se trató de averiguar cual sería la fecha de la llegada del uranio enriquecido, al país. Una información oficiosa señaló la llegada del uranio enriquecido para fines de Diciembre del año 1963. Pero todavía no existe una confirmación oficial respecto a la fecha de llegada del uranio.

Con respecto a la construcción y adquisición de los equipos se tropezó con idénticas dificultades. La construcción de los equipos para la sala de conteo fueron discutidos y analizados con el Dr. Rudolph Shor y el Jefe del Departamento de Electrónica en mayo del año 1963, algunos equipos sin embargo habían sido pedidos con anterioridad de esta fecha a fines del año 1962.

Las conocidas dificultades económicas que atravezaba la C.N.E.A. impidieron hasta ahora concretar la fecha de construcción de estos equipos por el Departamento de Electrónica.

Con respecto a las experiencias en la facilidad crítica R.A.O con diversos reflectores (trampa de neutrones) es necesario recalcar que debido a las dificultades económicas de la C.N.E.A. señaladas, es poco probable que se consiga la cantidad de agua pesada y OBe para la realización de experiencias, otra que el reflector de grafito que se ha usado hasta ahora.

Otra dificultad previsible es la provisión de uranio para la facilidad crítica R.A.O, se prevee que una vez que se hagan las experiencias para el Reactor R.A.1 con los elementos combustibles cilíndricos esta carga se usará para la puesta en operación del R.A.1.-

Otro problema para la continuidad del trabajo, consiste en el mantenimiento de los equipos electrónicos, ya sea de la facilidad crítica o de los equipos de conteo. Ya hemos hablado sobre este problema en otra parte del informe. Este problema es bastante grave por dos razones: 1) interrupción frecuente y por largo tiempo del trabajo; 2) exigencias de seguridad de la facilidad crítica.

Es bien conocido que la facilidad crítica es el artefacto nuclear con más peligros potenciales en su operación que existe en la Argentina y posiblemente en el hemisferio Sur. Sin embargo, su mantenimiento ha sido tomado como si fuera un equipo más, Exigiría como mínimo un técnico electrónico de mantenimiento "full-time" y que estuviera constantemente en Constituyentes.

Es una experiencia personal que el contacto directo como el que se realiza en la Sede Central (por ejemplo, entre alguien que está trabajando en el primer piso, con el Departamento de Electrónica), facilita mucho la rapidez y efectividad con que se solucionan los problemas.

Otro problema es el del personal calificado para trabajar en los trabajos de Física de Reactores. Es evidente que para la realización de los trabajos expresados en este informe se necesitan más profesionales con un conocimiento profundo de la teoría de reactores y con vocación para trabajar en este tema. Es nuestra opinión en este caso, que se necesita un mínimo de facilidades experimentales para atraer a personas con vocación para trabajar en un determinado tema. En caso que se tomen personas y estas condiciones no estén aseguradas, es muy probable que en la mayor parte de los casos, estas personas descorazonarán. La alternativa de mandar estas personas al exterior inmediatamente en la cual se encontrarían con un máximo de condiciones favorables para el trabajo, es naturalmente una solución de compromiso puesto que la vuelta a condiciones mínimas sólo serán soportable por el compromiso formal de quedarse por un cierto tiempo establecido por la beca.

En este sentido se puede observar que el 70% de las personas que han intervenido en los trabajos publicados, citado en la referencia bibliográfica, no están actualmente trabajando en Física de Reactores y el 60% no están trabajando en la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Es interesante la comparación con la experiencia del Brasil en el campo de Física de Reactores. Existen tres centros que están trabajando activamente, siendo el de São Paulo el más importante. Se puede estimar el número de personas que están dedicadas a Física de Reactores en 10 por cada centro. Existen además tres cursos de Ingeniería y Física de Reactores (uno por centro).

En Río de Janeiro se está terminando la construcción de un reactor tipo Argonauta que tendrá fines universitarios y de entrenamiento, eso implica naturalmente que la construcción de los laboratorios anexos es tan importante como la construcción del reactor.

En todos los centros la intervención de las Universidades es directa en los planes y programas de investigación. La casi totalidad de las personas dedicadas a investigación y que han germinado los cursos de Ingeniería y Física de Reactores han sido becados al exterior y no existe el problema de la gente becada que desalentada se va. Conviene aclarar que el sueldo del personal científico expresado en dólares es aproximadamente el mismo que en la Argentina, y que la Comisión de Energía Atómica Brasileira tiene problema de presupuesto parecidos a la Argentina.

DICIEMBRE DE 1963

-.--o00o--.-.-

BIBLIOGRAFIA

- 1º - Domingo C, GEIGER M., GEIGER V.H., SARE J. "Dispositivo para Ensayos Críticos" - Informe Nº 11 (1959). Comisión Nacional de Energía Atómica.-
- 2º - ELDER E., SOLANILLA R., "Análisis Experimental de Configuraciones Nucleares Anurales Moderadas por Agua y Reflejadas por Grafito". Informe Interno del Grupo de Reactores (1963).-
- 3º - RICABARRA G. y RICABARRA D.B. - "Medición del Espectro del R.A.1 por Métodos Integrales" - Proceedings of the 3rd. Inter-American Symposium on the Peaceful Application of Nuclear Energy - 15-25 (1960).
- 4º - RICABARRA D.B., TURJANSKI R.F., LARA M., RICABARRA G. - "Determinación del Flujo Neutrónico Térmico Absoluto del R.A.1 y Calibración de las Cámaras de F₃B". Informe Nº 44 (1961) - Comisión Nacional de Energía Atómica.-
- 5º - RICABARRA D., TURJANSKI R., y ATEN A.H.W. Jr. - "Measurement of Fast Neutron Flux in a Reactor by Means of Threshold Detectors". H.Nucl. Energy, Part A: Reactor Science (1960), Vol.12, pp.177.-
- 6º - RICABARRA G., RICABARRA D.B. - "Medición del Alcance de los Neutrones con una Fuente de Po-~~α~~-Be" - Informe Nº 43 (1961) - Comisión Nacional de Energía Atómica -
- 7º - RICABARRA D.B., TURJANSKI R.F. y KOPPEL H.U. - "Medición del Laplaciano de un Reticulado de U-H₂O con Tubos Conteniendo Polvo de U₃O₈ enriquecido al 20%. Informe Nº 18 (1959) - Comisión Nacional de Energía Atómica -
- 8º - RICABARRA G., RICABARRA D. - "Microscopic Parameter Measurements in 3% Uranium Oxide Water Moderated Lattices (0.444 in diameter rods)". Brookhaven Nat. Lab. Memorandum Reactor Physics Group. 7-20-62-
- 9º - RICABARRA D., - RICABARRA G. - "Comparison of Experimental Techniques used to obtain ρ 28". Brookhaven Nat. Lab., Memorandum Reactor Physics Group. March 5, 1962.
- 10º - ARCIPIANI B., RICABARRA D., RICABARRA G. - "A Note on the Measurement of the U₂₃₈ Cadmium Ratio" - Nuclear Science and Enginerring.-
- 11º - CHANERO J.A. - "Medición de Reactividades" - Informe Nº 17 (1959) - Comisión Nacional de Energía Atómica -
- 12º - SHER RUDOLPH - "Report and Recommendations"- USAEC-Contract Nº AT (04-3) 326-PA10.
- 13º - G.ROWLANDS - J.of Nuclear Energy - PartA, 11,150-156 (1960)
- 14º - G.ROWLANDS - J.of Nuclear Energy - PartA, 13,14-24 (1960)

- 17^o - H.Depuydt and M.NEVE de MERVEGNIES, J.of Nuclear Energy
Part A y B, 16, 447 - 453 (1962).-
- 18^o - J.MOTEFF and E.R.BEEVER, The Status of Threshold and
Resonance Neutron Detectors, Selected Topics in Radiation
Dosimetry, P383, IAEA, Vienna.-
- 19^o)- G.GOERTZEL, Criticality of Hydrogen Moderated Reactors,
TAB - 53.-
- 20^o - D.S.SELENGUT, APEX -121-

-.-.c0o-.-.-