

COLABORACIONESLAS EXPERIENCIAS CRITICAS CON EL RA-2,5

Por Emilio Roxin

El objeto de este artículo es informar brevemente sobre la actividad de la División Ingeniería Nuclear en lo que a las experiencias críticas con el RA-2,5, se refiere.

I.- Objeto de los ensayos

Decidida la construcción del reactor RA-3, para poder realizar el proyecto del mismo, tanto en sus aspectos constructivos como nucleares, se consideró indispensable hacer una serie de mediciones experimentales de diversas magnitudes de interés fundamental para dicho proyecto. Ello es necesario por cuanto los cálculos teóricos que se pueden hacer al respecto presentan un cierto grado de incertidumbre por no conocerse con exactitud las constantes físicas que se utilizan en los cálculos, y además por no disponerse de calculadoras electrónicas que permitirían afinar los cálculos por métodos más laboriosos. Este tipo de ensayos críticos se hace habitualmente con todos los nuevos proyectos de reactores, aún en países como los EE.UU. en los que se dispone de calculadoras electrónicas de gran tamaño. Los ensayos críticos no sustituyen, de esta manera, sino complementan los cálculos teóricos que se hacen para determinar las condiciones óptimas del proyecto.

El dispositivo crítico para los ensayos, dado que en esencia es un reactor, y que se anticipa al RA-3, fué bautizado con el nombre de RA-2,5

II.- Descripción del núcleo que se ensaya

El primer problema que surgió fué la forma de realizar los elementos combustibles. Se disponía de una cierta cantidad de U_3O_8 enriquecido al 20%, en forma de polvo, que no había sido utilizada en la fabricación de los elementos combustibles del RA-1; y de los descartes de la fabricación de esos elementos combustibles. Estos descartes consisten en una mezcla íntima de polvo de U_3O_8 disperso en aluminio y el Departamento de Química estaba recuperando el U_3O_8 enriquecido. La cantidad de óxido de uranio enriquecido que había en existencia hasta ese momento no era suficiente pero en cuanto el Departamento de Química comenzase con las entregas del material recuperado, se tendría suficiente elemento fisiónable como para poner crítico un dispositivo del tipo pensado.

Para evitar pérdidas y contaminaciones en la manipulación del óxido en polvo puesto que aún no era posible fabricar elementos combustibles definitivos, se optó por introducir el polvo de óxido enriquecido en tubos de aluminio prolijamente fabricados con tapones del mismo material, que fueron soldados una vez llenados los tubos.

COLABORACIONES (Cont.)

Estos elementos combustibles tienen todas las propiedades requeridas para la operación de un reactor, con la sola excepción de que estando el polvo de óxido de U relativamente suelto en el interior, no son aptos para extraer una potencia apreciable en virtud de las desfavorables cualidades de transferencia calórica. Desde otro punto de vista, estos tubos de aluminio llenos de óxido de uranio enriquecido, constituyen una forma práctica de almacenar dicho material sin peligro de pérdidas o contaminaciones, pudiéndose manipular con mayor facilidad.

El diámetro de los tubos de aluminio es de aproximadamente 10 mm (diámetro exterior, el espesor de pared es de 1 mm). Este diámetro fue elegido después de una serie de cálculos y comparaciones, estimándose que las características nucleares del reticulado resultante son favorables y la realización mecánica suficientemente cómoda.

Estas barritas "combustibles" se disponen paralelamente en un reticulado, y el espacio entre ellas es llenado con agua durante los ensayos. Alrededor del núcleo así formado se dispone un reflector de grafito. Completan el dispositivo, la fuente de neutrones, los instrumentos de detección, las barras de control y seguridad, la instrumentación de control y comando, el circuito de agua con su bomba, tanque de descarga, válvula de descarga de seguridad y accesorios menores. El soporte de las barras combustibles está formado por dos placas de aluminio agujereadas convenientemente y la separación entre las barritas se eligió en base a cálculos nucleares y se irá cambiando en diferentes ensayos, uno de cuyos objetos es precisamente determinar la separación óptima.

III.- Descripción del dispositivo crítico

El núcleo formado por las dos placas de aluminio que sostienen a las barritas combustibles, está dentro de un recipiente prismático, cuya base es un cuadrado de unos 300 mm de lado y su altura de aproximadamente 1 m. Este recipiente se llena de agua para la operación, para lo cual está provisto de una cañería de entrada de agua que viene desde la bomba, la cañería de rebalse superior y la cañería de descarga inferior, provista de una válvula de seguridad que se abre automáticamente en caso de corte de la operación. Esta válvula es de tipo esclusa, con una palanca de accionamiento manual que se cierra a mano, pero cuya apertura se hace automáticamente por la caída de un peso que, durante la operación, es mantenido encima de ella por un solenoide. De esta manera, un corte de corriente provoca instantáneamente la caída del peso y con ello la apertura de la válvula, con lo cual se corta la operación del equipo al salir el agua que hace de moderador.

Lateralmente, este recipiente prismático que contiene el núcleo está rodeado por un reflector de grafito constituido por piezas prismáticas normales, pintadas con pintura de aluminio, con lo cual se evita su impregnación por el agua que eventualmente moja al grafito, y también evita que los objetos en contacto con di-

COLABORACIONES (Cont.)

chas piezas se ensucian con el grafito. El reflector está mantenido en su posición por un zuncho de hierro redondo y unos tacs de madera.

Dos barras de control y seguridad, formadas por chapas de cadmio que se deslizan dentro de una guías del tipo de las usadas en el RA-1 constituyen el sistema de control. Estas barras están dentro del reflector; una de ellas está en contacto con el recipiente que contiene el núcleo, mientras que la otra está separada por unos centímetros de grafito, de manera que la sensibilidad de ambas barras de control es distinta. El accionamiento de las chapas de cadmio se efectúa por medio de cables de acero desde unos motorcitos combinados con un sistema de poleas, montados sobre un bastidor superior al dispositivo crítico. El acoplamiento de seguridad, para desenganche rápido y seguro por falta de corriente, se efectúa por una transmisión de rueda a fricción, mantenida en posición por un solenoide. Este sistema (ideado por el grupo que trabaja en el reactor) sustituye los acoplamientos electromagnéticos usuales que no se consiguen en plaza.

La medición del nivel neutrónico se efectúa mediante dos tubos contadores de BF_3 , a los cuales se puede añadir otro tubo (contador largo) que indica el flujo en el ambiente, en algún punto que resulte de importancia. Estos tubos van conectados a dos escalímetros y un integrador. Además hay dos cámaras de ionización con sus respectivos amplificadores e instrumentos de indicación. Un registrador puede ser conectado a voluntad sobre cualquier canal indicador. El integrador de pulsos y los amplificadores de las cámaras poseen acción sobre el dispositivo de corte rápido (scram) por alto nivel. Además del registrador normal (tipo Speedo-max) se ha conectado uno de acción rápida (Brush) que ha sido muy útil.

Además de esta instrumentación inherente a la facilidad crítica se tienen los monitores portátiles de ambiente, que son los normalmente usados en el RA-1.

Los detectores de neutrones están ubicados en el reflector, donde hay, asimismo, un tubo para la introducción de la fuente de arranque, utilizándose la de Ra-Be de 50 mC. La consola de control se ha simplificado al máximo, de acuerdo a la experiencia recogida en la operación del RA-1.

IV.- Trabajos en curso de realización

Como ya se ha dicho, el objetivo de estos ensayos consiste en medir diversos parámetros del reticulado. Estos parámetros son, fundamentalmente, la carga crítica, distribución de flujo, influencia de temperatura, venenos, vacío, efectividad de las barras de control, así como otros datos de la física de neutrones que son de importancia para el conocimiento del funcionamiento del reticulado en su aspecto teórico.

Para estas determinaciones, los ensayos se pueden realizar en dos regímenes esencialmente distintos: el régimen crítico y el régimen subcrítico, que pasare-

COLABORACIONES (Cont.)

mos a detallar brevemente para la mejor comprensión.

Un ensayo en régimen crítico consiste en llevar el dispositivo a criticidad, ya sea por regulación de la cantidad de uranio presente, por variación del nivel de agua o movimiento de las barras de control o todas estas maniobras coordinadas. Una vez crítico y estando el dispositivo en estado de régimen, con el flujo a un nivel constante, se provoca una perturbación cualquiera (que es la que se desea precisamente estudiar), de manera que se pase a un estado supercrítico y el flujo se eleve paulatinamente. Por medición del período con que crece el flujo (la ley es esencialmente exponencial) se conoce la reactividad introducida y por lo tanto la efectividad de la perturbación.

Un ensayo en régimen subcrítico, en cambio, opera el dispositivo en un estado algo inferior a la criticidad. En esas condiciones el conjunto combustible-moderador-reflector posee una constante de multiplicación de los neutrones " k " inferior a la unidad, y si se introduce una fuente que dé un nivel n_0 , al multiplicar se el número de neutrones por k en cada generación, en total resultará un nivel neutrónico $n = n_0 / 1 - k$. (En estado crítico $k = 1$, y el reactor resulta divergente). Si ahora se introduce una perturbación de la reactividad del conjunto (introduciendo un veneno, por ejemplo), se hace variar precisamente el factor k de multiplicación, midiéndose un nuevo nivel neutrónico $n' = n_0 / 1 - k'$. Resulta evidente que por lo tanto también este método nos permite medir la eficacia de cualquier perturbación introducida.

El método subcrítico, que fué puesto a punto en estas experiencias por primera vez entre nosotros, tiene las siguientes ventajas con respecto al método crítico:

- a) Permite cubrir un rango más grande de variaciones de reactividad, pues en el método crítico está limitado por la velocidad de subida del flujo al insertar reactividad positiva.
- b) Permite trabajar con contadores y escalímetros, tomando números de contaje arbitrariamente elevados, obteniéndose así la precisión que se desee. En el método crítico, en cambio, es necesario trabajar con el registro de la curva flujo en función del tiempo, obtenido del integrador o de las cámaras de ionización, influyendo, en la precisión, el margen de error de tales indicaciones.
- c) Operándose en régimen subcrítico, se está más lejos de las reactividades elevadas que pudiesen llegar a ser peligrosas.
- d) El flujo neutrónico durante la operación subcrítica es mucho menor que el flujo en régimen crítico (que dé indicaciones apreciables), razón por la cual la radiación ambiental se mantiene muy baja y la dosis de radiación recibida por el personal es prácticamente cero.

En contra de estas ventajas está la influencia del ruido estadístico, y otros detalles como la ubicación de la fuente con respecto a los detectores, que debe

COLABORACIONES (Cont.)

ser muy bien estudiada para obtener datos coherentes.

Las principales experiencias y mediciones que han sido realizadas o están en curso de ejecución, se enumeran a continuación.

Experiencias en régimen subcrítico:

1. Determinación de la masa crítica. Es la determinación primera para comenzar a operar un dispositivo crítico. Depende mucho de la posición del reflector, distribución de la carga de uranio etc, razón por la cual la comparación del resultado experimental con los valores obtenidos teóricamente no dice mucho.
2. Estudio de la validez de la expresión subcrítica $n = n_0 / 1 - k$. Se ha debido comenzar por estudiar cuidadosamente la validez de esta fórmula y la manera de eliminar todas las influencias extrañas (posición de la fuente, del detector, ruido estadístico, influencia de corrientes de convección del agua, inclusive influencia de posición de otros objetos cercanos) a fin de obtener resultados reproducibles.
3. Verificación experimental de la relación de Nordheim (reactividad versus período para régimen divergente). Vale decir, se estudió la comparabilidad de los resultados subcríticos con los hipercríticos. Influyen en esta comparación las constantes de los neutrones retardados, su diferente pérdida al exterior etc, factores difíciles de calcular teóricamente.
4. Calibración de barras de control. Vale decir, determinación de la reactividad absorbida en función de la posición.
5. Envenenamientos uniformes y localizados. Se estudió la influencia recíproca de absorbentes dispuestos en diferentes lugares, influencia que se produce por depresión local del flujo.
6. Coeficiente de vacío en el núcleo y reflector. Es muy importante conocer la variación de reactividad producida por un vacío introducido en el moderador (por ejemplo una burbuja en el agua) y en el reflector (agujero de irradiación), por cuanto del signo de este coeficiente depende que el reactor resulte estable o inestable. Este coeficiente depende de la posición, temperatura, etc.
7. Determinación de la longitud de migración de los neutrones y del ahorro por reflector. Se han hecho algunas medidas de estos parámetros por variación del nivel de agua.

Experiencias en régimen crítico e hipercrítico:

1. Efectividad de las barras de control. Resulta evidentemente indispensable tener cuanto antes una evaluación aunque sea grosera del valor en reactividad de las barras de control, a fin de poder estimar la cantidad de absorbentes que pueden manejarse sin peligro en el dispositivo.

COLABORACIONES (Cont.)

2. Determinación de la distribución del flujo en el núcleo y reflector. Esta determinación se hizo por el método de activación de chapitas de Mn e In, este último con Cd y sin él.
3. Determinación de la laplaciana del núcleo. Esta laplaciana es un número que resume las mediciones de distribución de flujo, y permite su comparación satisfactoria con los cálculos teóricos. Por tal razón se ha puesto especial esmero en afinar la exactitud del resultado. El hecho de que no se conozca, en la literatura universal, resultados de un reticulado del tipo del utilizado en estas mediciones (barritas enriquecidas al 20%, en moderador agua), aumenta naturalmente, el interés en esta determinación.
4. Determinación de coeficientes de vacío. Su importancia ya ha sido mencionada en los ensayos subcríticos.
5. Determinación del coeficiente de temperatura. Al indicar éste la variación de la reactividad en función de la temperatura, también determina el comportamiento estable o inestable del reactor.
6. Peso estadístico de un absorbente puro. Vale decir, influencia sobre la reactividad por la introducción, en diversos lugares, de un absorbente.
7. Peso estadístico del vacío. O sea variación del coeficiente de vacío en diferentes lugares.
8. Medición de reactividades por el método de caída de barra (inserción instantánea de una reactividad negativa). Se ha mejorado este método haciendo un análisis teórico y comparando sus resultados con la curva obtenida en un registrador rápido (Brush).
9. Determinación de la vida media de los neutrones. Tiene importancia para la estabilidad del control de un reactor.
10. Determinación del espectro neutrónico y de la temperatura de los neutrones. De importancia para el conocimiento de las condiciones físicas en que se produce la moderación y difusión de los neutrones.

Estas mediciones no están terminadas, por cierto. El programa de trabajos prevé la realización de ellas en toda una serie de reticulados, variando la separación entre las barritas para observar el efecto de la variación de la proporción uranio-agua. También se piensa medir otros coeficientes de valor más teórico, como el factor de utilización térmica y tal vez la probabilidad de escape a la resonancia, y ensayar reticulados mixtos con uranio natural.