

LOS REACTORES DE POTENCIA ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS PREVISIBLES

Por FEDERICO GODED ECHEVERRIA,
Ingeniero de Caminos.

Según anunciamos en nuestro número anterior, termina en este tercer artículo el interesante trabajo sobre el tema del epígrafe.

III

Del examen de la figura 3.^a se deduce que, al aumentar el número de MWD/Tn., aumenta la proporción de los isótopos 240 y 241 presentes y, como consecuencia de ello, tiene menor valor el Pu producido.

Veamos ahora alguna de las posibles mejoras potenciales en las centrales de grafito y las diferencias esenciales entre una planta productora de Pu o de energía eléctrica.

Para la producción de energía eléctrica, de cuanto acabamos de exponer se deduce que interesará llegar a un grado de quemado lo más elevado posible, pues no existiendo interés en recuperar Pu, no importa la creciente proporción de isótopos no deseables presentes en el combustible, y además, y teniendo en cuenta lo elevado de los gastos de producción y de tratamiento del combustible, estos gastos repercutirán en menor proporción sobre el Kw.h. producido cuanto

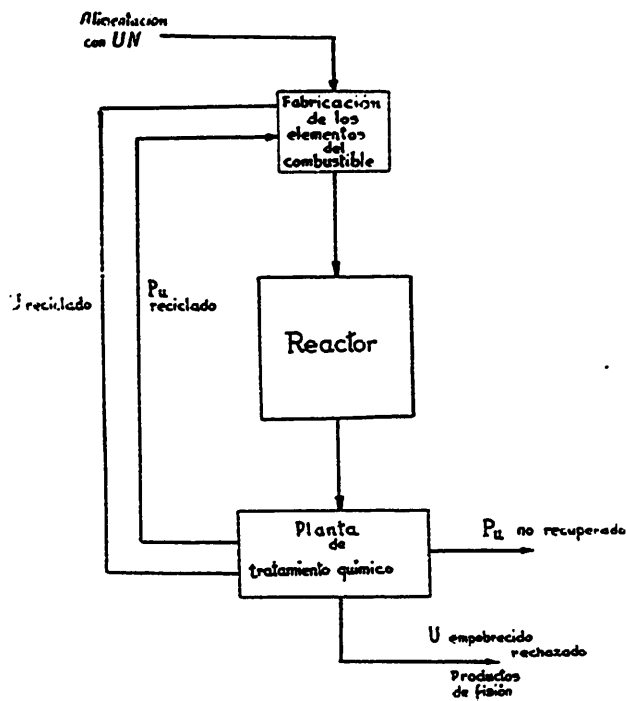


Figura 4.^a

mayor sea la cifra de MWD/Tn. lograda (fig. 5.^a) (*). Por otra parte, y bajo el punto de vista de la ingeniería convencional, la diferencia esencial será la temperatura de trabajo, que en la central eléctrica

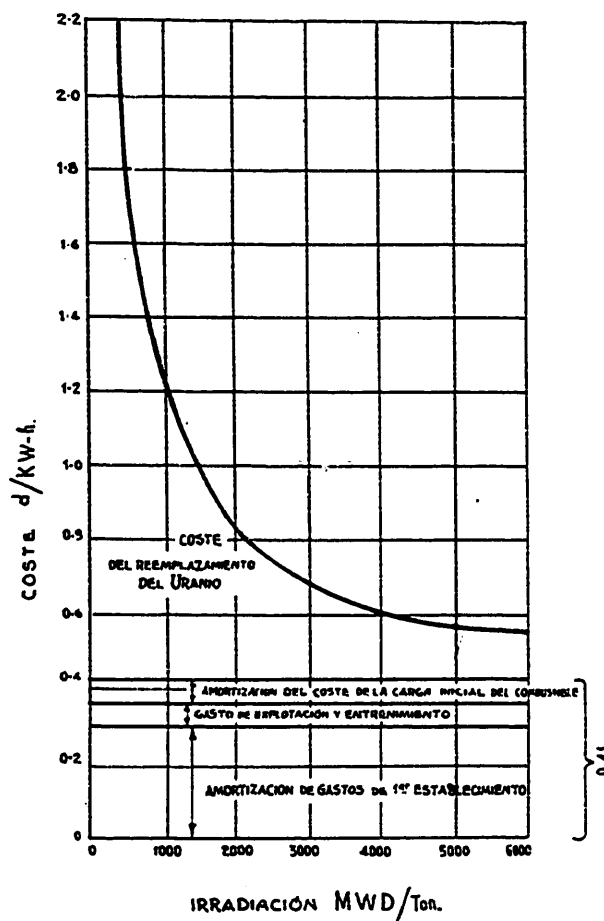


Figura 5.^a

convendrá sea lo más elevada posible para alcanzar un mayor rendimiento (**).

De la serie de posibles mejoras de las centrales

(*) "Development of gas cooled reactors for power production". R. V. Moore. Symposium of Calder Hall.

(**) "Nuclear Engineering". October 1956, pág. 269.

de grafito y CO_2 , es quizá la más importante el aumento de la temperatura de la superficie exterior del elemento de combustible, que se espera pueda elevarse hasta 600°C ., aumentando el rendimiento hasta un 31 % (*).

Esto supondría un aumento del 50 % sobre la temperatura en el mismo punto de los combustibles de Calder Hall, que es de 400°C ., con un rendimiento del 20 %, y obligaría a emplear una vaina enteramente diferente.

Otras posibles mejoras más lejanas, por ser más difíciles de realizar, comprenden la utilización de elementos de combustibles no metálicos, reemplazados por la utilización de formas cerámicas del U y la exclusión del núcleo del reactor de todos los metales y, finalmente, el uso de turbinas de gas apropiadas para las altas temperaturas y grandes potencias previstas, aunque los problemas conjuntos de ingenierías convencional y nuclear que estas modificaciones plantean, hacen suponer que tardarán en realizarse.

Las nuevas centrales en construcción en Inglaterra, de la primera etapa del Plan de producción de energía eléctrica nuclear, proyectadas ya para la producción de energía y no de Pu, difieren de la de Calder Hall en tres aspectos (**): el tamaño del núcleo, que se ha aumentado sensiblemente; el aumento de rendimiento termodinámico, logrado por aumento simultáneo de temperaturas y presiones al 28 %, y los dispositivos de carga y descarga en marcha de que se las va a dotar, consiguiéndose de esta forma un precio de producción del Kw.-h. idéntico al correspondiente a las más modernas técnicas convencionales.

La potencia unitaria del combustible se espera poder elevarla hasta más 3 MW/Tn. en el futuro inmediato, lo que supone un considerable aumento sobre los 1.5 MW/Tn. de Calder Hall, pero, en cambio, parece ser que no será posible sobrepasar el grado de quemado de 3 000 MWD/Tn., debido al bajo factor de regeneración inicial de esta clase de centrales.

En lo que se refiere al combustible, es posible que se utilice uranio ligeramente enriquecido en el futuro, efectuando el enriquecimiento a base del Pu obtenido en los reactores de Calder Hall, aunque esta posibilidad está condicionada principalmente a las condiciones económicas que prevalezcan entonces en lo que respecta a los precios del Pu, del U y del tratamiento del combustible usado.

Centrales de D_2O .

Dentro de este grupo existen dos tipos perfectamente diferenciados: el que tiene un sólo circuito de refrigeración, denominado de agua hirviendo, y el que tiene dos.

El de un sólo circuito es uno de los reactores más prometedores por su elevado rendimiento termodinámico y sencillez de concepto. El agua se hace hervir directamente en el núcleo del reactor y el vapor producido se hace pasar por la turbina y un condensador, volviendo de nuevo el agua al núcleo del reactor (fig. 6.^a).

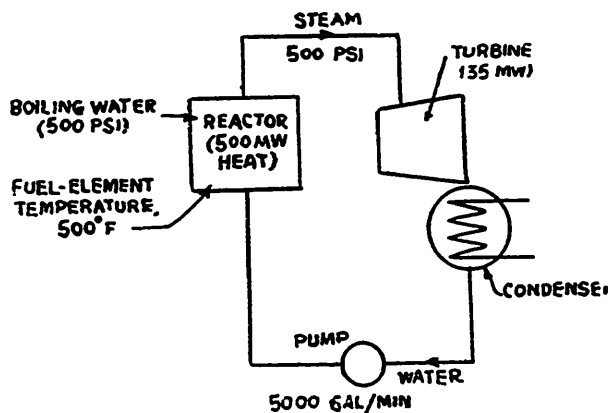


Figura 6.^a

Los reactores de agua hirviendo de UN deben ser de gran potencia para ser interesantes bajo el punto de vista económico, es decir, del orden de 250 MW, eléctricos. El factor de regeneración inicial obtenido por el cálculo en reactores de esta clase es 0.9, y las determinaciones experimentales de este factor dan incluso valores un 4 % mayores, con lo cual se espera poder llegar a grados de quemado elevados, del orden de 10 000 MWD/Tn., con la misma carga inicial de combustible (*).

La construcción de esta clase de reactores plantea problemas sumamente delicados, de los cuales mencionaremos aquí algunos de los más importantes. Teniendo en cuenta que la presión de trabajo debe ser del orden de 600 psi, y que la temperatura del agua en la parte más alta del núcleo asciende a unos 300°F ., se comprende la dificultad de encontrar para la vaina del combustible un material aceptable, además desde el punto de vista de los requerimientos nucleares. Uno de los que parece han de ser utilizados en el futuro es una aleación de circonio, denominada Zircaloy, que es sumamente cara.

Además de la economía obtenida por la supresión del intercambiador de calor, existe la debida a la baja presión, a la que se hace trabajar el recipiente que contiene el agua pesada comparativamente con las presiones usuales en otros reactores, ya que no es necesario introducir una adicional presión para impedir la ebullición del agua.

(*) Trabajo citado de R. V. Moore.

(**) "Future Nuclear Power Programme in Britain", by R. N. Millan, Nuclear Engineering (Oct. 1956)

(*) "Heavy water reactors for industrial Power, including boiling reactors", by H. P. Iskenderian, L. E. Link, M. Treshow y J. M. West, Paper/495, Geneva Conference.

Otras ventajas adicionales son la poca potencia necesaria para el bombeo y la menor radiactividad del vapor con respecto al agua, que exige menor protección en tuberías y turbinas.

Uno de sus inconvenientes principales, que sólo la experiencia aclarará, parece ser es la magnitud de

mente hasta qué límite será posible elevarla, aunque se prevén substanciales incrementos, pero en cambio se espera poder sobrepasar bastante los grados de quemado de 10 000 MWD/Tn. ahora previstos (*).

La tendencia que ha de seguirse en lo que se refiere al combustible ha de ser, como en las de gra-

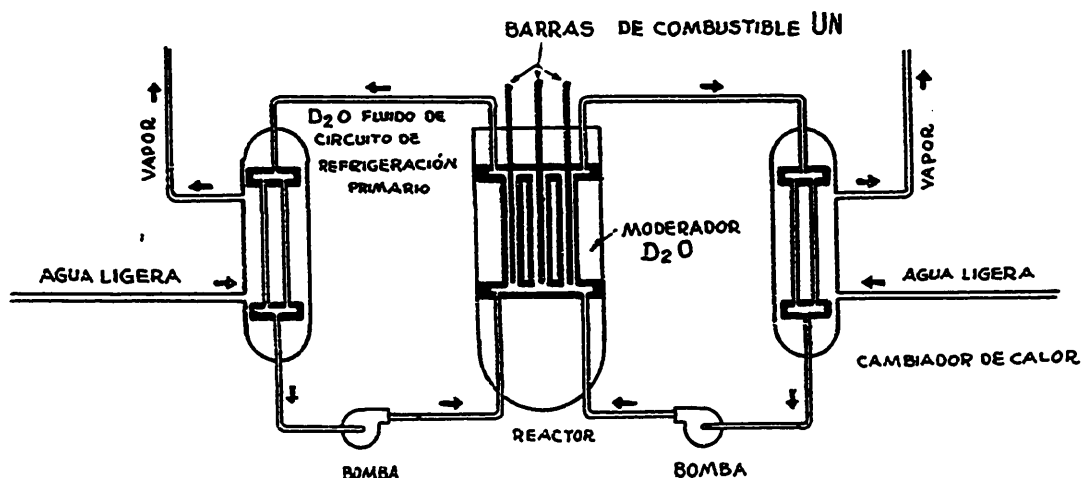


Figura 7.*

los depósitos de material radiactivo que han de producirse tanto en tuberías como en la turbina, bombas y condensador. Otro punto fundamental en estudio es el de la estabilidad, con toda clase de condiciones iniciales.

Los reactores de agua hirviendo suelen proyectarse también para menores potencias, recurriendo a un enriquecimiento progresivo del combustible, lo cual permite, además, reemplazar parte o toda el agua pesada por agua ligera.

El segundo género de reactores de UN-D₂O, de dos circuitos de refrigeración, se adapta más a las normas que pudiéramos denominar clásicas en reactores. En la figura 7.* se indica el esquema del reactor canadiense de 20 000 KW. eléctricos, que comenzará a funcionar en 1958 (*).

El combustible lo constituyen 200 barras de uranio envainadas con circonio. El agua pesada servirá de moderador y de fluido de refrigeración primario. El agua del circuito de refrigeración secundario es ligera, como se indica en la figura.

La temperatura del agua pesada en la salida del reactor será 260° C., y para impedir la ebullición, a este circuito primario se le hará trabajar a una presión de 1 200 psi. El diámetro del recipiente que contiene el agua pesada es de 10 pies.

La potencia unitaria del combustible es, por el momento, baja en las primeras centrales, pues será del orden de 2 MW/Tn., y no se conoce exacta-

mente hasta qué límite será posible elevarla, aunque se prevén substanciales incrementos, pero en cambio se espera poder sobrepasar bastante los grados de quemado de 10 000 MWD/Tn. ahora previstos (*).

Resumen.

Con las centrales de grafito, debido a ser menor el factor de regeneración inicial, no es posible lograr grados de quemado análogos a los conseguidos con las centrales de D₂O, y esta desventaja inicial substancial con las mismas, puede que haga relegar más y más este tipo de centrales, conforme vayan, por una parte, existiendo mayores disponibilidades y menores precios de D₂O, y por otra parte, acumulándose experiencia en el funcionamiento de estas últimas.

Otro factor importante en este estudio comparativo y que no hemos mencionado hasta ahora, es el menor tamaño del reactor de las D₂O, que suele ser del orden de la mitad del de las de grafito, lo que se traduce en una importante economía, en gastos de primer establecimiento.

Esta diferencia tan considerable en el tamaño de la central es debida a la diferencia existente entre los valores correspondientes de la constante de multiplicación infinita (**), que en el caso de los reactores de

(*) Ver artículo antes citado de Sir John Cockroft.

(**) La constante de multiplicación infinita mide simplemente la relación entre el número de neutrones de dos generaciones sucesivas en un medio multiplicador de dimensiones infinitas.

(*) "Atomic Energy in Canada". Atomic Energy of Canada Limited, 1955. Clack River, Ontario.

D₂O puede alcanzar el valor 1,25 y un valor máximo de sólo 1,07 en los de grafito. Por esta misma razón, las centrales de D₂O permiten mucha mayor libertad al proyectista en la forma y distribución de los elementos del combustible, así como una mayor gama de flúidos de refrigeración, ya que además de los gases y el agua, flúidos comunes a ambas (*), solamente las de D₂O pueden utilizar sodio (**), a pesar de poseer este elemento una sección recta de absorción de neutrones elevada. Esta mayor gama de flúidos de refrigeración posibles es un factor importante a favor de estas centrales, ya que la potencia unitaria del combustible está determinada en gran medida por la posibilidad de extracción del calor generado, y ésta, a su vez, depende directamente de las características del flúido empleado para extraer este calor.

Tanto una como otra reciclarán el Pu y utilizarán este material fisionable para enriquecer ligeramente el combustible en el futuro, reduciendo así el tamaño y logrando mayor libertad en la elección de materiales estructurales y de refrigeración, al poder disponer de un mayor margen en la economía de neutrones.

Teniendo en cuenta que los rendimientos termodinámicos mejorarán sensiblemente hasta el mismo límite, parece ha de jugar una importancia cada vez mayor el grado de quemado, en cuyo aspecto, la ventaja a favor de las de D₂O es, como hemos visto, bastante grande.

Como vimos, las de grafito no utilizan en su construcción materiales exóticos, ni caros, sino materiales actualmente producidos en escala industrial. Esta ventaja circunstancial supone, en cambio, que toda la economía posible en el futuro ha de realizarse únicamente por las mejoras técnicas introducidas.

En las de D₂O, en cambio, no sólo pueden esperarse disminuciones de coste, debidas a mejoras técnicas, sino sensibles bajas en los materiales utilizados, que son, por ahora, costosos (D₂O y Circonio) y no abundantes.

El factor de más trascendencia en el aspecto económico y que por sí solo quizá determine el lugar que esta clase de centrales ocupen, ha de ser el precio del agua pesada, ya que se necesitan aproxi-

madamente entre 1 y 0,5 Tn. de D₂O por cada MW. eléctrico instalado, según la clase de reactor.

Y cuando el flúido del circuito de refrigeración primario es un gas en vez de D₂O, la cantidad total de agua pesada se reduce a 0,2 ó 0,4 Tn. por MW. (*).

Aunque la producción mundial de agua pesada, por el valor militar que le confiere la presencia del deuterio utilizado en las bombas, no es conocida, se conocen, no obstante, algunos de los proyectos, tanto estatales como privados existentes, de creación de nuevas fábricas y de introducción de nuevos métodos de fabricación (**), lo que lógicamente ha de producir sensibles bajas en el precio de la D₂O.

Francia muestra la importancia que concede a la nacionalización de su producción y consiguiente economía de divisas, al establecer en Toulouse una gran fábrica privada para su producción industrial, y puede sospecharse que ello es índice de que la E.D.F. tiene en seria consideración también la construcción de esta clase de centrales para las próximas etapas de su programa.

Deliberadamente hemos rehuido en este estudio el aspecto económico, ya que en el momento actual no era posible adelantar precios de producción del kilovatio-hora sin establecer previamente una serie de hipótesis, y por ello hemos preferido ceñirnos a algunos de los más característicos aspectos técnicos de las dos centrales.

Es difícil hacer predicciones rotundas en lo que respecta al porvenir de unas y otras centrales, pero estimamos haber proporcionado, como únicamente pretendíamos, un cuadro de datos, bibliografía e información suficientes para poder, al menos, juzgar la situación en su momento actual.

En el siguiente artículo sobre "Combustibles nucleares" se tratan más extensamente los conceptos de factor de regeneración y grado de quemado, y se expone con detalle el tercer método de expresar éste en porcentaje de átomos fisionados de U y Pu con respecto al total inicial de átomos de U, cuya determinación exige el cálculo del Pu fisionado, por cuya razón no se expuso en el presente artículo.

(*) "Heavy Water in Nuclear Reactors" W. H. McCORMLE. *Nuclconics*, vol. II, núm. 5, May 1953.

(**) "The future of Heavy Water Reactors", G. L. KOWARSKI. *Decembre 1953*, vol. II, núm. 12.

(*) "A gas cooled heavy water power reactor" by ALIKHANOV et al. "The Soviet Journal of Atomic Energy in English Translation", number 1, 1956.

(**) "Heavy water production methods. A survey of some known processes". *Nuclear Power*, vol. I, number 1, by J. Rotblat.