

283196



283196

**MEMORIA DESCRIPTIVA**  
que se acompaña a la solicitud de una

PATENTE DE INVENCION

por VEINTE años en España, por "UN METODO Y APARATO PARA OPERAR UN REACTOR NUCLEAR"

a favor de

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY

domiciliado en New York, N.Y. Estados Unidos.-

PRIORIDAD: de la solicitud de patente estadounidense nº 158.022 del 8 de diciembre de 1.961.-

INVENTORES: Milton Carl Edlund, y Donald Carroll Schluderberg, ambos de nacionalidad estadounidense.-

"1a"



3198

La presente invención se relaciona en general con un reactor nuclear, y más particularmente con un método para operar un reactor nuclear en el cual se utiliza un vapor, portador de hidrógeno, para moderar variablemente y controlar la reacción en cadena.

5 En todo reactor nuclear, se debe disponer una cierta cantidad de material fisionable en forma de un núcleo con suficiente masa, y con la configuración apropiada, de manera que desarrollará una reacción en cadena del tipo fisión autoentretenida. Además, en un reactor del tipo no multiplicador, es necesario proveer material fisionable en el núcleo en cantidad tal que excede de la necesaria para lograr la reacción en cadena, a fin de continuar el funcionamiento de manera de compensar el consumo del material fisionable, o combustible, y la acumulación de los materiales contaminadores absorbentes de neutrones, resultante del proceso de fisión. Este combustible en exceso genera una mayor cantidad de neutrones de lo necesario para mantener la reacción en cadena del tipo fisión autoentretenida, y es por lo tanto necesario controlar estos neutrones en exceso, ya sea absorbiéndolos o bien permitiéndoles que escapen del reactor sin activar adicionalmente la reacción en cadena.

10 El control de estos neutrones en exceso se lleva a cabo, en los reactores de la técnica anterior, introduciendo en los núcleos de los mismos un material contaminador de neutrones, es decir un material que absorbe neutrones sin reproducirlos. Este método incluye el uso de varillas de control movibles formadas de un material contaminador tal como hafnio o boro, o el uso de una cantidad determinada de un material contaminador de esta clase que se dispone permanentemente en el núcleo o que se mezcla con el refrigerante del reactor.

15 Además, la fisión de los átomos que produce la reacción en cadena genera neutrones rápidos que tienen una amplia gama de altas velocidades. Se sabe que, para la mayoría de los reactores actualmente en proyecto, la reacción en cadena se activa mejor mediante los -



83198

neutrones más lentos o térmicos, más bien que mediante los neutrones rápidos. Los neutrones térmicos tienen mayor tendencia a producir la fisión de un átomo fisionable, mientras que los neutrones rápidos tienden a escapar por completo del núcleo. Por consiguiente, se ha comprobado que es necesario moderar o retardar los neutrones generados por la reacción en cadena, de manera de aumentar la cantidad de neutrones térmicos disponibles para entretener la reacción en cadena. Los reactores de la técnica anterior utilizan en general un material moderador tal como grafito, óxido de berilio, o agua pesada o común, en el núcleo para proveer esta moderación.

En la mayor parte de los reactores de la técnica anterior, ha sido necesario combinar los precedentes métodos para controlar la reacción en cadena. Por ejemplo, fué necesario proveer varillas móviles de control dentro del reactor, con el consiguiente equipo mecánico asociado que es necesario para moverlas. Han sido necesarias principalmente para la regulación, relleno y control de seguridad (detención rápida) para asegurar un método seguro y confiable para la puesta en marcha, operación y detención del reactor. Estas varillas de control aumentan al costo y la complejidad de un reactor, debido a los componentes mecánicos que se necesitan en las impulsiones de las varillas de control. Además, producen dentro del núcleo del reactor máximos indeseables de flujo que se deben, en parte, a que el material contaminador de la varilla de control está dispuesto moviblemente dentro del trayecto de los neutrones generados durante la reacción en cadena, con los resultantes máximos o crestas en la temperatura y en el flujo térmico del núcleo del reactor. Por consiguiente, los reactores de la técnica anterior están necesariamente proyectados de manera que la máxima temperatura de la superficie de revestimiento de combustible que se alcanza dentro del núcleo, como resultado de una cresta de flujo de neutrones, se mantiene dentro de límites seguros, con la resultante disminu-



283196

ción de la temperatura operativa media en el núcleo en comparación con las temperaturas permitidas cuando no se producen estas crestas de flujo.

5 Se sabe que si se pudiera reducir al mínimo el grado de estas crestas de flujo, se podría elevar sin peligro la temperatura media y el flujo térmico medio del núcleo del reactor, con el consiguiente aumento de la temperatura final del medio de enfriamiento; o un aumento de la salida de potencia para la misma temperatura final, con eficiencias mejoradas del ciclo.

10 Por consiguiente, la presente invención describe un método para controlar y moderar variablemente un reactor nuclear que tiene una pluralidad de elementos de combustible portadores de material fisiónable que están dispuestos bajo la forma de un núcleo para desarrollar una reacción en cadena del tipo fisión autoentretenida, por introducción en el núcleo de un vapor moderador portador de hidrógeno, y regulando esta reacción por variación de la concentración del constituyente hidrógeno en el núcleo.

15 Además, se provee un circuito separado para hacer pasar un fluido refrigerante a través del núcleo de manera de eliminar el calor generado en el mismo.

20 Por otra parte, el vapor moderador puede ser vapor de agua, y se puede variar la concentración proporcional de hidrógeno dentro del núcleo por cambio de la densidad del vapor.

En los dibujos que se acompaña:

25 La fig. 1 es una ilustración esquemática del sistema de reactor de la presente invención;

La fig. 2 es una porción de otro sistema que se puede usar con el reactor de la fig. 1.

30 La fig. 3 es una representación gráfica de la densidad del vapor que corresponde a diversas presiones y entalpías; y



831 96

La fig. 4 es una representación gráfica de la energía de neutrones en función de la abundancia de neutrones.

En la fig. 1 se representa una ilustración esquemática de un sistema de reactor de acuerdo con la presente invención, en que el reactor 10 está provisto de un recipiente apropiado de retención de la presión 12, que se ilustra parcialmente en corte bajo la forma de un recipiente de presión cilíndrico alargado que tiene miembros terminales de cierre apropiados 14 y 16, uno de los cuales puede estar fijado desmontablemente al mismo, por ejemplo como se indica en la junta a pestaña 18. El interior del recipiente a presión del reactor 12 está dividido en dos espacios, es decir un espacio para refrigerante y un espacio para la moderación. En el dibujo se muestra uno de los métodos para dividir así el interior del recipiente a presión, y consiste en chapas superior e inferior soportadoras de tubos 20 y 22, respectivamente, que se extienden a través de las porciones superior e inferior del recipiente de presión, e integralmente unidas a dichas porciones, teniendo una pluralidad de tubos 24 que se extienden entre ellas y fijados a las mismas. El espacio para refrigerante es por consiguiente el espacio comprendido dentro de los tubos y también las porciones terminales del recipiente de presión del lado externo de las chapas portadoras de tubo 20 y 22. El espacio de moderación 25 es el espacio incluido entre ambas chapas portadoras de tubos, con exclusión del espacio ocupado por dichos tubos 24.

Elementos combustibles portadores de material fisiónable (no ilustrado) de un tipo ya conocido en la técnica, están dispuestos dentro de los tubos 24 bajo la forma de un núcleo con una masa crítica para desarrollar una reacción en cadena del tipo fisión autoentretenida, cuando es moderada en la manera que se describirá en detalle más adelante. Además de los elementos combustibles portadores de material fisiónable, es deseable incorporar también elementos portadores de material fértil al núcleo del reactor en una manera ya conocida en la técnica.



83196

De la manera indicada, se puede lograr el aprovechamiento y economía óptimos de los neutrones, según se explicará también en detalle más adelante.

5 El espacio para el refrigerante está provisto de líneas de entrada y de salida 26 y 28, respectivamente, de manera que el fluido refrigerante primario puede hacerse circular, por ejemplo mediante una bomba 30, a través de los tubos 24 en relación de transferencia térmica con los elementos combustibles contenidos en los mismos, para eliminar el calor generado por la reacción en cadena del tipo fisión. El  
10 fluido primario calentado abandona al recipiente de presión del reactor 12 a través de la línea de salida 28 y pasa a través de un intercambiador térmico 32, desprendiendo el calor hacia un fluido de transferencia térmica secundario en relación de transferencia térmica indirecta, siendo transportado este último fluido hasta un punto de uso no  
15 ilustrado. El fluido primario enfriado, al abandonar al intercambiador térmico 32, es retornado al reactor mediante la bomba 30 a través de la línea de entrada 26.

20 Se alimenta el espacio de moderación con un vapor moderador a través de las líneas de entrada y de salida 34 y 36, respectivamente, que se puede hacer circular mediante una bomba 38 dispuesta en la línea de entrada. Se puede disponer un intercambiador térmico 40 en el circuito de circulación del vapor moderador, para eliminar el calor absorbido por el vapor moderador durante su paso a través del espacio de moderación del núcleo del reactor, y mantener así substancialmente  
25 constantes la temperatura y la presión del vapor en este circuito cerrado para una determinada salida de potencia. Una línea alimentadora de moderador 42, provista de un dispositivo medidor 44, se abre hacia la bomba 38 y desde ésta hacia la línea de entrada 34 del circuito de circulación del moderador. Se provee también en el circuito cerrado  
30 del moderador una línea de descarga 46 que tiene un dispositivo medidor 48 en comunicación con la línea de salida 36.



283196

Los dispositivos medidores 44 y 48 pueden ser de cualquier tipo ya conocido en la técnica, y pueden incluir válvulas medidoras o bombas de desplazamiento positivo, siendo el requisito primario de estos dispositivos medidores que deben ser capaces de introducir o retirar cantidades exactas predeterminadas de vapor moderador hacia o fuera del circuito del moderador, de acuerdo con lo necesario, para permitir una variación controlable de la concentración del vapor moderador dentro del espacio de moderación 25 del reactor.

Se puede usar practicamente cualquier fluido de transferencia térmica como fluido refrigerante primario, incluyendo vapor de agua u otro gas, agua liviana se sabe que en un reactor nuclear, cuando el material combustible sufre fisión, se generan neutrones que tienen una amplia gama de energía. Tal como se ilustra en la fig. 4, existe una variación relativamente amplia en la abundancia relativa de neutrones con respecto a la energía de neutrones. Cuando los neutrones son creados por la fisión de un átomo, tienen una energía comparativamente elevada. A medida que se mueven hacia afuera desde el átomo sometido a fisión, son moderados o retardados por los diversos materiales que se encuentran dentro del reactor, incluyendo tanto el material estructural como el material moderador. A medida que son retardados estos neutrones, pasan a través de la gama de energía de reacción de resonancia, en la cual el material fértil puede capturar los neutrones y crear así material fisionable a partir del material fértil. Más allá de la gama de energía de neutrones, es decir después de la gama de reacción de resonancia, existe la gama de energía térmica en la cual la mayor parte del material fisionable reacciona con los neutrones allí presentes para desarrollar una reacción de fisión. Se ha comprobado que la abundancia relativa de neutrones dentro de la gama de reacciones de resonancia y dentro de la gama de energía térmica, puede alterarse variando la cantidad de moderación a la cual son sometidos los



neutrones. Por consiguiente, si los neutrones son sometidos a una magnitud comparativamente elevada de moderación, la relativa abundancia de neutrones, dentro de las varias gamas de energía, se aproximará a lo ilustrado mediante el trazo 50 en la fig. 4. De acuerdo con esto, puede verse que la abundancia de neutrones, dentro de la gama de energía térmica, es relativamente elevada mientras que la abundancia, dentro de la gama de reacción de resonancia, es relativamente baja. A la inversa, en el caso de que la magnitud de la moderación sea relativamente baja, la gama de abundancia de neutrones dentro de las diversas gamas de energía, se aproximará a lo indicado mediante el trazo 52 en la fig. 4, donde puede verse que la abundancia de neutrones en la gama de energía térmica es relativamente menor que en el primer caso, mientras que la abundancia de neutrones en la gama de reacción de resonancia es relativamente más elevada. En un reactor, durante el funcionamiento inicial, la magnitud de material combustible contenido en el núcleo es relativamente elevada, mientras que la cantidad de contaminaciones por neutrones es relativamente baja, de manera que puede operar con poca moderación de neutrones puesto que requiere menos neutrones en la gama de energía térmica para entretener la reacción en cadena del tipo fisión en comparación a lo necesario más tarde en la vida útil del núcleo, cuando ha disminuido substancialmente la cantidad de combustible, con un correspondiente aumento de las contaminaciones por neutrones en el producto de fisión dentro del núcleo. Se puede ver por lo tanto que cuando es baja la moderación, según se indica mediante la línea 52, es mayor la cantidad de neutrones disponibles dentro de la gama de reacción de resonancia, dejando disponibles más neutrones para reaccionar con el material fértil dentro del núcleo a fin de generar más combustible fisionable. A la inversa, se requiere una mayor moderación de los neutrones cuando el reactor envejece y se necesita más neutrones para entretener la reacción en cadena del tipo fisión, siendo menor la cantidad relativa de neutrones disponibles -



283130

5 para reaccionar con el material fértil, según se indica mediante la línea 50. Se puede ver por lo tanto que la utilización de los neutrones se ve reformada por el uso de magnitudes variables de moderación de los neutrones, de acuerdo con el envejecimiento del núcleo del reactor. Esto resulta especialmente evidente cuando se comprende, que, si no se utilizara esta moderación fértil en el núcleo del reactor, la cantidad de neutrones disponibles en la gama de energía térmica sería alterada al cambiar la cantidad de neutrones que se permite que sean absorbidos inproductivamente en el núcleo o que podrían escapar del núcleo del reactor. Por consiguiente, puede verse que las economías operativas pueden lograrse mediante la utilización controlada de aquellos neutrones que no son necesarios para entretener la reacción en cadena, haciéndolos reaccionar con material fértil para generar nuevo combustible nuclear, en vez de permitirles que se disipen dentro del reactor.

15 Se ha comprobado ahora que es posible operar un reactor de acuerdo con la presente invención y controlar su salida mediante la introducción de vapor del orden de 371 °C y 211 kg/cm<sup>2</sup> en el espacio de moderación. El vapor de estas características, cuando se lo introduce en el espacio de moderación del núcleo del reactor, tendrá suficiente concentración de átomos de hidrógeno para proveer la moderación de neutrones que se mencionó mas arriba. Además, el variar la densidad del vapor dentro del núcleo del reactor, se puede variar controlablemente la reactividad del reactor. Esto se logra variando la existencia de vapor en el circuito cerrado de moderación, pudiendo operarse este vapor prácticamente a cualquier combinación de temperaturas y presiones permitidas por los materiales de construcción del reactor. En el caso que la presión operativa deseada del fluido refrigerante dentro de los tubos 24 se encontrará considerablemente por encima de la presión necesaria para obtener la deseada densidad del vapor moderador, y en el caso que



283136

fuera ventajoso reducir los esfuerzos aplicados a los tubos por la diferencia de presión sobre los mismos, se podrá introducir en el circuito cerrado del moderador un vapor o gas no moderador tal como helio, nitrógeno o  $D_2O$ , para proveer la necesaria presión parcial para elevar la presión total en el circuito cerrado del moderador y disminuir la diferencia total de presiones sobre la pared del tubo.

En todos los reactores de la técnica anterior fué necesario utilizar varillas de control para controlar la reactividad en exceso y ajustar el nivel de potencia del reactor, y también a fin de terminar la reacción de cadena para interrumpir la marcha del reactor. Tal como se hizo notar más arriba, el uso de varillas de control como método para controlar un reactor nuclear, adolece de ciertas desventajas entre las cuales se encuentra las crestas o máximos de flujo producidas por la absorción de los neutrones por parte del material de la varilla de control. Se puede ver fácilmente que si se redujera al mínimo o se eliminara estas crestas de flujo, sería posible elevar el nivel de potencia media y/o la temperatura de salida de refrigerante del núcleo, hasta un punto considerablemente más próximo a los valores máximos permisibles, aumentando así la salida de potencia para determinadas medidas del reactor. Otras limitaciones impuestas por el uso de varillas de control son el resultado de los complejos mecanismos involucrados y que deben operarse en presencia de refrigerantes del reactor alta temperatura y que, en muchos casos, hacen difícil prestar a los aparatos asociados el necesario y apropiado servicio de mantenimiento.

El control variable de las varillas de control se reemplaza, en el reactor de la presente invención, por la variación de la concentración de hidrógeno en el espacio moderador, según se ha descrito más arriba. La operación de interrupción del funcionamiento, con este tipo de control, se lleva a cabo mediante una válvula de alivio 49 en la línea de descarga 46. Esta válvula puede ser ya sea automá-



23196

17  
tica o selectivamente operable, de acuerdo con lo que aconsejen las -  
circunstancias, de manera que a la recepción de una señal de "interrup-  
ción rápida" proveniente del sistema de control del reactor en el caso  
de una válvula selectivamente operada, o el aumento de la presión del  
5 vapor moderador por encima de un punto ajustado predeterminado en el -  
caso de una válvula de alivio de presión, la válvula se abrirá descar-  
gando el circuito de moderación hacia un receptor de menor presión (no  
ilustrado). La resultante reducción de presión dentro del espacio de -  
moderación hace que la concentración de los átomos de hidrógeno, y el  
10 correspondiente grado de moderación, disminuyan por debajo de la mag-  
nitud necesaria para entretener la reacción en cadena del tipo fisión,  
interrumpiendo así la marcha del reactor.

Al iniciar el funcionamiento, se lleva primeramente el reactor,  
así como los circuitos asociados de moderación y de refrigerante, a la  
15 temperatura operativa de equilibrio comunicando calor que se suministra  
desde una fuente externa apropiada de calor (no ilustrada) tanto al  
fluido moderador como al fluido refrigerante, y haciéndolo circular  
a través de los circuitos apropiados mediante las bombas 38 y 30, -  
respectivamente. Cuando el reactor alcanzó su temperatura operativa,  
20 se introduce vapor moderador adicional en el circuito de moderación  
a través del dispositivo medidor de entrada 44 mediante la línea de -  
entrada 34, aumentando así la densidad del vapor dentro de la porción  
moderadora del núcleo del reactor, con el resultante aumento de la mo-  
deración de neutrones, hasta el punto en que se alcanza la condición -  
25 crítica del reactor, que es cuando se admite fluido refrigerante al  
circuito de refrigerante, en cantidades apropiadas para mantener la  
deseada diferencia de presiones entre los circuitos de moderación y  
de refrigerante, y se inicia así una reacción en cadena del tipo fi-  
sión autoentretenida. En este punto, ya no se necesita la fuente de  
30 calor externo. Se introduce entonces más vapor, de acuerdo con lo ne-



283196

cesario, en el circuito de moderación aumentando así más todavía la densidad del vapor, la moderación de neutrones y el nivel de potencia del reactor. El intercambiador térmico 32 en el circuito cerrado de refrigerante primario comenzará entonces a extraer calor producido dentro del reactor para convertirlo en trabajo útil, producir fuerza motriz o lograr algún otro resultado final útil.

Para proveer un factor adicional de seguridad cuando el refrigerante tiene una capacidad moderadora apreciable, se opera el circuito cerrado de moderación a una presión mayor que en el circuito cerrado del refrigerante. De esta manera, en el caso que se produjera una pérdida dentro de estos circuitos, el fluido moderador, por ejemplo vapor de agua, circulará dentro del circuito del refrigerante disminuyendo la moderación de los neutrones y reduciendo la salida del reactor. El límite superior de esta diferencia de presiones está determinado principalmente por la necesidad de limitar la cantidad de material estructural dentro del núcleo. Una gama típica de valores será del orden de  $33,1 \pm 14,1 \text{ kg/cm}^2$ .

En este sistema, se supone al circuito de moderación como simulando una esfera de volumen constante. La variación de temperatura o entalpía del vapor de agua que circula en el circuito cerrado, se mantiene a un valor reducido; de manera similar, la caída de presión en el circuito cerrado se mantiene reducida de modo que la presión absoluta en cualquier parte del circuito cerrado se mantiene aproximadamente constante. Por lo tanto, si existe un desequilibrio térmico entre el calor agregado al moderador en el reactor y el calor que se retira del moderador en el intercambiador térmico, la presión en el sistema aumentará o disminuirá, pero en cambio permanecerá constante la densidad del vapor en el circuito cerrado. En otras palabras, el circuito cerrado está proyectado de manera de simular una esfera que contiene una cantidad fija de vapor a temperatura y presión substan-



283196

5 oialmente uniformes en toda la esfera. El calentamiento o enfriamiento de la esfera y de sus contenidos variará la presión y la temperatura, pero no la densidad del vapor de agua en la misma. Se comprenderá, sin embargo, que la masa de vapor moderador dentro del circuito de moderación podrá variarse a través de la vida del núcleo del reactor, de acuerdo con lo aconsejado por la salida de potencia y la magnitud de moderación que se requiere.

10 Haciendo referencia a la fig. 3, puede verse que, para un reactor que requiere una densidad de vapor moderador de aproximadamente 160 kg/cm<sup>3</sup> y que opera a una temperatura comprendida entre la de saturación y 404 °C, el circuito cerrado del moderador podrá operarse - sobre una gama de presiones  $\Delta P$ , desde aproximadamente 197 hasta 260 kg/cm<sup>2</sup> si se mantiene la entalpía dentro de una gama correspondiente de  $\Delta h$  desde aproximadamente 583 hasta 625 cal/kg, según se indica -  
15 mediante la referencia literal W. A medida que envejece el núcleo del reactor, requiriéndose un aumento de la moderación, aumenta la masa del vapor moderador en el circuito cerrado de manera que la densidad del vapor, al término de la vida útil del núcleo, será aproximadamente 320 kg/m<sup>3</sup>. En ese momento, el vapor moderador, aunque se le  
20 mantiene dentro de la misma gama de temperatura que la indicada más arriba, será operado ahora a una gama de presión  $\Delta P'$  de 225 a 313 kg/cm<sup>2</sup> y una gama de entalpías  $\Delta h'$  de 496 a 533 cal/kg, según se indica mediante la referencia literal Y. Aunque se ha dado estos valores simplemente a título de ejemplo, se podrá apreciar que la densidad de vapor que se requiere estará determinada por el proyecto particular del reactor. Sin embargo, deberá observarse que el límite superior permitido para la temperatura del vapor moderador, será aproximadamente 404 °C debido a las limitaciones de temperatura del material estructural en el interior del reactor. Se ha indicado el límite -  
25 inferior de temperatura como la temperatura de saturación, debido al  
30



283196

requisito de que el vapor debe estar contenido solamente dentro del circuito cerrado de moderación. El límite inferior puede determinarse mediante la presión operativa del circuito cerrado del refrigerante puesto que, según se dijo más arriba, resulta deseable por razones de seguridad mantener el circuito cerrado de moderación a una presión superior a la del circuito cerrado del refrigerante.

En el reactor, tal como se le describe aquí, y utilizando vapor de agua tanto en calidad de refrigerante como en calidad de vapor moderador, el reactor tendrá un coeficiente negativo de reactividad en función de la temperatura como resultado de los cambios de temperatura del fluido refrigerante. Por consiguiente, los pequeños cambios de la reactividad del núcleo del reactor serán vencidos, dando por resultado un funcionamiento inherentemente seguro, autorregulándose el reactor al ajustarse por sí mismo a la demanda de salida del sistema. Por consiguiente, a medida que aumenta la demanda de salida, se reducirá la temperatura del fluido refrigerante que penetra en el núcleo de reactor, aumentando así su densidad y su efecto moderador con un resultante aumento de la salida de potencia del reactor. A la inversa, en el caso de que disminuyera la demanda de salida del sistema, se elevará la temperatura del fluido refrigerante que retorna al reactor, disminuyendo su densidad y su efecto moderador, y reduciendo la salida de potencia hasta el punto en que se vuelve a obtener el equilibrio a la menor salida de potencia.

Aunque el reactor ilustrado en la fig. 1 utiliza un sistema de circuito cerrado en el cual el fluido refrigerante entrega su calor indirectamente a través del intercambiador térmico 32, el reactor podrá utilizar un circuito de refrigerante de ciclo abierto, según se ilustra en la fig. 2. De acuerdo con esto la fig. 2 muestra un circuito de refrigerante que puede substituir a la porción del circuito refrigerante de la fig. 1 hacia la derecha de la línea de trazos -



283196

mixtos 54, según se indica en ambas figuras. En este ciclo, el fluido refrigerante abandona el reactor a través de la línea de salida 28 que va directamente a una turbina 56. Para que se pueda obtener altos rendimientos del sistema, resulta deseable utilizar una turbina del tipo a condensación en que se descarga el vapor hacia un condensador 58 a una presión absoluta relativamente baja. Sin embargo, para impedir que se bombee líquido condensado nuevamente hacia el reactor a través de la línea de entrada 26 y bomba de alimentación 30, resulta necesario vaporizar primeramente el fluido condensado. Se hace esto empleando el ciclo Loeffler que emplea vapor como medio de transferencia térmica. En este caso, una porción del vapor de salida del reactor es derivada hacia la turbina, yendo directamente hacia una cámara vaporizadora 62 a través de la línea 60. El resto del vapor se expande a través de la turbina 56, es descargado hacia el condensador 58, y el condensado es introducido entonces mediante la bomba 64 a la cámara vaporizadora 62. Se convierte el condensado en vapor en la cámara 62, mezclándolo con el vapor derivado desde la línea 60. Se introduce entonces la totalidad del vapor en el reactor a través de la bomba 30 y de la línea de alimentación 26.

Corresponde observar en las figs. 1 y 2 que las partes correspondientes llevan las mismas referencias numéricas para mayor facilidad de identificación.

Para ilustrar la forma preferida de realización de la presente invención, la siguiente Tabla I proporciona detalles del reactor a ciclo abierto descrito más arriba.

TABLA I

Salida del reactor	750	MW calor
Salida neta de la planta	315	MW elec.
Rendimiento térmico de la planta (neto)	42	%
Carga de U <sup>235</sup>	1.015	kg



283196

	-Carga de U <sup>238</sup>	21.545	kg
	Enriquecimiento del combustible	4,5	%
	Flujo térmico medio	692	k-cal/hr/m <sup>2</sup>
	Flujo térmico de cresta	1.300	k-cal/hr/m <sup>2</sup>
5	Relación entre potencia de cresta y potencia media	1,64	
	Temperatura máxima de la superficie de revestimiento combustible	598	°C
	Temperatura de la superficie de revestimiento combustible a máximo flujo térmico	544	°C
10	Cantidad de varillas combustibles	5.800	
	Longitud de las varillas combustibles (activa)	3,66	m
	Material de revestimiento combustible	19-9BL (aleación inoxidable)	
	Salida específica de potencia	310	kWe/kg U <sup>235</sup>
15	Vida del núcleo	675	días
	Consumo medio por combustión del combustible	19.500	MWD/ton
	Fluido refrigerante		vapor de agua
	Circulación	3.208	ton/hr
	Presión	207	kg/cm <sup>2</sup>
20	Temperatura de entrada	377	°C
	Temperatura de salida	538	°C
	Caída de presión a través del núcleo	7,03	kg/cm <sup>2</sup>
	Fluido moderador		vapor de agua
25	Circulación	2.950	ton/hr
	Presión al comienzo de la vida útil del núcleo	152	kg/cm <sup>2</sup>
	Temperatura media al comienzo de la vida útil del núcleo	378	°C
30	Densidad del vapor de agua al comienzo de la vida útil del núcleo	70,5	kg/m <sup>3</sup>



2 300 96

Presión al término de la vida útil del núcleo	239	kg/cm <sup>2</sup>
Temperatura media al término de la vida útil del núcleo	372	°C
Densidad del vapor de agua al término de la vida útil del núcleo	224	kg/m <sup>3</sup>

5 En este reactor, basándose en los datos indicados más arriba, el núcleo activo se aproximará a un cilindro circular recto que tiene un diámetro de aproximadamente 2,44 m y una altura de 3,66 m. En el caso que fuera deseable incorporar la presente invención a un reactor de menores dimensiones físicas, esto podría lograrse aumentando el -  
10 enriquecimiento del combustible en U<sup>235</sup> y/o aumentando la presión del vapor de agua moderador. En el caso que fueran deseables presiones más bajas del vapor moderador, se podrá usar un núcleo que contiene combustible con un enriquecimiento un poco menor y que tenga dimensiones mayores, o bien se podrá operar a menores presiones de vapor moderador  
15 un núcleo de dimensiones comparables pero que tenga un mayor enriquecimiento en U<sup>235</sup>.

Con un reactor de esta clase, utilizando vapor de agua con altas temperaturas y alta presión como fluido refrigerante, será posible utilizar componentes y ciclos de calor de planta de energía moderna  
20 de alto rendimiento, más bien que los ciclos de menor presión y menor temperatura asociados con algunos de los reactores de la técnica anterior.

Otras disposiciones y fluidos se sugerirán fácilmente por sí mismos en base a lo descrito más arriba. Por ejemplo, en el caso que  
25 fuera deseable mantener substancialmente constantes la presión y/o - temperatura del circuito moderador, a través de toda la vida útil del núcleo, y sin embargo adaptar la capacidad moderadora del vapor de agua moderador a los cambios de las condiciones de combustible, sería posible usar una mezcla de vapor de agua y uno o más gases apropiados, en calidad de fluido moderador. Estos gases podrían ser helio o CO<sub>2</sub>, que -  
30



233198

serían prácticamente inertes en el sentido de moderación de neutrones. Otro gas que se podría usar es vapor de  $D_2O$  que, en comparación con el vapor de agua, proveerá muy poca moderación de neutrones. El  $D_2O$  ofrece la ventaja adicional de que provee buena compatibilidad con el vapor de agua. Al comienzo de la vida útil del núcleo, la presión parcial del vapor de agua en el circuito moderador podrá ser del orden de  $126 \text{ kg/cm}^2$  y la presión parcial del gas inerte podrá ser del orden de  $105 \text{ kg/cm}^2$ , dando una presión total de  $232 \text{ kg/cm}^2$ . Cuando el núcleo comienza a gastarse, se podrá aumentar la presión parcial del vapor de agua mientras se disminuye la presión parcial del gas, variando así el efecto moderador pero manteniendo constante la presión total.

Muchas variantes se sugieren por sí mismas cuando se considera las diversas combinaciones de fluido refrigerantes y fluidos moderadores; las únicas limitaciones aplicadas a los fluidos refrigerantes son que deben tener características deseables de transferencia térmica y que sean compatibles para el uso con los materiales estructurales disponibles a las temperaturas y presiones proyectadas. Es naturalmente necesario que el fluido moderador contenga una cantidad suficiente de átomos de hidrógeno, ya sea libres o en combinación, para proveer la necesaria magnitud de moderación de neutrones a las temperaturas y presiones operativas prácticas. Además es necesario que el fluido moderador se encuentre en estado de vapor a las temperaturas y presiones operativas a fin de proveer la necesaria variación de la densidad del fluido. Este requisito de fluido moderador vaporizado es preciso para obtener el necesario control de seguridad de "detención inmediata", simplemente descargando el circuito de moderación hacia una presión menor a través de la válvula de alivio de apertura rápida.

De acuerdo con lo precedente, puede verse fácilmente que se pueden usar vapores de hidrocarburo como fluido moderador. Aunque las presiones operativas de los moderadores del tipo de vapor de hidrocar-



283193

buro serán por lo general menores que las necesarias al usar moderación con vapor de agua, serán sin embargo, iguales la teoría básica y el modo operativo. Además, el uso de vapores de hidrocarburo como fluido moderador hará posible adoptar irradiación con neutrones en la refinación y producción de productos de petróleo u otros compuestos químicos. Por ejemplo, se podrá usar vapores de acetileno o de benceno como vapor moderador, mientras se desarrollan cambios a hidrocarburos de polímeros superiores por reacciones químico-nucleares.

Otra modificación de la presente invención prevé el uso de solamente elementos combustibles portadores de material fisiónable en el núcleo del reactor. Un reactor de esta clase será del tipo en el cual la economía de neutrones es de interés solamente secundario, siendo el objetivo primario un reactor que tenga alta salida de potencia con dimensiones relativamente pequeñas y compactas. En esta adaptación, la variación de la densidad del moderador cambiará solamente la magnitud de las pérdidas de neutrones fuera del núcleo del reactor, para controlar en forma variable la reacción en cadena de tipo fisión.

Se obtiene otra modificación cuando se combina el método de control del reactor aquí descrito con el método de moderación de la técnica anterior, es decir el uso de un moderador del tipo estático incluido, por ejemplo grafito o hidruro de circonio. Una disposición de esta clase sería similar a la de los reactores moderados con grafito y enfriados por gas, bien conocidos en la técnica, con la excepción de que la moderación provista por el grafito no será suficiente para hacer crítico al núcleo del reactor. La magnitud final de la moderación necesaria para hacer crítico al reactor se suministrará mediante el vapor moderador portador de hidrógeno descrito más arriba. En esta manera será todavía posible controlar variablemente, e incluso interrumpir la reacción en cadena, variando la densidad del vapor moderador.

Además, se puede utilizar la presente invención en un reactor



283190

7  
5  
10  
15  
que tenga una región de núcleo central dispuesta para desarrollar reacciones de fisión como resultado de los neutrones rápidos generados por el proceso de fisión. Una región de núcleo de neutrones rápidos estaría rodeada por una región protectora térmica que, a su vez, estaría rodeada por un reflector de neutrones. Aunque una región de núcleo con neutrones rápidos no tiene el requisito de moderación de neutrones, se la controla mediante la variación de la moderación de neutrones dentro de la región protectora térmica. Esto se debe al hecho de que la cantidad de neutrones que son reflejados hacia la región de núcleo de neutrones rápidos quedará determinada por la cantidad de neutrones retardados por la moderación en la región térmica y que alcanzan a tomar parte en las reacciones térmicas de fisión. Esta moderación de neutrones, según se prevé de acuerdo con la presente invención, da por resultado mayores rendimientos de neutrones para el uso en un núcleo térmico de esta clase con neutrones rápidos, en comparación con el caso en el cual se usaran otros métodos de moderación de la técnica anterior.

#### REIVINDICACIONES

20  
1.- Un método y aparato para operar un reactor nuclear que tiene una pluralidad de elementos combustibles portadores de material fisiónable dispuestos en forma de núcleo para desarrollar una reacción en cadena del tipo de fisión autoentretenida, cuyo método se caracteriza por las etapas de introducir en el núcleo un vapor moderador portador de hidrógeno y regular la reacción en cadena del tipo fisión por variación de la concentración de hidrógeno en el núcleo.

25  
2.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por la etapa de variar la concentración de hidrógeno en el núcleo por variación de la concentración de hidrógeno en el núcleo.

30  
3.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por la



83196

etapa de variar la concentración de hidrógeno en el núcleo por variación de la densidad del vapor en el núcleo.

4.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que el vapor portador de hidrógeno es vapor de agua.

5.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de mantener el vapor de agua a una presión supercrítica.

6.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por la etapa de hacer pasar un segundo fluido a través del núcleo para eliminar el calor generado en el mismo.

7.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por la etapa de terminar la reacción en cadena por reducción de la densidad del vapor en el núcleo.

8.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por la etapa de descargar el vapor que se encuentra en el núcleo, hacia un receptor de baja presión.

9.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que la reacción en cadena puede moderarse ya sea en total o en parte por el vapor portador de hidrógeno.

10.- Un método para operar un reactor nuclear de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por el hecho de que la porción de moderación contribuida por el vapor portador de hidrógeno es necesaria para lograr la reacción en cadena.

11.- Un aparato para llevar a cabo el método de operar un reactor nuclear de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que incluye un recipiente de presión que tiene una pluralidad de elementos combustibles portadores de material fisiónable -



283196

dispuestos en forma de núcleo en el mismo, caracterizado por medios -  
para introducir un vapor moderador portador de hidrógeno en el recipien-  
te de presión para su pase a través del núcleo, y medios para regular la  
concentración de hidrógeno en el núcleo.

5           12.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 11, caracte-  
rizado por el hecho de que el vapor portador de hidrógeno es una combi-  
nación de vapor de agua y gas inerte.

10           13.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 12, caracte-  
rizado por variar la concentración de hidrógeno en el núcleo por varia-  
ción de las presiones parciales del vapor de agua y el gas inerte den-  
tro del núcleo.

15           14.- Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindica-  
ciones 11 a 13, caracterizado por el hecho de que el núcleo del reactor  
contiene un cuerpo de material moderador de neutrones dispuesto  
dentro del núcleo para moderar al núcleo hasta un punto inferior al -  
crítico.

20           15.- Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindica-  
ciones 11 a 14, caracterizado por el hecho de que el núcleo está -  
dividido en dos secciones separadas y distintas para el paso de dos  
flúidos separados y distintos, a través del mismo.

25           16.- Un aparato de acuerdo con la reivindicación 15, caracte-  
rizado por el hecho de que el vapor moderador portador de hidrógeno  
pasa a través de una sección y un flúido de transferencia térmica pasa  
a través de la segunda sección para eliminar el calor generado por  
la reacción en cadena.

          17.- Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicacio-  
nes 11 a 16, caracterizado por el hecho de que el vapor moderador por-  
tador de hidrógeno es vapor de agua supercrítico.

30           18.- Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicacio-  
nes 11 a 17, caracterizado por el hecho de que se provee una válvula -



283196

de alivio en el circuito de vapor portador de hidrógeno para reducir la presión del vapor en el núcleo a fin de terminar la reacción en cadena.

5 19. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: "UN METODO Y APARATO PARA OPERAR UN REACTOR NUCLEAR"

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria que consta de veintitres páginas escritas a máquina y dibujos - adjuntos.

10

Madrid, 7 Diciembre 1.962

ALFONSO UNGRIA

P.P.

15



FIG. 1

283196

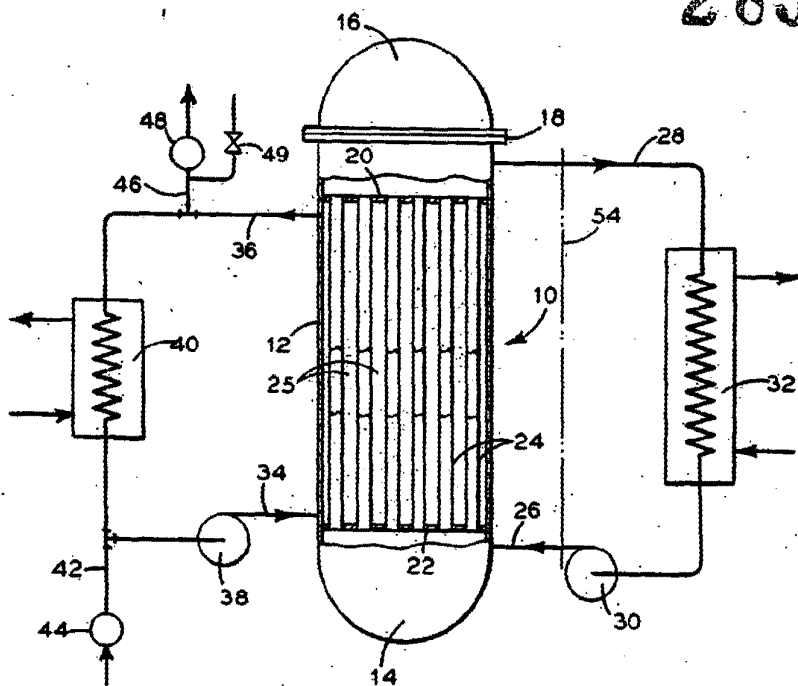
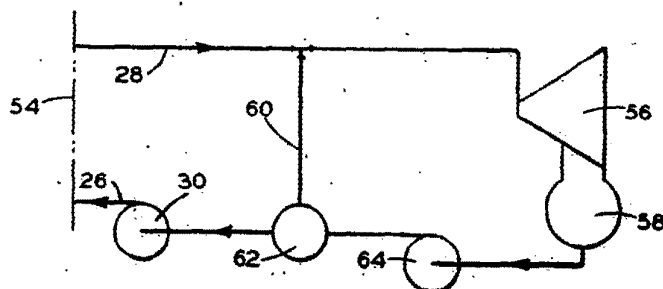


FIG. 2



ESCALA VARIABLE  
MADRID, 7 DE Diciembre DE 19 62

R.P. ALFONSO UNGRIA



2 231 96

FIG 3

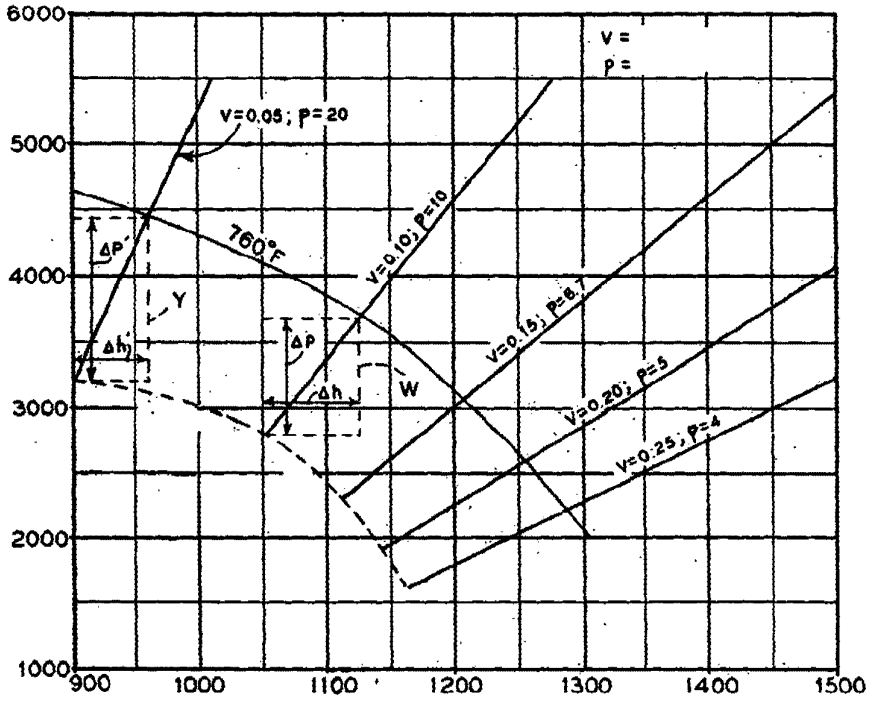
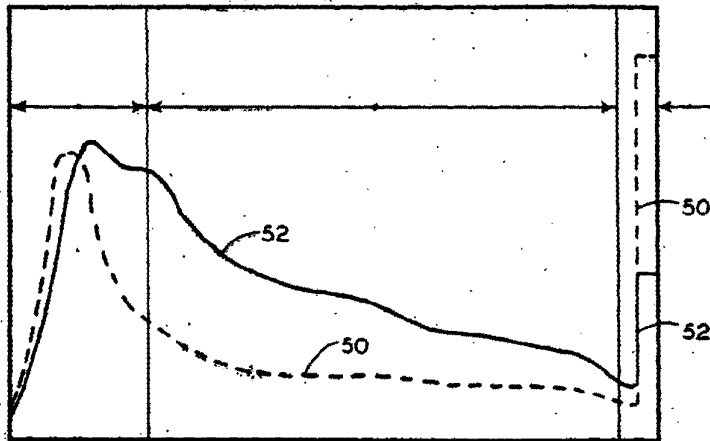


FIG 4



ESCALA VARIABLE

MADRID, 7 DE Diciembre DE 1962.-

ANFORAS UNICIA

P.R. *[Signature]*