



18 JUN

301436

301436

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

por VEINTE años

cuyo privilegio se solicita para España,
sus territorios y plazas de soberanía,
a favor de:

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY

entidad norteamericana, domiciliada en
161 East 42nd Street, New York 17, New York,
Estados Unidos, relativa a:

"REACTOR NUCLEAR"

=====

Inventores: Donald Carrell Schluderberg,
John Walker Ryon y Robert
William Carlsen.

Prioridad: Solicitud de Patente en Estados
Unidos nº de serie 288.666 de
fecha 18 junio 1963.

301436



MEMORIA DESCRIPTIVA

La presente invención se refiere de una manera general a un reactor nuclear y más particularmente a un reactor nuclear donde se utiliza vapor de soporte de hidrógeno para moderar y controlar de forma variable la reacción de cadena.

En todo reactor nuclear debe disponerse una cantidad de material fisionable como núcleo con suficiente masa y tal configuración propia que sufra una reacción en cadena de tipo fisión automantenida. Además, en un tipo de reactor no reproductor, es necesario disponer material fisionable en el núcleo en exceso respecto al requerido para obtener la reacción en cadena a fin de mantener el funcionamiento para compensar el consumo del material fisionable, o combustible, y la acumulación de materiales contaminantes que absorben neutrones resultantes del proceso de fisión. Este combustible en exceso genera un número mayor de neutrones que el requerido para mantener la reacción en cadena de tipo fisión automantenida, y es necesario así controlar estos neutrones en exceso bien absorbiéndolos o bien permitiéndoles escapar del reactor sin nueva promoción de la reacción en cadena.

El control de estos neutrones en exceso se realiza en reactores de la técnica anterior introduciendo en los núcleos de éstos un material contaminante de neutrones, es decir, un material que absorba neutrones sin reproducirlos. Es

301436



te método comprende la utilización de barras de control móviles formadas de un material contaminante tal como hafnio o boro, o la utilización de una cantidad específica de tal material contaminante que se sitúa permanentemente en el núcleo o se mezcla con el refrigerante del reactor.

Además, la fisión de los átomos que crea la reacción en cadena genera neutrones rápidos que tienen un amplio intervalo de altas velocidades. Es conocido que para la mayor parte de los reactores estudiados ahora la reacción en cadena está promovida mejor por los neutrones más lentos, o térmicos, que por los neutrones rápidos. Los neutrones térmicos tienen una mayor tendencia a hacer que un átomo fisiónable se fisione mientras que los neutrones rápidos tienden a escapar completamente del núcleo. Así, se ha hallado que es necesario moderar, o retardar, los neutrones generados por la reacción en cadena de forma que se incremente el número de neutrones térmicos aprovechable para mantener la reacción en cadena. Los reactores de la técnica anterior han utilizado de una forma general material moderador tal como grafito, óxido de berilio, agua pesada u ordinaria en el núcleo para proporcionar esta moderación.

En la mayoría de los reactores de la técnica anterior ha sido necesario combinar los métodos anteriores de control de la reacción en cadena. Así, ha sido necesario disponer barras de control móviles dentro del reactor con la instalación mecánica asociada necesaria para moverlas. Estas barras han sido necesarias principalmente para el control de regulación, ajuste y seguridad (interrupción de emer



301436

gencia) para garantizar un método seguro de arranque, funcionamiento y paro del reactor. Estas barras de control incrementan el coste y complejidad del reactor debido a las componentes mecánicas en los mandos de las barras de control. Además, crean dentro del núcleo del reactor puntas indeseables de flujo debidas, en parte, al material contaminante de la barra de control que se coloca de forma móvil dentro del trayecto de los neutrones generados durante la reacción en cadena, con puntas resultantes en la temperatura y en el flujo de calor del núcleo del reactor. De acuerdo con ello, los reactores de la técnica anterior se proyectan necesariamente de forma que la temperatura de la superficie de revestimiento del combustible máxima alcanzada dentro del núcleo, como resultado de las puntas de flujo de neutrones, se mantenga dentro de límites seguros, con un descenso resultante de la temperatura de funcionamiento media en el núcleo en comparación con las temperaturas permisibles si no tuvieran lugar tales puntas de flujo.

Es conocido que si se minimizara el grado de tales puntas de flujo la temperatura y el flujo de calor medios del núcleo del reactor podría elevarse de forma segura, con el consiguiente incremento de salida de energía para la misma temperatura final y con rendimientos del ciclo mejorados.

La presente invención muestra un reactor que puede controlarse y moderarse de forma variable, en donde se dispone una pluralidad de elementos de combustible de soporte de material fisiónable como núcleo para sufrir una reacción en cadena de tipo fisión automantenida introduciendo un fluido



301436

5 moderador de soporte de isótopo de hidrógeno monofásico ca-
paz de un cambio substancial de densidad con un cambio de
entalpía dentro del núcleo y, regulando esta reacción por
variación de la concentración del fluido moderador dentro
del núcleo y/o variando la mezcla de fluidos que tienen po-
der moderador diferente.

10 Según ello, la presente invención proporciona un reac-
tor nuclear que comprende un recipiente de presión dividido
en por lo menos dos secciones que incluyen una primera sec-
ción dispuesta de forma substancial centralmente en el reci-
piente de presión. Una segunda sección se extiende a tra-
vés de la primera sección pero está separada y es distinta
de ella. Una pluralidad de elementos de combustible de so-
porte de material fisionable se disponen en la segunda sec-
15 ción como núcleo para sufrir una reacción en cadena de tipo
fisión automantenida. Se disponen unos medios para introdu-
cir un fluido refrigerador a través de la segunda sección
en relación de transferencia de calor con los elementos de
combustible de allí para extraer el calor generado por la
20 reacción en cadena. Se disponen también unos medios para
introducir el fluido moderador en la primera sección alre-
dedor de los elementos de combustible de la segunda sección
para moderar la reacción en cadena.

En los planos:

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

la Fig. 2 es una sección vertical del reactor de la

301436



presente invención;

la Fig. 3 es una representación gráfica de la densidad de vapor correspondiente a varias presiones y entalpías; y

5 la Fig. 4 es una representación gráfica de la abundancia de neutrones con respecto a la energía de neutrones.

En la Fig. 1 se representa una ilustración esquemática de un sistema reactor de la presente invención, en donde el reactor nuclear 10 está provisto de un recipiente 12 que mantiene la presión apropiada ilustrado allí, parcialmente en sección, como un recipiente de presión cilíndrico alargado que tiene elementos 14 y 16 de cierre de los extremos inferior y superior, respectivamente, uno de los cuales puede estar fijado a aquél, de forma amovible así como a la junta 18 de brida. El interior del recipiente 12 de presión del reactor está dividido en dos espacios, un espacio refrigerador y un espacio moderador. Un método de dividir así el interior del recipiente de presión se ilustra en el plano y se compone de placas portatubos superior e inferior, 20 y 22, respectivamente, que se extienden a través y están fijadas integralmente en las partes superior e inferior del recipiente de presión y que tienen una pluralidad de tubos 24 que se extienden entre ellas y están fijados en ellas. El espacio refrigerador es así el espacio de dentro de los tubos y también las partes extremas del recipiente de presión al exterior de las placas portatubos 20 y 22. El espacio 25 moderador es el espacio encerrado entre las dos placas portatubos con exclusión del espacio ocupado por los tubos 24.



301436

Se disponen elementos de combustible de soporte de ma-
terial fisionable (no ilustrados), de un tipo bien conocido
en la técnica, dentro de los tubos 24 como núcleo con una
masa crítica para sufrir una reacción en cadena de tipo fi-
5 sión automantenida cuando se modera, como se describirá más
ampliamente a continuación. Además de los elementos de com-
bustible de soporte de material fisionable es deseable que
se incorporen también en el núcleo del reactor elementos de
combustible de soporte de material fértil de una manera
10 bien conocida en la técnica. De este modo puede obtenerse
el óptimo en la utilización y economía de los neutrones co-
mo se indicará también más ampliamente a continuación.

El espacio refrigerador está provisto con conducciones
de entrada y salida, 26 y 28, respectivamente, de forma que
15 el fluido refrigerador primario puede hacerse circular, co-
mo por medio de una bomba 30, a través de los tubos 24 en
relación de transferencia de calor con los elementos de com-
bustible de aquéllos para extraer el calor generado por la
reacción en cadena de tipo fisión. El fluido primario ca-
20 lentado deja el recipiente 12 de presión del reactor a tra-
vés de la conducción 28 de salida y pasa a través de un cam-
biador 32 de calor, cediendo calor a un fluido de transfe-
rencia de calor secundario en relación de transferencia de
calor indirecta, siendo transportado el último fluido a un
25 punto de utilización, no ilustrado. El fluido primario re-
frigerado, dejando el cambiador 32 de calor, es vuelto al
reactor 10 por medio de la bomba 30 a través de la conduc-
ción de entrada 26.



301436

El espacio moderador está alimentado con un flúido moderador a través de las conducciones 34 y 36 de entrada y salida, respectivamente, y puede hacerse circular por medio de una bomba 38 de la conducción de entrada. Puede situarse un cambiador de calor 40 en el circuito de circulación del flúido moderador, para extraer el calor absorbido por el flúido moderador en su paso a través del espacio moderador del núcleo del reactor y mantener así por regulación apropiada la temperatura y presión del flúido moderador substancialmente constantes en este circuito cerrado para una salida de energía dada. Una conducción 42 de alimentación de moderador, provista de un dispositivo dosificador 44, se abre en la conducción entre el cambiador de calor 40 y la entrada de la bomba 38, y de allí en la conducción de entrada 34 del circuito de circulación del moderador. Se dispone también en el circuito moderador una conducción 46 de evacuación que tiene un dispositivo dosificador 48 en comunicación con la conducción de salida 36.

Los dispositivos dosificadores 44 y 48 pueden ser de cualquier tipo bien conocido en la técnica y pueden incluir válvulas dosificadoras o bombas de desplazamiento positivo, siendo la exigencia principal para tales dispositivos dosificadores la de que deben ser capaces de introducir o retirar cantidades exactas determinadas de flúido moderante en o del circuito moderador, según se requiera, para permitir la variación controlable de la concentración de flúido moderador dentro del espacio moderador 25 del reactor.

Casi cualquier flúido que transfiera calor puede utili-



301436

zarse como fluido refrigerador primario, incluyendo vapor de agua u otro gas, agua ligera o pesada presurizadas, fluidos orgánicos, metales líquidos, o sales fundidas. Si bien muchos de estos líquidos refrigeradores primarios pueden proporcionar algún grado de moderación de neutrones, es preferible confiar, para la moderación, en el fluido moderador, y el núcleo del reactor se dispondrá de acuerdo con ello, como es bien conocido en la técnica. El fluido moderador puede ser cualquier fluido de soporte de isótopo de hidrógeno monofásico en fase única capaz de un cambio substancial de densidad con un cambio de entalpía y puede comprender agua a o cerca, o incluso encima de la presión y temperatura críticas, o vapor de agua sobrecalentado a estas presiones, hidrocarburos vaporosos, o hidrógeno libre o mezclas de éstos con gases inertes. Un tal fluido que contenga isótopo de hidrógeno, incluirá, desde luego, ambas composiciones de soporte de hidrógeno y de deuterio.

Es conocido que, en un reactor nuclear, cuando un material combustible sufre fisión, se generan neutrones que tienen un amplio intervalo de energía. Como se ilustra en la Fig. 4, hay una variación relativamente amplia en la abundancia de neutrones relativa con respecto a la energía de neutrones. Los neutrones creados por la fisión de un átomo están a un nivel de energía relativamente alto. Cuando se mueven hacia fuera desde el átomo que se está fisiando, son moderados o retardados por los distintos materiales de dentro del reactor, comprendiendo tanto los materiales estructurales como los moderadores. Cuando estos neu-

301436



trones están retardados, pasan a través del intervalo de energía de reacción de resonancia en donde el material fértil puede capturar los neutrones y crear así material fisio-
noble fuera del material fértil. Bajando aún el intervalo
5 de la energía de neutrones, es decir, siguiendo el interva-
lo de resonancia, hay el intervalo de energía térmica en
donde la mayor parte del material fisiónable reacciona con
los neutrones presentes allí para sufrir una reacción de fi-
sión. Se ha hallado que la abundancia relativa de neutro-
10 nes dentro del intervalo de reacciones de resonancia y den-
tro del intervalo de energía térmica puede alterarse va-
riando la cantidad de moderación a la que están sometidos
los neutrones. Así, si los neutrones están sometidos a una
cantidad relativamente alta de moderación la abundancia re-
15 lativa de neutrones dentro de los distintos intervalos de
energía será aproximadamente la mostrada por el trazado de
línea 50 en la Fig. 4. De acuerdo con ello, se observará
que la abundancia de neutrones dentro del intervalo térmi-
co es relativamente alta mientras que dentro del intervalo
20 de reacción de resonancia es relativamente baja. Recípro-
camente, si la cantidad de moderación es relativamente ba-
ja, el intervalo de abundancia de neutrones dentro de los
distintos intervalos de energía será aproximadamente el in-
dicado por el trazado de línea 52 en la Fig. 4, en donde
25 puede observarse que la abundancia de neutrones en el in-
tervalo de energía térmica es relativamente más bajo que
en el caso anterior mientras que la abundancia de neutro-
nes en el intervalo de reacción de resonancia es conside-
rablemente más alta. En un reactor, durante la operación

301436



inicial, la cantidad de material combustible contenida en el núcleo es relativamente alta mientras que la cantidad de contaminantes de neutrones es relativamente baja, y así puede funcionar con menos moderación de neutrones dado que se requieren menos neutrones en el intervalo de energía térmica para mantener la reacción en cadena de tipo fisión de los que serán necesarios más tarde en el tiempo de vida del núcleo, dado que, cuando la cantidad de combustible ha decrecido substancialmente habrá un ascenso correspondiente de contaminantes de neutrones producidos en la fisión dentro del núcleo. Así puede verse que donde se reduce la moderación, como se ha indicado por la línea 52, la cantidad de neutrones aprovechables dentro del intervalo de reacción de resonancia es mayor, haciendo aprovechables más neutrones para reaccionar con el material fértil dentro del núcleo para generar más combustible fisionable. Recíprocamente, se requiere una moderación de neutrones mayor cuando el reactor envejece y se necesitan más neutrones para mantener la reacción en cadena de tipo fisión y la cantidad relativa de neutrones aprovechables para reaccionar con el material fértil es menor, como se indica por la línea 50. Así, se observará que la utilización de neutrones se mejora variando la cantidad de moderación de neutrones en consonancia con la edad del núcleo del reactor. Esto se hace considerablemente notorio cuando se comprueba que, si tal material fértil no se utilizara de una forma productiva en el núcleo del reactor, la cantidad de neutrones aprovechable en el intervalo de energía térmica se variaría cambiando la cantidad de neutrones que podría ser absorbida de forma no pro-

301436



ductiva en el núcleo o que podría escapar del núcleo del reactor. De acuerdo con ello, se ha observado que pueden realizarse economías de funcionamiento mediante la utilización controlada de aquellos neutrones no necesarios para
5 mantener la reacción en cadena haciéndoles reaccionar con material fértil para generar combustible nuclear nuevo, mejor que permitiéndoles sólo disiparse dentro del reactor.

Se ha hallado que un reactor según la presente invención puede hacerse funcionar y su energía puede controlarse introduciendo vapor de agua del orden de 700°F y 3000 psi en el espacio moderador. El vapor de agua bajo estas condiciones tendrá una concentración suficiente de átomos de hidrógeno para proporcionar la moderación de neutrones necesaria como se ha indicado anteriormente. Además, variando
10 la densidad del vapor dentro del espacio moderador dispuesto en el núcleo del reactor, la reactividad del reactor podrá variarse de forma controlada. Esto se realiza variando la existencia de vapor de agua en el circuito moderador por medio de dispositivos dosificadores 44 y 48. Así, cuando el nivel de energía del sistema aumenta, se introduce
15 más vapor en el circuito moderador. Cuando el nivel de energía se reduce, se extrae vapor del circuito. Si se deseara moderar de forma variable la reacción en cadena según la vida del material combustible, es posible diluir vapor de H₂O con vapor de D₂O. Dado que el D₂O tiene una energía moderadora considerablemente diferente en comparación
20 con el H₂O, su utilización es muy deseable dado que las propiedades químicas son casi idénticas a las del H₂O y no se



301455

choca con problemas de incompatibilidad de materiales. Si la presión de funcionamiento deseada del fluido refrigerador dentro de los tubos 24 fuese considerablemente superior a la presión necesaria para obtener la densidad de vapor moderador requerida, y si se juzga ventajoso reducir los esfuerzos impuestos a los tubos por las diferencias de presión a través de ellos, puede introducirse un vapor o gas no moderador tal como helio o nitrógeno en el circuito moderador para proporcionar la presión parcial necesaria para elevar la presión total en el circuito moderador y disminuir la diferencia de presión total a través de la pared del tubo.

En casi todos los reactores de la técnica anterior ha sido necesario utilizar barras de control para controlar la reactividad en exceso y ajustar el nivel de energía del reactor y para el objeto de poner fin a la reacción en cadena para parar el reactor. Como se ha indicado anteriormente, la utilización de barras de control como método de controlar un reactor nuclear tiene ciertas desventajas, contándose entre ellas las puntas de flujo causadas por la absorción de los neutrones por el material de las barras de control. Se observará que si se minimizaran o eliminaran las puntas de flujo el nivel de energía medio y/o la temperatura de salida del refrigerador del núcleo podrían elevarse hasta un punto mucho más próximo a los valores máximos permisibles, incrementando así la salida de energía para un reactor de tamaño dado. Otras limitaciones impuestas por la utilización de las barras de control resultan de los com



301436

5 plejos mecanismos que están sometidos y deben hacerse funcionar en presencia de refrigeradores del reactor a alta temperatura y que, en muchos casos, hacen difíciles a los aparatos asociados para el servicio y manutención apropiados.

10 El control variable de las barras de control se reemplaza en el presente reactor por la variación de la concentración de isótopo de hidrógeno en el espacio moderador como se ha descrito anteriormente. La operación de paro, con este tipo de control, se realiza por medio de una válvula 49 de descarga en la conducción de evacuación 46. Esta válvula puede ser o bien automática o accionable de forma selectiva según lo requieran las condiciones de manera que cuando se recibe una señal de "interrupción de emergencia" desde el sistema de control del reactor, en el caso de una 15 válvula accionable de forma selectiva, o el incremento de la presión del vapor moderador por encima de un punto fijo predeterminado, en el caso de una válvula de descarga de presión, la válvula se abrirá, descargando el circuito moderador en un receptor de presión más baja (no ilustrado). La 20 reducción resultante de la presión dentro del espacio moderador provoca que la concentración de átomos de hidrógeno y el correspondiente grado de moderación caigan por debajo de la cantidad necesaria para mantener la reacción en cadena de tipo fisión parando por ello el reactor. 25

La disposición específica del reactor de la presente invención se ilustra en la Fig. 2, en donde el reactor 10 comprende un recipiente de presión compuesto de una envol-

301436



5 vente cilíndrica alargada 66 cerrada por el extremo infe-
rior por medio de una tapa semiesférica 68 que tiene un cue-
llo de salida 70 fijado integralmente en aquélla. La envol-
vente cilíndrica 66 termina por un extremo superior en una
10 brida de cierre 72. Una tapa de cierre superior 74 que tie-
ne una brida de cierre 76 está adaptada para ajustar con la
brida de cierre 72 para cerrar el extremo superior del reci-
piente de presión. Los bordes 72 y 76 de ajuste están co-
nectados por una pluralidad de espárragos espaciados circun-
ferencialmente 78. Hay dispuesto un cuello de entrada 80
15 en la parte superior de la tapa de cierre 74 y está conecta-
do a la conducción de entrada 26 del sistema reactor (Fig.
1), La envolvente cilíndrica 66 del recipiente de presión
puede proveerse de una pluralidad de bandas o láminas exter-
nas indicadas de una forma general en 82 a fin de mantener
20 de una forma más económica la presión interna relativamen-
te alta, como es bien conocido en la técnica.

20 Suspendido de una ranura circunferencial 84 de la su-
perficie interior de la brida 72 hay un elemento cilíndri-
co 86 que está cerrado por su extremo inferior por medio de
una placa portatubos horizontal 88. Este elemento cilíndri-
co 86 y la placa portatubos 88 cooperan con la superficie
interior de la tapa de cierre 74 para formar una cámara co-
lectora 90 de entrada. Se dispone un sello 92 en la junta
25 entre el extremo superior del elemento cilíndrico 86 y las
bridas 72 y 76 para evitar fugas de fluido hacia y desde la
cámara colectora.

Se forma una cámara colectora 94 de salida en la par-



304436

te inferior del recipiente de presión por medio de un elemento de forma semiesférica 96 cerrado por su extremo superior por medio de una placa portatubos 98. El elemento semiesférico 96 tiene un cuello 100 dispuesto centralmente en su parte más baja al cual se fija una conducción de salida 102. Hay fijada firmemente una pluralidad de tubos 104 en la placa portatubos superior 88 y en la placa portatubos inferior para proporcionar un trayecto de flujo entre el colector de entrada 90 y el colector de salida 94. De acuerdo con ello, el colector de entrada 90, el espacio o área de flujo de dentro de los tubos 104, y el colector de salida 94 forman la segunda sección, refrigeradora, del recipiente de presión, como se ha descrito anteriormente, para el paso de un refrigerador a través de la misma. El espacio restante dentro del recipiente de presión, es decir, al exterior de los tubos 104, forma la primera sección, o moderadora, del recipiente de presión en donde se dispone el fluido moderador.

La conducción de salida 102 está formada por una pluralidad de elementos tubulares concéntricos conectados, alternadamente, por sus extremos superior e inferior a elementos adyacentes que forman un compensador de dilatación. La conducción de salida termina en un elemento de cuello 106 que está conectado a una conducción de salida 28 del sistema reactor (Fig. 1). El elemento de cuello 106 tiene una parte con brida 108 que se extiende hacia afuera que se ajusta con una parte con brida 110 que se extiende hacia adentro dispuesta en el extremo del cuello de salida 70. Las



301436

dos partes en brida, 108 y 110, se mantienen en relación de contacto por medio de un elemento en anillo 112 fijado por medio de pernos en el extremo exterior del cuello 70, alojándose el elemento en anillo en una ranura formada en la superficie exterior del elemento de cuello 106.

El compensador de dilatación está formado por los elementos tubulares alternados de la conducción de salida 102 que están formados de materiales que tienen coeficientes de dilatación térmica diferentes. Estos elementos tubulares alternados se eligen de forma que se adapten al movimiento diferencial entre el recipiente de presión y las partes internas del reactor. Tal disposición es necesaria para la dilatación diferencial de las diversas componentes. Se observará que el conjunto interno formado por el elemento cilíndrico 86, los tubos 104, y el elemento semiesférico 96 está fijado rígidamente al recipiente de presión tanto en la parte superior como en el fondo, y que debido a los diferentes materiales de construcción y a las diferentes temperaturas de funcionamiento del conjunto y del recipiente de presión, es necesaria tal compensación de dilatación diferencial.

Una pluralidad de elementos 114 de combustible de soporte de material fisionable está suspendida en tubos 104, soportados por la placa portatubos 88. Cada elemento de combustible está dispuesto para proporcionar un espacio de flujo anular entre él y su tubo asociado para permitir el paso a través de allí de un fluido refrigerador y extraer así el calor generado por la reacción en cadena de tipo fi-

301436



sión.

Dispuesto alrededor del exterior del núcleo del reactor, que está formado por los elementos de combustible 114 de dentro de los tubos 104, hay una capa de material 116
5 que refleja los neutrones, tal como grafito, para reflejar los neutrones que se escapan de la periferia del núcleo, hacia dentro del núcleo de una manera bien conocida en la técnica. Hay dispuesta una capa de protección térmica 118 entre la superficie exterior cilíndrica del material refle-
10 jante y la superficie interior del recipiente de presión 66 para proteger el recipiente de presión del calentado y de los efectos dañinos de la radiación producida por el núcleo del reactor, como es también conocido en la técnica. Hay
15 dispuesto material 120 de protección térmica adicional junto a las superficies interiores de las placas portatubos 88 y 98 para protegerlas de una manera similar del calentado y los efectos dañinos de la radiación. Las partes anulares del reflector de neutrones 116 y el material de protección
20 térmica anular 118 están soportadas por el soporte anular 122 en la parte inferior del recipiente de presión. La protección térmica 120 y el reflector de neutrones 116 asociados a las placas portatubos están alineados y soportados por ellas y se introducen y extraen del recipiente de presión del reactor con el conjunto de los colectores de entra
25 da y de salida.

Unos cuellos 124 de entrada del fluido moderador, que se conectan a la conducción de entrada 34 (Fig. 1), están dispuestos a través del cuello de entrada 70 para la intro-

301436



ducción del fluido moderador en el espacio anular formado por el cuello 70 y la conducción de salida 102, el cual fluye luego hacia arriba alrededor del exterior de la conducción de entrada 102 y del exterior del elemento semiesférico 96, y de aquí hasta la superficie superior de la placa portatubos inferior 98. Hay dispuestos unos canales (no ilustrados) a través de la protección térmica 120 y de la capa horizontal de material reflector 116 para permitir al fluido moderador fluir hacia arriba, alrededor de los tubos 104 del núcleo del reactor. Estos tubos pueden estar provistos de material de aislamiento térmico para minimizar la transferencia de calor del fluido refrigerador de allí al fluido moderador. De esta forma, la mayor parte del calor generado por la reacción en cadena se extraerá más por el fluido refrigerador que por el fluido moderador. Esto simplifica el mantener la densidad del fluido moderador dentro de los límites deseados para el control de la reacción en cadena. El fluido moderador pasa luego a través de canales (no ilustrados) de la parte superior del reflector de neutrones 116 y de la protección térmica 120 hasta la parte de debajo de la placa portatubos superior 88, fluyendo hacia arriba a lo largo de la superficie exterior del elemento cilíndrico 86 y cayendo entonces a lo largo de la superficie interior del recipiente de presión 66 hasta cuellos de salida 126 en la tapa inferior 68 del recipiente de presión. Estos cuellos de salida se conectan con la conducción de salida 36 (Fig. 1) para completar el circuito moderador. Se disponen también pasos de flujo refrigerador (no ilustrados) en la parte anular del material 116 reflector de neutrones

301436



y en la protección térmica 118 para facilitar el flujo de una parte del fluido moderador para mantener a estas componentes dentro de los límites de temperatura deseados. Se disponen también conducciones 128 de salida del moderador de tamaño apropiado, en el extremo inferior del cuello de salida 70 para el flujo del fluido moderador a través del espacio anular de la parte inferior del cuello para mantener su temperatura dentro de los límites deseados.

Hay una pluralidad de tubos 130 distribuidos alrededor de la periferia del núcleo y que se extienden desde la placa portatubos superior 88 hasta la abertura 100 del cuello de la cámara colectora 94 de salida. Estos tubos no contienen elementos combustibles, ni están provistos de aislamiento térmico, siendo su objeto suministrar fluido refrigerante, virtualmente no calentado en su paso a través del área del núcleo, al compensador de dilatación de la conducción de salida 102. De esta manera, la temperatura del compensador de dilatación puede controlarse para ajustar de forma satisfactoria la dilatación térmica diferencial entre el recipiente del reactor y las componentes internas.

Al iniciar el funcionamiento, el reactor y los circuitos asociados de moderador y refrigerador son primero llevados a la temperatura de funcionamiento de equilibrio impartiendo calor, alimentado desde una fuente externa apropiada de calor, no ilustrada, a ambos fluidos moderador y refrigerador, y haciendo circular los fluidos a través de circuitos pertinentes por medio de bombas 38 y 30, respecti-



301433

vamente. Cuando el reactor ha alcanzado su temperatura de funcionamiento se introduce vapor moderador adicional en el circuito moderador a través del dispositivo dosificador de entrada 44 por medio de la conducción de entrada 42, incrementando con ello la densidad del vapor dentro de la parte del moderador del núcleo del reactor y llevando el sistema a la presión de funcionamiento deseada. El incremento resultante de la moderación de neutrones prosigue hasta el punto en donde se alcanza la criticidad del reactor, mientras que al mismo tiempo se admite fluido refrigerador en el circuito refrigerador en cantidades apropiadas para mantener la diferencia de presión de fluido deseada entre los circuitos moderador y refrigerador y se inicia así una reacción en cadena de tipo fisión automantenida. En este punto, ya no se requiere la fuente externa de calor. Dado que este sistema reactor está proyectado con objeto de incorporar coeficientes de densidad y reactividad de energía negativos, puede incrementarse fácilmente la energía del reactor introduciendo una cantidad de fluido moderador en el circuito moderador. Al mismo tiempo, se incrementa el flujo a través del circuito refrigerador para mantener la temperatura deseada de salida del refrigerador del reactor. Este proceso se continúa hasta que se alcanza el flujo de refrigerador y la temperatura de salida deseados. Si durante este proceso las presiones del sistema se hicieran excesivas, podría incrementarse el contenido de hidrógeno del fluido moderador de forma pertinente, reduciendo la presión requerida de fluido moderador. El cambiador de calor 32 del circuito refrigerador primario empezará entonces a extraer el calor producido



301436

dentro y transportado a partir del reactor por el refrigerador primario para su conversión en trabajo útil.

5 En este sistema el circuito moderador está concebido como semejante a una esfera de volumen constante. La variación de temperatura o entalpía del vapor de agua que se hace circular en el circuito se mantiene a un valor bajo; de una forma similar, la caída de presión en el circuito se mantiene baja así como la presión absoluta en cualquier parte del circuito se mantiene substancialmente constante. Así, si hay un desequilibrio térmico entre el calor añadido al moderador en el reactor y el calor extraído del moderador en el cambiador de calor, la presión del sistema aumenta o disminuye, pero la cantidad y densidad del vapor de agua en el circuito permanecerá constante. Calentando o enfriando la esfera y su contenido variará la presión y temperatura pero no la densidad del vapor en aquélla. Se sobreentenderá, sin embargo, que la masa de vapor moderador de dentro del circuito moderador podrá variarse según la vida del núcleo del reactor según lo mande la salida de energía y la cantidad de moderación requeridas.

10

15

20

Con referencia a la Fig. 3, puede observarse que para un reactor que requiera una densidad de vapor moderador de aproximadamente 10 libras por pie cúbico y que funcione a una temperatura entre la saturación y 760°F, el circuito moderador podrá funcionar durante un intervalo de presiones, ΔP desde aproximadamente 2900 psia a 3700 psia si se mantiene la entalpía dentro de un intervalo correspondiente de Δh desde aproximadamente 1050 Btu/lb. a 1125 Btu/lb. como se

25



301433

ha indicado por medio de la letra de referencia W. Cuando el núcleo de reactor envejece, requiriéndose por ello un incremento de la moderación, la masa del vapor moderador del circuito se incrementa de forma que la densidad del vapor al final de la vida del núcleo será aproximadamente 20 libras por pie cúbico. Entonces, el vapor moderador, a la vez que es mantenido dentro del mismo intervalo de temperatura que antes, funcionará ahora en un intervalo de presión, $\Delta P'$, de 3200 psia a 4450 psia y un intervalo de entalpías, $\Delta h'$, de 900 Btu/lb. a 960 Btu/lb. como se ha indicado con la letra de referencia Y. Estos valores se han dado como ejemplo, y se tendrá en cuenta que la densidad de vapor de agua requerida estará determinada por el trazado particular del reactor. Sin embargo, deberá observarse que el límite de temperatura superior admisible del vapor moderador en el moderador estará limitado por el límite de utilización del material estructural del reactor, que en este ejemplo se ha supuesto que era aproximadamente 760°F. El límite inferior puede determinarse por la presión de funcionamiento del circuito refrigerador dado que, como ya se ha indicado, por razones de seguridad es deseable mantener el circuito moderador a una presión superior a la del circuito refrigerador.

En el sistema reactor tal como se ha descrito, que utiliza vapor de agua tanto para vapor refrigerador como para vapor moderador, el reactor se proyectará teniendo un coeficiente de reactividad negativo como resultado de los cambios de entalpía del fluido refrigerador. De acuerdo con ello, se vencerán pequeños cambios de la reactividad del núcleo del reactor, dando por resultado un funcionamiento inheren

301438



temente seguro, especialmente en combinación con un coeficiente de energía negativo, con la autorregulación del reactor ajustándose a la demanda de potencia del sistema. Así, cuando se incrementa la demanda de potencia, la temperatura del fluido refrigerador que entra en el núcleo del reactor se reducirá, incrementándose por ello su densidad y el efecto moderador, con un incremento resultante en la salida de potencia del reactor. Recíprocamente, si la demanda de potencia del sistema decrece, la temperatura del fluido refrigerador que vuelve al reactor se elevará, decreciendo su densidad y su efecto moderador y reduciendo la salida de potencia hasta el punto en donde se restablecerá de nuevo el equilibrio en la salida de potencia inferior.

Para ilustrar la realización preferida de la invención, se dan en la Tabla I detalles del reactor descrito anteriormente:

T A B L A I

	Potencia del reactor	750 MW calor
	Potencia neta de la planta	315 MW elec.
20	Rendimiento térmico de la planta (neto)	42 %
	Carga de U-235	1015 kg.
	Carga de U-238	21,545 kg.
	Enriquecimiento del combustible	4.5 %
	Flujo medio de calor	255,000 Btu/hr-ft ²
25	Flujo punta de calor	418,000 Btu/hr-ft ²
	Relación punta respecto a potencia media	1.64

301438



	Temp. superficie revestimiento combustible máx.	1109°F
	Temp. superficie revestimiento combustible al máx. flujo calor	1010°F
5	Número de agujas de combustible	5800
	Longitud de las agujas de combustible (activa)	12 ft.
	Material revestimiento combustible	19-9DL (Aleación inatacable)
	Salida de potencia específica	310 kwe/kg U-235
10	Vida del núcleo	675 días
	Consumo medio de combustible	19,500 MWD/ton
	Fluido refrigerador	Vapor
	Flujo	7,071,500 lb/hr
	Presión	2950 psi
15	Temperatura entrada	710°F
	Temperatura salida	1000°F
	Caída de presión a través del núcleo	100 psi
	Fluido moderador	Vapor de agua
20	Flujo	6,500,000 lb/hr
	Presión al inicio de la vida del núcleo	2160 psi

301436



	Temperatura media al inicio de la vida del núcleo	713°F
	Densidad de vapor al inicio de la vida del núcleo	4.4 lb/ft ³
5	Presión al final de la vida del núcleo	3400 psi
	Temperatura media al final de la vida del núcleo	703°F
10	Densidad de vapor al final de la vida del núcleo	14 lb/ft ³

En este reactor, basado en los datos anteriores, el núcleo activo sería aproximadamente un cilindro circular recto que tuviera un diámetro de alrededor de 8 pies y una altura de 12 pies. Sería deseable incorporar la presente invención en un reactor de tamaño físico más pequeño, pudiendo realizarse esto incrementando el enriquecimiento de U-235 del combustible y/o incrementando la presión del vapor moderador de vapor de agua. Si fueran deseables presiones de vapor de moderación más bajas, podría utilizarse un núcleo que contuviera combustible de un enriquecimiento algo menor y que tuviera un mayor tamaño, o podría trabajarse con un núcleo de tamaño comparable pero que tuviera un enriquecimiento más alto en U-235 a presiones de vapor de moderación más bajas.

301436



N O T A

Se declaran de novedad y propiedad para España, sus territorios y plazas de soberanía, las siguientes:

R E I V I N D I C A C I O N E S

- 5 1.- Reactor nuclear, del tipo que comprende un recipiente de presión cilíndrico alargado verticalmente que tiene un extremo superior abierto, una tapa de cierre ajustable con el extremo superior abierto del recipiente de presión y dispuesta para cerrar el mismo, teniendo dicho recipiente de presión una tapa de cierre inferior, estando dividido dicho recipiente de presión en dos secciones separadas y distintas para el paso de dos flúidos separados y distintos a través de ellas, una pluralidad de elementos de combustible de soporte de material fisiónable dispuesta en el recipiente de presión como núcleo para sufrir una reacción en cadena
- 10
- 15 de tipo fisión automantenida, medios para hacer pasar un flúido moderador de soporte de hidrógeno a través de la primera sección, y medios para hacer pasar un flúido de transferencia de calor a través de la segunda sección, caracterizado porque la primera sección se dispone de forma substancial centralmente en el recipiente de presión y la segunda sección se extiende a través de aquélla pero está separada y es distinta de la primera sección, estando dispuestos dichos elementos de combustible en la segunda sección.
- 20
- 25 2.- Reactor nuclear según la reivindicación 1, caracterizado porque se dispone una placa portatubos superior en la parte superior del recipiente de presión y se dispone una



3 1436

5 placa portatubos inferior en la parte inferior del recipiente de presión formando la primera sección y una multiplicidad de tubos se extienden entre las placas portatubos superior e inferior y están conectados a través de las mismas y forman allí la segunda sección.

3.- Reactor nuclear según la reivindicación 2, caracterizado porque los elementos de combustible están dispuestos en el centro de los tubos para formar dentro de ellos un espacio de flujo anular.

10 4.- Reactor nuclear según las reivindicaciones 2 ó 3, caracterizado porque la placa portatubos superior está suspendida del extremo superior abierto del recipiente de presión y coopera con éste para formar una cámara colectora de entrada para la segunda sección.

15 5.- Reactor nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque la placa portatubos inferior forma la parte superior de una cámara colectora de salida para la segunda sección.

20 6.- Reactor nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado porque la placa portatubos inferior está soportada por un cuello de salida que se extiende a través de la tapa de cierre inferior del recipiente de presión.

25 7.- Reactor nuclear según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, caracterizado porque los elementos de combustible están suspendidos en los tubos a partir de la placa portatubos superior.

301436 18 JUN 1964

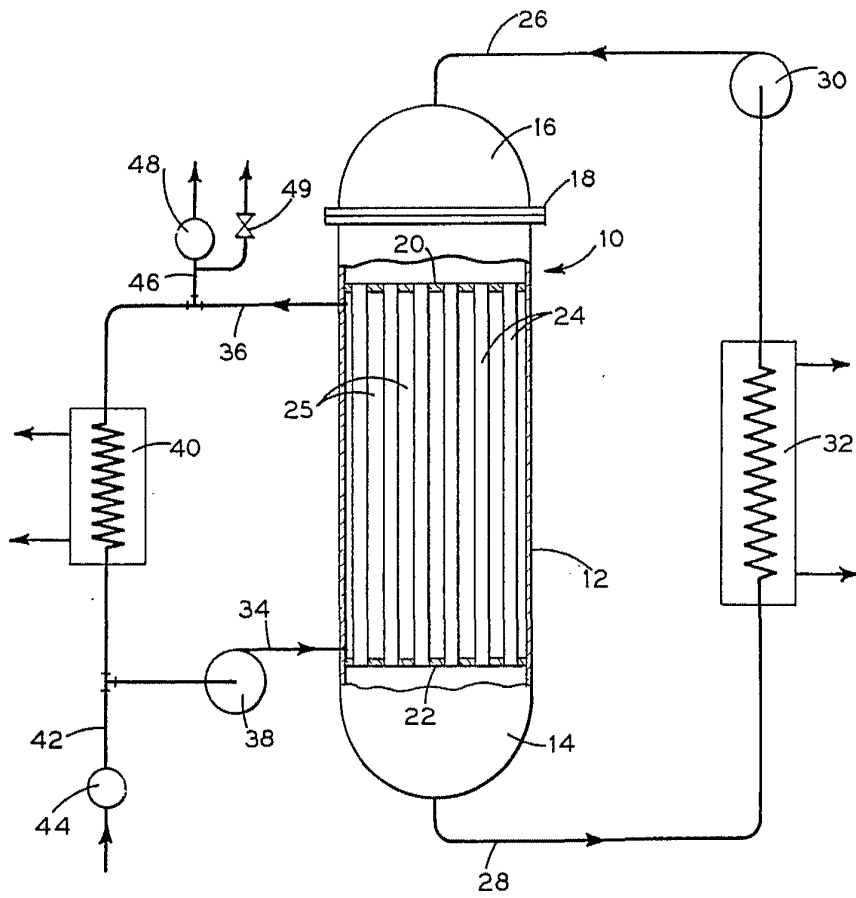


- 8.- Reactor nuclear según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque hay un reflector separado de la superficie interior del recipiente de presión y que rodea el núcleo. - - - - -
- 5. 9.- Reactor nuclear según la reivindicación 8, caracterizado porque el reflector se une con la tapa inferior del recipiente de presión en una relación estanca al fluido. -
- 10. 10.- Reactor nuclear según las reivindicaciones 8 y 9, caracterizado porque el fluido moderador se introduce en la primera sección en el interior del reflector y se extrae de la primera sección en el exterior del reflector. - - - -
- 15. 11.- Reactor nuclear según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la entrada y la salida del fluido moderador están dispuestas en la tapa inferior del recipiente de presión. - - - - -
- 20. 12.- "REACTOR NUCLEAR". - - - - -
 Todo ello conforme se describe y reivindica en la presente memoria que consta de veintinueve hojas, foliadas y mecanografiadas por una sola de sus caras, y de tres láminas de dibujos que la ilustran.

BARCELONA, 18 JUN. 1964



FIG. 1



BARCELONA, 18 JUN 1964

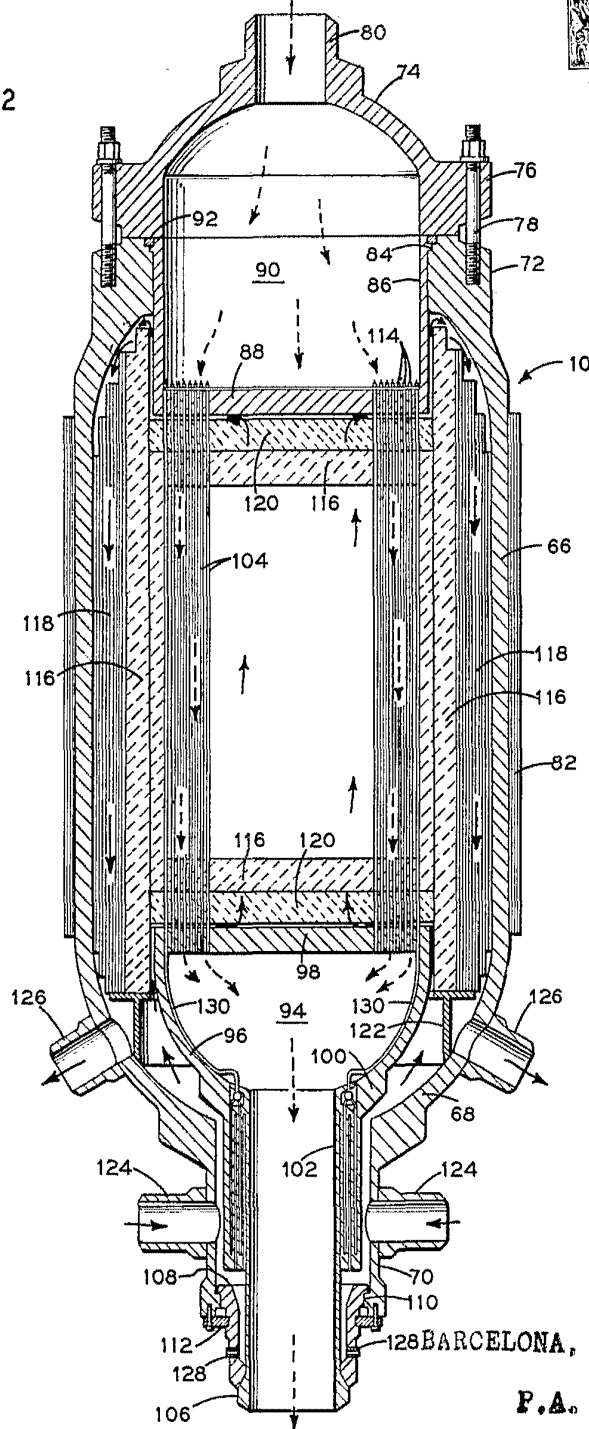
P.A.

M. CURELL SUÑER

2 1436



FIG. 2



BARCELONA, 18 JUN 1964

P.A.

M. Curell Suñol
M. CURELL SUÑOL



371436

FIG. 3

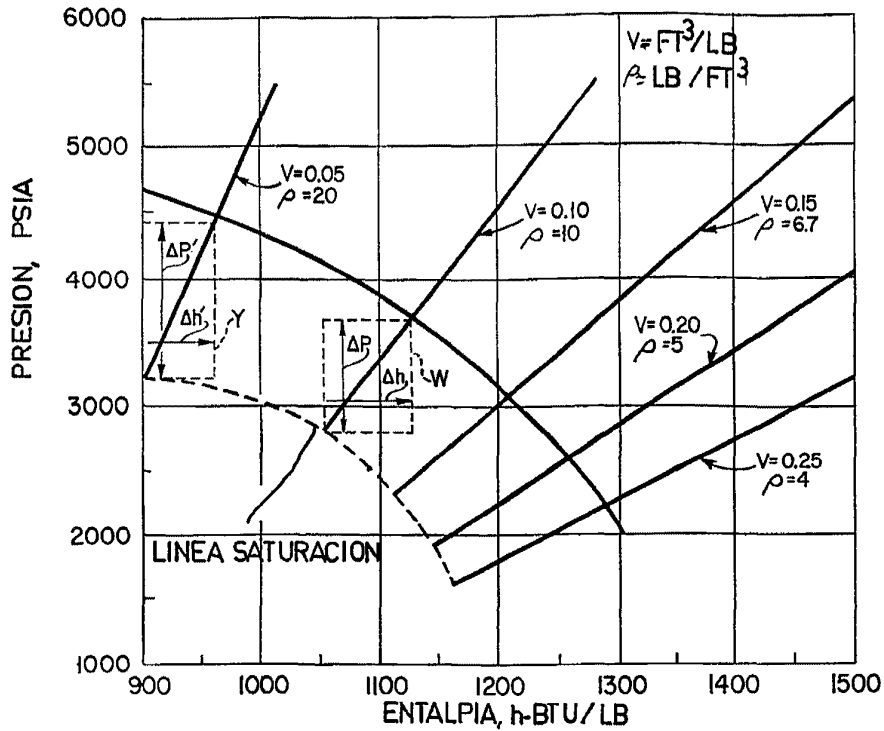
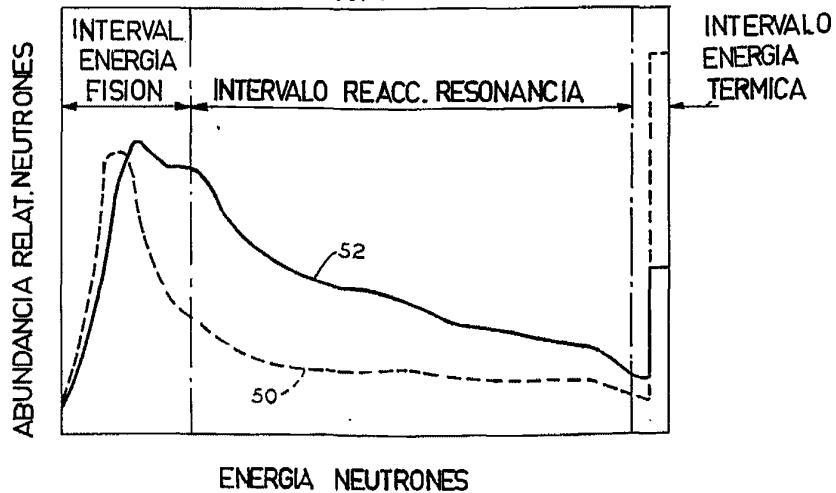


FIG. 4



BARCELONA, 18 JUN 1964

P.A.

M. CORELL SUÑOL