



288273

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

PATENTE DE INVENCION

por VEINTE años en España, por "UN REACTOR NUCLEAR  
Y METODO PARA SU ACCIONAMIENTO"

a favor de

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY

domiciliado en 161 East 42nd Street, New York 17,

N.Y. Estados Unidos.

PRIORIDAD: de las solicitudes de patentes estadouni  
denses No. 197.060 y No. 197.082, ambas del  
23 de Mayo de 1.962.

INVENTORES: Donald Carroll Schluderberg y John Walker  
Ryon, ambos de nacionalidad estadounidense.

288273



5 El presente invento se refiere de un modo general a un reactor nuclear y más particularmente, a un método para el accionamiento de tal reactor, en el cual se utiliza un vapor conteniendo hidrógeno para moderar, compensar y refrigerar en forma variable a la reacción en cadena.

10 En todo reactor nuclear debe disponerse una cantidad de material susceptible de fisión como un núcleo con suficiente masa y configuración debida para establecer y mantener una reacción en cadena del tipo de fisión. Además, en tipos de reactores no generadores es necesario proveer material susceptible de fisión en el núcleo, en exceso de la cantidad necesaria, solamente para establecer la reacción en cadena a fin de mantener la reacción durante un lapso de tiempo adecuado para la práctica. Tal exceso de combustible es necesario para compensar el material susceptible de fisión que es consumido a través de toda la vida útil del reactor y para vencer el efecto de la acumulación de materiales venenosos absorbedores de neutrones, generados por el proceso de fisión. Como resultado de la inclusión de este exceso de combustible dentro del núcleo, se produce mayor cantidad de neutrones en cualquier momento dado de la que es necesaria para mantener la reacción en cadena del tipo de fisión de mantenimiento propio. De acuerdo a ello, es necesario gobernar este número excedente de neutrones, ya sea mediante su captación en forma no productiva permitiéndoles escapar del reactor, o mediante su captación en material nuclear fértil de manera capaz de generar o producir combustible nuclear adicional.

25 En los reactores del arte anterior, se ha logrado la absorción no productiva del exceso de neutrones mediante la introducción en el reactor de material venenoso de núcleo de neutrones, es decir, un material que absorbe neutrones. Los materiales venenosos para neutrones, tales como el hafnio o el boro, han sido introducidos

30



288273

5 en reactores bajo la forma de varillas móviles de regulación, o en un grado menos frecuente, han sido introducidos en la forma de material venenoso, ya sea, incorporados constructivamente en forma permanente en el material estructural del núcleo del reactor o en forma soluble mezclados con el refrigerante para el reactor, habiendo sido llevados en circulación a través del núcleo. El uso de tales varillas de regulación dentro de un reactor, requiere la utilización de un complicado equipo mecánico para gobernar y regular su movimiento hacia el interior y el exterior del núcleo del reactor. Estas varillas de regulación aumentan el costo y la complejidad del reactor — debido a esta naturaleza complicada. Además, la utilización de tales varillas móviles de regulación dentro de un núcleo de reacción — origina el efecto indeseable de causar la formación de cumbres en el flujo dentro del núcleo lo que se debe en parte, al hecho de que el material venenoso de la varilla de regulación está colocado en forma móvil dentro del núcleo en el trayecto de los neutrones generados — por la reacción en cadena dando así por resultado cumbres de temperatura y del flujo térmico dentro del núcleo. Como quiera que la temperatura máxima de superficie de los elementos combustibles en el núcleo debe ser calculada tomando debida consideración a esta formación de cumbres, los reactores son diseñados necesariamente con temperaturas de superficie de término medio y/o con un flujo térmico de término medio a través de todo el núcleo inferiores de lo que sería posible de otra manera, puesto que es necesario mantener un máximo de la superficie cubierta de combustible a una temperatura que se mantenga dentro de límites de uso seguros.

20 Como es bien conocido en el arte, el procedimiento para la fisión de átomos de combustible nuclear con el fin de producir una reacción de cadena, genera neutrones que poseen una amplia gama de elevadas velocidades. También es conocido que, generalmente hablan-

205273



5 do, la reacción en cadena se promueve del mejor modo por medio de —  
neutrones más lentos o térmicos antes bien que mediante los neutro—  
nes rápidos generados por someter a un átomo a fisión. Ello resulta  
debido al hecho de que los neutrones térmicos poseen una probabili—  
dad mayor de producir la fisión de nuevos átomos de lo que efectúan  
10 los neutrones rápidos que tienden a escapar completamente fuera del  
núcleo del reactor. Es por lo tanto necesario moderar o retardar los  
neutrones generados por la reacción en cadena de manera de aumentar  
el número de neutrones térmicos disponibles para promover y mantener  
15 ulteriormente la reacción en cadena. En los reactores del arte an—  
teriormente conocido, tal moderación se lleva a cabo por el uso de —  
materiales tales como grafito, óxido de berilio, agua pesada u ordi—  
naria distribuida a través del núcleo.

20 En estos reactores del arte anterior, ha sido necesario  
usar sistemas o aparatos separados y diferentes con el fin de moderar  
los neutrones creados por la reacción en cadena y para gobernar la —  
reacción en cadena. Ello ha sido necesario puesto que no ha sido po—  
sible con anterioridad, tanto moderar como gobernar satisfactoriamen—  
te al reactor que utiliza al mismo aparato. Especialmente han sido  
necesarias varillas de regulación a fin de asegurar un método seguro,  
confiable de puesta en función, de hacer funcionar y de poner fuera  
de función al reactor. Está reconocido que si pudiese llevarse a ca—  
bo un método seguro y confiable para suministrar tal regulación, pres—  
cindiendo del uso de varillas de regulación, podría reducirse a un —  
25 mínimo la formación de cumbres de flujo arriba comentado, haciendo —  
de este modo posible la utilización de una temperatura de núcleo de  
un término medio más elevado con un aumento consiguiente en la tem—  
peratura final del medio de refrigeración o un aumento en la emisión  
de potencia para la misma temperatura final, dando ambos objetos por  
30 resultado eficacias perfeccionadas del ciclo.

288273



Ya ha llegado a conocerse un medio tanto para regular —  
como para moderar en forma variable un reactor nuclear para producir  
una reacción de cadena de mantenimiento por sí sola mediante la in-  
troducción de un vapor moderador conteniendo hidrógeno en el núcleo  
5 y la regulación de la reacción por variación de la concentración del  
constituyente de hidrógeno en el núcleo. Ello se lleva a cabo, tal  
como ha sido expuesto, ya sea mediante la variación de la concentra-  
ción del hidrógeno dentro del vapor moderador o variando la densidad  
del vapor moderador dentro del núcleo del reactor con una variación  
10 resultante en la concentración del hidrógeno en él. En el método re-  
velado anteriormente es necesario, a fin de lograr una estabilidad de  
la operación, utilizar circuitos separados para el fluido refrigeran-  
te y para el vapor moderador. En aquella época, no era conocido en  
qué forma podía lograrse el coeficiente negativo de temperatura de -  
15 reactividad necesario para alcanzar una estabilidad adecuada del reac-  
tor y del sistema si se utilizaba un sólo fluido tanto para el refri-  
gerante como para el vapor moderador.

Ha sido constatado en el presente invento que tal utili-  
zación de un sólo fluido tanto para refrigerar como para moderar un  
20 reactor, es posible si se introduce una realimentación térmica en el  
vapor refrigerante y moderador. La realimentación térmica provee al  
reactor de un coeficiente negativo de temperatura de reactividad, de  
modo que al producirse ligeros trastornos en la reactividad, el reac-  
tor es autocompensador. Adicionalmente, mediante el uso de tal rea-  
25 limentación térmica, se encuentra que el reactor puede volverse auto-  
rregulador, de modo que al producirse cambios en el rendimiento del  
sistema, que requieren un cambio en la reactividad, el reactor bus-  
cará automáticamente el nuevo nivel de rendimiento de potencia.

De acuerdo con ello, el presente invento revela un méto-  
30 do para regular, moderar y refrigerar en forma variable un reactor -

288273



1963

5

nuclear que posee un número múltiple de elementos combustibles portadores de material expuesto a fisión, dispuestos a manera de un núcleo para pasar por una reacción en cadena del tipo de fisión, de mantenimiento propio, que comprende las etapas de introducir un vapor moderante y refrigerante conteniendo hidrógeno, en dicho núcleo y regulando la reacción en cadena del tipo a fisión, mediante la variación de la concentración de hidrógeno en dicho núcleo.

10

Adicionalmente, la concentración de hidrógeno en el núcleo puede ser variada o bien variando la concentración de hidrógeno en el vapor y/o variando la densidad del vapor dentro del núcleo.

15

Además, el método comprende la etapa de introducir el vapor moderador y refrigerador conteniendo hidrógeno, en un primer grupo de elementos de combustible dentro del núcleo mediante lo cual el vapor será calentado a una densidad moderadora, haciendo pasar luego al vapor a la densidad moderante alrededor de la totalidad de los elementos de combustible en el núcleo para moderar la reacción en cadena, y luego haciendo pasar al vapor a través de un segundo grupo de elementos de combustible para ser sometido a calefacción ulterior.

20

Adicionalmente, el presente invento se refiere a un reactor nuclear que comprende un recipiente a presión que contiene una pluralidad de elementos de combustible portadores de material fisible dispuestos en él para pasar por una reacción en cadena de un tipo de fisión mantenido por sí sólo, comprendiendo los elementos combustibles un primer grupo y un segundo grupo mediante lo cual el primer grupo está conectado en serie en un sentido igual al sentido del flujo entre una admisión al recipiente de presión y un espacio moderador dispuesto alrededor tanto del primer grupo y del segundo grupo de elementos de combustible y siendo el segundo grupo de elementos de combustible conectado en serie entre el espacio moderador y la emisión del recipiente a presión, estando el primer grupo de elementos combustibles -

30

288273



suspendido dentro de tubos envolventes dispuestos para separar a los elementos de combustible respecto del espacio moderador y soportados de la porción superior del recipiente de presión y terminado en la porción inferior del espacio moderador, y estando el segundo grupo de elementos de combustible, suspendido en un segundo grupo de tubos envolventes que están soportados desde la porción inferior del recipiente a presión y que terminan en la porción superior del espacio moderador.

En los dibujos anexos a la presente memoria:

La Figura 1 es una ilustración esquemática del sistema reactor según el presente invento;

La Figura 2 es una sección vertical de una disposición específica del reactor según el presente invento;

La Figura 3 es una porción de la vista seccional transversal de la disposición específica del reactor en el presente invento, tomada a lo largo de las líneas 3-3 de la figura 2;

La Figura 4 es una vista en planta ampliada de un sólo elemento combustible tomada desde la vista en sección transversal del reactor tal como se halla representado en la figura 3;

La Figura 5 es una vista ampliada de una parte del núcleo del reactor ilustrado en la figura 2;

La Figura 6 es una vista seccional transversal de una parte de un elemento combustible que representa los pasos primero, segundo y tercero del reactor y tomada a lo largo de la línea 6-6 de la Figura 5;

La Figura 7 es una vista seccional transversal ampliada de una porción del elemento combustible dentro de un tubo envolvente del tercer paso;

La Figura 8 es una vista seccional transversal ampliada de una porción de un elemento combustible dentro de un tubo envolven



288273

te del primer paso;

La Figura 9 es una vista seccional transversal ampliada de una porción de un elemento combustible en un tubo envolvente alternativo del tercer paso;

5 La Figura 10 es una representación gráfica de abundancia de neutrones contra la energía de neutrones;

La Figura 11 es una representación gráfica de densidad del vapor correspondiente a varias presiones y entalpías;

10 La Figura 12 es una representación gráfica de la densidad relativa de la potencia a través de la sección transversal del reactor del núcleo; y

La Figura 13 es una ilustración esquemática de un sistema alternativo de reactor que utiliza el presente invento.

15 Una ilustración esquemática de un sistema de reactor según el presente invento se halla representada en la Figura 1, donde un reactor 20 está provisto de un recipiente 22 adecuado para retener presión, cuyo interior está dividido en tres pasos separados y distintos. Estos pasos incluyen un primer paso 24 a través de una porción del reactor, un paso segundo o moderador 26, y un tercer paso -  
20 28 a través de la porción restante del reactor tal como será descrito en forma más completa. Elementos combustibles portadores de material fisible, de un tipo bien conocido en el arte, se hallan dispuestos dentro del recipiente de presión 22 del reactor para formar un núcleo con una masa crítica para pasar por una reacción en cadena del tipo de fisión autosustentadora, al ser moderada, conforme será descrito. Una porción de los elementos combustibles están dispuestos -  
25 dentro del núcleo del reactor en el primer paso 24, y la porción restante se halla dispuesta en el tercer paso 28 del núcleo. Estos pasos están dispuestos de modo tal que un fluido que es tanto moderador como refrigerante, suministrado al reactor a través de un conduc  
30



5 to de admisión 30, fluye por el primer paso 24, enfriando a los elementos moderadores 26. El refrigerante-moderador pasa luego hacia arriba a través del espacio moderador 26 alrededor tanto de los tubos del primer paso como de los tubos del tercer paso y entra en el extremo superior del tercer paso 28, fluyendo hacia abajo a través del mismo y fuera del reactor por la tubería de emisión 32.

10 El fluido moderador-refrigerador calentado pasa luego por los intercambiadores térmicos 34 y 36 cediendo calor a un fluido secundario de transferencia térmica en una relación de intercambio térmico indirecta, siendo este último fluido transportado a un lugar de uso, no representado. Estos intercambiadores de calor pueden operar en serie o en paralelo para impartir calor al fluido secundario, o uno de ellos podrá servir como sobrecalentador 34 y el otro como un re-  
15 calentador 36 para el sistema secundario de transferencia térmica de un modo bien conocido en el arte. Al abandonar estos intercambiadores térmicos 34 y 36, el fluido moderador-refrigerador entra en la admisión de la bomba 40 que descarga al fluido a través de la línea 42 al intercambiador térmico 46 que actúa a manera de una caldera o de un  
20 generador de vapor para el fluido secundario. Al abandonar al intercambiador de calor 46, el fluido refrigerante-moderador vuelve al reactor por vía de la cañería de admisión 30.

25 Un orificio 48 está situado en la tubería de descarga 42 de la bomba para producir una ligera caída de presión en el fluido moderador-refrigerador que fluye por la misma. A cualquier lado de este orificio 48, se efectúa una conexión por las tuberías 50 y 52 a una cámara de onda 54, cuyo objeto será descrito más en detalle a continuación.

30 Una tubería de suministro de fluido moderador-refrigerante 56 está provista en el sistema reactor. Está equipada con un dispositivo de medición 58 y se abre a la tubería 38 entrando a la bomba 40. Una tubería de descarga 60 que posee un dispositivo de medición

288273



5 62 y una válvula de relevo de presión 63 también está prevista y se encuentra en comunicación con la línea de descarga 32. Los dispositivos de medición 58 y 62 pueden ser de cualquier tipo bien conocido en el arte y pueden incluir válvulas de medición o bombas de desplazamiento positivo, siendo el requisito primordial de cada una el que sean capaces de transferir cantidades exactas, predeterminadas, de fluido refrigerante-moderador hacia o fuera del circuito del reactor, como sea necesario, para permitir una variación estrechamente regulada de la concentración o del inventario del fluido moderador-refrigerante dentro del circuito del reactor. La válvula de relevo de presión 63 puede ser bien sea automática o susceptible de accionamiento selectivo conforme lo exijan las condiciones para permitir el escape de fluido desde el circuito del reactor a un receptor a presión más baja (no representado), permitiendo de este modo que la presión dentro del circuito del reactor sea prontamente reducida y disminuyendo de este modo la concentración o el inventario del fluido moderador-refrigerante dentro del reactor a fin de terminar la reacción en cadena.

10 15 El fluido moderador-refrigerante puede ser cualquier vapor que contenga hidrógeno incluyendo, pero sin estar limitado a ellos, hidrocarburos vaporosos, gas de hidrógeno puro, vapor o mezclas de cualesquiera de éstos con gases inertes. Por razones que serán comentadas más adelante, el fluido moderador-refrigerante preferido y el que será motivo de comentarios en una medida más extensa más abajo, es vapor proporcionado a presiones supercríticas.

20 25 Es conocido que en un reactor nuclear, cuando el material combustible es sometido a la fisión, son generados neutrones que poseen una amplia gama de energías. Conforme se muestra en la Figura 10, existe una variación relativamente amplia en la abundancia relativa en neutrones producida con respecto a las energías comprendidas por ellos. Los neutrones generados por la fisión de un átomo poseen un

30

- 11 -  
288273



elevado nivel de energía y a medida que se desplazan hacia fuera del átomo sometido a fisión, son moderados o retardados por los varios materiales dentro del reactor, incluyendo tanto el material estructural como asimismo el material moderador. A medida que estos neutrones son retardados, pasan por una gama de energía de reacción de resonancia, en la que material fértil puede captar los neutrones y crear de este modo material fisible adicional a partir de material fértil, como es bien del conocimiento del arte. A energías neutrónicas más bajas, es decir, por debajo de la gama de reacción de resonancia, se encuentra la gama de energía térmica en la cual la mayoría del material fisible reacciona con los neutrones allí presentes para pasar por una reacción de fisión. Ha sido hallado que la relativa abundancia de neutrones dentro de la gama de reacciones de resonancia y dentro de la gama de energía térmica puede ser alterada variando la cantidad de moderación a la cual se somete a los neutrones. Así, si los neutrones son sometidos a una cantidad de moderación relativamente grande, la relativa abundancia de neutrones dentro de las varias gamas de energía, se aproximará a la representada por trazos de líneas 65 en la Figura 10. Como puede observarse, la abundancia de neutrones dentro de la gama de energía térmica es relativamente baja. Inversamente, si la cantidad de moderación fuere relativamente baja, la abundancia de neutrones dentro de las varias gamas de energía se aproximará a la indicada por la línea de trazos 64. De acuerdo con ello, durante la operación inicial de un reactor, mientras que la cantidad de material combustible en el núcleo es relativamente elevada y la cantidad de venenos de neutrones contenida en él es relativamente baja, la reacción puede llevarse adelante con menor moderación de los neutrones puesto que son necesarios menos neutrones en la gama de energía térmica. Sin embargo, después de períodos de funcionamiento prolongados, la cantidad de combustible dentro del núcleo habrá disminuído substancialmente

288273



5 con un aumento correspondiente en el tenor de veneno de neutrones del producto de fisión dentro del núcleo. En esta situación, se requiere una moderación mayor de los neutrones puesto que se requiere mayor cantidad de neutrones dentro de la gama de energía térmica para mantener la reacción de cadena del tipo de fisión. Como resultado de ello, el número relativo de neutrones disponible dentro de la gama de reacciones de resonancia, para reaccionar con el material fértil dentro del núcleo.

10 Podrá observarse así que puede aumentarse la eficacia de la utilización de neutrones dentro de un reactor durante toda la vida útil del núcleo mediante el uso combinado de un material nuclear fértil con el material nuclear fisible en el núcleo del reactor en combinación con el contralor de la moderación de neutrones. Esta economía queda más a la vista cuando se tiene presente que si no se utilizara tal material fértil en un núcleo de reactor, la cantidad de neutrones vuelta disponible para la fisión del combustible del reactor, es decir, en la gama de energía térmica, podría aumentarse sólo cambiando el número de los neutrones absorbidos en forma no productiva por venenos de regulación dentro del núcleo, o variando el número de neutrones a que se les permite escapar desde la periferia del núcleo. En cualquier caso, la utilización de los neutrones generada por la reacción en cadena sería menor de la óptima y la eficacia total sería menor que el máximo capaz de ser alcanzado al usarse las enseñanzas de este invento.

25 Ha sido encontrado que un reactor del presente invento puede ser accionado y que su rendimiento puede ser gobernado mediante la utilización de un vapor que contiene hidrógeno. Mientras que gases, por ejemplo hidrógeno puro, podrían ser usados como el moderador-refrigerador del presente invento, la presión requerida para alcanzar la densidad requerida dentro del núcleo del reactor para proporcionar

30

288273



una moderación suficiente para mantener una reacción en cadena sobrepasaría limitaciones estructurales practicables. Además, el uso de hidrógeno puro no proporcionaría las características deseadas de transferencia térmica para permitir la construcción de un reactor eficaz para la producción de potencia. Sin embargo, ha sido constatado, que vapor de alta presión y de alta temperatura cumple los requisitos previos para un moderador-refrigerador con tenor en hidrógeno. Vapor que posee una temperatura del orden de 371° Centígrados y una presión de aproximadamente 239 Kgs. por cm<sup>2</sup> proporcionará una concentración suficiente de hidrógeno dentro del núcleo del reactor para mantener en condiciones satisfactorias una cadena de reacción, a la vez que proporciona las características deseadas de transferencia de calor y de transporte. Variando la densidad del vapor dentro del núcleo del reactor, cambiando su temperatura, su presión, o diluyendo el vapor con un vapor no moderador, o por cualquier combinación de estas características, puede hacerse variar en forma susceptible de contralor, la moderación de la cadena de reacción, y por lo tanto la reactividad de un reactor. De acuerdo con ello, es posible la moderación variable efectiva del reactor tal como ha quedado comentada más arriba con respecto a la Figura 10, utilizando este método de moderación.

Conforme ha sido anotado precedentemente, en reactores del arte anterior, han sido necesarias varillas de regulación a fin de proporcionar la regulación de seguridad y de puesta fuera de función de un reactor. Esta regulación de puesta fuera de función de seguridad para un reactor nuclear de acuerdo al presente invento está provista por la válvula de relevo de presión 63 más arriba comentada. Puesto que un reactor no funcionará salvo que haya moderación suficiente para permitir la continuación de la reacción en cadena, al disminuirse repentinamente la concentración del moderador-refrigerador dentro del reactor, el reactor, se volverá prontamente subcrítico y se pondrá

288273



fuera de funcionamiento. Tal disminución en la concentración del moderador-refrigerador dentro del reactor, es lograda por la apertura de la válvula de relevo de presión 63 que deja escapar al fluido del reactor a un receptor de presión inferior (no ilustrado). Este modo de accionamiento es posible con el reactor del presente invento debido al hecho de que el fluido moderador-refrigerador se encuentra en un estado de vapor y por lo tanto está caracterizado por cambios significativos de la densidad para cambios de presión relativamente pequeños. En el caso de que el moderador-refrigerador sea un líquido, como por ejemplo agua sometida a presión, el cambio de la presión que se obtendría -- abriendo una válvula de relevo de presión no produciría ninguna alteración suficiente en la densidad del moderador para proporcionar una regulación eficaz, por cuanto agua en el estado líquido es casi incompresible. Tampoco es posible tal regulación en reactores a agua en ebullición, puesto que el cambio en la presión efectuado por el escape del fluido no haría decrecer la densidad del fluido moderador, sino que -- causaría solamente la evaporación instantánea al estado de vapor de una porción del líquido que se halla presente en ebullición, dejando al líquido restante en el núcleo para moderar la reacción en cadena. -- Al iniciar el funcionamiento de un reactor según el presente invento, el sistema del reactor es llevado primeramente a una temperatura funcional de equilibrio, haciendo circular a través del mismo una pequeña cantidad de vapor a la vez que se le suministra continuamente calor -- desde una fuente de calor externa (no representada). Cuando el sistema del reactor haya llegado a una temperatura operante inicial, se introduce vapor adicional en el circuito a través del dispositivo de medidor de admisión 58 por medio de la tubería de admisión 56 aumentando -- con ello la densidad del vapor dentro del núcleo del reactor, aumentando la moderación de los neutrones al grado donde se alcanza el punto -- crítico del reactor y se inicia una reacción de cadena del tipo de fi-

5

10

15

20

25

30

28273



5 sión autosustentada. La potencia del reactor es luego elevada lentamente hasta un punto donde ya no se requiere la fuente externa de calor. Estos y subsiguientes aumentos de potencia son alcanzados introduciendo vapor adicional al interior del sistema y/o aumentando la concentración de átomos de hidrógeno en el vapor.

10 Los intercambiadores de calor 34, 36 y 46 en el sistema reactor comienzan en el interin su funcionamiento, cediendo el fluido primario o moderador-refrigerador calor producido dentro del reactor a un fluido secundario para la conversión a trabajos útiles, como por ejemplo, fuerza motriz, o para algún otro resultado final útil.

15 Haciendo referencia a la Figura 11 podrá observarse que para un reactor que es un sistema de volúmen substancialmente constante que requiera una densidad  $\rho$  del vapor moderador de aproximadamente 160,2 Kgs. por  $\text{cm}^3$  y operando dentro de una gama de temperaturas entre su temperatura de saturación y 404°Centígrados, la presión del moderador-refrigerador cae dentro de una gama de presiones,  $\Delta P$ , que se extiende desde aproximadamente 196 hasta 260 k cal/kg. siempre que las entalpias sean mantenidas dentro de una correspondiente gama de  $\Delta h$  desde aproximadamente 588 hasta 630 k cal/kg. Las correlaciones para estas condiciones están indicadas generalmente por la letra de referencia W. A medida que envejece el reactor, la cantidad de moderación necesaria para sustentar la reacción en cadena, aumenta y la masa del vapor moderador en el circuito sería aumentada de manera que la densidad del vapor al final de la vida del núcleo importaría aproximadamente 320  $\text{kgs}/\text{m}^3$ . En este momento el vapor moderador-refrigerador, al ser mantenido dentro de la misma gama de temperaturas como indicado arriba, sería accionado a través de una gama de presiones  $\Delta P$ , de 225 a 312  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , con una correspondiente gama de entalpias  $h$  de 504 hasta 507 k cal/kg. como indicado por la letra de referencia Y. Si bien estos valores han sido dados a título de ejemplos, se

20

25

30

288273



apreciará que la densidad de vapor o de otro fluido moderador-refrigerante será dictada por el diseño particular del reactor en cuestión. Sin embargo, debiera tenerse presente que el límite de temperatura superior permisible del vapor moderador-refrigerador en el espacio moderador 26 importará aproximadamente 404°Centígrados, dependiendo de la cantidad de calor que será transferida al vapor moderador-refrigerador por los elementos de combustible en el tercer paso y por la temperatura final de emisión deseada. Tal temperatura final de emisión sería determinada, naturalmente, por las limitaciones de temperatura del material estructural de los varios componentes del sistema. El límite de temperatura inferior ha sido indicado como saturación debido al requisito de que el vapor esté contenido solamente en el circuito del reactor. Sin embargo, el límite inferior del vapor moderador-refrigerador puede ser dictado por el deseo de mantener al moderador-refrigerador dentro del reactor en la gama de presiones supercríticas, puesto que al operar a aproximadamente 246 kg/cm<sup>2</sup>, el vapor en la gama de temperaturas de 365°Centígrados hasta 565°Centígrados puede absorber 392 kcal/kg. disponibles para la transferencia en el intercambiador térmico en contraste a la capacidad de transferencia de calor de 224 kcal/Kg de vapor al operarse a solo 196 Kgs/cm<sup>2</sup>. Como resultado de esta capacidad de transferencia aumentada de calor por unidad de peso de vapor, cada uno de los componentes del sistema puede ser realizado de un tamaño correspondientemente menor para un rendimiento de potencia correspondiente.

Cuando se desea operar con el vapor moderador-refrigerador en la gama supercrítica durante toda la vida útil del reactor, puede hacerse necesario, a fin de alcanzar una vida de servicio satisfactoria de los elementos de combustible nuclear, mezclar al vapor moderador-refrigerador con un vapor compatible que tenga poco o ningún efecto moderador sobre la reacción de cadena. Tal vapor o gas diluyente -



288273

podría ser cualquier substancia que sea compatible con el vapor moderador-refrigerador y produce los efectos termodinámicos deseados, como por ejemplo, agua pesada,  $D_2O$ , que tiene un efecto moderador considerablemente menor que el de agua común. Mediante la dilución del vapor moderador-refrigerador puede alcanzarse una vida de servicio satisfactoria de los elementos de combustible nucleares variando la presión del sistema entre 253 y 274 Kgs./cm<sup>2</sup> quedando así dentro de la gama supercrítica. Sin embargo, si la densidad del moderador-refrigerador fuera variada durante la vida entera del núcleo mediante la variación de la presión y temperatura solamente y no por dilución como expuesto precedentemente, sería necesario utilizar una gama más amplia de presiones, por ejemplo entre 196 y 274 kgs/cm<sup>2</sup> a fin de obtener una vida útil satisfactoria de los elementos combustibles, reduciendo así la capacidad de transporte de calor del vapor moderador-refrigerador tal como ha sido expuesto más arriba. Se derivan beneficios adicionales de mantener al vapor moderador-refrigerador en la gama de presiones supercríticas de manera que las características de transferencia de calor en la gama de temperaturas encontrada dentro de los elementos combustibles del primer paso son casi las mismas que para el agua. De acuerdo a ello, el material estructural en los elementos combustibles del primer paso pueden ser mantenidas a una temperatura bastante baja para utilizar material que posee una reducida sección transversal de absorción de neutrones, reduciendo de esta manera la cantidad de acero inoxidable absorbedor de neutrones requerida en el núcleo.

En un reactor nuclear es deseable proporcionar un coeficiente negativo de temperatura de reactividad dependiente de la temperatura del moderador-refrigerador de modo que el reactor tendrá la tendencia de ser autorregulador, ajustando nivel de reactividad a la demanda de emisión de potencia del sistema y reduciendo a un mínimo las on

288273



5 das de reactividad generadas dentro del mismo reactor. Teniendo en -  
consideración el hecho de que el circuito del reactor es un sistema -  
de volumen substancialmente constante, en tanto aumenta la demanda de  
potencia del sistema, reduciendo la temperatura del vapor que retorna  
al reactor por la cañería de admisión 30, el vapor moderador-refrige-  
rador tendrá una densidad más elevada al entrar en el reactor, dando  
por resultado una moderación mayor de los neutrones y un aumento en -  
la emisión de potencia del reactor. Inversamente, si la demanda de -  
emisión de potencia del sistema llegare a decrecer, la temperatura -  
10 del moderador-refrigerador al entrar en el reactor será elevada, pues  
to que los intercambiadores de calor rechazan algún calor disponible,  
haciendo por lo tanto decrecer su densidad y su efecto moderador y re-  
duciendo la emisión de potencia en el reactor a una condición donde -  
vuelve a alcanzarse el equilibrio en la emisión de potencia inferior -  
15 del sistema.

Al determinar la cantidad de la moderación provista por el  
vapor moderador-refrigerador dentro del reactor, el término medio com-  
binado, de peso recargado, de las densidades de vapor en los pasos -  
primero, segundo y tercero del núcleo, deben ser halladas a fin de de-  
20 terminar la cantidad de moderación que va siendo suministrada al nú-  
cleo del reactor en cualquier momento dado. Por ejemplo, si las frac-  
ciones de volumen de los espacios del vapor moderador-refrigerador -  
dentro del reactor son prorratadas entre los tres pasos de acuerdo a  
la proporción de 10.6: 77.0: 12.4 en los pasos primero, segundo y ter-  
25 cero, respectivamente, para proporcionar la moderación de los neutro-  
nes en el grado requerido y se determina la temperatura de término me-  
dio de cada una, puede calcularse la cantidad total de los átomos de  
moderación. En el diseño inicial de este reactor, se determina la pro-  
porción de la moderación a proveerse en el paso de moderación y se es-  
30 tablece los correspondientes requisitos de temperatura y de presión,



desarrollándose las condiciones de vapor en los pasos primero y tercero a partir de aquellos requisitos.

5 A fin de alcanzar un coeficiente de temperatura negativo de reactividad en un reactor del tipo descrito en la presente memoria, - es necesario que variaciones en el nivel de reactividad del reactor - proporcionen características de realimentación autocompensadoras. Esta autocompensación está provista en el reactor de acuerdo al presente invento utilizando los mismos trastornos en la reactividad que se desea corregir, para variar las aptitudes moderadoras del vapor moderador-refrigerador. Cuanto mayor sea la realimentación así lograda, -  
10 tanto más estable será el reactor. Desde un punto de vista ideal, el vapor que abandona la salida del reactor sería utilizado como el vapor moderador-refrigerador puesto que cualquier variación en el nivel de reactividad del reactor sería transmitida a la temperatura, a las  
15 condiciones de presión de vapor de emisión. Sin embargo, el vapor a la temperatura y presión de emisión de este reactor no es lo suficiente denso para proporcionar una moderación satisfactoria. De acuerdo a ello, debe alcanzarse algún compromiso de las condiciones ideales a fin de lograr densidades del moderador-refrigerador que sean suficientes para responder a los requisitos de la moderación de neutrones del  
20 reactor. Ello se lleva a cabo en el reactor del presente invento por el diseño a tres pasos arriba descrito. De acuerdo a ello, el vapor entrante en el primer paso del reactor proporciona una porción de la moderación de neutrones, como ilustrado más arriba, mientras que al mismo tiempo responde a los niveles de reactividad dentro del reactor que serían capaces de modificar la reactividad de los elementos de combustible en el primer paso y por lo tanto el calor producido en él. Esta variación en el calor generado en el primer paso se trasmite al moderador-refrigerador que fluye a través del mismo y cambia las características del vapor que entra en el segundo paso moderador en el  
30

288273



5  
10  
15  
20  
25  
30

ual ocurre la mayor parte de la moderación del reactor. De acuerdo -  
con ello, si algún trastorno dentro del reactor obliga al incremento  
de la reactividad, la potencia producida en todos los elementos com-  
bustibles, incluyendo aquellos del primer paso, aumentaría y elevaría  
la temperatura del vapor moderador-refrigerador que abandona el pri-  
mer paso. Si bien este aumento de temperatura del vapor moderador-re-  
frigerador afecta la reactividad del reactor en alguna medida, podrá  
afectar en forma insuficiente a la reactividad del reactor entero pa-  
ra contrarrestar el trastorno mencionado arriba. Sin embargo, debido  
al hecho de que la mayor porción de la moderación del reactor ocurre  
en el paso moderador, la temperatura aumentada del vapor moderador-re-  
frigerador que entra en el paso moderador es reflejada en el nivel de  
reactividad del reactor y el reactor tiende a volver a las condicio-  
nes previas de estabilidad mediante el cambio de la densidad del mode-  
rador en el paso moderador. En lo que antecede se había asumido que -  
un aumento en la temperatura y la entalpia del vapor en el reactor -  
produciría un decremento en la densidad de este vapor a pesar de una  
elevación en las presiones del sistema. Para alcanzar este efecto es  
necesario que la tubería del sistema y los volúmenes de los componen-  
tes, incluyendo la cámara de onda 54 y la razón del flujo desviado a  
través de ella, se encuentran en proporción correcta respecto del vo-  
lúmen de espacio del vapor del reactor y de la realimentación térmica  
del reactor. Naturalmente resultaría cierto lo inverso, en caso de -  
que la reactividad del reactor decreciera con un cambio consiguiente  
en la densidad del vapor moderador-refrigerador. En este caso, la tem-  
peratura del refrigerante acusaría la tendencia de caer, haciendo vol-  
ver la reactividad al nivel anterior. La cantidad de la realimentación  
en un reactor según el presente invento, es una función de la relación  
volumétrica de los varios pasos en el núcleo del reactor. De acuerdo -  
con ello, si un 25% de realimentación es satisfactoria para mantener -



238273

condiciones estables de funcionamiento del reactor con el diseño aquí expuesto, una cuarta parte del número total de los elementos de combustible estarían situadas en el primer paso, mientras que las tres cuartas partes restantes de los elementos combustibles estarían situadas en el tercer paso. Si se deseara otras relaciones de realimentación, podría lograrse fácilmente estableciendo la proporción de la distribución de los elementos de combustible entre los pasos primero y tercero, teniendo presente la densidad del vapor requerida en el espacio moderador a fin de moderar satisfactoriamente la reacción en cadena.

La cámara de onda 54 en la Figura 1 que está conectada por vía de las tuberías 50 y 52 a través del orificio 48 en la tubería de emisión 42 de la bomba, está destinada a compensar trastornos del sistema y asegurar de esta manera la estabilidad del reactor. En el funcionamiento, la cámara de onda 54, en combinación con el orificio 48, funciona como un paragolpes para las ondas de presión y de entalpia que ocurren en el sistema del reactor inducidos por causas diferentes del mismo reactor. El grado al cual las ondas de entalpia son amortiguadas, es regulado por la cantidad de vapor pasada a través de la cámara de onda que, a su vez, es determinada por el tamaño del orificio. Tal onda podría ocurrir en el sistema del reactor si la carga del sistema fuera rebajada repentinamente con un aumento resultante en la temperatura del vapor moderador-refrigerador. Aunque un aumento en la temperatura no afectaría de ordinario la reactividad del reactor, por cuanto habría por lo general una correspondiente elevación en la presión que sería capaz de mantener la densidad del vapor moderador-refrigerador a un valor substancialmente constante con un nivel de reactividad constante resultante de ello, una elevación repentina de temperatura en una porción del sistema del reactor apartado del reactor, causaría el equilibrio de la reactividad del reactor. Ello es debido al hecho de que un aumento en la temperatura en una porción del sistema de lugar a un aumento co-



288273

5 correspondiente de la presión, que es transmitido a todas las otras por-  
ciones del sistema en forma casi instantánea mientras que el aumento  
de la temperatura del vapor moderador-refrigerante se retarda en ra-  
zón de características inherentes de los fenómenos de transferencia  
de calor. La presión en aquella porción del sistema apartada del -  
trastorno, es decir, del reactor, aumentaría así sin una elevación -  
correspondiente en la temperatura del vapor, aumentando de este modo  
la densidad del vapor moderador-refrigerador y la reactividad del -  
reactor. Sin embargo, mediante el uso de una cámara de onda 54, se -  
10 amortigua un cambio rápido en la presión del sistema en una porción  
del sistema del reactor resultante de una alteración repentina en la  
temperatura del vapor, de modo que el cambio en la presión es reduci-  
do al punto donde su efecto es de pocas consecuencias. Una cámara pa-  
ragolpes de temperaturas, que será ilustrada más adelante, también -  
15 está provista en el reactor para amortiguar cualesquiera cambios re-  
pentinos en el vapor moderador-refrigerante que entra en el reactor,  
promoviendo así una estabilidad ulterior del reactor, si así fuese -  
requerido.

20 Debiera notarse que en el sistema ilustrado en la Figura 1,  
la bomba 40 para vapor moderador-refrigerador está situada, en el -  
sentido de flujo del fluido, en el sistema reactor entre los inter-  
cambiadores de calor 34 y 36 del recalentador-sobrecalentador conec-  
tado en paralelo, y el intercambiador de calor de la caldera 46, pa-  
ra dar la seguridad de que el vapor moderador-refrigerador pueda ser  
25 mantenido dentro de la región supercrítica en todas las porciones -  
del sistema. Puesto que la presión del sistema más baja que ocurre -  
en el circuito del reactor, tiene lugar a la entrada de la bomba, se  
ría indeseable tener en este mismo punto, la temperatura mínima del  
sistema. Esto sería el caso si la bomba estuviera situada entre el -  
30 intercambiador de calor 46 de la caldera y la admisión 30 del reac-

288273

22



5 tor, por cuanto tal disposición podría dar por resultado el que el vapor moderador-refrigerador cayera en la gama de temperaturas y presiones subcríticas, con la posibilidad de la condensación del vapor y sus dificultades acompañantes durante largos estados transitorios del sistema. Sin embargo, cuando son permisibles mayores presiones del sistema, la bomba podría ir situada entre el intercambiador de calor final 40 y el reactor 22 (en la Figura 1) con una reducción material en los requisitos de bombeo del sistema como resultado de la densidad aumentada del fluido moderador-refrigerador en este punto.

10 Aunque en la presente memoria se ha descrito solamente una disposición de ciclo cerrado, puede ser utilizado asimismo un ciclo abierto del tipo Loeffler tal como ya ha sido descrita antes.

15 Una forma de realización específica de una disposición preferida de un reactor según el presente invento se halla ilustrada en las Figuras 2 a 9, en las que el reactor comprende un recipiente a presión 22, que consiste de una porción de casco cilíndrica longiforme 66 cerrada por su extremo inferior mediante una cabeza hemisférica 68 que presente una brida de emisión 70 fijada en forma integral a la misma. El casco cilíndrico 66 termina en el extremo superior, con una  
20 brida de cierre 72. Una cabeza de cierre superior 74 que posee una porción de cabeza hemisférica 76 y una brida de cierre 78 está adaptada para cerrar el extremo superior del recipiente de presión, aparejándose la brida de cierre 78 de la cabeza con la brida de cierre 72 del recipiente de presión y estando asegurada a la misma por una pluralidad de pernos 80 circunferencialmente distanciados. Una tobera de admisión -  
25 82 está dispuesta en la porción superior de la cabeza de cierre 74 y está conectada a la tubería de admisión 30 del sistema reactor (en la Figura 1). La unión de la cabeza de cierre 74 con la brida de cierre 72 está provista de un cierre 84 hermético a la presión, que puede ser  
30 de un tipo anular semitoroidal como es bien conocido en el arte. El

2-24-73



casco cilíndrico 66 del recipiente de presión puede ir provisto de una pluralidad de bandas externas indicadas de un modo general por la referencia 86, a fin de adaptarse en condiciones más económicas a la presión interna relativamente elevada, como es bien conocido en el arte.

5 La superficie interior del recipiente de presión está provista de una capa 88 de material térmicamente protector tal como  $\text{CaH}_2$  y acero u otro material térmicamente protector tal como es bien conocido en el arte. Tal material de protección térmica se extiende por toda la altura de la porción cilíndrica 66 del recipiente de presión y se extiende a lo largo de la superficie interior de la cabeza inferior 10 68 hacia la circunferencia interior de la brida 70. El material adicional de protección térmica está provisto a cada extremo de la sección cilíndrica conforme quedará expuesto más adelante. Una capa de material reflector de neutrones 90, generalmente coextensiva con la porción 15 de casco cilíndrico 66, por ejemplo grafito, topa contra la superficie interior del material de protección térmica 88 y está sustentada por una brida anular de soporte 92 asegurada a la superficie interior del recipiente de presión.

20 Conforme se muestra en la Figura 2, el interior del reactor está dividido en tres porciones verticalmente superpuestas, a saber, la cámara 94 para el plano de admisión, la región de núcleo central 95 y la cámara para el pleno de emisión 96, las paredes receptoras de tubos en las posiciones superior e inferior 97, y 98, respectivamente, sirviendo para formar las tres zonas. La cámara superior o sea la cámara 25 para el pleno de admisión 94 está formada dentro de la porción superior del recipiente de presión por la pared de tubo superior 97 que está soportada por un miembro de cilíndrico de faldón 100 a partir de un miembro de brida 102 extendido hacia fuera, soportado dentro de una ranura circundante 104 formada en la brida de cierre superior 72 30 en su unión con la cabeza de cierre 74. Un aro de obturación semitoroi-

288273



dal 106 está provisto entre el miembro de brida 107 y la brida de -  
cierre 72 que impide todo derrame entre ambos. Una pared secundaria  
superior para tubos 110 (véase la Figura 5) está sustentada y dis-  
tanciada de la pared superior para tubos 97 mediante pernos circun-  
ferencialmente dispuestos 108 y distanciadores 109. Una pluralidad  
de tubos 112 se extienden a través de ambas paredes de tubos supe-  
riores 97 y 110 y a través de la región central del núcleo 95 del -  
recipiente reactor. En sus extremos superiores están asegurados a la  
pared superior de tubos 97 con un ajuste a deslizamiento dentro de la  
hoja secundaria superior de tubos 110. Adicionalmente, una plurali-  
dad de tubos 114 terminan entre las paredes superiores de tubos 97  
y 110, teniendo un ajuste deslizable a través de la pared secundaria  
superior de tubos, y se extienden a través de la región de núcleo 95  
y a través de la pared inferior de tubos 98, a la cual están asegu-  
rados. Alternativamente, los tubos 114 pueden estar asegurados a la  
pared secundaria superior de tubos 110 la cual está soportada luego  
solamente por medio de los pernos 108, de manera de permitir un mo-  
vimiento diferencial.

La pared inferior de tubos 98 coopera con un miembro 116 en  
forma de U (véase la figura 2) para formar un espacio hermético a la  
presión diseñado como cabezal de emisión 118 que está conectado por  
una pluralidad de cabezales de conexión 120 a una tobera de emisión  
interior 122. La tobera está situada de manera que se extiende ver-  
ticalmente desde una situación por debajo del cabezal de emisión 118  
a una tobera de emisión 124. La tobera de emisión 124 está provista  
en su extremo superior de un miembro de brida 126 extendido hacia -  
fuera que está adaptado para formar una obturación estanca contra la  
superficie interior de la brida de emisión 70. El extremo inferior  
de la tobera de emisión 124 está conectado luego a la tubería de -  
emisión 32 (véase la Figura 1). Un anillo hendido de retención -



5 -128 circunscribe la circunferencia exterior de la tobera de emisión -  
124 formando tope con la cara exterior de la brida de emisión 70, y -  
extendiéndose al interior de la ranura 130 formada en la superficie  
exterior de la tobera de emisión 124. Para asegurar rígidamente a la  
tobera de emisión contra el movimiento, el anillo 128 está fijado a  
la brida de emisión 70 por medio de pernos convenientemente distancia-  
dos (no representados). Un cierre de obturación semitoroidal del tipo  
anular 131 está fijado entre la tobera de emisión 124 y la brida de  
emisión 70 para proporcionar un cierre a prueba de flúido entre ambas.

10 Conforme ha sido ilustrado, una capa de material 132 reflector  
de neutrones está soportada desde la superficie inferior de la pared  
secundaria superior de tubos 110; una capa similar de material 134 -  
reflector de neutrones está soportada sobre la superficie superior -  
de la pared inferior de tubos 98. Estas capas reflectoras, conjuntamen-  
15 te con el material reflector de pared 90 proporcionan la región -  
central del núcleo 95 con un alojamiento completo por el material -  
reflector. El material de protección térmica está provisto igualmente  
en los extremos de la región central de núcleo 95 para proteger los -  
extremos del recipiente de presión contra efectos excesivos de calen-  
20 tamiento térmico. El material superior de protección térmica 136 está  
situado dentro de la cámara de admisión plena 94 y comprende una -  
porción anular distanciada por encima y apartándose de la pared supe-  
rior de tubos 97 conjuntamente con una porción circular distanciada por  
encima y apartándose de la porción anular precitada para proporcionar  
25 un área de flujo de flúido desde la admisión del reactor hacia la pared  
superior de tubos. El material protector térmico en posición inferior  
138 está situado en el espacio entre el lado inferior del cabezal de  
emisión 118 y el extremo superior de la tobera emisora interior 122.

30 Una cámara de recolección 140 está sustentada en la cámara -  
de pleno de admisión 94 por medio de una brida circunferencial 141 en

288273



la superficie superior del miembro de brida 102. La cámara recolectora posee una configuración generalmente anular, estando abierta en su parte superior hacia la cámara de pleno de admisión 94 y cerrada por su extremo inferior, proporcionando el centro del anillo un pasaje de flujo para el vapor moderador-refrigerador de admisión desde la tobera de admisión 82 hacia la pared superior de tubos 97. Un tabique deflector de admisión 142, que posee una configuración cónica doble, está dispuesto en posición concéntrica con el centro de la cámara recolectora para el condensado y la tobera de admisión 82 para dirigir la corriente del flujo entrante de vapor moderador-refrigerador de modo que no fluye directamente a través del pasaje central. El tabique deflector y la cámara recolectora para el condensado proporciona la cámara para golpes de temperatura arriba descrita y reducen a un mínimo la cantidad de vapor moderador-refrigerador condensado que fluye al interior de la región de núcleo del reactor cuando el sistema reactor es puesto fuera de función.

Aunque no están representados, pueden estar provistos medios para hacer pasar fluido refrigerante a través del material reflector de neutrones y el material protector térmico durante el funcionamiento del reactor para mantener a estos materiales a la temperatura deseada.

La reunión de las partes interiores de este reactor comprende las siguientes etapas: Antes de ser colocados dentro del reactor, los tubos 112 son asegurados a la pared para tubos 97, y los tubos 114 son asegurados a la pared para tubos 98 siendo la pared para tubos 110 dispuesta en forma adecuada. La pared inferior para tubos 98, el cabezal de emisión 118 y la tobera emisora asociada 122 van sustentados desde la pared superior para tubos 97 mediante pernos temporales de suspensión (no representados) pasando por los tubos 114. Durante la reunión de los tubos 112 y 114 a sus respectivas paredes de tubos, los distanciadores de tubos 162 (que serán descritos más adelante) son



288273

5 instalados, se montan las porciones superior é inferior del material reflector de neutrones 132 y 134 y se coloca la porción inferior 138 del material de protección térmica. Este conjunto completo es luego descendido al interior del recipiente del reactor y es suspendido desde la brida superior 72 por la brida circunferencial 102 que está sustentada en la correspondiente ranura 104. El anillo superior de obturación 106 es luego instalado y del mismo modo se procede con el anillo inferior de obturación 131. El anillo de retención 128 es luego instalado asegurando la tobera de emisión 124 a la brida de emisión 70.

10 Debe notarse que esta disposición proporciona una compensación para la dilatación térmica diferencial de las varias partes de las piezas internas del reactor puesto que la porción inferior, que comprende los tubos 114, el cabezal de emisión 118 y la tobera de emisión 124, está asegurada rígidamente sólo a la brida de emisión 70. Estas piezas -

15 componentes quedan por lo tanto libres para dilatarse hacia arriba - de manera que los tubos 114 se desplazan a través de la pared secundaria superior de tubos 110. La pared superior de tubos 97 y la porción asociada de las piezas internas del reactor están sustentadas solamente por el extremo superior mediante el miembro de brida 102 -

20 mediante la función de la ranura 104 en la brida 72, estando los tubos 112 en libertad para dilatarse a través de la pared superior secundaria de tubos 110 puesto que existe un juego suficiente para permitir el desplazamiento correlativo. También está provisto un juego en el extremo inferior de los tubos 112, adyacentes a la pared de -

25 tubos 98, para permitir esta dilatación.

Después de la instalación de las piezas internas del reactor, se insertan los elementos combustibles, y el material protector térmico superior 136, la cámara para la recolección del condensado y el - tabique 142, son colocadas en sus lugares y se fija la cabeza de cierre superior 74 al recipiente de presión.

30

288273



5 Durante el funcionamiento, el vapor moderador-refrigerador penetra en el reactor a través de la tobera de admisión 82, fluye alrededor del tabique deflector del flujo de admisión 142 y a través del pasaje central provisto en la cámara de recolección 140 alrededor del material superior de protección térmica 136 hacia los extremos de admisión de los tubos 112 en la pared superior de tubos 97. El vapor moderador-refrigerador fluye luego por los tubos 112 descargándose en la porción extrema inferior de la región central del núcleo 95 adyacente al material desviador de neutrones 134 y luego fluye en dirección ascendente alrededor de la superficie externa de todos los tubos 112 y 114, desde allí de vuelta hacia el espacio entre las paredes de tubos 97 y 110 pasando por pasajes adecuados en la pared de tubos 110 y el reflector 132 (no ilustrados) y desde allí al interior de los tubos 114. Después de fluir a través de los tubos 114, el vapor moderador-refrigerador es descargado al interior del cabezal de emisión 118 y sigue al interior de la tobera de emisión 124 por vía de los cabezales de conexión 120 y la tobera interior de emisión 122.

10 Los elementos tubulares de combustible del reactor están suspendidos dentro de los tubos 112 y 114 con un espacio anular formado entre la superficie exterior del elemento combustible y la superficie interna de los respectivos tubos por los cuales fluye vapor moderador-refrigerador absorbiendo calor en relación de intercambio de calor directo con los elementos de combustible. Los elementos de combustible dentro de los tubos 112 comprenden el primer paso 24, comentado más arriba con relación a la Figura 1, mientras que el espacio alrededor de la totalidad de los tubos dentro de la región central de núcleo 95 comprende el segundo paso o sea el paso moderador 26, mientras que los elementos combustibles dentro de los tubos 114 forman el tercer paso 28.

15 Una porción de la vista seccional transversal del reactor -  
30 que muestra una vista en planta de los haces de elementos combustibles

22



288273

144 puede observarse en la Figura 3. Los haces de los elementos -  
combustibles poseen una sección transversal de forma general hexagonal,  
con pernos de combustible dispuestos en un paso triangular por toda la  
sección transversal del núcleo del reactor, La Figura 4 muestra una  
5 vista ampliada en planta de un solo haz de elementos combustibles que  
posee una perilla central de manipulación 146 y una pared hexagonal  
148 de tubos para elementos combustibles. Haciendo también referen-  
cia a la Figura 5, puede observarse que la pared de tubos 148 para el  
haz de elementos combustibles está provisto de una pluralidad de -  
10 aberturas a través de ella, por las cuales los pernos de combustible  
160 están suspendidos desde casquetes ensanchados de extremo 150 al  
interior de los tubos 112 y 114. Una pluralidad de orificios más -  
pequeños 152 van provistos igualmente a través de la pared de tubos  
144 para elementos combustibles para el pasaje del vapor moderador-re-  
15 frigerador a través de los mismos al interior de los tubos 112. Una  
segunda pared de tubos 156 para haces de elementos combustibles, repre-  
sentada adyacente a la pared para tubos 148 para haces de elementos -  
combustibles, está libre para desplazarse a lo largo de los pernos de  
combustible de modo que al retirarse el haz 144 de elementos combus-  
20 tibles de los tubos 112 y 114 esta segunda pared de tubos 156 quedará  
situada en el extremo inferior del haz de elementos combustibles, pro-  
porcionando de esta manera un distanciamiento para los extremos infe-  
riores de los pernos de combustible 160. Se halla provista una plura-  
lidad de distanciadores 154 sobre la superficie inferior de la pared  
25 de tubos 156 de elementos combustibles, distanciadores éstos que dis-  
tancian a dicha pared de tubos 156 y a la pared de tubos 148 de la -  
superficie inferior de la pared de tubos 97 permitiendo de esta manera  
un área de flujo entre dichas paredes para el vapor moderador-refrige-  
rador. Debe tenerse presente que los pernos de combustible suspendi-  
30 dos dentro de los tubos 114, que forman el tercer paso del reactor,

5

10

15

20

25

30

- 31 -  
238273



están provistos de una porción ensanchada 158 en sus extremos superiores para impedir el derrame excesivo de vapor moderador-refrigerador - desde la cámara de pleno superior directamente al interior de los tubos del tercer paso 114.

5 Una vista seccional transversal de una porción de los elementos de combustible en la región central de núcleo 95 se halla representada en la Figura 6, donde se observa que los elementos de combustible están repartidos entre los tubos 114 del tercer paso y los tubos 112 del primer paso en una relación de 3 : 1. También se observa que una capa -

10 de aislamiento 166 está colocada alrededor de la superficie exterior de los tubos 114 del tercer paso, limitando la transferencia de calor entre los elementos de combustible en ellos y el vapor moderador-refrigerador en el paso moderador 26 de manera tal que la cantidad de moderación - será determinada principalmente por la recolección de calor del vapor moderador-refrigerador en el primer paso permitiéndose solamente una -

15 absorción muy inferior de calor por el vapor moderador-refrigerador en el paso moderador. Asimismo se muestra en la Figura 6 una fila de - espaciadores de tubos 162 que están distanciados por toda la altura de la región de núcleo central 95, conforme se observa en la Figura 2. Cada

20 distanciador está comprendido por dos secciones que están atornilladas entre sí, por ejemplo mediante los tornillos 164, alrededor de los - tubos del primer paso 112, permitiendo a los tubos 114 a moverse independientemente respecto de ellos. Los espaciadores 162 están dispuestos - de manera que forman pasajes de flujo 165, teniendo aproximadamente el

25 área de flujo igual como los pasajes anulares de flujo de los pasos - primero y tercero. Los espaciadores 162 proporcionan a los tubos 112 y 114 de un refuerzo lateral por toda su longitud a la vez que además permiten un flujo de vapor moderador-refrigerador a través de dichos tubos y alrededor de todos los tubos para moderar la reacción en cadena.

30 Un detalle ampliado de un perno de combustible dentro de un tubo 114

32  
288273



del tercer paso puede observarse con referencia a la Figura 7, en la que el perno de combustible 160, que contiene una pluralidad de pastillas 168 portadoras de material fisible, como es bien conocido en el arte, está dispuesto dentro de un miembro tubular corrugado 170 y distanciado del mismo por una pluralidad de tiras espaciadoras 168 que -  
5 se extienden longitudinalmente a lo largo del perno de combustible y distanciadadas en forma paraja alrededor del mismo. El pasaje de flujo para el vapor moderador-refrigerante es así el espacio anular entre el perno de combustible 160 y el miembro tubular corrugado 170. Una capa  
10 de material térmicamente aislante tal como lana de acero inoxidable - 174 va dispuesta alrededor de la superficie exterior del miembro tubular corrugado 170 y está alojado en una cubierta exterior 172. Este material térmicamente aislante, tal como ha sido comentado más arriba, reduce la transferencia de calor desde el perno de combustible del -  
15 tercer paso a través del vapor moderador-refrigerador en el pasaje anular y la pared del tubo al vapor moderador-refrigerador circundante en el segundo pasaje moderador. Si bien puede utilizarse tubos de lados rectos conforme se representa en la Figura 5, la corrugación del miembro tubular 170 permite el uso de una pared relativamente delgada lo  
20 que da por resultado una conservación de los neutrones, mientras que a la vez proporciona una resistencia mecánica satisfactoria de manera que el miembro tubular puede ser auto-sustentador.

El perno de combustible 160 del primer paso se halla representado en la Figura 8 y es similar al del tercer paso, estando dispuesto  
25 dentro de un miembro tubular corrugado 178 que forma el tubo 112. La superficie externa de los pernos de combustible 160 y tanto el primer paso como el tercer paso, pueden ir provistos de una aspereza superficial 180 para aumentar el coeficiente de transferencia de calor entre el perno de combustible y el vapor moderador-refrigerador.

30 Una forma modificada de una disposición de tubos para el -



288273

tercer paso se halla representada en la Figura 9, donde el miembro -  
 tubular corrugado 170 está provisto de una aislación en forma de una  
 pluralidad de capas de una lámina de acero inoxidable 182, que está  
 protegida por la cubierta exterior 184 que posee una pluralidad de ran-  
 5 nuras o de protuberancias 186 formadas en la misma para impartirle -  
 rigidez.

El cuadro 1 expone los detalles del reactor arriba descritos:

C U A D R O I

	Rendimiento del reactor	750 Calor MW
10	Rendimiento neto del equipo	321 Electr. MW
	Carga U-235 (inicial/final) <sup>m</sup>	1070.4/520.5 Kgs.
	Carga U-238 (inicial/final) <sup>m</sup>	22.632/22.221 Kgs.
	Enriquecimiento de combus- tible (inicial/final) <sup>m</sup>	4.52/2.28 %
15	Flujo térmico término medio	636,02 K cal/hora/9,29dm <sup>2</sup>
	Flujo térmico cumbre	1246,84 K cal/hora/9,29dm <sup>2</sup>
	Cumbre a la relación de po- tencia de término medio	1.96
	Temperatura de la superficie con recubrimiento máximo de combustible	
20	1er. paso	399°C
	2do paso	615°C
	Rendimiento específico de po- tencia	0.34 MWe/kg. U-235
	Vida del núcleo	775 días
25	Combustible quemado, término medio	UO <sub>2</sub>
	Flujo de fluido moderador-refrigerador	1,64 x 10 <sup>6</sup> Kgs/hora
	Contenido en D <sub>2</sub> O en el vapor moderador- refrigerador <sup>2</sup>	
	al principio de la vida del núcleo	83%
30	al final de la vida del núcleo	9%

288273



	Diámetro del núcleo (per el lado externo de los conjuntos de combustible al extremo exterior)	2.688 m.
	Número total de pernos de combustible	5800
	Número de pernos de combustible en el 1er paso	1450
5	Número de pernos de combustible en el 3er paso	4350
	Paso de los pernos (triangular)	3,33 cm.
	Longitud activa del perno	3,66 cm.
	Temperatura combustible de término medio	1149°C
10	Espesor del reflector de grafito	4,48 m.
	Espesor de la protección térmica de CaH <sub>2</sub>	0,9 m.
	* (Basado sobre un 95% de densidad teórica de UO <sub>2</sub> )	

15	<u>1er. Paso. Conjunto</u>	
	Tubo de combustible, diámetro externo	13,43 mm.
	Tubo envolvente, diámetro desde el eje central	24,49 mm.
	<u>Conjunto del Tercer paso:</u>	
20	Tubo de combustible diámetro exterior	13,4 mm.
	Diámetro sobre el eje central del tubo envolvente	18,2 mm.
	Espesor equivalente de la lámina aislante	0,025 mm.
	Manguito de aislamiento diámetro interior	25,4 mm.

25 CONDICIONES DEL VAPOR EN SU PASO POR EL NUCLEO

	<u>1º Paso</u>	<u>2º Paso</u>	<u>3º Paso</u>
Temperatura vapor admisión, °C	366	380	381
Entalpia vapor admisión, k cal/kg.	426,94	523,71	544,77
Densidad vapor admisión, kgs./m <sup>3</sup>	20,35	10,887	9,34



288273

	Velocidad vapor admisión, cm/seg.	247,5	117,65	538.32
	Presión vapor admisión, Kgs./cm <sup>2</sup>	241,13	239	239
	Temperatura vapor escape, ° C.	380	381.6	565,5
5	Entalpia vapor escape, k cal/kg.	523,49	544,77	821,86
	Densidad vapor escape Kgs./m <sup>3</sup>	10,887	9,34	2,53
	Velocidad vapor escape, cm./seg.	462,28	125,05	1991,65
10	Presión vapor escape, Kgs./cm <sup>2</sup>	239	239	232
	Calor absorbido calor MW	183,4	40,0	526,6

La superioridad del reactor del presente invento resulta de las ventajas de utilizar vapor de alta presión para la refrigeración, la moderación y la regulación. El poder moderador de vapor supercrítico permite el desarrollo de núcleos compactos de reactores capaces de una emisión de potencia considerablemente más elevada por unidad de volumen del núcleo dentro de tamaños corrientemente disponibles de recipientes de presión. La variación de la densidad del vapor moderador durante la vida útil del núcleo se emplea con ventajas para alcanzar el gobierno de la reactividad simplificando de este modo la fabricación del sistema. Además, las varillas de regulación pueden ser reemplazadas por un sistema de bombas a desplazamiento positivo y válvulas de relevo de presión con una sensibilidad apta para una regulación estrecha, del modo arriba descrito, para producir cambios regulados en la reactividad simplemente mediante la variación del inventario y de la densidad del sistema reactor. Las temperaturas máximas de las superficies revestidas en este reactor son inusitadamente bajas debido a la ausencia de las varillas de regulación y la potencia radial en curva aplanada más un perfilado sesgado de potencia axial en el cual



288273

la potencia adopta cumbres en una cantidad apropiada en el extremo -  
frío del núcleo. La cantidad de la formación de cumbres es regulada  
por la colocación de un material no moderador, tal como  $ZrH_2O Al_2O_3$ ,  
en el espacio aislados entre los tubos 114 y la cubierta externa 172.

5 Esto, en combinación con una eficiencia elevada del sistema reactor -  
y excelentes características del refrigerante, permite una elevada -  
densidad de potencia, como expresado más arriba, dando por resultado  
una posible economía en el ciclo de derroche del combustible.

10 Una ventaja ulterior del presente invento reside en la aptitud  
del reactor de emparejar variaciones en el flujo de neutrones del reac-  
tor y el nivel de densidad de potencia del núcleo. Esto ocurre puesto  
que cualquier variación en la distribución radial de potencia del -  
núcleo producirá una correspondiente variación en densidad de la dis-  
tribución de vapor moderador-refrigerador por cuanto la cantidad de -  
15 calor agregada al vapor moderador-refrigerador en una zona específica  
del reactor determinará la densidad del vapor moderador-refrigerador  
en la misma zona específica del espacio moderador y regular de este -  
modo la potencia del reactor en estas zonas. Este aplanamiento de la  
densidad de potencia está ilustrada en la Figura 12 en la cual la línea  
20 a trazos 192 ilustra la distribución de potencia en un reactor que po-  
see una densidad moderadora uniforme y enriquecimiento del combustible por  
todo el núcleo, mientras que la línea de trazos 194 ilustra la relativa  
densidad de potencia de un reactor de acuerdo al presente invento.

25 Ventajas adicionales del presente invento residen en el hecho  
de que la regulación de este reactor, sigue a demandas de carga en forma  
mucho más estrecha de lo que realizan los reactores según el arte ante-  
rior. Ello se debe al hecho de que al producirse un cambio en la carga  
de emisión, el vapor moderador-refrigerador que retorna, el cual entra  
rápidamente en el reactor, refleja el cambio de la carga y afecta de -  
30 inmediato a la reactividad del reactor, mientras que los reactores según



288270

el arte anterior están expuestos a diversos factores de retardo incluyendo el retraso en el tiempo de señalamiento entre la captación del cambio en la carga de emisión y el accionamiento de las varillas de regulación. Otro efecto adverso común a los reactores según el arte anterior, pero que es ausente de un modo significativo en un reactor del presente invento, es el efecto de volante ejercido por el fluido refrigerante, que da por resultado un retraso en la velocidad de la respuesta al cambio de la carga debido al tiempo requerido para cambiar la temperatura de una gran masa de líquido refrigerante en el reactor, en comparación con la sensibilidad y velocidad de la característica de respuesta del refrigerante a vapor de acuerdo a este invento. Como resultado de este efecto de volante, consideraciones prácticas han hecho necesario para las varillas de regulación de los reactores según el arte anterior, ser reguladas para compensar en exceso cambios de carga de manera que la reactividad del reactor tiene la tendencia de tantear hasta que sean alcanzados la temperatura final y el nivel de potencia. Inversamente, como resultado de la poca masa del vapor moderador-refrigerador y su pronta reacción a cambios en la carga de emisión, existen pocos cambios en la temperatura de emisión del reactor resultante de los cambios de la carga de emisión.

Una variación en el sistema reactor ilustrado en la Figura 1, está representada en la Figura 13 mediante la cual puede lograrse una variación más amplia de la emisión haciendo circular una cantidad mayor del vapor moderador-refrigerador a través del primer paso del reactor mientras se mantiene la razón de flujo original en los pasos segundo y tercero. Ello se lleva a cabo mediante la extracción de una parte del vapor moderador-refrigerante del reactor al final del primer paso por intermedio de la tubería 200 a través de la válvula 202 a la tubería de admisión 38 de la bomba 40. De este modo se produce un aumento del flujo relativo del vapor moderador-refrigerador a través



288273

del primer paso, haciendo decrecer a la recolección del calor por unidad de peso de vapor y aumentando la densidad término medio del vapor por todo el reactor y produciendo así el aumento de la reactividad y de la emisión de potencia. Sin embargo, si se usa solamente una tubería de desvío 200, la temperatura de emisión del reactor decrecerá haciendo aumentar así la densidad dentro del núcleo con el fin de aumentar la potencia y prolongar la vida del núcleo.

Si fuese deseado proporcionar un sistema reactor más eficaz mediante la extracción de una cantidad de calor mayor en la caldera 46, rebajando la temperatura del vapor moderador-refrigerante a la admisión del reactor, será necesario aumentar la densidad del vapor moderador-refrigerador en el segundo paso a la vez que se mantiene la recolección de calor deseada dentro del reactor y se mantiene la temperatura de emisión constante dando por resultado de ordinario una razón de flujo menor a través del reactor. Ello causa dificultades en el dimensionado de los pasajes de flujo a través de los tubos alrededor de los elementos combustibles puesto que la razón de flujo en masa del vapor moderador-refrigerador determina las características de transferencia de calor y cualquier variación en la razón de flujo cambiaría la recolección de calor del vapor. Sin embargo, mediante la disposición representada en la Figura 13, es posible rebajar la densidad del moderador-refrigerador en el segundo paso y no obstante ello mantener las razones de flujo en los pasos primero y tercero relativamente constantes a la vez que también se mantiene a la temperatura de emisión del reactor substancialmente constante. Ello es llevado a cabo mediante la remoción de una parte del vapor moderador-refrigerador del extremo del primer paso por vía de la tubería de desvío 200 a través de la válvula 202 y de la tubería de admisión 38 a la bomba 40 y la introducción de una cantidad correspondiente del vapor moderador de vuelta en el reactor al principio del tercer paso por la tubería de desvío 204

288273

22



a través de la válvula 206 y al interior del reactor por vía de la -  
tubería 208. Puesto que el vapor extraído es mezclado con vapor mu-  
cho más caliente que abandona los intercambiadores de calor 34 y 36,  
el vapor reintroducido en el reactor a través de las tuberías 204 y  
208 se encuentra también a una temperatura más alta de la que estaría  
el vapor que fluye normalmente desde el primer paso, dando por resul-  
tado una temperatura de emisión del reactor y una razón de flujo de  
emisión substancialmente constantes.

Si inversamente fuese deseable disminuir la cantidad de calor  
extraída del vapor moderador-refrigerante mediante los intercambiado-  
res de calor 34, 36 y 46, a la vez que se mantiene las razones de -  
flujo y la temperatura de emisión del reactor substancialmente cons-  
tantes, sería necesario disminuir la densidad del vapor moderador-re-  
frigerador en el segundo paso. Para realizar esto, se extrae una parte  
del vapor moderador-refrigerante desde el reactor al final del primer  
paso por intermedio de la tubería de desvío 200 y se le introduce de  
nuevo en el primer paso del reactor por la tubería 204 por la válvula  
210 y la tubería 212 dando por resultado una temperatura de admisión  
al reactor que será algo más elevada. A fin de evitar la elevación -  
de la temperatura de emisión, se introduce una porción de vapor refri-  
gerador-moderador al principio del tercer paso desde la emisión del  
intercambiador de calor 46 por intermedio de la tubería de desvío 214  
por la válvula 216, manteniendo así al flujo a través del reactor den-  
tro de límites satisfactorios y conservando la temperatura de emisión  
a una graduación constante. De acuerdo con ello, el presente invento  
puede ser dispuesto para un funcionamiento muy flexible con amplias -  
gamas de emisión obtenibles a la vez que se mantiene razones de flujo  
satisfactorias y una temperatura de emisión substancialmente constan-  
te.

Muchas son las variaciones que se presentan si se considera los

288273



5 varios tipos de vapores moderadores-refrigeradores, siendo las únicas limitaciones impuestas a estos fluidos que posean características deseables de transferencia de calor y que sean compatibles para el uso con materiales de construcción disponibles a las temperaturas y presiones contempladas.

10 Naturalmente es necesario que el vapor moderador-refrigerador contenga una cantidad suficiente de átomos de hidrógeno, bien sea en un estado libre o en combinación, para proporcionar la cantidad de moderación de neutrones necesaria a temperaturas y presiones prácticas de trabajo. Además, es necesario que el vapor moderador-refrigerador se halle en un estado vaporoso a las temperaturas de trabajo y presiones de trabajo a fin de proporcionar la variación requerida en la densidad del fluido. Este requisito para el moderador-refrigerador vaporizado es también necesario a fin de volver obtenible al gobierno de seguridad de emergencia simplemente mediante la descarga del circuito del reactor a una presión más baja a través de una válvula de relevo de presión de apertura rápida.

15 Conjuntamente con lo que queda dicho más arriba, puede observarse fácilmente que puede utilizarse vapores de hidrocarburos como vapor moderador-refrigerador. Si bien las presiones funcionales de un vapor moderador-refrigerador de hidrocarburo serían generalmente inferiores a las requeridas cuando se usa la moderación mediante vapor, la teoría básica y el modo de operación seguirían siendo iguales. Adicionalmente, el uso de vapores de hidrocarburos haría posible la adopción de la irradiación mediante neutrones en el refinado y la producción de productos de petróleo o de otros compuestos químicos. Por ejemplo, podría utilizarse acetileno o vapor de benceno como vapor moderador-refrigerador mientras se les somete a modificaciones hacia hidrocarburos de alta polimerización por medio de reacciones químico-nucleares.

30 Una modificación ulterior del presente invento contempla el -



28827

uso de únicamente elementos combustibles conteniendo material fisible en el núcleo del reactor. Tal reactor sería de la clase en la cual la economía de neutrones es tan sólo de un interés secundario, siendo el objetivo primordial un reactor que posee una elevada emisión de potencia a partir de un tamaño relativamente pequeño y compacto. En esta adaptación, la variación en la densidad del moderador modificaría solamente la cantidad del derrame de neutrones fuera del núcleo del reactor para gobernar en forma variable la cadena de reacción del tipo a fisión.

5

Se realiza una modificación adicional si se combina al método de regulación del reactor aquí descrito con el método de moderación según el arte anterior, a saber, el uso de un moderador estático, instalado, tal como grafito o hidruro de zirconio. Tal disposición sería similar a los reactores moderados mediante grafito, refrigerados a gas, bien conocidos en el arte, salvo que la moderación provista por el grafito no se permitiría en un grado suficiente para volver crítico al núcleo del reactor. La cantidad final de moderación necesaria para volver crítico al reactor, sería suministrada por el arriba descrito vapor moderador-refrigerador con tenor en hidrógeno. De esta manera sería aún posible ejercer una regulación variable, y hasta una puesta fuera de función de la reacción en cadena mediante la variación de la densidad del vapor moderador.

10

15

20

Adicionalmente, el presente invento puede ser utilizado en un reactor que posee una región de núcleo central dispuesta para pasar por las reacciones de fisión como resultado de neutrones rápidos generados por el proceso de fisión. Tal región de núcleo rápido estaría rodeada por una región a envoltura térmica la cual, a su vez, está rodeada por un reflector de neutrones. Si bien una región de núcleo rápido no requiere la moderación de neutrones, está gobernada por la variación de la moderación de neutrones dentro de la región de la envol-

25

30

288273



5  
tura térmica. Ello se debe al hecho de que la cantidad de neutrones, siendo reflejada en la región del núcleo rápido, será determinada por el número de neutrones retardados por moderación en la región térmica y que entra en reacción de fisión térmica. Tal moderación de neutrones conforme a las enseñanzas del presente invento, da por resultado eficacias más elevadas de neutrones para el uso en tal núcleo rápido-térmico de lo que sería el caso si se usara otros métodos moderadores según el arte anterior.

10  
Habiendo descrito la naturaleza de la presente invención y la manera de llevarla a la práctica, se declara que lo que se reivindica como de invención y propiedad exclusivas, es:

REIVINDICACIONES

15  
20  
1. Un reactor nuclear y método para su accionamiento cuyo reactor posee dispuesto en forma heterogénea en el núcleo del mismo, material fisible en reacción con neutrones moderados, CARACTERIZADO el método por las etapas de efectuar la condición crítica de un reactor mediante la introducción en el núcleo de un fluido de una sola fase capaz de pasar por un cambio substancial en su densidad con un cambio en la entalpia proporcionando la moderación por átomos de isótopos de hidrógeno y refrigerando al núcleo con el mismo fluido, mediante lo cual se reflejan variaciones en la condición crítica del reactor en la aptitud moderadora del fluido de modo que el reactor es autocompensador, y que luego se ejerce la regulación de la reactividad mediante la variación de la concentración de isótopos de hidrógeno en el núcleo.

25  
2. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a la reivindicación 1; CARACTERIZADO el método porque la concentración de isótopos de hidrógeno es variada en el núcleo mediante la variación de la concentración del isótopo de hidrógeno en el fluido.

30  
3. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes; CARACTERIZADO el mé-

288273



todo porque la concentración de isotopos de hidrógeno es variada en el núcleo mediante la variación de la densidad del fluido en el núcleo.

5 4. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes; CARACTERIZADO el método porque el fluido moderador y refrigerador es calentado primeramente por parte del material fisible en el núcleo a una gama predeterminada de densidad moderadora y que luego se le utiliza para moderar los neutrones en el núcleo entero.

10 5. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a la reivindicación 4; CARACTERIZADO el método porque la reacción es moderada en forma predominante por el fluido moderador y refrigerador calentado.

15 6. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 4 y 5; CARACTERIZADO el método porque la aptitud moderadora del fluido es variada mediante la variación de la cantidad de calor impartida al fluido por el material fisible, calentándolo primeramente.

20 7. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes; CARACTERIZADO el método porque el fluido moderador y calefactor es enfriado mediante contacto directo con elementos que contienen al material fisible, moderando predominantemente la reacción mediante contacto indirecto con los elementos que contienen el material fisible.

25 8. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7; CARACTERIZADO el método porque dicho fluido moderador y refrigerador es calentado ulteriormente por el material fisible restante después de moderar al núcleo entero.

30 9. Un reactor nuclear y método para su accionamiento de acuerdo

287273



a cualquiera de las reivindicaciones precedentes; CARACTERIZADO el método porque dicho fluido moderador y refrigerador es vapor.

5 10. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a la reivindicación 9; CARACTERIZADO el método porque el vapor se mantiene dentro de la gama de presión y de temperatura supororíticas.

10 11. Un reactor nuclear y método para su accionamiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10; CARACTERIZADO el reactor porque incluye un recipiente de presión que posee una pluralidad de elementos combustibles portadores de material fisible, dispuestos en forma de núcleo y estando dicho recipiente de presión dividido en por lo menos dos pasos conectados en serie para el paso del fluido moderador y refrigerador a través de los mismos y estando una porción de dichos elementos combustibles dispuestos en el primero de dichos pasos.

15 12. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a la reivindicación 11; CARACTERIZADO el reactor porque dicho segundo paso rodea a los elementos combustibles en dicho primer paso de manera que el fluido moderador que se halla en flujo a través del segundo paso modera en forma predominante a la reacción en cadena.

20 13. Un reactor nuclear y método para su accionamiento de acuerdo a las reivindicaciones 11 ó 12; CARACTERIZADO el reactor porque la mayoría de los elementos combustibles están dispuestos en un tercer paso conectado en serie a la emisión del segundo paso y que se extienden a través del mismo.

25 14. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a la reivindicación 13; CARACTERIZADO el reactor porque dicho segundo paso es el espacio mayor dentro del recipiente de presión y que dichos pasos primero y tercero están formados por tubos que se extienden a través de dicho segundo paso.

30 15. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a la reivindicación 14; CARACTERIZADO el reactor porque los tubos



que forman dicho primer paso están conectados en serie a una fuente de provisión de fluido moderador y refrigerador y al espacio de dicho segundo paso y que los tubos que forman dicho tercer paso están conectados en serie al espacio de dicho segundo paso en un lugar apartado de la conexión con el primer paso y a un receptor para el fluido moderador y refrigerador.

5

10

16. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a las reivindicaciones 14 y 15; CARACTERIZADO el reactor porque dichos elementos combustibles están dispuestos dentro de los tubos que forman dichos pasos primero y tercero.

15

17. Un reactor nuclear y método para su accionamiento, de acuerdo a la reivindicación 16; CARACTERIZADO el reactor porque dichos elementos combustibles están en relación cooperante con los tubos y forman así un pasaje anular de flujo entre ambos.

20

18. Un reactor nuclear y método para su accionamiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 14 a 17; CARACTERIZADO el reactor porque dichos tubos se extienden en posición vertical a través del reactor.

25

19. Un reactor nuclear, y método para su accionamiento de acuerdo a la reivindicación 18; CARACTERIZADO el reactor porque dichos elementos combustibles están suspendidos en los tubos desde el extremo superior.

30

20. Un reactor nuclear y método para su accionamiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 13 a 19; CARACTERIZADO el reactor porque los elementos combustibles están dispuestos en el primer paso y en el tercer paso en la relación de 1 a 3.

21. Un reactor nuclear y método para su accionamiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 13 a 20; CARACTERIZADO el reactor porque el espacio de flujo en dicho primer paso es substancialmente igual al espacio de flujo en dicho tercer paso.



22. Un reactor nuclear y método para su accionamiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 13 a 21; CARACTERIZADO el reactor porque dicho tercer paso está aislado térmicamente de dicho segundo paso.

23. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: "UN REACTOR NUCLEAR Y METODO PARA SU ACCIONAMIENTO".

Todo conforme se describe y reivindica en la presente memoria descriptiva que consta de cuarenta y seis páginas escritas a máquina y dibujos adjuntos.

Madrid, 22 de Mayo de 1.963

ALFONSO UNGRIA

P.P.

10

15

20

25

30



FIG. 1

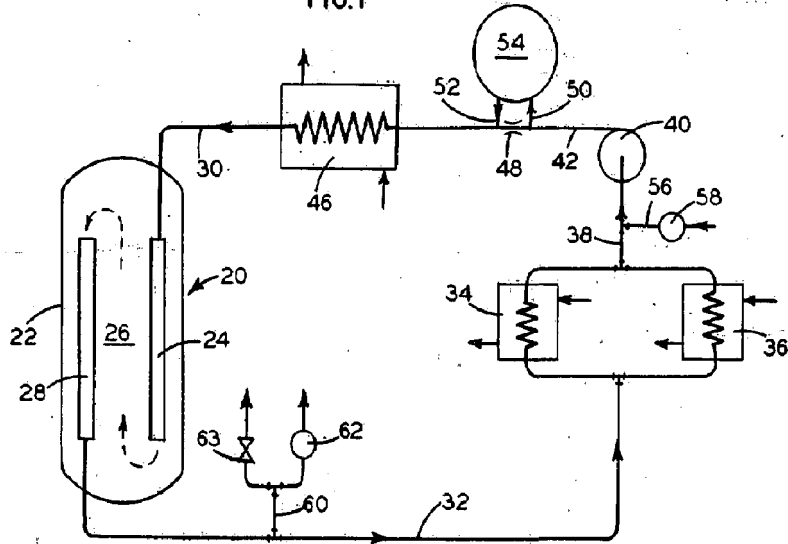


FIG. 12

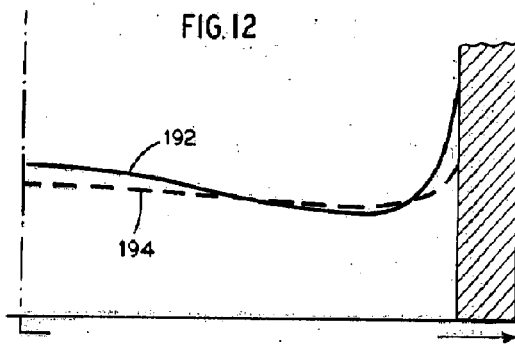
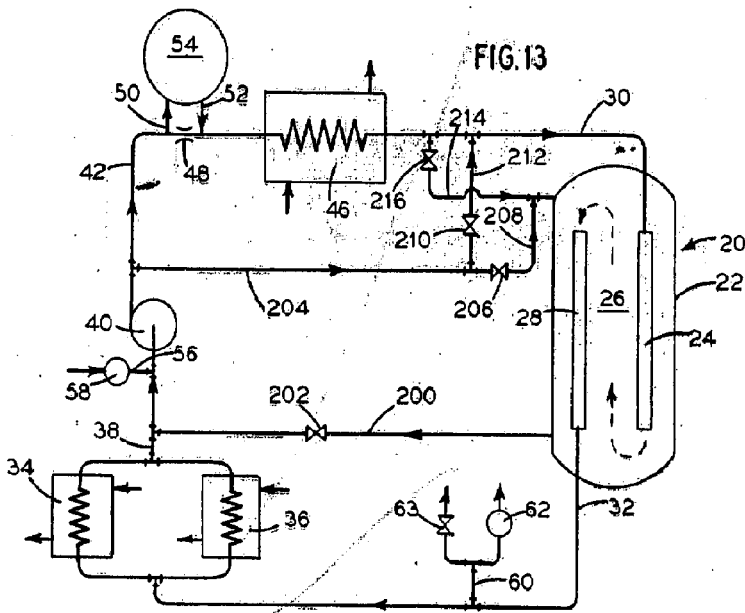


FIG. 13



288273

ESCALA VARIABLE

MADRID, 28 DE Mayo DE 1893.

ALFONSO UNGRÍA

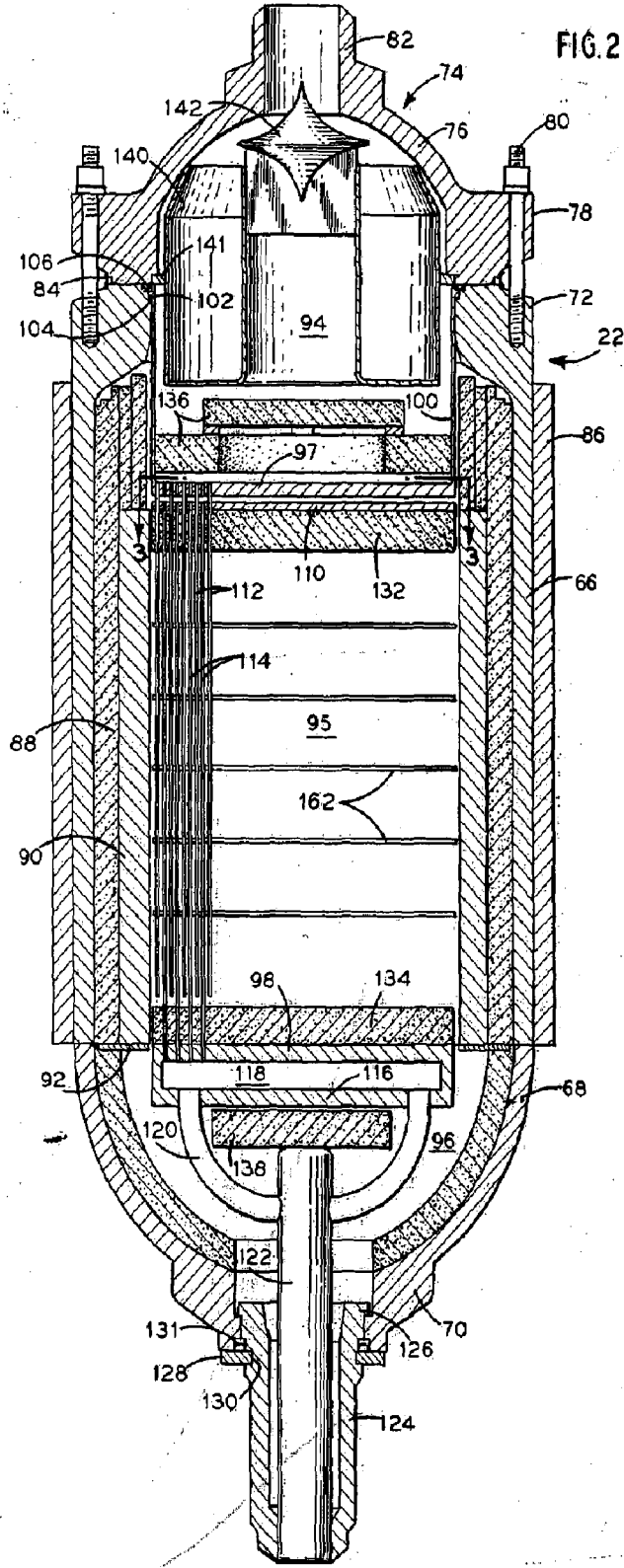


FIG. 2

288273

ESCALA VARIABLE  
MADRID, 22 DE Mayo DE 1903.  
ALFONSO UNGRIA  
P.P. *[Signature]*



FIG. 5

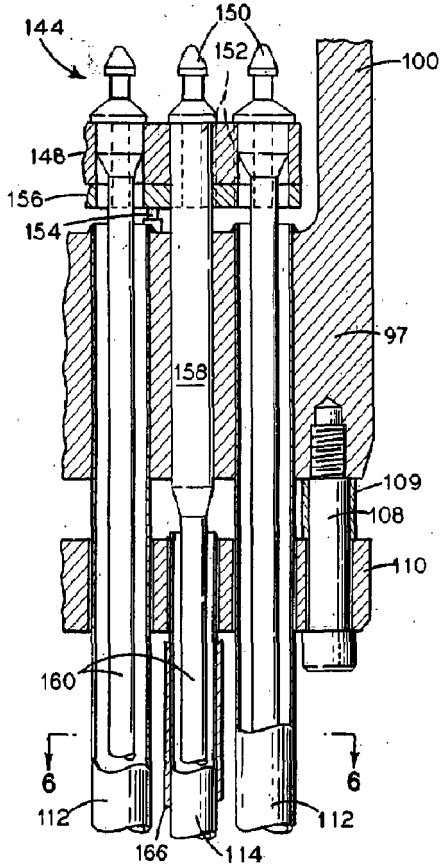


FIG. 6

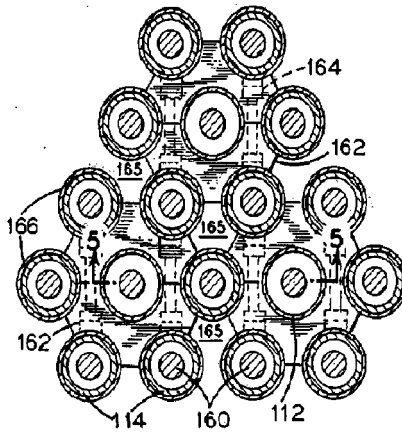


FIG. 3

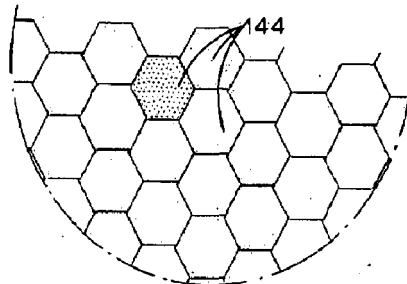
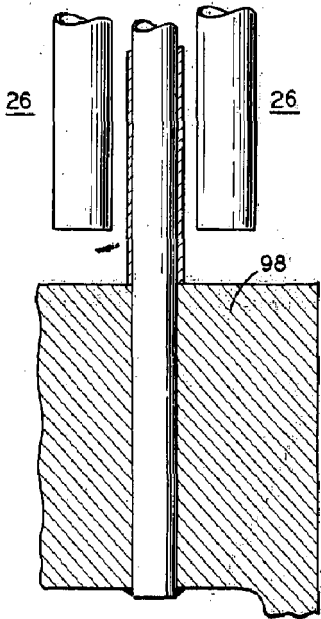
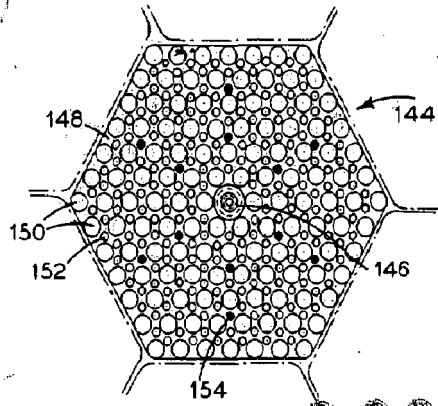


FIG. 4



288273

ESCALA VARIABLE  
AUTORIDAD 23 DE Mayo DE 1903.  
AURONSO UNGER  
P.P. Red



FIG. 7

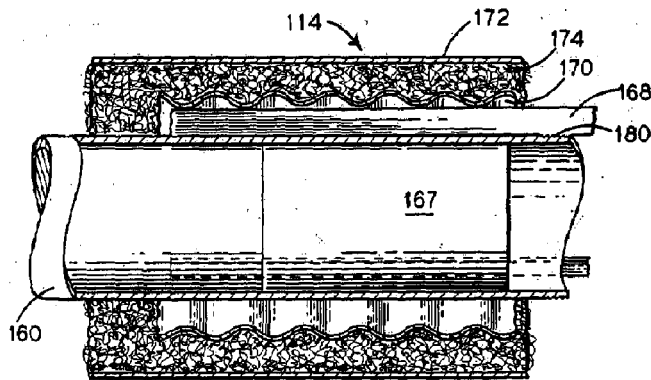


FIG. 8

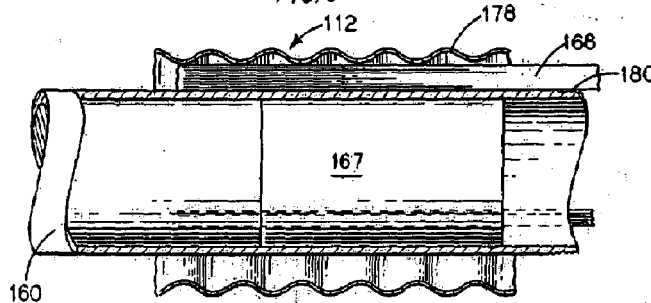
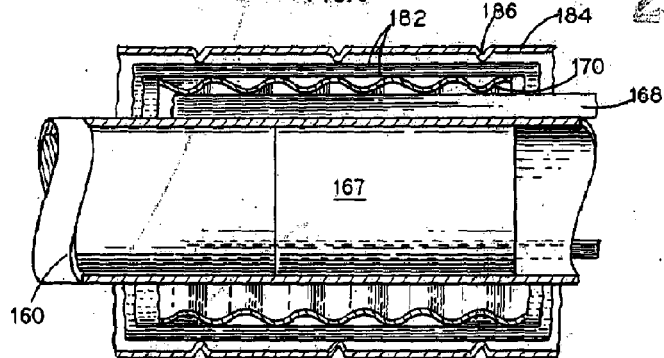


FIG. 9



288273

MADRID, 22 DE Mayo DE 1963

ALFONSO UNGRÍA

*[Handwritten signature]*



22

FIG. 11

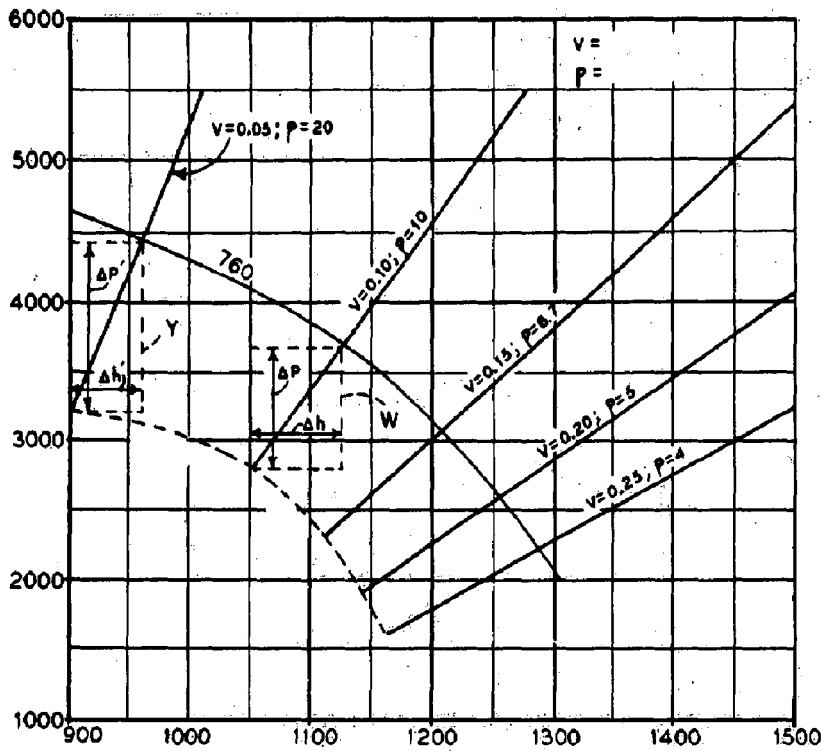
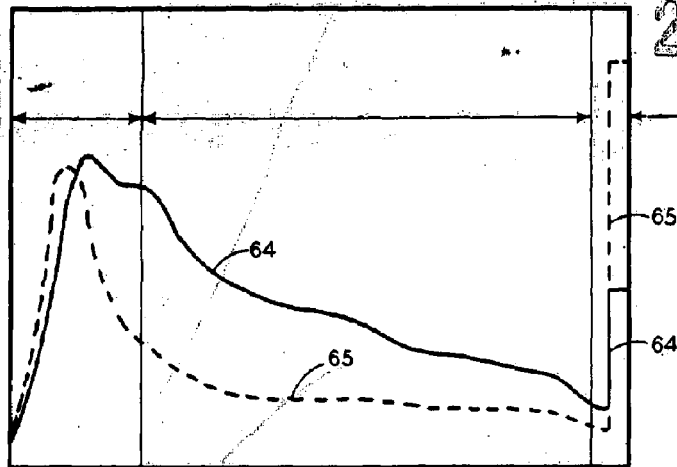


FIG. 10



288273

ESCALA VARIABLE  
 MADRID, 23 DE Mayo DE 1963.  
 ALFONSO UNGRÍA

*[Handwritten signature]*