

432355

Int. CIA	G 21 D

MEMORIA DESCRIPTIVA

correspondiente a la solicitud de una

PATENTE DE INVENCION

Solicitante: WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION

Residencia: Westinghouse Building, Gateway Center,
PITTSBURGH, Pennsylvania 15222, Estados
Unidos.

Enunciado: METODO PARA PROLONGAR EL FUNCIONAMIENTO
DE UNA INSTALACION GENERADORA DE VAPOR
POR ENERGIA NUCLEAR.

Prioridad: de la solicitud de patente estadounidense
No. 419.746, del 28 de noviembre de 1973.

- - - -

El invento se refiere a un método para controlar una instalación generadora de electricidad del tipo de turbina accionada por vapor producido por energía nuclear, y en particular a un método que permite el funcionamiento de la instalación generadora más allá del final normalmente definido del ciclo de combustible del reactor nuclear.

En una instalación generadora accionada por reactor nuclear, la energía térmica generada en el elemento del reactor nuclear se utiliza para proporcionar una fuente de vapor seco y saturado bajo presión o de vapor sobrecalentado. El vapor así producido arrastra un sistema de turbina asociado que está conectado mecánicamente con un generador eléctrico que produce la energía eléctrica que se aplica a una carga eléctrica asociada. En general, existen dos clases principales de instalaciones de energía nuclear, el Reactor de Agua Hirviente o sistema BWR, y el Reactor de Agua Bajo Presión, o sistema PWR.

En el Reactor de Agua Hirviente o BWR, se hace pasar un refrigerante constituido por agua a través de un circuito cerrado único que constituye el elemento reactor y el sistema de turbina. Cuando el agua de refrigeración atraviesa el núcleo del reactor, el calor tomado del núcleo del reactor eleva la temperatura del agua de refrigeración por encima del punto de vaporización del refrigerante, produciendo así vapor. A continuación se hace pasar directamente el vapor a través del sistema de turbina y la energía térmica del vapor se transforma en energía mecánica útil. El vapor pasa a un elemento de condensador y vuelve al estado líquido. El condensado, ahora en forma de agua de refrigeración a baja temperatura, se introduce de nuevo como refrigerante en el

elemento del reactor, completando así el circuito cerrado único.

5 Sin embargo, ya que el agua de refrigeración y el vapor producido a partir de esta están sometidos a la acción del núcleo reactor fuertemente radioactivo y han sido sometidos a un bombardeo intenso con las partículas de neutrones de alta energía que contiene, el sistema de turbina a través del cual se ha hecho pasar el vapor reactivamente contaminado presenta un incremento de los niveles de radioactividad. 10 Igualmente, deben tomarse precauciones extremadas para impedir que el vapor o el agua contaminados se escapen del circuito cerrado único del reactor EWR.

15 Por otra parte, las instalaciones generadoras de energía que utilizan un Reactor de Agua Bajo Presión utilizan un sistema de doble circuito cerrado para la generación de energía eléctrica mediante la utilización de un elemento de reactor nuclear. El primer lado o lado primario conecta el elemento reactor en un circuito cerrado con un generador de vapor o elemento intercambiador de calor. El agua de refrigeración se mantiene bajo presión elevada de aproximadamente 20 154 Kg/cm² (2.200 Libras/pulgada²) y toma el calor del núcleo del reactor cuando el agua de refrigeración bajo presión lo atraviesa. Ya que el agua de refrigeración está bajo presión, el calor tomado del reactor no eleva la temperatura del agua de refrigeración más allá de la temperatura 25 de vaporización que corresponde al agua a la presión adecuada.

30 Por el contrario, el agua caliente pero no hirviente penetra en el elemento generador de vapor. En el generador de vapor el calor del agua de refrigeración bajo presión

se transfiere al agua secundaria dispuesta en el interior del generador de vapor. La transferencia de calor desde el agua bajo presión hasta el agua secundaria enfría suficientemente el agua de refrigeración bajo presión para permitir su reintroducción en el núcleo del reactor, completando así el circuito cerrado del lado primario. Dentro del generador de vapor, el calor tomado a partir del agua de refrigeración bajo presión y transmitido al agua secundaria contenida en éste eleva la temperatura del agua secundaria por encima de su punto de ebullición produciendo así vapor. Sin embargo, en el caso de los generadores PWR, el vapor producido en el elemento generador de vapor no está contaminada radioactivamente, ya que el agua de refrigeración bajo presión está separada físicamente del agua secundaria en el elemento generador de vapor.

A partir del generador de vapor, el vapor producido por el calentamiento del agua secundaria es transportado a través del segundo circuito cerrado llamado lado secundario o lado de vapor. El lado secundario o lado de vapor incluye un elemento de turbina de alta presión, un elemento de turbina de baja presión, un elemento de condensador y una serie de elementos de calentamiento de agua de alimentación. Cada elemento de turbina tiene un orificio de entrada de un tamaño predeterminado siendo el orificio de entrada de la turbina de alta presión físicamente más pequeño que el orificio de entrada del elemento de turbina de baja presión. El vapor atraviesa los elementos de turbina y la energía térmica transportada por él se transforma en energía mecánica. El vapor expansionado vuelve al estado líquido en el condensador. A continuación se introduce nuevamente el condensado en el ge-

nerador de vapor después de atravesar una serie de elementos de calentamiento de agua de alimentación para completar el segundo circuito cerrado.

5 Por tanto, es evidente que la presión del vapor que fluye por el circuito secundario depende directamente de la cantidad de calor transferida desde el agua de refrigeración presurizada, hasta el agua secundaria del generador de vapor. Si la temperatura del agua de refrigeración es elevada, se transferirá una mayor cantidad de energía térmica al agua secundaria que en el caso de que el agua de refrigeración primaria estuviese sometida a una temperatura más baja. La energía térmica transferida al agua secundaria ele
10 va por tanto la temperatura de un mayor volumen de agua secundaria por encima de la temperatura de vaporización del agua secundaria, produciendo así más vapor en el circuito se
15 cundario. La circulación del vapor a través del circuito secundario o circuito del lado del vapor depende del tamaño físico del orificio de entrada de la turbina de alta presión.

20 El contenido calorífico del agua de refrigeración primaria depende evidentemente del calor producido por el núcleo del reactor. El calor producido por el núcleo del reactor depende a su vez de los niveles de reactividad dentro de los elementos de combustible que constituyen el núcleo.

25 La reactividad del elemento de combustible depende de la edad de los elementos de combustible individuales. Temprano en la vida del elemento de combustible, los niveles de reactividad son usualmente superiores a un punto de referencia predeterminado y se controlan mediante la manipulación de una pluralidad de barras de control que absorben los neutrones. Por ejemplo, si el nivel de reactividad en el inte-
30

rior del elemento de reactor ha de ser elevado, se retiran las barras de control a una distancia predeterminada respecto al interior del núcleo, incrementando así el nivel de neutrones dentro del núcleo, lo que aumenta el nivel de reactividad en éste. Cuando el nivel de reactividad aumenta en el núcleo, se genera mas calor dentro del reactor y por tanto el contenido térmico del agua de refrigeración bajo presión aumenta. Una temperatura más elevada del refrigerante aumenta la cantidad de calor transferida desde el agua de refrigeración bajo presión hasta el agua secundaria del generador de vapor. La mayor cantidad de calor transferida incrementa la presión del vapor producido en el generador de vapor para ser utilizada en el lado secundario o lado de vapor. La posibilidad de cambiar la presión del vapor para cambiar la potencia eléctrica general de la instalación generadora de electricidad de acuerdo con las necesidades del sistema se llama capacidad de seguimiento de carga del sistema. Como bien lo saben los peritos en la materia, la capacidad de seguimiento de carga del sistema es inhibida durante un estado transitorio de xenon.

La vida útil o ciclo de combustible de los elementos de combustible utilizados por el reactor se mide en función de determinados parámetros. Uno de dichos parámetros es la cantidad de reactividad superior a un nivel de referencia predeterminado. Este nivel de reactividad sobrante es superior al nivel de referencia en el comienzo del ciclo de combustible pero el nivel de reactividad sobrante disminuye hacia el valor de referencia cuando se utiliza el elemento de combustible. Durante la vida del elemento de combustible, la reducción de la reactividad sobrante es compen-

sada por la extracción de las barras de control de absorción de neutrones lo que permite que el reactor funcione a niveles de potencia nominal constante.

5 El momento que se llama final del ciclo de combustible se define normalmente como siendo el momento en el que, habiendo sido retiradas completamente las barras de control y estando sometido el sistema a una carga térmica máxima, la reactividad sobrante del núcleo del reactor es nula. Cuando no se satisfacen estos parámetros, el final del ciclo de
10 combustible se produce, a pesar del hecho de que alguna reactividad residual subsista en los elementos de combustible. Naturalmente, pueden utilizarse otros parámetros para definir en qué momento se produce el final del ciclo de combustible.

15 Cuando el funcionamiento del elemento de reactor se aproxima al final del ciclo de combustible, es decir hacia el final de la vida útil del elemento de combustible, aunque exista todavía un cierto grado de reactividad residual en el núcleo, se ha observado que incluso la extracción
20 total de las barras de control no puede aumentar suficientemente los niveles de reactividad en el reactor para proporcionar la potencia térmica requerida por la carga eléctrica. Cuando la reactividad disminuye, el calor producido o potencia térmica de salida dentro del núcleo disminuye. La reducción de la potencia de salida térmica del núcleo del reactor
25 debida a la reducción de la reactividad da lugar a la reducción concomitante de la temperatura del agua de refrigeración. Esto disminuye a su vez la cantidad de transferencia calorífica en el generador de vapor. Por tanto, la potencia
30 de salida térmica del generador de vapor baja, disminuyendo

la potencia de salida eléctrica de la instalación generadora en conjunto.

5 Como bien lo saben los peritos en la materia, la densidad del agua de refrigeración bajo presión depende de la temperatura del refrigerante. Cuando la temperatura del refrigerante disminuye, éste se hace más denso. Al final del ciclo de combustible las fisiones de los átomos dentro del elemento de combustible siguen produciendo el residuo de reactividad indicado más arriba, pero el nivel de reactividad no es suficiente para mantener la potencia térmica nominal del reactor. Las fisiones producen a la vez neutrones de alta energía y neutrones "térmicos" de energía más baja. Los neutrones térmicos, aunque solamente representan un cierto porcentaje de los neutrones producidos por el proceso de fisión, son importantes ya que son necesarios para que la reacción de fisión en cadena pueda seguir produciéndose. Ya que el número de fisiones y por tanto el número de neutrones producidos disminuye al final del ciclo de combustible, y ya que solamente un porcentaje predeterminado de los neutrones producidos son neutrones térmicos, la reactividad y por tanto la potencia de salida térmica del reactor disminuye.

15 Sin embargo, ya que el agua de refrigeración bajo presión se hace más densa cuando la temperatura disminuye, es posible aumentar la reactividad sobrante por encima del valor de referencia haciendo bajar la temperatura del refrigerante. Cuando la temperatura del refrigerante es más baja y por tanto el refrigerante es más denso, la mayoría de los neutrones de alta energía producidos por aquellas fisiones que aseguran la reactividad residual serán modelados suficientemente para que produzcan una fisión. Por tanto, aun-

que el número total de neutrones liberados no ha sido aumentado, el agua de refrigeración bajo presión más fría y por tanto más densa modera la energía de una cantidad suficiente de neutrones de alta energía para proporcionar una cantidad suficiente de neutrones térmicos con el objeto de mantener la reacción de fisión en cadena. De este modo, la reactividad del núcleo aumenta por encima del valor de reactividad de referencia, permitiendo así que el núcleo mantenga su potencia de salida térmica nominal. El incremento de la reactividad sobrante compensa así la pérdida de reactividad correspondiente al final del ciclo de combustible.

Sin embargo, la reducción de la temperatura del refrigerante tiene un efecto perjudicial sobre la presión del vapor en el lado de la turbina. Con el objeto de aumentar la reactividad sobrante sin disminuir la presión de vapor, en la técnica anterior se ha intentado introducir un nuevo elemento de combustible o enriquecer el elemento de combustible usado.

El objeto principal del invento consiste en proporcionar un método para prolongar la vida de los elementos de combustible de un reactor nuclear más allá del final del ciclo de combustible sin reducir la potencia de salida térmica del reactor y produciendo solamente una ligera reducción de la potencia de salida eléctrica.

Teniendo en cuenta este propósito, el invento consiste en un método para prolongar el funcionamiento de una instalación generadora de vapor por energía nuclear más allá del final de su ciclo de energía, incluyendo dicha instalación un circuito cerrado de refrigeración de reactor que contiene agua como refrigerante y un circuito cerrado de va-

por de turbina, caracterizado porque la temperatura del refrigerante se reduce por debajo de su nivel normal con el objeto de aumentar así el nivel de reactividad en dicho reactor y se modifica el circuito cerrado de la turbina para admitir vapor a temperatura reducida.

5

El invento podrá entenderse más claramente leyendo la siguiente descripción de unos modos de realización preferidos del mismo que se representan tan solo a título de ejemplo en los dibujos adjuntos, en los cuales:

10

La figura 1 es una vista esquemática que ilustra una instalación generadora de energía por medio de un reactor de agua bajo presión, que incorpora un sistema de control de acuerdo con el invento;

15

La figura 2 es una representación gráfica de la potencia de salida térmica del elemento de reactor y de la potencia de salida eléctrica del sistema en su conjunto, en función de la prolongación del ciclo de combustible de una instalación generadora de energía que utiliza las enseñanzas del invento;

20

La figura 3 es una vista esquemática de una parte de una instalación generadora de energía por vapor producido por un reactor nuclear de agua bajo presión, que representa otro modo de realización del invento;

25

La figura 4 es una vista diagramática similar a la figura 3 que representa otro modo de realización del invento;

La figura 5 es una vista diagramática similar a la figura 3 que representa una porción de una instalación generadora de vapor con un reactor nuclear de agua bajo presión, que ilustra otro modo de realización del invento.

30

En toda la descripción que sigue, se utilizan los

mismos caracteres de referencia para designar elementos similares en las diferentes figuras de los dibujos.

Haciendo ahora referencia a la figura 1, se representa una vista diagramática de una instalación generadora de vapor por energía nuclear 10 que utiliza un modo de realización del invento. En la figura 1, la instalación generadora de energía nuclear 10 incluye un elemento de reactor de agua bajo presión 12, un hdo primario cerrado o circuito cerrado 14 y un lado secundario cerrado o circuito cerrado 16. Un generador de vapor o intercambiador térmico, es decir el elemento 18, es común al circuito cerrado primario 14 y al circuito cerrado secundario 16.

En el circuito cerrado primario 14, el refrigerante fluido bajo presión es conducido en el interior del elemento de conducción 20 al elemento de reactor nuclear 12 según se ilustra por la flecha de referencia 22. El agua de refrigeración bajo presión atraviesa el núcleo del elemento de reactor nuclear 12 y toma calor a partir de éste. El agua fluída bajo presión calentada sale del elemento de reactor 12 de la manera ilustrada por la flecha de referencia 24.

El agua de refrigeración bajo presión caliente pero no hirviendo es conducida hacia y a través del elemento 18 del generador de vapor según se ilustra por la flecha de referencia 26. Dentro del elemento 18 del generador de vapor, el agua de refrigeración bajo presión atraviesa un haz de tubos 27 y el calor transportado por el agua de refrigeración bajo presión es transferido a una masa de agua secundaria situada en el elemento 18 del generador de vapor. De este modo, el agua secundaria dispuesta en el elemento 18 del

generador de vapor se transforma en vapor seco y saturado o vapor sobrecalentado para ser utilizado en el circuito secundario o lado de vapor 16.

5 En el sistema secundario o sistema de vapor 16, el vapor producido en el elemento 18 del generador de vapor es conducido a través de un elemento de conducción 28 a un elemento 30 de turbina de alta presión. El elemento 30 de turbina de alta presión tiene un orificio de entrada 32 con una dimensión física predeterminada 34. Puede verse que el
10 caudal de la circulación en el elemento de turbina de alta presión 30 depende de las dimensiones físicas 34 del orificio de entrada 32.

15 Después de atravesar una pluralidad de álabes giratorios y fijos 36, el vapor sale del elemento 30 de turbina de alta presión y penetra a través de un conducto 38 en un elemento 40 de turbina de baja presión. El elemento 40 de turbina de baja presión tiene un orificio de entrada 42 que tiene unas dimensiones físicas predeterminadas 44. Las dimensiones físicas 44 del elemento 40 de turbina de baja presión son superiores a las dimensiones físicas 34 del elemento
20 30 de turbina de alta presión.

El vapor introducido en el elemento 40 de turbina de baja presión atraviesa una pluralidad de álabes giratorios y fijos 46.

25 El paso del fluido de accionamiento a través de los álabes giratorios y fijos 36 y 46 dentro de la turbina de alta presión 30 y del elemento de turbina de baja presión 40 respectivamente, hace girar un árbol 48 que arrastra un generador eléctrico 50 para producir energía eléctrica. La
30 energía eléctrica producida por el generador 50 se aplica a

una carga eléctrica asociada 52.

5 El vapor que sale del elemento de turbina de baja presión 40 se acumula y se condensa dentro de un elemento de condensador 54. El condensador 54 hace volver el condensado de vapor en estado líquido a través de una serie de elementos de calentamiento de agua de alimentación 56, 58 y 60. Aunque sea posible situar una mayor cantidad de elementos calentadores de agua de alimentación en el sistema, se han ilustrado solamente los elementos de calentamiento de agua de alimentación 56, 58 y 60 para mayor claridad. Los elementos de calentamiento de agua de alimentación 56, 58 y 60 elevan progresivamente la temperatura del condensado que los atraviesa.

15 Cuando se introduce nuevamente el agua secundaria en el elemento 18 del generador de vapor, por un conducto 62, el condensado penetra en el elemento 18 del generador de vapor a una temperatura predeterminada, indicada por $T_{\text{alimentación final}}$ en los dibujos. Puede verse también que el vapor producido en el generador de vapor 18 y que penetra en el lado de vapor 16 a través del conducto 28 tiene una temperatura predeterminada T_{vapor} . La temperatura y la presión del vapor que penetra en el lado de vapor 16 a través del conducto 28 están asociadas con la cantidad de calor transferida en el generador 18.

25 Se observará en la figura 1 que la cantidad de vapor producida en el generador de vapor 18 depende de la temperatura del agua de refrigeración bajo presión transportada por el conducto 20. Además, puede verse también que la temperatura del agua de refrigeración presurizada en el interior del conducto 20 depende directamente de la temperatura

30

del núcleo del elemento de reactor nuclear 12. Por consiguiente puede decirse que la cantidad de vapor producida en el interior del generador de vapor 18 y la presión del vapor producido en éste dependen directamente de la temperatura del agua de refrigeración bajo presión en el interior del circuito cerrado primario 14 y dependen indirectamente de la temperatura del núcleo 12 del elemento de reactor nuclear.

Haciendo referencia al circuito cerrado secundario o circuito cerrado del lado de vapor 16, está claro también que el caudal de vapor producido por el generador de vapor 18 a través de los elementos de turbina 30 y 40 depende de las dimensiones físicas 34 del orificio de entrada 32 hacia el elemento 30 de la turbina de vapor de alta presión.

Se hará resaltar que aunque el agua de refrigeración de alta presión que circula por el circuito cerrado primario 14 sea radioactiva, la circulación del fluido motor dentro del circuito cerrado secundario o circuito cerrado del lado de vapor 16 no es radioactiva. Esto se debe a que el agua de refrigeración bajo presión que circula por el circuito cerrado primario 14 está sometida a un bombardeo intensivo de partículas de neutrones de alta energía dentro del núcleo 12 del reactor, lo que aumenta el nivel de radioactividad dentro del fluido refrigerante primario presurizado. Sin embargo, la radioactividad del agua de refrigeración bajo presión no es transmitida al agua secundaria dentro del generador de vapor 18 sencillamente porque el agua de refrigeración bajo presión está físicamente separada del agua secundaria del generador de vapor 18 por el manido de tubos 27. Por tanto, es físicamente imposible que el agua secundaria y el vapor producido a partir de ésta para ser

utilizado en el circuito 16 del lado de vapor, sean radioactivos.

El calor generado en el núcleo 12 del reactor, llamado corrientemente potencia de salida térmica del reactor 12 depende de los niveles de reactividad de los elementos de combustible utilizados en el reactor 12. El nivel de reactividad de los elementos de combustible utilizados en el interior del reactor 12 es función de la edad de los elementos de combustible. Dentro del ciclo de combustible, o vida útil del elemento combustible, los niveles de reactividad en el interior del reactor 12 son normalmente muy elevados. El nivel de reactividad dentro del reactor 12 se controla por medio de una pluralidad de barras de control 64 que absorben los neutrones y que están dispuestas dentro de unos canales 65 formados en el núcleo 12 del reactor. Durante la primera parte del ciclo de combustible, es decir temprano en la vida útil del elemento de combustible, las barras de control 64 se introducen usualmente en su totalidad dentro de los canales 65. Esto permite que las barras de control 64 mantengan la densidad de neutrones dentro del reactor 12 a un nivel predeterminado, controlando así los procesos de fisión que ocurren dentro de los elementos nucleares contenidos en el reactor 12.

Conforme vaya transcurriendo el tiempo, un incremento de la reactividad puede ser obtenido mediante el simple procedimiento de extraer las barras de control 64 a una distancia predeterminada dentro de cada canal correspondiente 65, lo que aumenta la densidad de los neutrones dentro del núcleo 12 del reactor.

Además, el agua de refrigeración bajo presión sirve

como comprobación suplementaria para impedir un estado de embalamiento dentro del reactor 12. Como medida de seguridad inherente, si el nivel de reactividad dentro del reactor 12 aumenta, la temperatura del agua de refrigeración bajo presión disminuye. Una consecuencia importante de esta característica de estabilidad inherente consiste en que si la temperatura del agua de refrigeración bajo presión disminuye, los niveles de reactividad dentro del reactor nuclear 12 aumentarán.

10 Por tanto, puede verse que los niveles de reactividad dentro del reactor 12 controlan la potencia de salida térmica del reactor 12. La potencia de salida térmica o capacidad de generación de calor del reactor 12 controla a su vez la temperatura del agua de refrigeración bajo presión.

15 Cuanto más elevada es la temperatura en el interior del reactor 12, tanto mayor es la cantidad de calor transferida al agua de refrigeración bajo presión. A su vez, puede verse que la temperatura del agua de refrigeración bajo presión controla la cantidad y el nivel de presión del vapor producido dentro del elemento 18 del generador de vapor y que se utiliza en el circuito cerrado del lado de vapor 16. Por

20 tanto, la potencia de salida térmica del reactor 12 es esencialmente igual a la capacidad de transferencia térmica dentro del elemento 18 del generador de vapor, siendo debida la diferencia que existe entre ellos a pérdidas térmicas

25 inevitables en el bombeo del agua de refrigeración bajo presión desde el reactor 12 hasta el elemento de generador de vapor 18. Naturalmente, otras pérdidas térmicas pueden disminuir también el contenido calorífico del agua de refrigeración primaria bajo presión.

30

Al final del ciclo de combustible, las barras de control 64 han sido generalmente extraídas lo más posible dentro de sus canales correspondientes 65. Por tanto, el nivel de reactividad en el interior del reactor 12 no puede ser ya controlado por el procedimiento de extraer las barras de control 64 fuera de sus canales 65. La reducción de reactividad del reactor 12 debido al agotamiento del combustible dentro de los elementos combustibles al final del ciclo de combustible, hace que disminuya la temperatura del refrigerante del reactor. Puede verse que si se permite que estas condiciones continúen, la presión de vapor dentro del lado del vapor 16 disminuirá también, disminuyendo así la capacidad de carga del conjunto del sistema generador de energía 10. Por tanto, sería particularmente perjudicial que esto se produzca en un momento en que la demanda aplicada a la instalación 10 es elevada.

Sin embargo, se recordará que los niveles de reactividad dentro del reactor 12 pueden ser aumentados para mantener constantes los niveles de reactividad reduciendo la temperatura del agua de refrigeración bajo presión. La temperatura del refrigerante puede ser disminuida de varias maneras. Por ejemplo, si se aumentara la cantidad de vapor extraído del generador de vapor 18 en el circuito cerrado del lado de vapor 16, la temperatura del agua de refrigeración bajo presión disminuirá. De la misma manera, la reducción de la temperatura del agua secundaria que penetra en el generador de vapor 18 por el conducto 62 haría bajar la temperatura del agua de refrigeración bajo presión. Como se ve claramente aquí, cada uno de estos métodos de reducción de la temperatura del agua de refrigeración produce un

efecto útil sobre el circuito cerrado del lado de vapor 16.

Sin embargo, la reducción de la temperatura del refrigerante no deja de presentar sus problemas. Por ejemplo, cuando se disminuye la temperatura del agua de refrigeración bajo presión con el objeto de aumentar la reactividad y la potencia de salida térmica del elemento de reactor 12, se produce un efecto auxiliar no deseado, que consiste en una reducción suplementaria de la presión del vapor dentro del lado secundario 16.

El modo de realización del invento que se ilustra en la figura 1 proporciona un sistema de control eficaz 66 que permite mantener a su valor nominal la potencia de salida térmica del reactor 12 a pesar de la pérdida de reactividad debida al agotamiento del combustible al final del ciclo de combustible. Al mismo tiempo, el sistema de control según el invento permite mantener dentro de una gama predefinida precisa de valores la potencia de salida general de la instalación generadora 10 al nivel óptimo de la potencia de salida eléctrica general de la instalación.

Los peritos en la materia saben perfectamente que dentro del circuito cerrado secundario o lado de vapor 16, la potencia térmica del reactor 12 aplicada al generador de vapor 18 es proporcional dentro de una constante al producto del caudal a través del circuito secundario o lado de vapor 16 y la diferencia de entalpia entre el fluido motor que penetra en el circuito cerrado secundario 16 y el fluido motor que sale del circuito cerrado secundario 16. La utilización de esta relación de igualdad por el sistema de control de acuerdo con el invento permite que el reactor 12 siga funcionando a su capacidad térmica nominal máxima más allá del

final del ciclo de combustible normal con una pequeña reducción de la potencia de salida eléctrica general. Naturalmente, puede verse que dicha prolongación de la vida de funcionamiento del ciclo de combustible será económicamente muy ventajosa.

Por tanto se ve que si se disminuye la temperatura del refrigerante bajo presión, los niveles de presión de vapor dentro del lado de vapor 16 son afectadas de manera perjudicial. Sin embargo, utilizando la relación de igualdad entre la potencia de salida térmica en el generador de vapor y el producto de la circulación y del cambio de entalpía dentro del lado de vapor 16, es posible que el lado de vapor responda al sistema de control según el invento manteniendo o elevando la potencia de salida de la instalación al valor máximo posible con las condiciones de presión de vapor baja que prevalecen.

En general, el sistema de control 66 de la turbina del reactor de la instalación de energía del reactor de agua bajo presión 10 incluye un dispositivo detector de temperatura 68 para medir los niveles de temperatura dentro del reactor 12 y un dispositivo interruptor de circulación indicado generalmente por 70 para interrumpir una porción predeterminada de la circulación del fluido motor en el lado de vapor 16. En el modo de realización descrito en la figura 1, el dispositivo detector de temperatura 68 vigila los niveles de temperatura dentro del reactor 12 midiendo los niveles de temperatura dentro del refrigerante primario en un punto 71A del conducto 20 justo antes de que el refrigerante penetre en el reactor 12 y en un punto 71B del conducto 20 justo después de que el refrigerante salga del reactor 12.

El dispositivo de interrupción de circulación incluye una pluralidad de tuberías de derivación que tienen unas válvulas 72, 74 y 76 que controlan respectivamente los dispositivos de calentamiento de agua de alimentación individuales 56, 58 y 60, poniéndolos fuera de servicio.

El efecto de este modo de realización del invento es el siguiente. Ya que la temperatura del agua de refrigeración bajo presión debe ser reducida para aumentar los niveles de reactividad dentro del núcleo 12 del reactor para que se pueda mantener constante en su valor nominal predeterminado la potencia de salida térmica del reactor 12, se ve que la presión y la temperatura del vapor que penetra en el circuito cerrado 16 del lado del vapor ha de ser disminuída. Recordando la relación de igualdad mencionada más arriba, se observará que la potencia de salida térmica del reactor de vapor 12 depende del producto del caudal en el lado de vapor 16 y de la diferencial de entalpia dentro del lado de vapor 16. Ya que la potencia de salida térmica del generador de vapor 18 depende de la temperatura del agua de refrigeración que fluye por el circuito cerrado primario 14, y ya que esta temperatura del refrigerante bajo presión ha sido reducida para aumentar el nivel de reactividad en el reactor 12, se ve que, para mantener la potencia de salida térmica a través del generador de vapor 18 y también para satisfacer la relación de igualdad en el circuito cerrado 16 del lado del vapor, debe realizarse bien un incremento del caudal en el circuito cerrado 16 del lado de vapor o un incremento en la cantidad definida como diferencia entre las entalpias de entrada y de salida del lado de vapor 16.

De acuerdo con las enseñanzas del invento y el mo

do de realización representado en la figura 1, la potencia de salida térmica del generador de vapor 18 se mantiene constante en su valor nominal predeterminado debido a la reducción de la temperatura del refrigerante bajo presión. La potencia de salida térmica constante del generador de vapor 18 se compensa proporcionando una mayor diferencia de entalpia entre la entalpia del vapor que penetra en el circuito cerrado 16 del lado del vapor por el conducto 28 y la entalpia del condensado que sale del circuito cerrado 16 del lado del vapor a través del conducto 62. Los peritos en la materia saben perfectamente que en termodinámica, los grados de entalpia dependen principalmente de la temperatura del fluido en los puntos en cuestión.

Por tanto puede verse que la diferencial de entalpia entre el fluido motor entrante y el fluido motor saliente del circuito cerrado 16 del lado del vapor será controlada directamente por la temperatura del fluido motor entrante, es decir la temperatura del vapor que sale del generador de vapor por el conducto 28 y que se designa por T_{vapor} , y la temperatura del fluido motor saliente, es decir la temperatura del condensado que penetra en el generador de vapor 18 a través del conducto 62 y que está designada por $T_{\text{alimentación final}}$. Puede verse que si la diferencia de temperatura entre T_{vapor} y $T_{\text{alimentación final}}$ aumenta, se mantendrá la igualdad térmica general del circuito cerrado del lado del vapor. Esto significa que para mantener la potencia térmica del generador de vapor 18 constante a pesar de la reducción de temperatura del agua de refrigeración bajo presión que lo atraviesa, deberá realizarse un incremento de la diferencia de entalpia. Esto se obtiene aumen-

tando la diferencia de temperatura entre T_{vapor} y $T_{\text{alimentación final}}$.

5 Examinando la figura 1, puede verse que la temperatura $T_{\text{alimentación final}}$ en el lado de salida del elemento 56 de calentamiento del agua de alimentación, es superior a la temperatura T_1 que es la temperatura del condensado inmediatamente antes de penetrar en el elemento 56 de calentamiento del agua de alimentación. Por tanto, si se pudiera eliminar efectivamente el dispositivo 56 de calentamiento de agua de alimentación, la temperatura del agua secundaria que penetra en el elemento 18 del generador de vapor a través del conducto 62 podría ser disminuída desde $T_{\text{alimentación final}}$ hasta la temperatura T_1 . El sistema de control según el invento permite realizar este efecto.

10 El dispositivo detector de temperatura 68 indica una reducción predeterminada de la temperatura en el interior del reactor 12. El dispositivo detector de temperatura 68 responde a la reducción de temperatura mandando una señal predeterminada al dispositivo de interrupción de circulación 70, el cual inicia su funcionamiento abriendo la válvula 72 en derivación sobre el dispositivo 56 de calentamiento del agua de alimentación final.

15 El efecto del dispositivo de control de turbina según el invento consiste en una reducción de la temperatura del agua secundaria que penetra en el generador de vapor 18 por el conducto 62, desde la temperatura $T_{\text{alimentación final}}$ hasta la temperatura T_1 . El efecto de la reducción de la temperatura del agua secundaria que penetra en el generador de vapor consiste en proporcionar una mayor diferencia de temperatura entre T_{vapor} y $T_{\text{alimentación final}}$ para obtener en

20

25

30

la relación de igualdad, el mantenimiento de una potencia de salida térmica constante en el generador de vapor 18.

5 Sin embargo, después de un cierto tiempo, la acción iniciada por el dispositivo de control de turbina que deriva la circulación del dispositivo 56 de calentamiento del agua de alimentación pierde eficacia. En este momento, el dispositivo detector de temperatura 68 detectará una reducción predeterminada suplementaria de la temperatura en el reactor 12 y emitirá una señal predeterminada hacia el
10 dispositivo de interrupción de circulación 70. El dispositivo de interrupción de circulación 70 responderá a esta señal abriendo la válvula 74 para desconectar eficazmente el elemento 58 de calentamiento del agua de alimentación. La desconexión del elemento 58 de calentamiento de agua de ali-
15 mentación da lugar a la introducción de agua secundaria en el elemento generador de vapor 18 a la temperatura T_2 . T_2 es la temperatura a la cual el fluido motor condensado penetra en el calentador 58 de agua de alimentación. La temperatura T_2 es inferior a la temperatura T_1 .

20 El efecto de la reducción de la temperatura del agua secundaria introducida en el generador de vapor 18 por el conducto 62, desde la temperatura T_1 hasta una temperatura T_2 inferior, da lugar a un incremento de la diferencia de temperatura entre T_{vapor} y $T_{\text{alimentación final}}$. El incremento de la diferencia de entalpia entre el fluido motor entrante y el fluido motor saliente dentro del circuito cerrado 16 del lado del vapor, compensa la reducción de la presión del vapor en el circuito cerrado 16 del lado del vapor. La
25 presión del vapor disminuye debido a la reducción de la temperatura del agua de refrigeración bajo presión que es nece-
30

saría para aumentar la reactividad con el objeto de mantener en su valor nominal la potencia de salida térmica del generador de vapor 18. Conforme vaya transcurriendo el tiempo, el funcionamiento dentro del ciclo de combustible prolongado disminuye todavía más los niveles de radioactividad en el reactor 12. El dispositivo detector de temperatura 68 detecta una nueva reducción de temperatura predeterminada dentro del núcleo 12 del reactor. El dispositivo detector de temperatura 68 emite una señal predeterminada que se aplica al dispositivo de interrupción de circulación 70.

El dispositivo de interrupción de circulación 70 responderá a esta tercera señal predeterminada abriendo la válvula 76 para desconectar totalmente el tercer dispositivo 60 de calentamiento del agua de alimentación. El efecto de la desconexión del tercer elemento 60 de calentamiento del agua de alimentación consiste en introducir agua a la temperatura T_3 directamente en el elemento generador de vapor 18. La temperatura T_3 es inferior a la temperatura T_2 .

De una manera similar a la que se ha descrito más arriba, la diferencia entre la temperatura del agua secundaria introducida en el generador de vapor 18 por el conducto 62 y la temperatura del vapor que penetra en el circuito cerrado 16 del lado del vapor por el conducto 28, aumentará, lo que dará lugar a un incremento de la diferencia de entalpia entre el fluido motor entrante y el fluido motor de salida dentro del lado de vapor 16. El incremento de la diferencia de entalpia permitirá mantener en un valor constante la potencia de salida térmica del generador de vapor 18 en razón de la reducción de temperatura del agua de refrigeración bajo presión.

La observación empírica ha demostrado que es ventajoso desconectar solamente los tres calentadores de agua de alimentación 56, 58 y 60, más próximos al generador de vapor 18, de la manera descrita.

5 Sin embargo, la utilización de las enseñanzas del invento para derivar los calentadores de agua de alimentación 56, 58 y 60 permitirá controlar el sistema para prolongar el ciclo de combustible del elemento combustible del núcleo 12 del reactor, aproximadamente tres semanas. Durante esta prolongación de tres semanas, la potencia de salida térmica del reactor nuclear 12, tendrá su valor nominal. La reactividad del reactor 12 se aumenta disminuyendo la temperatura del agua de refrigeración bajo presión. Sin embargo, la reducción de la temperatura del agua de refrigeración bajo presión presenta un inconveniente que consiste en que la presión, y por tanto el caudal de vapor, en el circuito cerrado 16 del lado de vapor, disminuirán simultáneamente con la reducción de la temperatura del agua de refrigeración sometida a presión. Sin embargo, ya que la relación de igualdad que rige el lado del vapor indica que la potencia de salida térmica del generador de vapor 18 es igual al caudal multiplicado por la captación de energía en el sistema (diferencia de entalpía), la reducción de la presión de caudal de vapor en el circuito cerrado 16 del lado de vapor puede ser compensada aumentando la diferencia entre las entalpías de los fluidos motores entrante y saliente. La diferencia de entalpía puede ser aumentada eficazmente dando el valor más elevado posible a la diferencia de temperatura entre el agua secundaria que penetra en el generador de vapor 18 a través del conducto 62 y la temperatura del vapor que

10

15

20

25

30

sale del generador de vapor 18 a través del conducto 28 para penetrar en el circuito cerrado 16 del lado de vapor. En el modo de realización representado en la figura 1, esto se obtiene mediante la eliminación sucesiva de los elementos ca-
5 lentadores de agua de alimentación 56, 58 y 60.

Haciendo referencia ahora a la figura 2, se ve que representa una ilustración gráfica del efecto del modo de realización del sistema de control ilustrado en la figura 1 según el invento. La ordenada de la representación gráfica
10 de la figura 2 es un porcentaje numérico de la potencia de salida térmica del reactor 12 y de la potencia de salida eléctrica del conjunto de la instalación generadora 10. En la representación gráfica de la figura 2, la abscisa repre-
senta el tiempo marcado desde el comienzo de la prolonga-
15 ción del ciclo de combustible en el reactor 12.

Como se ha indicado más arriba, la reducción de la reactividad en el núcleo 12 del reactor disminuye la tempera-
tura del agua de refrigeración bajo presión. La reducción de la temperatura del agua de refrigeración bajo presión da
20 lugar a una reducción de la presión y de la temperatura del vapor que penetra en el secundario del circuito cerrado 16 del lado de vapor, dando lugar a una reducción de la poten-
cia de salida eléctrica del conjunto de la instalación gene-
radora 10. Este hecho se ilustra gráficamente por la pen-
25 diente descendente de la potencia de salida eléctrica empezando en el tiempo cero. El tiempo cero representa el co-
mienzo de la prolongación del ciclo de combustible. Se re-
presenta la potencia de salida eléctrica que empieza en el tiempo cero, como disminuyendo desde el 100% de la potencia
30 nominal sobre el periodo de tiempo prolongado del ciclo del

combustible.

Sin embargo, la utilización de las enseñanzas del invento y en particular del modo de realización representado en la figura 1, mantendrá, según se ilustra en la figura 2, la potencia de salida térmica del reactor en su nivel nominal durante tres semanas del periodo de prolongación del funcionamiento del ciclo de combustible. Sin embargo, se observará que la potencia eléctrica suministrada por toda la instalación generadora 10 disminuye desde un 100% de la potencia de salida nominal hasta aproximadamente el 94% de su valor nominal durante las tres primeras semanas del funcionamiento con ciclo de combustible prolongado. Se observará que se producen cambios escalonados en la potencia de salida eléctrica del sistema 10 que coinciden con los momentos en los cuales se retiran del servicio los dispositivos de calentamiento de agua de alimentación 56, 58 y 60, respectivamente.

Como se ha indicado con relación a la figura 1, la eliminación de cada dispositivo de calentamiento de agua de alimentación produce a su vez una reducción escalonada de la temperatura del agua secundaria. Por tanto, cuando se abre la válvula 72 en derivación sobre el dispositivo de calentamiento de agua de alimentación 56 se produce una reducción brusca de la temperatura del agua secundaria desde la temperatura $T_{\text{alimentación final}}$ hasta una temperatura inferior T_1 .

De la misma manera, cuando se abre la válvula 74 en respuesta al funcionamiento del dispositivo de control de interrupción de circulación 70, la eliminación del segundo dispositivo de calentamiento 58 del agua de alimentación produce una reducción brusca de la temperatura del agua se-

cundaria desde la temperatura T_1 hasta una temperatura inferior T_2 . Finalmente, cuando se abre la válvula 76 en derivación sobre el dispositivo de calentamiento de agua de alimentación 60, se produce una reducción brusca de la temperatura del agua secundaria desde la temperatura T_2 hasta una temperatura inferior T_3 .

5
10
15
Durante las reducciones escalonadas que se han producido en las tres primeras semanas del ciclo de combustible prolongado, se observará en la figura 2 que la potencia de salida térmica del reactor se mantiene al 100% de su valor nominal. Sin embargo, como puede verse en la figura 2, la potencia de salida eléctrica del conjunto de la instalación generadora de energía 10 disminuye durante las tres semanas del ciclo prolongado solamente desde el 100% de su valor nominal hasta aproximadamente el 94% de su valor nominal.

Las tres reducciones bruscas de la potencia de salida eléctrica que se representan en la figura 2, coinciden con la eliminación de cada dispositivo de calentamiento de agua de alimentación particular 56, 58 y 60 del sistema.

20
25
Después de eliminar el tercer elemento y elemento final de calentamiento de agua de alimentación del sistema, tanto la potencia de salida térmica del reactor como la potencia de salida eléctrica del sistema disminuyen más rápidamente. Sin embargo, ya que la potencia de salida térmica del reactor disminuye hasta aproximadamente el 85% de su valor nominal y la potencia de salida eléctrica de la instalación 10 disminuye tan solo hasta el 75% de su valor nominal, la instalación 10 puede seguir funcionando en el periodo de ciclo de combustible prolongado durante seis semanas más.

30 Los peritos en la materia se darán cuenta que dicha

prolongación del ciclo de combustible durante el periodo de tiempo que corresponde a la desconexión de los sucesivos elementos de calentamiento de agua de alimentación puede dar lugar a economías en el coste del ciclo de combustible.

5 La prolongación de la duración del ciclo de combustible en la cual la potencia de salida térmica del reactor se mantiene en el 100% de su valor nominal, se consigue reduciendo la temperatura del refrigerante del reactor asegurando la reactividad suplementaria necesaria para esta prolongación del ciclo de combustible. Al mismo tiempo, la potencia de salida térmica del generador de vapor 18 se mantiene en su valor nominal aumentando sucesivamente la cantidad definida por la diferencia de temperatura entre la temperatura del vapor que penetra en el circuito cerrado 16 del lado de vapor y la temperatura del agua secundaria que es reintroducida en el generador de vapor 18. El incremento de la cantidad definida por dicha diferencia de temperatura compensa cualquier reducción de presión de vapor que fluye por el circuito cerrado 16 del lado de vapor, producida por la disminución de la temperatura del agua del refrigerante bajo presión del circuito primario.

10

15

20

Haciendo ahora referencia a la figura 3, ésta ilustra una vista ampliada de una porción del lado 16 del sistema de vapor de la figura 1, que representa un segundo modo de realización del invento. En este modo de realización del invento, el dispositivo 70 de interrupción de la circulación contiene una sola válvula 78 en derivación por lo menos sobre los tres calentadores finales de agua de alimentación 56, 58 y 60 dispuestos entre el condensador 54 y el elemento generador de vapor 18.

25

30

En este modo de realización del invento, el dispositivo detector de temperatura 68 (figura 1) detecta también una reducción de temperatura predeterminada en el elemento 12 del reactor. El dispositivo detector de temperatura 68 dirige entonces una señal predeterminada hasta el dispositivo de interrupción de circulación 70. El dispositivo de interrupción de circulación 70 abre la válvula 78 en derivación sobre los tres dispositivos calentadores de agua de alimentación 56, 58 y 60.

El efecto de la abertura de la válvula 78 por el dispositivo de interrupción de circulación 70 consiste en reducir la temperatura del agua de alimentación final introducida en el elemento 18 del generador de vapor desde la temperatura $T_{\text{alimentación final}}$ hasta la temperatura más baja T_3 . El modo de realización ilustrado en la figura 1, proporciona una brusca reducción de temperatura al ser desactivados cada uno de los sucesivos dispositivos de calentamiento de agua de alimentación 56, 58 y 60. En el modo de realización ilustrado en la figura 3, se eliminan los bruscos cambios de temperatura inherentes al sistema de la figura 1.

En el modo de realización ilustrado en la figura 3, se obtiene un cambio de temperatura progresivo que empieza al nivel de temperatura igual a $T_{\text{alimentación final}}$ y que se aproxima progresivamente a la temperatura T_3 .

En este caso también, sin embargo, el efecto final neto de la derivación de los dispositivos de calentamiento de agua de alimentación 56, 58 y 60 es un incremento de la diferencia de temperatura entre la temperatura del vapor que penetra en el circuito cerrado 16 y la temperatura del agua secundaria introducida en la unidad 18 del generador de vapor.

Este incremento de la diferencia de temperatura da lugar a un incremento correspondiente de las diferencias de entalpia para mantener la potencia de salida térmica del generador de vapor 18 a su valor nominal predeterminado.

5 Haciendo ahora referencia a la figura 4, ésta representa una vista esquemática de una parte del circuito cerrado 16 del lado de vapor, similar a la figura 3, que ilustra otro modo de realización del invento. En la figura 4, el dispositivo interruptor de circulación 70 incluye una
10 válvula 80 dispuesta en una tubería de extracción 82 entre el elemento 30 de turbina de alta presión y el elemento 56 de calentamiento del agua de alimentación.

 Cuando el dispositivo detector de temperatura 68 determina una reducción de temperatura predeterminada en el
15 elemento 12 del reactor, manda una señal predeterminada al dispositivo de interrupción de circulación 70. El dispositivo de interrupción de circulación 70 responde a esta señal cerrando la tubería de extracción 82 entre el elemento de
20 turbina de alta presión 30 y el elemento 56 de calentamiento de agua de alimentación.

 El cierre de la tubería de extracción 82, da lugar a la eliminación de la fuente de calor del dispositivo 56 de calentamiento del agua de alimentación, y el condensado que
25 atraviesa el dispositivo 56 de calentamiento de agua de alimentación no es calentado. Por tanto, la temperatura del condensado que penetra en el generador de vapor 18 por el
30 conducto 62 disminuye durante un cierto tiempo hasta T_1 . El efecto del modo de realización representado en la figura 1 es similar al efecto del modo de realización representado en la figura 4. Concretamente, la temperatura del agua secunda-

ria introducida en el generador de vapor 18 disminuye desde $T_{\text{alimentación final}}$ hasta un valor inferior T_1 . Sin embargo, en el modo de realización representado en la figura 4, el dispositivo 56 de calentamiento de agua de alimentación permanecé en el sistema en lugar de estar derivado por la válvula 72 (figura 1).

Haciendo ahora referencia a la figura 5, ésta representa una vista esquemática que ilustra otro modo de realización del invento. En este modo de realización del invento, el dispositivo 70 de interrupción de la circulación incluye una válvula 84 dispuesta en un conducto de derivación 86, situado en paralelo sobre el elemento 30 de turbina de alta presión. La relación de igualdad que rige el circuito cerrado 16 del lado de vapor permite ver que la potencia de salida térmica del generador de vapor 18 depende del producto de la circulación de vapor a través de un circuito cerrado de vapor 16 y la diferencia de entalpia entre el fluido motor entrante y el fluido motor que sale del circuito cerrado 16.

En los modos de realización del invento que han sido descritos en lo que antecede, el método de compensación de la reducción de la presión del vapor producida en el circuito cerrado 16 del vapor por la reducción de la temperatura del agua refrigerante bajo presión del circuito primario, consistía en aumentar la diferencia entre el fluido entrante y el fluido saliente.

En cada caso, se ha aumentado la diferencia de entalpia incrementando la diferencia de temperatura entre la temperatura del vapor que penetra en el circuito cerrado 16 a través del conducto 28 y la temperatura del agua secundaria

que se reintroduce en el generador de vapor 18 por el conducto 62.

En este modo de realización del invento, se aumenta en la relación de igualdad mencionada más arriba el valor del parámetro de circulación para compensar la reducción de presión producida en el circuito de vapor 16 por la reducción de temperatura del agua de refrigeración del circuito primario.

El elemento 30 de turbina de alta presión está provisto de un orificio de entrada 32 con dimensiones físicas determinadas 34 inferiores a las dimensiones físicas 44 del orificio de entrada 42 del elemento de turbina de presión más baja 40. En este modo de realización del invento, se aumenta el valor del parámetro de circulación a través del circuito cerrado 16 del lado de vapor, creando una derivación alrededor del orificio de entrada 32 de dimensiones más reducidas 34 del elemento 30 de la turbina de alta presión.

Ya que las dimensiones físicas 44 del orificio 42 del elemento 40 de turbina de baja presión son superiores a las dimensiones físicas 34 del orificio de entrada 32 del elemento 30 de turbina de alta presión, el caudal a través del circuito cerrado 16 del lado de vapor aumenta simultáneamente. Un incremento del valor del parámetro de caudal a través del circuito cerrado 16 del lado de vapor compensa la pérdida de presión de vapor en el circuito cerrado 16 del lado de vapor, lo que da lugar a la reducción de la temperatura del agua de refrigeración bajo presión.

Por tanto, puede verse que cada modo de realización del invento tiene como resultado un incremento bien del

parámetro de caudal de circulación o del parámetro de cambio de entalpia manteniendo constante la potencia térmica del generador de vapor 18 a pesar de la reducción de la temperatura del agua de refrigeración bajo presión. Se recordará que la temperatura del agua de refrigeración bajo presión que circula por el circuito primario 14 se reduce para aumentar el grado de reactividad en el interior del reactor 12, con el fin de mantener constante la potencia de salida térmica nominal del reactor 12 durante el funcionamiento del ciclo de combustible prolongado.

Durante el funcionamiento normal, es decir durante el ciclo de combustible normal del reactor 12, es preciso reducir los niveles de reactividad del reactor 12 durante aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda de energía es reducida en la instalación generadora de energía 10. Durante estos periodos de tiempo, se reduce el nivel de reactividad del reactor 12 mediante la introducción de las barras de control 64 que absorben los neutrones, en sus canales respectivos 65 en el interior del reactor 12. Esta operación reduce la densidad de los neutrones de alta energía en el reactor 12, disminuyendo así la reactividad en el reactor 12. La reducción de la reactividad disminuye a su vez el nivel de reactividad del reactor 12. Si la temperatura del reactor 12 disminuye, la temperatura del refrigerante hace otro tanto, lo que da lugar a una disminución de la presión del vapor que atraviesa el circuito cerrado secundario 16 del lado de vapor.

De esta manera, la instalación de energía 10 es capaz de reducir su capacidad durante los periodos de consumo reducido. La capacidad de la instalación generadora de ener-

gía 10 accionada por el reactor, para reducir su potencia de salida eléctrica durante los periodos de consumo reducido, se llama capacidad de seguimiento de carga de la instalación generadora accionada por reactor 10. Durante el funcionamiento del reactor en estos periodos de carga reducida, una cierta cantidad de boro que se utiliza como moderador en el reactor 12, sufre una transformación y produce en el reactor 12 una cierta cantidad de xenon. El contenido de xenon en el reactor 12 depende de la magnitud de la transformación del boro en el reactor 12. La presencia del xenon en el reactor 12 inhibe la capacidad de seguimiento de carga del sistema.

Se ha observado que la capacidad de seguimiento de carga del sistema es inhibida hasta que el xenon contenido en el reactor 12 haya tenido el tiempo de desintegrarse. En la técnica anterior, la única posibilidad durante los periodos de desintegración del xenon o durante el llamado periodo transitorio del xenon consiste en dejar que el xenon se desintegre y por tanto dejar que merme la capacidad de seguimiento de carga del sistema 10 durante este tiempo.

Sin embargo, una característica suplementaria del invento proporciona una segunda alternativa durante el periodo transitorio de xenon. En un sistema que utiliza las enseñanzas del invento, la capacidad de seguimiento puede ser mantenida incluso durante el periodo transitorio de xenon.

Por ejemplo, si se desea restablecer la capacidad de energía máxima durante un periodo transitorio de xenon, se aumenta el nivel de reactividad en el reactor 12 mediante reducción de la temperatura del refrigerante en el reactor 12. Sin embargo, esto tiene como efecto la reducción de la

presión del vapor utilizado en el circuito cerrado del lado de vapor 16. Sin embargo, se recordará que se produce precisamente el mismo fenómeno durante el funcionamiento prolongado más allá del ciclo de combustible del elemento de combustible. Esto quiere decir que durante el funcionamiento prolongado, la temperatura del agua de refrigeración bajo presión disminuye para mantener los niveles de reactividad a un nivel predeterminado en el reactor 12. Durante estos periodos de tiempo, se mantiene la potencia de salida eléctrica del sistema general 10 dentro de una gama muy próxima a su potencia de salida eficaz máxima.

En un sistema en el cual se produce un periodo transitorio de xenon, se obtienen las mismas respuestas del reactor y del sistema. Disminuyendo la temperatura del refrigerante y compensando las temperaturas más bajas del refrigerante bajo presión mediante un cambio bien de las diferencias de entalpia o de los caudales de circulación dentro del circuito cerrado del lado de vapor, es posible restablecer la capacidad de seguimiento de carga que es normalmente inhibida durante el periodo transitorio de xenon.

Se han hecho intentos para prolongar la duración de los ciclos de combustible utilizados conjuntamente con instalaciones generadoras del tipo de Reactor de Agua Hirviente. Sin embargo, se insistirá sobre el hecho de que el principio de funcionamiento de un Reactor de Agua Hirviente, es básicamente diferente del principio de funcionamiento del Reactor de Agua Bajo Presión.

El Reactor de Agua Hirviente, debido a su misma naturaleza, debe producir vapor a presión constante. Esta producción de vapor a presión constante es necesaria puesto

que la presión del vapor tiene un efecto potente sobre la potencia del reactor; una reducción de la presión de vapor da lugar a una disminución de la potencia del reactor. Para controlar este fenómeno, la potencia de salida de un Reactor de Agua Hirviente debe ser elevada o bajada antes de que la turbina pueda absorber más o menos vapor. Como lo verán los peritos en la materia, la turbina está sometida al reactor.

Más allá del final del ciclo de combustible, la potencia de salida térmica del Reactor de Agua Hirviente puede mantenerse constante disminuyendo la temperatura del agua de alimentación. Con una temperatura de agua de alimentación más baja y la misma potencia del reactor, se produce menos vapor. La presión del vapor se mantiene constante cerrando manualmente los orificios de entrada de la turbina de alta presión para reducir la sección de paso del caudal de circulación, aumentando así la presión de circulación. Realizando modificaciones en el sistema del lado de vapor, una instalación generadora de energía accionada por un Reactor de Agua Hirviente puede extraer más energía de la normal a partir de una circulación de vapor reducida, asegurando el retorno del agua de alimentación a una temperatura más baja.

Sin embargo, no se había utilizado previamente ningún sistema de control integrado para la modificación de un sistema de vapor de un Reactor de Agua Hirviente. El funcionamiento de un Reactor de Agua Hirviente de acuerdo con el modo descrito más arriba, es una operación manual y no se considera como normal dentro del contexto de los Reactores de Agua Hirviente.

Por el contrario, incorporando las enseñanzas del

invento en un Reactor de Agua Hirviente, es posible hacer variar la presión del vapor. La turbina puede absorber más o menos vapor para satisfacer los cambios de carga y la potencia del reactor aumentará o disminuirá de acuerdo con el consumo de vapor. Por consiguiente el reactor está sometido a la turbina.

Más allá del final del ciclo de combustible, la temperatura del refrigerante disminuye para reducir la presión del vapor. Esta reducción de la presión del vapor es característica no solamente del funcionamiento más allá del final del ciclo de combustible, sino también del funcionamiento con importantes incrementos de carga. Cada vez que la reactividad del núcleo es insuficiente para aumentar la potencia del reactor y la temperatura del refrigerante, con el objeto de proporcionar el vapor necesario para la turbina, la presión de vapor disminuye.

Las diferencias básicas entre un Reactor de Agua Hirviente y un Reactor de Agua bajo Presión durante el ciclo de combustible prolongado, pueden resumirse de la siguiente manera. El Reactor de Agua Hirviente exige una reducción de la temperatura de agua de alimentación para mantener la potencia térmica máxima a una presión de vapor que debe mantenerse constante. Un Reactor de Agua bajo Presión puede mantener la potencia térmica máxima admitiendo una reducción de presión de vapor independientemente de la reducción de la temperatura de agua de alimentación. Cuando la presión del vapor disminuye, se limita la circulación del vapor a través del sistema de turbina del Reactor de Agua bajo Presión. La temperatura del agua de alimentación, en un Reactor de Agua bajo Presión, puede ser disminuída con el objeto de

obtener la potencia eléctrica máxima de la instalación y reducir el caudal de vapor cuando el reactor funciona a la potencia térmica máxima.

5 Por tanto, puede verse que la utilización de las enseñanzas del invento permite obtener un sistema de control que mantiene el nivel de potencia de la instalación generadora de vapor dentro de una gama precisa de potencia nominal predeterminada. Puede verse también que la utilización del sistema de control de acuerdo con el invento proporciona un
10 método para mantener constante la potencia de salida térmica de un elemento de reactor a pesar de la reducción de reactividad del núcleo característica del funcionamiento más allá del ciclo de combustible o durante los periodos de demanda de una mayor circulación. Por tanto, puede verse que la utilización del invento proporciona un método para prolongar la
15 capacidad de seguimiento de carga de los Reactores de Agua bajo Presión durante los periodos de desintegración del xenon acumulado.

En resumen: La Patente de Invención que se solicita
20 deberá recaer sobre las siguientes

REIVINDICACIONES

1.- Método para prolongar el funcionamiento de una instalación generadora de vapor por energía nuclear más allá del final de su ciclo de combustible normal, incluyendo
25 dicha instalación un circuito cerrado de refrigeración del vapor que contiene en él agua como refrigerante, y un circuito cerrado de vapor de la turbina, caracterizado porque al final del ciclo de combustible normal, se reduce la temperatura del refrigerante por debajo de su nivel normal con
30 el objeto de aumentar el nivel de reactividad en dicho reactor

y se modifica el circuito cerrado de la turbina para acomodar vapor a temperatura reducida.

5 2.- Método según la reivindicación 1, caracterizado porque el nivel de reactividad aumenta en dicho elemento reactor y el circuito cerrado de la turbina es modificado bajo el efecto de un estado transitorio de xenon en el interior de dicho reactor.

10 3.- Método según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque el reactor incluye un circuito cerrado de turbina por el cual circula un fluido motor que entra a una primera temperatura predeterminada y por el cual circula un fluido motor que sale a una segunda temperatura predeterminada, caracterizado porque la temperatura de dicho fluido motor que sale es reducida desde dicha segunda (normal) temperatura predeterminada hasta una tercera temperatura predeterminada.

15 4.- Método según la reivindicación 3, caracterizado porque dicho circuito cerrado de la turbina incluye un conjunto de turbinas de alta presión y de baja presión conectadas en serie, que incluye unas zonas de extracción, un condensador, y unos dispositivos de calentamiento del agua de alimentación conectados con dichas zonas de extracción por unos conductos de extracción, y porque la temperatura de dicho fluido que sale es reducida desde dicha segunda temperatura predeterminada hasta dicha tercera temperatura predeterminada poniendo fuera de servicio por lo menos uno de dichos dispositivos de calentamiento de agua de alimentación mediante el cierre de por lo menos uno de dichos conductos de extracción.

25 5.- Método según la reivindicación 4, caracterizado porque dicho circuito cerrado de turbina tiene un caudal

30

de circulación normal predeterminado del fluido motor que lo atraviesa y porque el caudal de circulación en dicho circuito cerrado de turbina aumenta desde dicho primer caudal predeterminado hasta un segundo caudal predeterminado.

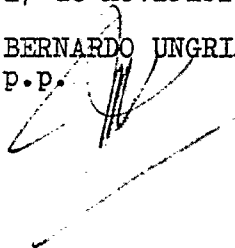
5 6.- Método según la reivindicación 4 o 5, caracterizado porque el vapor pasa en derivación respecto a dicha turbina de alta presión a partir del reactor y penetra directamente en la turbina de baja presión.

10 7.- Se reivindica por último, como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita:
METODO PARA PROLONGAR EL FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACION
GENERADORA DE VAPOR POR ENERGIA NUCLEAR.

15 Todo tal y como queda descrito y reivindicado en la presente Memoria descriptiva que consta de cuarenta y una páginas mecanografiadas y dibujos que se acompañan.

Madrid, 27 de noviembre de 1974

BERNARDO UNGRIA
P.P.



20

25

30

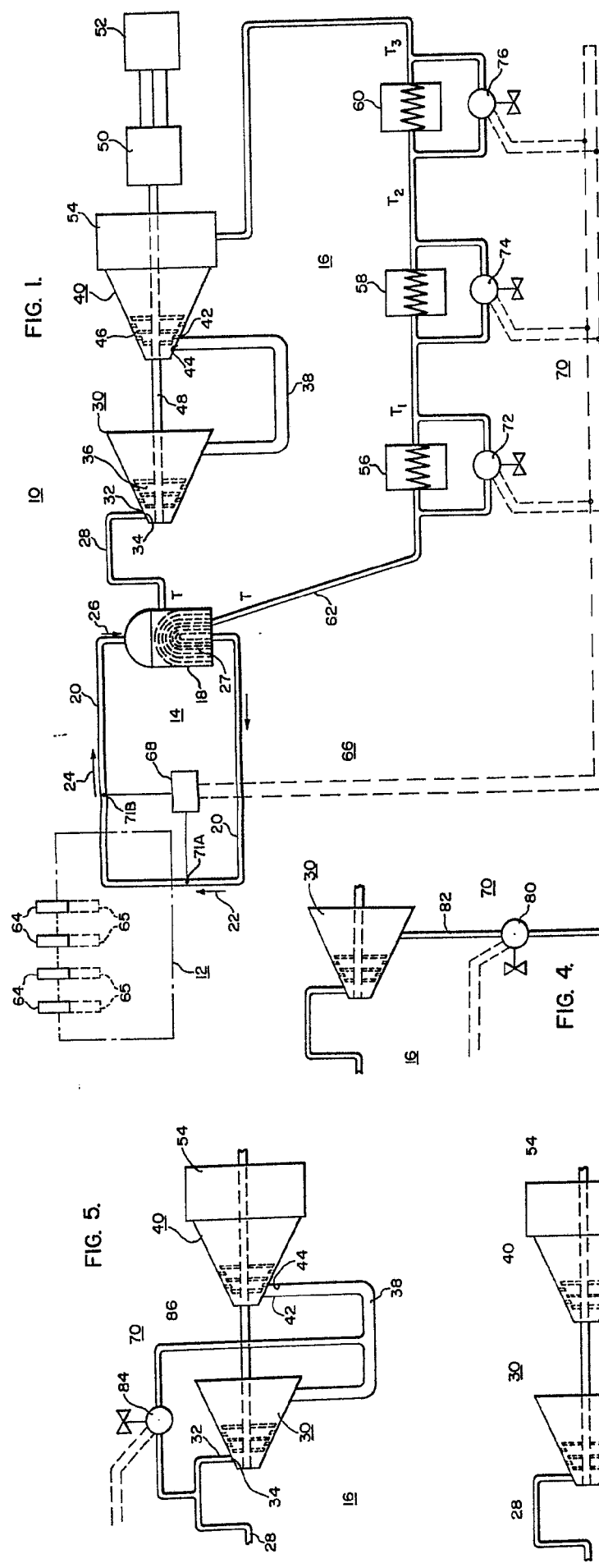


FIG. 1.

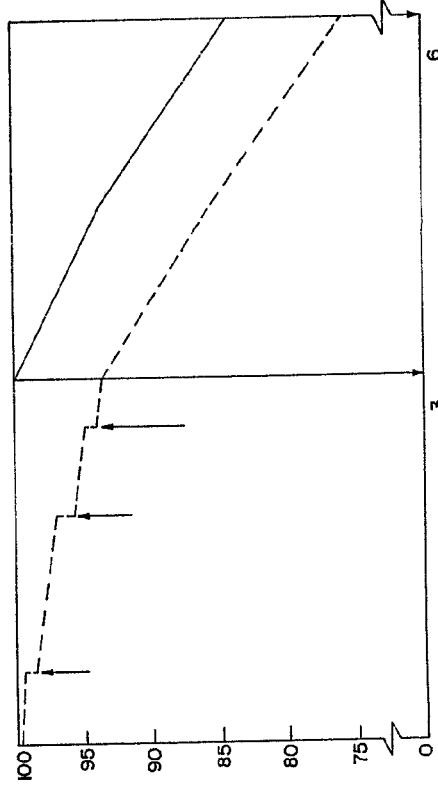


FIG. 2.
ESCALA VARIABLE
Madrid, 27 de noviembre 1974
BERNARDO UNGRIA
P.P.

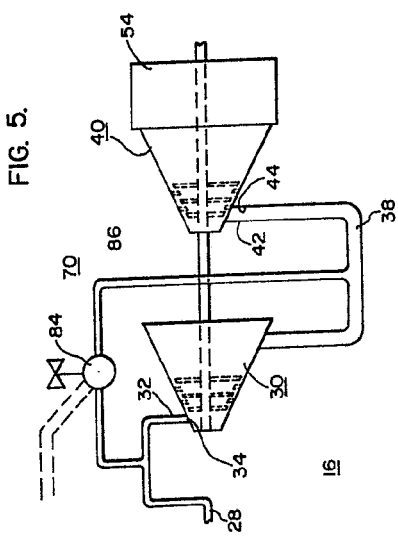


FIG. 3.

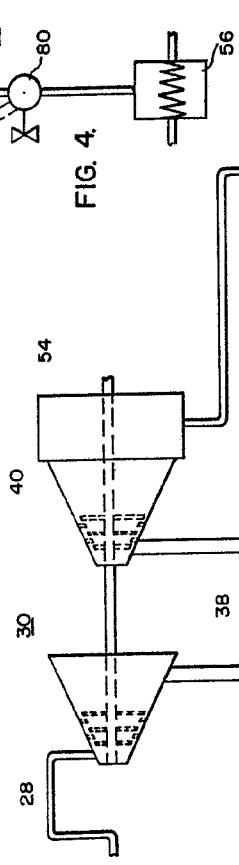


FIG. 4.

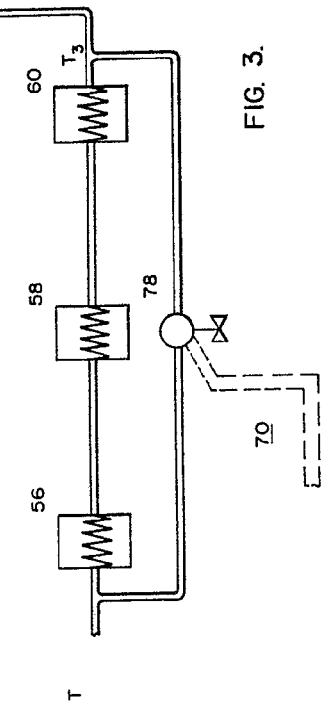


FIG. 5.

FIG. 5.

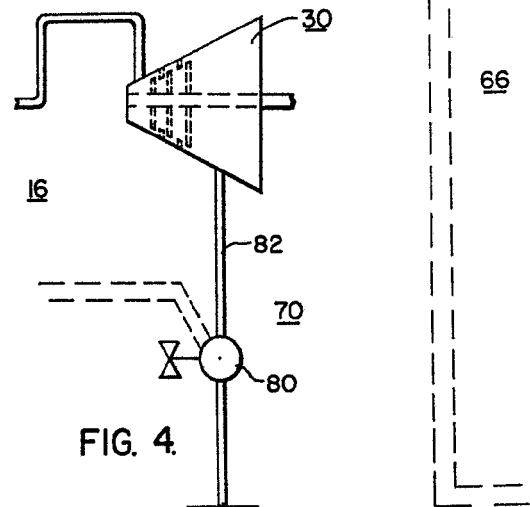
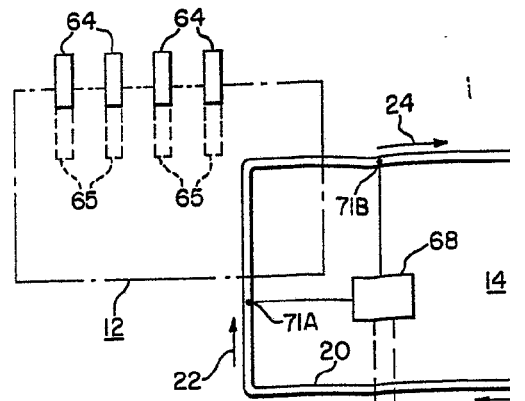
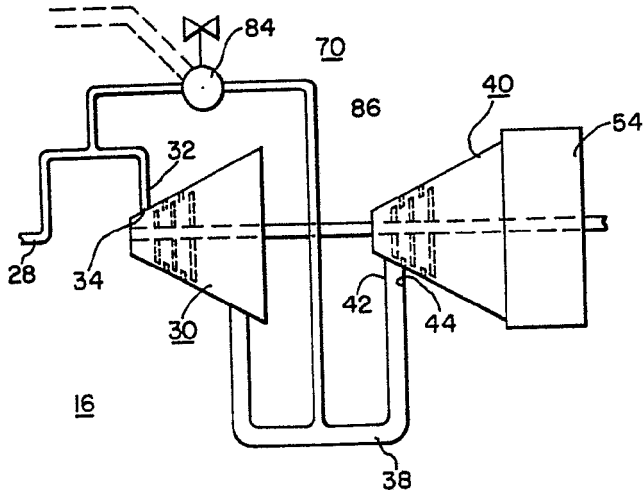


FIG. 4.

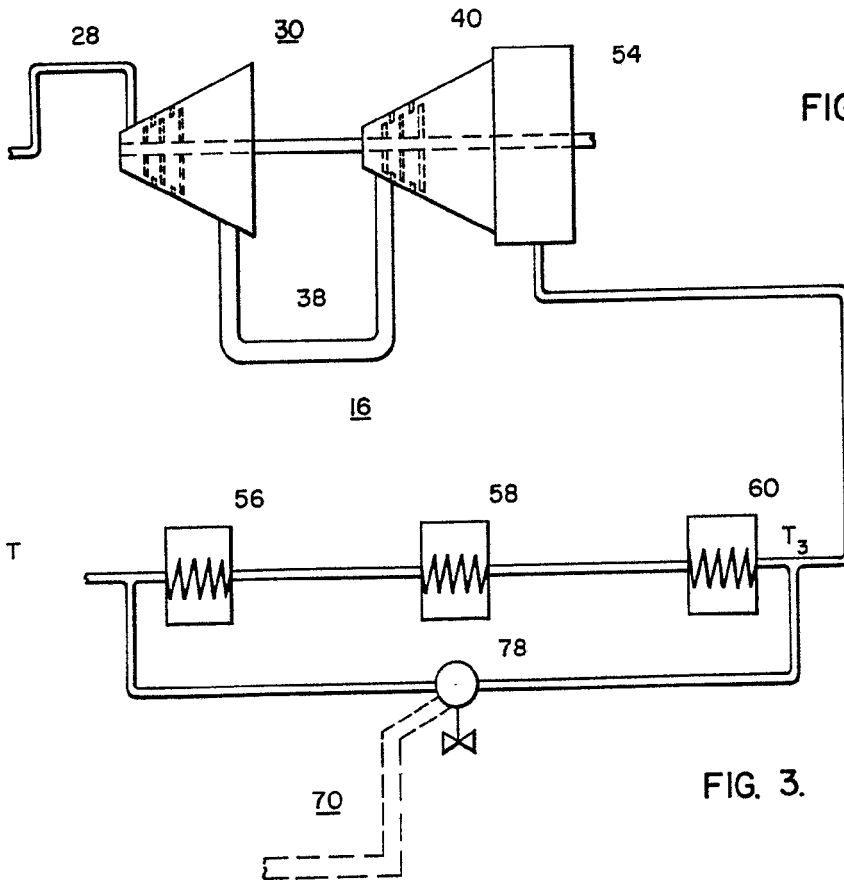
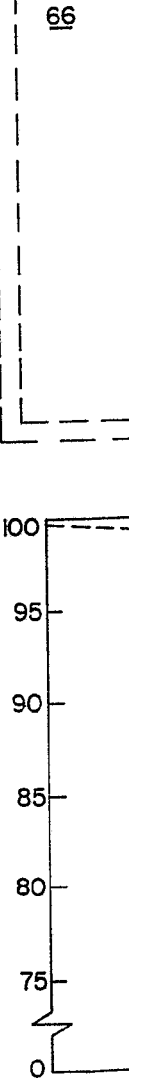


FIG. 3.



10

FIG. 1.

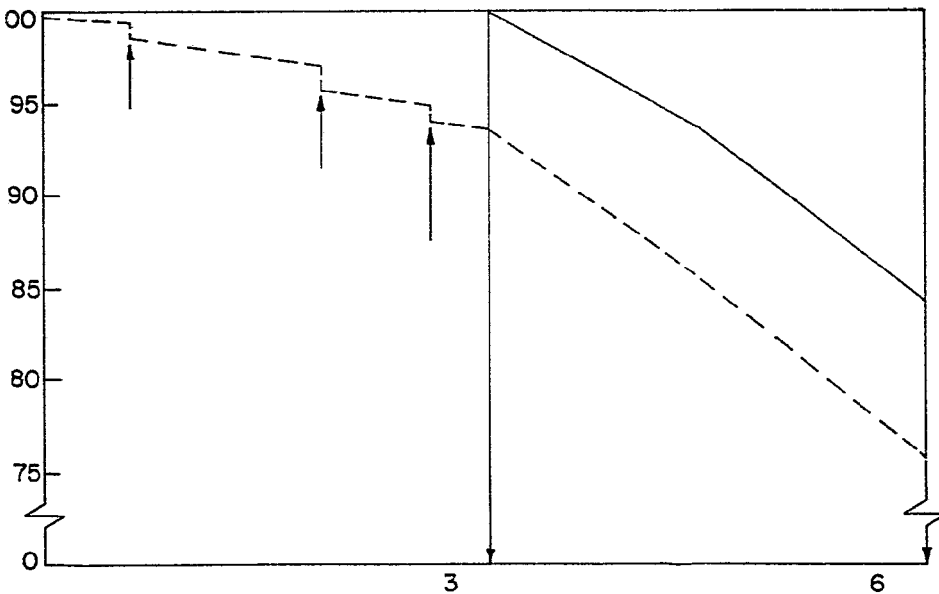
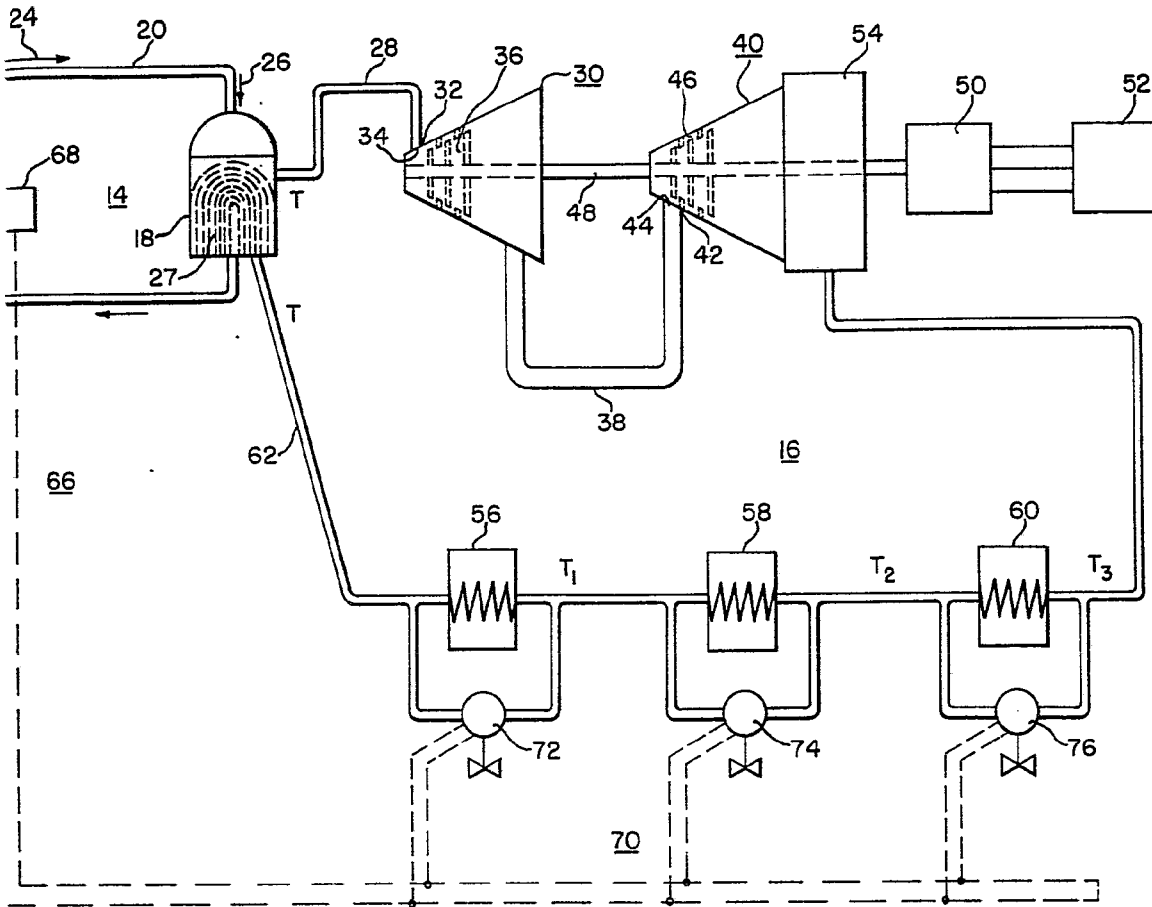


FIG. 2.

ESCALA VARIABLE
 Madrid, 27 de noviembre 1974
 BERNARDO UNGRIA
 p.p.