

MINISTERIO DE INDUSTRIA
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



ESPAÑA

Concedido el Registro de ~~comercio~~
con los datos que figuran en la pre-
sente descripción y según el con-
tenido de la Memoria adjunta.

19 ES

11	NUMERO	10	A 1
21	464.715		
22	FECHA DE PRESENTACION		
	2-12-1977		

20 OCT. 1978

PATENTE DE INVENCION

30	PRIORIDADES:	32	FECHA	33	PAIS
31	NUMERO				
	747.133		3-12-1976		ESTADOS UNIDOS

47	FECHA DE PUBLICIDAD	51	CLASIFICACION INTERNACIONAL	62	PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
			G 21 D		

54	TITULO DE LA INVENCION
	UN METODO Y APARATO PARA SEGUIMIENTO DE CARGA EN UNA CENTRAL TERMO- ELECTRICA.

71	SOLICITANTE (ES)
	GENERAL ELECTRIC COMPANY

	DOMICILIO DEL SOLICITANTE
	1 River Road, Schenectady - New York 12305 - ESTADOS UNIDOS

72	INVENTOR (ES)
	Wells Ivins Collett, de nacionalidad estadounidense.

73	TITULAR (ES)
	El mismo solicitante

74	REPRESENTANTE
	BERNARDO UNGRIA GOIBURU.

EXTRACTO DE LA DESCRIPCION

1 El invento se refiere a un método y al aparato corres-
pondiente para equipar un reactor nuclear del tipo de moderador-
refrigerante hirviente de ciclo único que admite cambios de con-
sumo, con un turbogenerador bajo control directo de un regula-
5 dor. Los reactores nucleares del tipo de moderador-refrigeran-
te hirviente de ciclo único utilizan turbogeneradores cuyo fun-
cionamiento depende del reactor. Esta disposición es impuesta
por las limitaciones inherentes de la respuesta del reactor nu-
clear del tipo de moderador-refrigerante hirviente de ciclo
10 único. El presente invento utiliza la capacidad de almacenamien-
to de calor de un equipo auxiliar de la instalación para contro-
lar la presión del reactor cuando se produce un rápido cambio
de consumo, por ejemplo durante las variaciones de carga día-
rias o con un cambio de regulación de frecuencia. Esto permite
15 situar el turbogenerador bajo el control directo del regulador.
Los rápidos cambios de consumo positivos o negativos impuestos
a la turbina producen un incremento o una reducción de la pre-
sión en el reactor. La presión del reactor se supervisa por
medio de un regulador de presión el cual, en el caso de un rá-
20 pido incremento del consumo disminuye la cantidad de vapor nor-
malmente dirigida a los calentadores de agua de alimentación
o a los recalentadores de vapor y la dirige de nuevo a la tur-
bina. En el caso de una rápida reducción del consumo, el regu-
lador de presión deriva una parte de la circulación principal
25 de vapor hacia un condensador. El vapor es redirigido o deriva-
do hasta que el reactor haya tenido el tiempo de responder al
cambio de consumo.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

1. Ambito del Invento

30

El invento se refiere a un método, así como al apa

1 rato correspondiente para realizar el seguimiento de carga
con un reactor nuclear del tipo de moderador-refrigerante hir-
viente de ciclo único.

2. Descripción de la Técnica Anterior

5 Se han desarrollado varios tipos diferentes de reac-
tores nucleares que utilizan la energía térmica producida por
reacciones de fisión nuclear, con el objeto de realizar un
trabajo útil. Los reactores del tipo de moderador-refrigerante
hirviente de ciclo único, por ejemplo los reactores de agua
10 hirviente, llamados más adelante reactores BWR han demostrado
ser altamente adecuados para numerosas aplicaciones. Un reac-
tor característico de este tipo incluye un conjunto o núcleo
de reacción en cadena constituido por un material de combusti-
ble nuclear contenido en elementos de combustible. El material
15 combustible está encerrado en un recinto o vaina conductora
del calor y resistente a la corrosión. El núcleo del reactor,
constituido por una pluralidad de estos elementos separados,
está incluido en un recipiente resistente a la presión a tra-
vés del cual circula el moderador-refrigerante del reactor.
20 Mientras el refrigerante pasa entre los elementos de combusti-
ble separados, se calienta y es evaporado por la energía que
se produce durante las reacciones de fisión. El vapor resultan-
te sale del reactor, es dirigido hasta un sistema de genera-
ción de energía accionado por fluido, tal como un turbogenera-
25 dor, es condensado y finalmente es reciclado al reactor.

 En estos reactores, el refrigerante sirve para disipar
el calor procedente del núcleo del reactor, para frenar o
moderar los neutrones rápidos liberados durante los fenómenos
de fisión en el combustible, para aumentar la probabilidad de
30 que se produzcan fisiones suplementarias y para mantener una

1 reacción de fisión en cadena. Mientras la ebullición se produ-
ce en el interior del núcleo, la formación de burbujas de vapor
en el refrigerante reduce la cantidad de moderador líquido en
el núcleo del reactor, lo que disminuye la reactividad. Por
5 tanto, la reactividad más importante en el núcleo tiende a au-
mentar la generación de calor; dando lugar a la formación de
una mayor cantidad de burbujas de vapor. Estas burbujas, a su
vez, tienden a reducir la reactividad. De esta manera, el reac-
tor se autorregula. El nivel general de reactividad en un reac-
10 tor de este tipo se ajusta mediante el reglaje de las barras
de control. Por ejemplo, si las barras de control están par-
cialmente retiradas, el nivel de flujo de neutrones y, por tan-
to la reactividad, aumenta. Esta mayor reactividad aumenta la
generación de calor lo que da lugar a la formación de una ma-
15 yor cantidad de burbujas de vapor. Cuando se forman las burbu-
jas de vapor, el efecto de moderación del refrigerante dismi-
nuye, compensando parcialmente el incremento de reactividad.
La ebullición continuará con este nivel mientras la presión
del reactor permanece constante. Sin embargo, si la presión
20 cambia sustancialmente durante el funcionamiento sin que se
hayan realizado reglajes compensatorios en el nivel de poten-
cia del reactor, el reactor puede no autorregularse, ya que
un incremento de presión tiende a inhibir la formación de bur-
bujas de vapor de moderador, lo que permite que el nivel de
25 potencia aumente. Por consiguiente, es preferible que la pre-
sión interna del reactor se mantenga sustancialmente constan-
te y que la reactividad sea controlada por otros medios. El
sistema de control básico del reactor consiste en las barras
de control que contienen materiales absorbentes de los neutro-
30 nes y que reducen la reactividad cuando se introducen en el nú

1 cleo. Sin embargo, el cambio del nivel de potencia del reactor
y de la cantidad de vapor resultante de un cambio de la posi-
ción de las barras de control, es un cambio que se efectúa a
plazo relativamente largo, ya que necesita generalmente un pe-
5 ríodo de tiempo de 20-30 segundos. Este retardo en el cambio
de la cantidad de vapor producida es generalmente indeseable
en la práctica, ya que se desea obtener respuestas considera-
blemente más rápidas.

Los reactores de agua hirviente (BWR) tienen un meca-
10 nismo de control suplementario que no existe en otros tipos de
reactores. Están dotados de una recirculación de moderador-
refrigerante que se bombea a partir del reactor desde un punto
situado encima del núcleo del reactor y que se bombea de nuevo
hacia el reactor debajo del núcleo, Haciendo variar esta recir-
15 culación de moderador-refrigerante, es posible hacer variar
la cantidad de refrigerante líquido que atraviesa el núcleo
durante cada unidad de tiempo. Por tanto, si se desea obtener
un incremento del nivel de la potencia, la recirculación pue-
de ser aumentada, barriendo así las burbujas de vapor fuera
20 del núcleo a una velocidad más rápida. Ya que la proporción
del núcleo que contiene el líquido en lugar de refrigerante
vaporizado aumenta, el efecto de moderación aumenta y, por
tanto, la reactividad aumenta. Cuando se desea reducir el ni-
vel de potencia del reactor, puede reducirse la recirculación
25 barriendo así las burbujas de vapor fuera del núcleo a una ve-
locidad más lenta. Ya que el núcleo contendrá en este momento
una mayor proporción de burbujas de vapor y una menor propor-
ción de refrigerante líquido moderador, la reactividad dismi-
nuirá. Por consiguiente, después de fijar el nivel básico de
30 seado de funcionamiento del reactor ajustando las barras de

1 control, es posible hacer variar el nivel de potencia del reactor en una gama sustancial haciendo variar la velocidad de recirculación del refrigerante de acuerdo con los requisitos de consumo de vapor.

5 Aunque el reactor responde a un cambio de consumo de vapor procedente de la carga, más rápidamente ajustando la velocidad de recirculación que ajustando simplemente las posiciones de las barras de control, existe todavía una demora de 5 a 15 segundos aproximadamente antes de que se alcance el nuevo nivel de potencia. Por consiguiente, sigue existiendo la necesidad de un sistema de control mejorado para reactor de agua hirviente capaz de responder más rápidamente a los consumos variables.

15 Hasta la fecha, esta demora en la respuesta ha sido considerada como inherente a los reactores de agua hirviente, debido a su reducida capacidad de almacenado de calor, o reducida capacitancia y al problema mencionado más arriba que consiste en mantener una presión relativamente constante en el reactor. Los reactores nucleares del tipo de moderador-refrigerante a presión, tales como los reactores de agua a presión, que se llaman a continuación PWR, y los reactores de agua hirviente de doble ciclo no presentan esta dificultad en razón de la elevada capacidad de almacenado de calor de estos tipos de reactores. Estos tipos de reactores presentan una gran capacidad de almacenado de calor en un generador de vapor situado en el ciclo secundario del reactor, que transforma el calor procedente de la circulación principal de agua moderadora-refrigerante en vapor para accionar una turbina. El ciclo secundario de estos tipos de reactores sirve también para aislar el reactor de las fluctuaciones de presión rela

1 cionadas con la demanda de energía. Por consiguiente, los reac
tores de agua a presión y los reactores de agua hirviendo de
doble ciclo son capaces de responder a las variaciones diarias
de carga y de regulación de frecuencia producidas por el con
5 trol directo del regulador de turbina, mientras que los reac
tores de agua hirviendo incluyen generalmente un regulador de
turbina cuyo funcionamiento depende de un reactor que responde
más lentamente. Naturalmente, esta limitación en la respuesta
a las variaciones de carga o a los cambios de regulación de
10 frecuencia es particularmente onerosa para la explotación de
una central de energía nuclear que debe satisfacer demandas
extremadamente variables.

La técnica anterior presenta unas soluciones a este
problema de capacitancia de calor y estas soluciones son sa
15 tisfactorias para los pequeños reactores de agua a presión,
los pequeños reactores de agua hirviendo de doble ciclo, y pa
ra las instalaciones de combustible fósil que tienen calderas
de paso único con una reducida capacitancia térmica. Por ejem
plo, en la patente de los Estados Unidos n° 3.457.725 a nom
20 bre de A. Schwarzenbach, se describe un aparato que reduce o
cierra una circulación secundaria de vapor procedente del sis
tema de suministro de vapor para aumentar la circulación de
vapor a través de la turbina y para satisfacer así las deman
das de cresta o las demandas que cambian rápidamente. La cir
25 culación de vapor secundaria procedente del sistema de suminis
tro de vapor se utiliza para calentar el equipo auxiliar de
la instalación, tales como recalentadores y calentadores de
agua de alimentación. De este modo, Schwarzenbach utiliza la
capacitancia térmica de este equipo auxiliar para cubrir las
30 demandas de cresta o las demandas que cambian rápidamente.

1 Sin embargo, el aparato descrito por Schwarzenbach es particu-
larmente mal adaptado para ser utilizado con un reactor de
agua hirviendo porque la circulación de vapor secundaria se
reduce para aumentar la circulación de vapor a través de la
5 turbina, sin tener en cuenta el efecto sobre la presión del
vapor en el sistema de suministro de vapor. Esta reducción in-
controlada del suministro secundario del vapor puede producir
fluctuaciones de presión en el sistema de suministro de vapor.
Esto sería inadecuado en un reactor de agua hirviendo, ya que
10 si la presión del sistema de suministro de vapor de origen nu-
clear de un reactor de agua hirviendo no se mantiene constan-
te, el reactor puede no autorregularse como se ha indicado an-
teriormente. Los bruscos incrementos de presión inhiben la for-
mación de las burbujas de vapor del moderador, dando lugar a
15 una excursión de flujo o incremento de la potencia del reac-
tor. Las bruscas reducciones de presión dan lugar a un incre-
mento en la formación de las burbujas de vapor del moderador,
lo que produce una brusca reducción del nivel de potencia del
reactor.

20 Otros técnicos han sugerido reducir la circulación
de diferentes fuentes de vapor secundario en la instalación
generadora. Por ejemplo, en la patente de los Estados Unidos
n° 3.411.299 a nombre de F. Nettle, se sugiere reducir la can-
tidad de vapor extraída de la turbina para mejorar el funcio-
25 namiento en condiciones de carga máxima en una instalación ge-
neradora accionada por vapor. Sin embargo, la disposición des-
crita por Nettle presenta los mismos inconvenientes reseñados
más arriba con relación al aparato de Schwarzenbach, ya que
Nettle reduce la circulación del vapor extraído para aumentar
30 la potencia de la turbina sin tener en cuenta el efecto de es

1 ta reducción sobre la presión del sistema de suministro de va
por.

Otros técnicos han sugerido añadir un acumulador de vapor o fuente de calor alimentada con combustible fósil, al sistema de suministro de vapor, para cubrir la necesidad de almacenado de calor de modo que el turbogenerador pueda responder a las variaciones de carga diarias o a las variaciones de regulación de frecuencia. Sin embargo, este procedimiento es prohibitivamente complejo y costoso.

10 Otros técnicos han sugerido utilizar una derivación de turbina para derivar el vapor no deseado hacia el condensador. Véase por ejemplo patente de los Estados Unidos número 3.128.233 a nombre de R.E. Kuerzel. Sin embargo, la técnica anterior no ha tenido en cuenta la combinación de esta propiedad con la posibilidad de reducir la circulación secundaria de vapor en un sistema de seguimiento de carga que aporta una solución a los problemas particulares que están asociados con la consecución de un rápido seguimiento de carga con un reactor de agua hirviendo.

20 Ya que un gran número de reactores de agua hirviendo está actualmente en servicio, y que un gran porcentaje de la capacidad de la red de algunas compañías de suministro de electricidad está constituido por reactores de agua hirviendo, existe igualmente la necesidad de un sistema de seguimiento de carga mejorado para reactores de agua hirviendo, que pueda ser adaptado a las instalaciones existentes.

25 Por consiguiente, un objeto del invento consiste en proporcionar un sistema de seguimiento de carga para reactor de agua hirviendo que tiene una rápida respuesta inicial a las rápidas variaciones de consumo.

30

1 Otro objeto del invento consiste en proporcionar un sistema de seguimiento de carga para reactor de agua hirviendo que permite utilizar un control directo por regulador de la turbina.

5 Otro objeto del invento consiste en proporcionar un sistema de seguimiento de carga para reactor de agua hirviendo, que permite igualmente que el reactor de agua hirviendo responda a los rápidos cambios de consumo con una velocidad igual o superior a la de un reactor de agua a presión.

10 Otro objeto del invento consiste en proporcionar un sistema de seguimiento de carga para reactor de agua hirviendo que permite una rápida respuesta inicial a los rápidos cambios de consumo sin cambio en la presión del reactor.

15 Otro objeto del invento consiste en proporcionar un sistema de seguimiento de carga para reactor de agua hirviendo capaz de una rápida respuesta inicial a los rápidos cambios de consumo sin producir un cambio en la reactividad ni producir fluctuaciones en la potencia del reactor.

20 Otro objeto suplementario del invento consiste en proporcionar un sistema de seguimiento de carga para reactor de agua hirviendo que sea sencillo, económico y que pueda ser adaptado a los reactores de agua hirviendo existentes.

RESUMEN DEL INVENTO

25 Estos objetos, así como otros objetos del invento se obtienen gracias a un método y un aparato para seguimiento de carga con un reactor de agua hirviendo que utiliza la capacidad calorífica del equipo auxiliar de la instalación para controlar la presión del reactor durante un rápido cambio de consumo. El invento permite igualmente que un reactor de
30 agua hirviendo pueda responder a las variaciones diarias de

1 carga o a los cambios de regulación de frecuencia, estando el turbogenerador controlado directamente por el regulador.

De acuerdo con el método según el invento, en un reactor de agua hirviendo que tiene una regulación secundaria
5 de vapor utilizada para calentar equipos auxiliares de la instalación, se ajusta una circulación primaria de vapor desde el reactor hasta la turbina para compensar los rápidos cambio de demanda de energía. A continuación, se ajusta la recirculación de moderador-refrigerante del reactor para compensar
10 el cambio de demanda. La presión de la circulación primaria de vapor y, por tanto la presión del reactor se supervisan durante los cambios de carga del reactor. En el caso de un rápido incremento de demanda que da lugar a una reducción de la presión de la circulación primaria de vapor, se reduce la
15 circulación secundaria de vapor. Se mantiene así la presión de la circulación primaria de vapor y se impide la reducción de la potencia del reactor gracias a la utilización de la capacitancia calorífica del equipo auxiliar. Después de que el
20 reglaje de la recirculación de moderador-refrigerante ha permitido aumentar la potencia del reactor y aumentar la presión de la circulación primaria de vapor, se restablece la circulación secundaria de vapor. La circulación secundaria de vapor que ha sido reducida para compensar la reducción de la presión de la circulación primaria de vapor está constituida preferentemente por una parte de la circulación primaria de vapor
25 derivada directamente del reactor. En otros modos de realización del invento, la circulación secundaria de vapor está constituida por vapor extraído de la turbina, o por una combinación de vapor extraído de la turbina y de una parte de la
30 circulación primaria de vapor. La circulación secundaria de

1 vapor hacia los recalentadores y/o calentadores de agua de ali
mentación puede ser reducida con el método descrito aquí uti
lizando la capacitancia térmica de los recalentadores y/o ca
5 lentadores de agua de alimentación para mantener la presión
de la circulación primaria de vapor durante un rápido incremen
to de demanda. En respuesta a una rápida reducción de demanda
que da lugar a un incremento de la presión de la circulación
primaria de vapor, se deriva hacia un condensador una parte de
la circulación primaria de vapor. Esto permite mantener la pre
10 sión de la circulación primaria de vapor e impide que la po
tencia del reactor aumente, utilizando la capacitancia calorí
fica del condensador. Después de que el reglaje de la recircu
lación de moderador-refrigerante ha permitido reducir la poten
cia del reactor y la presión de la circulación primaria de va
15 por, se cierra la derivación.

El aparato utilizado para llevar a la práctica el
método incluye un regulador de turbina que responde a los rápi
dos cambios de demanda de energía, una válvula de control de
vapor primario y un controlador de recirculación, que respon
20 den ambos al regulador de turbina, un regulador de presión pa
ra supervisar la presión de la circulación primaria de vapor
en un punto situado rio arriba respecto a la válvula de con
trol de vapor primario, y unas válvulas de control de circula
ción secundaria, así como una válvula de control de derivación,
25 respondiendo ambos tipos de válvulas al regulador de presión.
Durante el funcionamiento del aparato, el regulador de turbi
na responde directamente a los rápidos cambios de demanda de
energía. La válvula de control de vapor primario responde al
regulador ajustando la circulación primaria de vapor para com
30 pensar los cambios de demanda de energía. El controlador de

1 recirculación responde al regulador aumentando o reduciendo la
recirculación en respuesta a un incremento o a una reducción,
respectivamente, de la demanda de energía. Debido a que la ca
2 capacidad de almacenado calorífico de un reactor de agua hirvien
do está limitada, el efecto del ajuste de la recirculación del
5 reactor es insuficiente para mantener la presión de la circula
ción de vapor primario durante un rápido incremento o una rá
pida reducción de demanda. En el caso de un rápido incremento
de demanda, el regulador de presión disminuye la circulación
10 secundaria de vapor. En el caso de una rápida reducción de de
manda, el regulador de presión deriva una parte de la circula
ción primaria de vapor hacia el condensador. Se reduce la cir
culación secundaria de vapor o se deriva una parte de la cir
culación primaria de vapor hasta que el reglaje de la recircu
15 lación haya tenido el tiempo de aumentar o disminuir la poten
cia del reactor.

DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es una representación esquemática de los
componentes estructurales de un reactor de agua hirviendo de
20 la técnica anterior.

La figura 2 es un gráfico de la circulación de va
por de la turbina indicada en porcentaje en función del tiempo
indicado en segundos para ilustrar la respuesta de un reactor
de agua a presión, de un reactor de agua hirviendo de la téc
25 nica anterior y de un reactor de agua hirviendo con el siste
ma de seguimiento de carga según el presente invento, cuando
se producen sucesivos incrementos de demanda.

La figura 3 es un gráfico de la circulación de vapor
de la turbina indicado en porcentaje en función del tiempo in
30 dicado en segundos para ilustrar la respuesta de un reactor

1 de agua a presión, de un reactor de agua hirviendo de la técnica anterior, y de un reactor de agua hirviendo que incluye el sistema de seguimiento de carga del presente invento cuando se producen sucesivas reducciones de demanda.

5 La figura 4 es una representación esquemática de un modo de realización del invento.

La figura 5 es una representación esquemática de otro modo de realización del invento.

10 La figura 6 es una representación esquemática de otro modo de realización del invento.

DESCRIPCION DE LOS MODOS DE REALIZACION PREFERIDOS

En la figura 1 se ilustran esquemáticamente los componentes estructurales esenciales del ciclo primario de un reactor de agua hirviendo de la técnica anterior. El reactor, generalmente indicado por 1, incluye un núcleo de reactor nuclear 2, constituido por un conjunto de elementos de combustible nuclear fisiónable. El núcleo 2 está contenido en el recipiente a presión 3 del reactor y está inmerso en un refrigerante-moderador líquido 4. En un reactor de agua hirviendo, el moderador-refrigerante líquido es agua. El calor generado por la fisión nuclear en el núcleo 2 hace hervir el agua 4 para generar una circulación de vapor que acciona una turbina de alta presión en 5 y una turbina de baja presión en 6. Una circulación primaria de vapor procedente del reactor 1 fluye a través de la tubería 10 hasta un punto de derivación o colector de distribución 11, a partir del cual se deriva una circulación secundaria de vapor. La mayor parte de la circulación primaria de vapor pasa a continuación a través de la tubería 12 y llega a la turbina de alta presión 5. El vapor extraído de la turbina 5 forma una segunda circulación secundaria de

1 vapor. La mayor parte de la circulación primaria de vapor sale
de la turbina de alta presión 5 y penetra en un recalentador
15 a través de la tubería 16. La circulación primaria de vapor
procedente del recalentador 15 penetra en la turbina de baja
5 presión 6 a través de la tubería 19. Después de la expansión
final en la turbina de baja presión 6, la circulación primaria
de vapor sale de la turbina de baja presión y penetra en el
condensador 20. El líquido condensado procedente del condensa
dor 20 es conducido a los calentadores de agua de alimentación
10 22 y 23 por la bomba de condensado 25. El agua de alimentación
es bombeada a través del último calentador del agua de alimen
tación 23 y es conducida de nuevo al reactor 1 por una bomba
de agua de alimentación 28. De esta manera, la circulación pri
maria de vapor procedente del reactor 1 se expande en una
15 turbina para crear energía eléctrica, se condensa y a conti
nuación se devuelve al reactor en forma líquida.

La instalación productora de energía incluye circu
laciones secundarias de vapor que se utilizan para accionar
los equipos auxiliares de instalación. En este caso, los equi
20 pos auxiliares de la instalación están constituidos por el re
calentador 15 y los calentadores de agua de alimentación 22 y
23. En tal caso, las circulaciones secundarias de vapor están
constituidas por una parte de la circulación primaria de vapor
derivada de la circulación primaria de vapor en el colector
25 de distribución 11 y por vapor extraído de la turbina de alta
presión 5. En la instalación de producción de energía del pre
sente ejemplo, una parte de la circulación primaria de vapor
se conduce al recalentador 15 a través de la tubería 30 y al
calentador de agua de alimentación 23 a través de la tubería
30 31. El vapor extraído de la turbina de alta presión 5 se sumi

1 nistra al recalentador 15 a través de la tubería 32. El ca
lentador de agua de alimentación 22 se calienta igualmente por
medio del vapor extraído de la turbina de alta presión 5 y que
se obtiene a través de la tubería 34. La parte de la circula
5 ción primaria de vapor que sale del recalentador 15, en 35,
puede suministrarse a otros recalentadores o a otros calenta
dores de agua de alimentación. Eventualmente, esta parte de la
circulación primaria de vapor se descarga en el condensador 20.
La parte de la circulación primaria de vapor que sale del ca
10 lentador de agua de alimentación 23, en 36, puede también su
ministrarse a otros calentadores de agua de alimentación o a
otros recalentadores. Eventualmente, este vapor se conduce tam
bién al condensador 20. La circulación de vapor extraído del
recalentador 15, en 38, es dirigida normalmente a otros calen
15 tadores de agua de alimentación y, a continuación, al conden
sador 20. La circulación de vapor extraído que sale del calen
tador de agua de alimentación 22, en 39, se dirige normalmente
a otros calentadores de agua de alimentación y finalmente al
condensador 20. Por tanto, las circulaciones secundarias de
20 vapor se condensan eventualmente en el condensador 20 y, a con
tinuación, son devueltas al reactor 1 a través del sistema de
calentamiento de agua de alimentación.

Como se ha indicado anteriormente, en un reactor de
agua hirviendo de tipo convencional, los cambios de potencia
25 del reactor se efectúan haciendo variar la recirculación de un
sistema de recirculación de moderador-refrigerante. El siste
ma de recirculación de moderador-refrigerante está constitui
do por una tubería 40 que suministra moderador-refrigerante,
en este caso agua, a una bomba de recirculación 41, por una
30 válvula de control de recirculación 42 y por una tubería 43

1 que hace volver el agua de recirculación al reactor 1. En tal
caso, la bomba 41 es una bomba de velocidad fija. En algunas
instalaciones de producción de energía la bomba 41 es una bom
5 ba de velocidad variable y se omite la válvula 42. El circuito
que sigue el agua de recirculación a través del núcleo del
reactor 1 está indicado por la flecha 44. Si se necesita un
incremento del nivel de potencia del reactor, se aumenta la
recirculación, barriendo así las burbujas de vapor fuera del
núcleo a una velocidad más rápida. Ya que la parte del núcleo
10 que contiene líquido en lugar de refrigerante vaporizado aumen
ta, el efecto de moderación aumenta y, por tanto, la reactivi
dad y la potencia del reactor se elevan. Cuando es convenien
te reducir el nivel de potencia del reactor, se reduce la re
circulación, barriendo así una menor cantidad de burbujas de
15 vapor fuera del núcleo, lo que aumenta la cantidad de refrige
rante vaporizado y reduce la reactividad y la potencia del
reactor.

Ya que la presión que reina en el reactor tiene una
influencia sobre la ebullición y la reactividad del reactor,
20 es preciso mantener la presión del reactor en un valor relati
vamente constante. En la técnica anterior esto se obtiene con
un regulador de presión 45, una válvula de control de circula
ción derivada 46 intercalada en la tubería 47 y una válvula de
control de circulación de vapor primario 48 intercalada en la
25 tubería 12 entre el colector 11 y la turbina 5. Ambas válvulas
de control 46 y 48 responden al regulador de presión 45. El
regulador de presión 45 detecta la presión de la circulación
principal de vapor en un punto situado río arriba respecto a
la válvula de control de circulación de vapor primario 48. Es
30 ta presión es representativa de la presión que reina en el

1 reactor. Si la presión de la circulación primaria de vapor au
menta, el regulador de presión abre la válvula de control de
circulación derivada 46 para que una parte de la circulación
5 primaria de vapor sea derivada hacia el condensador 20 a tra
vés de la tubería 47 hasta que el reglaje de la recirculación
haya tenido el tiempo de reducir la potencia de reactor.

Si la presión de la circulación primaria de vapor
disminuye, el regulador de presión estrangula la válvula de
control de vapor primario 48, reduciendo la circulación de va
10 por hacia la turbina.

El reactor de agua hirviendo de la técnica anterior
incluye también un regulador 49 cuyo funcionamiento está supe
ditado al funcionamiento de un controlador de recirculación
50. El regulador 49 detecta los cambios de velocidad de la tur
15 bina, que son representativos de los cambios de demanda de ener
gía. En un regulador de agua a presión convencional o en un
regulador de agua hirviendo de ciclo doble, la válvula de con
trol de circulación de vapor primario 48 está bajo el control
directo del regulador y, por tanto, pueden acomodarse rápidos
20 cambios de demanda. Sin embargo, en un regulador de agua hir
viendo de la técnica anterior, esta disposición de seguimiento
de carga produciría una reducción de la presión en el reactor
en caso de rápido incremento de la demanda y un incremento
de presión durante una rápida reducción de demanda. Este incre
25 mento o esta reducción de presión se debe a la reducida capaci
tancia térmica del reactor de agua hirviendo y al hecho de que
el sistema de control de recirculación no es capaz de asegurar
un rápido incremento o una rápida reducción de la potencia
del reactor. Por tanto, en un reactor de agua hirviendo de la
30 técnica anterior, una señal de cambio de carga procedente del

1 regulador 49 se envía al controlador de recirculación 50 y
después de que el reglaje de la recirculación ha aumentado o
disminuido la potencia del reactor, el regulador de presión 45
abre o cierra la válvula de control de circulación de vapor
5 primario 48, aumentando o disminuyendo la circulación de vapor
hacia la turbina. Por consiguiente, la respuesta de la turbina
a los cambios de demanda está limitada por la respuesta del
sistema de recirculación de moderador-refrigerante.

Aunque el reactor de agua hirviendo de la técnica
10 anterior incluye una derivación de turbina, el problema descri-
to más arriba no desaparece completamente incluso en el caso
de una rápida reducción de la demanda. Esto se debe a que se
imparte al regulador 49 un valor mínimo de velocidad. El valor
mínimo de velocidad impide que el regulador funcione en prio-
15 ridad sobre el regulador de presión 45 y abra la válvula de
control de circulación derivada 46 mientras no se haya produci-
do un incremento importante de la velocidad de la turbina (o
una reducción de la demanda). Este valor mínimo de velocidad
es necesario en los reactores de agua hirviendo de la técnica
20 anterior para asegurar que una brusca reducción de la presión
y una fluctuación de la potencia del reactor no se producirán
cuando se abre la válvula de control de circulación derivada.
Este valor mínimo de velocidad representa normalmente el 10%
de la banda de regulación de velocidad o aproximadamente el 5%
25 de la velocidad total de la turbina.

Debido a las limitaciones antedichas, el dispositi-
vo de seguimiento de carga de la técnica anterior para reacto-
res de agua hirviendo es incapaz de acomodar lo que se llama
normalmente el seguimiento de carga diarios y cambios de regu-
30 lación de frecuencia. El seguimiento de carga diario se refiere

1 a los cambios de demanda que representan aproximadamente el 5%
del caudal de vapor nominal de la turbina por minuto. La regu-
lación de frecuencia se refiere a un cambio brusco del 10% en
la demanda que se produce aproximadamente en un segundo, des-
5 pués de lo cual se produce un cambio de 5% por minuto en la
demanda.

Haciendo ahora referencia a la figura 2, se ilustran
en ésta las respuestas de un reactor de agua a presión y de un
reactor de agua hirviendo de tipo convencional a variaciones
10 positivas de demanda de 10%, 20% y 35% de la circulación de
vapor de la turbina. La respuesta del reactor de agua a pre-
sión se ilustra por medio de curvas en líneas interrumpidas.
La respuesta del reactor de agua hirviendo se ilustra por me-
dio de curvas en línea continua. La figura 2 ilustra el hecho
15 de que el reactor de agua a presión es particularmente venta-
joso en el caso de cambios escalonados de demanda de aproxima-
damente 10% de la circulación de vapor de la turbina. Esto se
debe a la capacidad de almacenado de calor del generador de
vapor en el reactor de agua a presión convencional y al hecho
20 de que la respuesta del reactor de agua hirviendo está limita-
da por la capacidad del sistema de recirculación para realizar
un incremento de potencia.

Haciendo referencia a la figura 3 que es un gráfico
del caudal de vapor de la turbina en porcentaje, en función
25 del tiempo expresado en segundos, se ilustran las respuestas
de un reactor de agua a presión y de un reactor de agua hir-
viendo de tipo convencional a variaciones negativas de demanda
de 10%, 20% y 35%. La respuesta del reactor de agua a presión
se ilustra por medio de curvas en líneas interrumpidas y la
30 respuesta del reactor de agua hirviendo se ilustra por medio

1 de curvas en líneas continuas. La figura 3 ilustra el hecho de
que el reactor de agua a presión presenta una ventaja particu
lar en el caso de una reducción brusca de la demanda que repre
senta aproximadamente el 10% de la circulación de corriente
5 de la turbina. Esto se debe al hecho de que en un reactor de
agua a presión el vapor del ciclo secundario puede ser reduci
do sin tener en cuenta la presión del reactor y al hecho de
que en el reactor de agua hirviendo de la técnica anterior, la
respuesta de la derivación de vapor está limitada por el valor
10 mínimo de la velocidad.

De acuerdo con el presente invento, se proporciona
un método y un aparato para seguimiento de carga aplicable a
un reactor de agua hirviendo, que asegura una respuesta de se
guimiento de carga igual o superior a la que puede obtenerse
15 con un reactor de agua a presión. Estos se obtiene utilizando
un método y un aparato que controlan de manera positiva la
presión del reactor durante un cambio de demanda mediante
control directo del regulador. El método de seguimiento de
carga incluye las siguientes fases. La circulación primaria
20 de vapor procedente del reactor hacia la turbina se ajusta
por medio del control directo de regulador para compensar los
rápidos cambios de demanda de energía. La recirculación de mo
derador-refrigerante se ajusta simultáneamente para aumentar
o disminuir la potencia del reactor de acuerdo con estos cam
25 bios de demanda. Durante estos cambios se supervisan la pre
sión de la circulación primaria de vapor o la presión del reac
tor. En el caso de un rápido incremento de la demanda que pro
duce una reducción de la presión de la circulación primaria
de vapor, se reduce la circulación de vapor secundaria. Esto
30 mantiene la presión de la circulación primaria de vapor e im

1 pide una reducción de la potencia del reactor utilizando la
capacitancia térmica del equipo auxiliar de la instalación.
Después de que el reglaje de la recirculación de moderador-
refrigerante ha tenido el tiempo de aumentar la potencia del
5 reactor y aumentar la presión de la circulación primaria de
vapor, se restablece la circulación secundaria de vapor.

La circulación secundaria de vapor puede estar cons-
tituida por una o varias partes de la circulación primaria de
vapor derivada a partir de ésta y/o por una o varias circula-
10 ciones de vapor extraído de la turbina. Cuando se utilizan
tanto una parte de la circulación primaria de vapor como una
circulación de vapor extraído de la turbina, estas circula-
ciones de vapor se reducen secuencialmente y se restablecen, sien-
do la porción de circulación primaria de vapor la primera a
15 ser reducida y la última a ser restablecida. La circulación
secundaria de vapor hacia los recalentadores y/o calentadores
de agua de alimentación puede ser reducida, utilizando así la
capacitancia calorífica de los recalentadores y/o de los calen-
tadores de agua de alimentación para mantener la presión del
20 reactor durante un rápido incremento de potencia.

En el caso de una reducción de demanda que produce
un incremento de la presión de circulación primaria de vapor,
el método incluye además la operación que consiste en derivar
una parte de la circulación primaria de vapor hacia el conden-
25 sador. Esto mantiene la presión de la circulación primaria de
vapor e impide un incremento de la potencia del reactor gracias
a la utilización de la capacitancia térmica del condensador.
La circulación del vapor primaria hacia el condensador conti-
núa hasta que el reglaje de la recirculación de moderador-re-
30 frigerante haya tenido el tiempo de reducir la potencia del

1 reactor y disminuir la presión de la circulación primaria de vapor.

Examinando ahora de nuevo las figuras 2 y 3, se ilustran en ellas el efecto de la utilización de la capacitancia térmica de los calentadores de agua de alimentación, de los re
5 calentadores y del condensador. Puesto que la regulación de la presión del reactor se efectúa positivamente con la capacitancia térmica de este equipo auxiliar, se sitúa ahora la tur
bina bajo control directo del regulador. Se eliminan las limi
10 taciones de respuesta a los incrementos de demanda, debidas a la respuesta limitada del sistema de recirculación. En el caso de una rápida reducción de potencia, se elimina el valor mí
mo de velocidad. Por consiguiente, un reactor de agua hirvien
do así modificado responde a cada una de las variaciones de de
15 manda positivas y negativas que se ilustran en curvas de res
puesta de reactor de agua a presión dibujadas en líneas interrumpidas hasta alcanzar las intersecciones 50 entre las curvas de
respuesta de reactor de agua a presión dibujadas en líneas in
20 terrumpidas y las curvas de respuesta de reactor de agua hir
viendo dibujadas en líneas continuas. Sucesivamente, un reac
tor de agua hirviendo equipado con el sistema de seguimiento de carga según el invento, reaccionará como un reactor de agua
hirviendo de tipo convencional. Tomando escalones de demanda
positiva y negativa de 10% como ejemplos, la zona sombreada
25 entre las curvas interrumpidas y continuas hace resaltar la
mejora de rendimiento del reactor de agua hirviendo modifica
do. En el caso de una variación positiva de demanda, la zona
sombreada representa la energía tomada de la capacidad de al
macenado de calor o de la capacitancia térmica de los calenta
30 dores de agua de alimentación y/o de los recalentadores. En el

1 caso de de una variación negativa de la demanda, la zona som-
breada representa la energía conducida al condensador. En algu-
nos casos, tales como, una variación positiva de demanda de 35%,
la respuesta del reactor de agua hirviendo modificado es ahora
5 superior a la del reactor de agua a presión porque el reactor
de agua hirviendo modificado combina la respuesta inicialmente
más rápida del reactor de agua a presión con la respuesta gene-
ral más rápida del reactor de agua hirviendo de la técnica an-
terior.

10 Haciendo referencia ahora a la figura 4, se ilustra
en ella un aparato particular para llevar a la práctica el mé-
todo según el invento. Los componentes de la figura 4 que corres-
ponden a los de la figura 1 han recibido la misma designación
numérica. La figura 4 ilustra un modo de realización del inven-
15 to en el cual se reduce una parte de la circulación primaria
de vapor y se realiza una circulación derivada para controlar
la presión del reactor. Con la capacitancia calorífica del
reactor de agua hirviendo así incrementada, se sitúa ahora la
turbina bajo control directo del regulador. El regulador 49
20 ajusta ahora directamente la válvula de control de vapor prima-
rio 48 para compensar los cambios de demanda. Una señal de cam-
bio de carga se transmite simultáneamente al controlador de
recirculación 50 que ajusta la potencia del reactor aumentando
o disminuyendo la recirculación. SE ha previsto un regulador
25 de presión 60 para detectar la presión de la circulación prima-
ria de vapor en un punto 61 situado rio arriba respecto a la
válvula de control de vapor primario 48. Esta presión es repre-
sentativa de la presión del reactor. En variante, la presión
del reactor puede ser supervisada directamente. En tal caso,
30 la tubería de vapor principal que sirve para suministrar la

1 circulación primaria de vapor procedente del reactor 1 a la
turbina 5 está constituida por la tubería 10, el colector de
distribución 11 y la tubería 12. El colector de distribución
11 está situado en la tubería de vapor principal en un punto
5 situado rio arriba de la válvula de control de vapor primario
48. El regulador de presión 60 controla también el funcionamiento
de la válvula de control de circulación secundaria 62 y 63
y la válvula de control de derivación 46. En este caso, la circulación
secundaria controlada por el regulador de presión 60
10 es una parte de la circulación primaria de vapor derivada de
la tubería de vapor principal 10 por las tuberías de vapor secondario
66 y 67. Las tuberías de vapor secundario 66 y 67 tienen
unas válvulas de control de circulación secundaria 62 y
63, respectivamente, intercaladas en ellas. Las tuberías de
15 vapor secundario 66 y 67 conectan el colector de distribución
11 con el calentador de agua de alimentación 68 y con el recalentador
69, respectivamente. La válvula de control de circulación
derivada 46 está dispuesta en la tubería de derivación 47
que conecta el colector de distribución 11 con el condensador
20 20. Las circulaciones secundarias de vapor que salen del calentador
de agua de alimentación 68 y del recalentador 69 por 73
y 74, respectivamente, son dirigidas hacia otros recalentadores
o calentadores de agua de alimentación y después, eventualmente,
hacia el condensador. La circulación de vapor primario de
25 rivada hacia el condensador 20 a través de la tubería 47 se
condensa en él y una circulación de condensado representada es
quemáticamente por la flecha 75 es bombeada a través del sistema
de calentamiento de agua de alimentación y eventualmente de
vuelta al reactor 1.

30 En el caso de un rápido incremento de demanda de energía

1 gía, el regulador 49 ajusta la válvula de control de vapor pri
mario 48 para compensar el incremento de demanda. El regulador
49 manda simultáneamente una señal de cambio de carga al con
trolador de recirculación 50. El controlador de recirculación
5 50 ajusta la recirculación de manera correspondiente, adaptan
do así la potencia del reactor al cambio de demanda. Cuando se
necesita un seguimiento de carga diaria o un incremento de re
gulación de frecuencia, la presión del reactor disminuye debi
do a la respuesta lenta del sistema de recirculación. El regu
10 lador de presión 60 que supervisa la presión de la circulación
primaria de vapor en 61 detecta la reducción de presión y la
compensa, cerrando parcialmente las válvulas de control de cir
culación secundaria 62 y 63 para reducir la circulación secun
daria del vapor en las tuberías 66 y 67. Esto mantiene la pre
15 sión de la circulación primaria de vapor, y por tanto la pre
sión del reactor, e impide una reducción de la potencia del
reactor utilizando la capacitancia térmica del calentador de
agua de alimentación 68 y del recalentador 69. Después de que
el incremento de la recirculación haya tenido el tiempo de pro
20 ducir un incremento de la potencia del reactor, el regulador
de presión 60 detecta un incremento en la presión de la circu
lación primaria de vapor en 61 y restablece la circulación se
cundaria de vapor abriendo las válvulas de control de circula
ción secundaria 62 y 63.

25 En el caso de una rápida reducción de demanda,
el regulador 49 cierra parcialmente la válvula de control de
vapor 48 y transmite simultáneamente una señal de cambio de
carga al controlador de recirculación 50. El controlador de
recirculación 50 reduce la recirculación. Esto disminuye la
30 potencia del reactor en respuesta a la reducción de la demanda.

1 Cuando se producen reducciones de demanda debido al seguimien
to de carga diario o regulación de frecuencia, el rápido cierre
de la válvula de vapor primario 48 produce un incremento de la
presión del reactor. El regulador de presión 60 detecta el in
5 cremento de presión de la circulación primaria de vapor en 61
y abre la válvula de control de derivación 46. Esta última de
riva una parte de la circulación primaria de vapor hacia el
condensador 20 para mantener una presión relativamente constan
te en el reactor, y para impedir un incremento de la potencia
10 del reactor, utilizando la capacitancia térmica del condensa
dor. Después de que la reducción de la recirculación haya te
nido el tiempo de reducir la potencia del reactor, el regula
dor de presión 60 detecta una reducción de presión en la cir
culación primaria de vapor, en 61, y cierra la válvula de con
15 trol de derivación 46.

En el modo de realización del invento que se ilustra
en la figura 4, se reduce una parte de la circulación primaria
de vapor que se emplea para calentar un calentador de agua de
alimentación 68 y un recalentador 69. Se entenderá que, en
20 otros modos de realización del invento, donde no se prevé un
incremento tan importante de la demanda, o cuando la instala
ción existente incluye solamente un calentador de agua de ali
mentación o un recalentador cuya circulación puede ser reduci
da, se reducirá la circulación solamente en este elemento au
25 xiliar.

Haciendo ahora referencia a la figura 5, se ilustra
en ella un segundo modo de realización del invento. Los compo
nentes de la figura 5 que corresponden a los de la figura 1
y de la figura 4 han recibido los mismos números de referencia.
30 La figura 5 ilustra un modo de realización del invento en el

1 cual una circulación secundaria de vapor que es reducida in
cluye una parte de la circulación primaria de vapor derivada
y una circulación de vapor extraído de la turbina de alta pre
sión 5. En algunos modos de realización del invento, puede re
5 ducirse solamente la circulación de vapor extraído de la tur
bina para mantener la presión de la circulación primaria de
vapor durante un rápido incremento de demanda. Sin embargo,
el efecto de la reducción del vapor extraído solamente es a
menudo insuficiente para facilitar la respuesta de seguimiento
10 de carga deseada, y en los modos de realización preferido se
reduce por lo menos una circulación secundaria de vapor prima
rio además de la circulación de vapor extraído de la turbina.
En este caso, se reduce igualmente una parte de la circulación
15 primaria de vapor derivada a partir del colector de distribu
ción 11 a través de la tubería 67 hasta el recalentador 69.
La circulación de vapor extraído reducida se suministra normal
mente a partir de la turbina de alta presión 5 a través de las
tuberías 80 y 81 a un calentador de agua de alimentación 82 y
a un recalentador 83, respectivamente, las válvulas de control
20 de vapor extraído 85 y 86, que responden al regulador de pre
sión 60 están intercaladas en las tuberías 80 y 81, respecti
vamente. Una tubería de derivación 47 provista de una válvula
de control de derivación 46 intercalada en ella ha sido igual
mente prevista para derivar una parte de la circulación prima
25 ria de vapor a través del condensador 20 como se describe en
el modo de realización de la figura 4.. La parte de la circu
lación primaria de vapor derivada hacia el condensador 20 se
condensa eventualmente en este y sale del condensador 20 bajo
la forma de condensado en 75. La parte de la circulación pri
30 maria de vapor que sale del recalentador 69, en 74, puede ser

1 . conducida a otros recalentadores o calentadores de agua de ali-
mentación y después, eventualmente, al condensador 20. El va-
por extraído de la turbina que sale del calentador de agua de
alimentación 82 y del recalentador 83 por 88 y 89, respectiva-
5 mente, puede ser conducido a otros recalentadores o calentado-
res de agua de alimentación y después, eventualmente, al con-
densador 20. Con la posibilidad de reducir la parte de la cir-
culación primaria de vapor dirigida al recalentador 69 y las
circulaciones de vapor extraído dirigidas hacia el calentador
10 de agua de alimentación 82 y al recalentador 83, y con la po-
sibilidad de derivar una parte de la circulación primaria de
vapor hacia el condensador, se aumenta la capacitancia térmica
del reactor hasta el punto de poner la turbina bajo control
directo del regulador. El regulador 49 acepta ahora las deman-
15 das de carga directamente y ajusta la válvula de control de va-
por primario 48 y el controlador de recirculación 50 de manera
correspondiente.

En el caso de un rápido incremento de la demanda,
tal como un incremento de demanda por seguimiento de carga dia-
rio o regulación de frecuencia, la respuesta del sistema de
20 recirculación es insuficiente para impedir una reducción de
la presión en el reactor. El regulador de presión 60 que super-
visa la presión de la circulación primaria de vapor en 61 de-
tecta la reducción de presión y la compensa cerrando secuen-
25 cialmente la válvula de control de circulación 63 y las válvu-
las de control de circulación 85 y 86. Se reduce, en primer
lugar, la parte de la circulación primaria de vapor hacia el
recalentador 69, Si esto es insuficiente para mantener la pre-
sión de la circulación primaria de vapor, se reducen simultá-
30 neamente la circulación de vapor extraído hacia los calentado-

1 res 82 y 83. Esto sirve para mantener la presión de la circu-
lación primaria de vapor, impidiendo una reducción de la poten-
cia del reactor mediante la utilización de la capacitancia ca-
lorífica del recalentador 69, del calentador de agua de ali-
5 mentación 82 y del recalentador 83. Después de que el reglaje
de la recirculación ha tenido el tiempo necesario para aumen-
tar la potencia del reactor, el regulador de presión 60 detec-
ta un incremento en la presión de la circulación primaria de
vapor en 61, y restablece secuencialmente las circula-
10 ciones secundarias de vapor. En primer lugar, se abren las válvulas
de control de circulación 85 y 86 para restablecer la circula-
ción de vapor extraído de la turbina. A continuación, se abre
la válvula de control de circulación 63 para restablecer la
parte de la circulación de vapor primario que se dirige normal-
15 mente hacia el recalentador 69.

En el caso de una rápida reducción de demanda, tal
como una reducción de demanda debida a seguimiento de carga
diario o a regulación de frecuencia, el rápido cierre de la
válvula de control de vapor primario 48 da lugar a un incremen-
20 to de la presión del reactor. El regulador de presión 60 detec-
ta el incremento de la presión del reactor y abre la válvula
de control de derivación 46. Esta última deriva una parte de
la circulación primaria de vapor hacia el condensador 20. Es-
to mantiene la presión de la circulación primaria de vapor y,
25 por tanto, impide un incremento de la potencia del reactor me-
diante la utilización de la capacitancia térmica del condensa-
dor. Después de que el reglaje de la recirculación ha tenido
el tiempo necesario para producir una reducción de la potencia
del reactor, el regulador de presión 60 detecta una reducción
30 de presión de la circulación primaria de vapor en 61 y cierra

1 la válvula de control de circulación derivada 46.

En el modo de realización del invento que se ilustra en la figura 5, las circulaciones secundarias de vapor reducidas están constituidas por una parte de la circulación primaria de vapor utilizada para calentar un recalentador y las circulaciones de vapor extraído de la turbina que se emplean para calentar un calentador de agua de alimentación y un recalentador. En otros modos de realización del invento, es posible cerrar progresivamente un calentador de agua de alimentación en lugar de un recalentador alimentado por una parte de la circulación primaria de vapor. Se entenderá que en otros modos de realización del invento en los cuales el incremento de demanda no es tan importante, o cuando la instalación existente incluye solamente un calentador de agua de alimentación o un recalentador alimentado por el vapor extraído de la turbina y cuya circulación puede ser limitada, puede limitarse solamente la circulación en uno de estos elementos auxiliares.

Se entenderá igualmente que es posible efectuar una reducción de la circulación combinada de las circulaciones secundarias de vapor primario y de las circulaciones de vapor extraído de la turbina para combinar eficazmente los modos de realización de la figura 4 y de la figura 5, creando un sistema de seguimiento de carga que tiene la capacidad de responder a cambios de demanda extremadamente importantes. El modo de realización ilustrado en la figura 6 representa dicho sistema de seguimiento de carga. Las porciones de la circulación primaria de vapor que fluyen por las tuberías 66 y 67 y la circulación de vapor extraído de la turbina que fluye a través de las tuberías 80 y 81 se regulan simultáneamente o de manera secuencial en respuesta a rápidos incrementos de demanda por el regulador

1 de presión 60. Normalmente, estas circulaciones secundarias se
reducen secuencialmente, siendo la porción de la circulación
primaria de vapor la primera a ser reducida y la última a ser
restablecida. Una parte de la circulación primaria de vapor es
5 derivada hacia el condensador 20 a través de la tubería 47 en
respuesta a rápidas reducciones de demanda. Los componentes
de la figura 6 que corresponden a los que se ilustran en las
figuras 1, 4 y 5 han recibido las mismas referencias numéricas
y el funcionamiento del sistema de seguimiento de carga de la
10 figura 6 es, en todos los aspectos, idéntico al de las figuras
4 y 5, salvo que se reducen cuatro circulaciones de vapor se-
cundario utilizadas para calentar el equipo auxiliar de la
planta. Se entenderá que el modo de realización de la figura
6 se da solamente a título de ejemplo de un sistema de segui-
15 miento de carga que combina la reducción de una parte de la
circulación primaria de vapor y la reducción del vapor extraí-
do de la turbina. Cualquier número de calentadores de agua de
alimentación y de recalentadores alimentados, bien por una par-
te de la circulación primaria de vapor o una circulación de
20 vapor extraído de la turbina, en función del incremento de de-
manda previsto o de la instalación existente de la planta, pue-
de utilizarse de acuerdo con el invento.

Por tanto, se entiende que los modos de realización
del invento que se ilustran aquí han sido dados solamente a
25 título de ejemplo y sin carácter limitativo del invento cuyo
alcance está definido en las reivindicaciones adjuntas. Se en-
tiende que están incluidas en el invento todas las modificacio-
nes que caen dentro del significado y de la gama de equivalen-
cias de las reivindicaciones.

30 En resumen, la presente patente de invención que se

1 solicita deberá recaer en las siguientes:

REIVINDICACIONES

5 1. Un método y aparato para seguimiento de carga en una central termoeléctrica del tipo en el cual una turbina está accionada por una circulación primaria de vapor a una presión predeterminada procedente de un reactor nuclear del tipo de moderador-refrigerante hirviendo de ciclo único, que incluye un dispositivo para variar la corriente de recirculación de moderador-refrigerante y la potencia de reactor, incluyendo dicha central termoeléctrica un equipo auxiliar de central a consumo de vapor, caracterizado dicho método porque comprende las operaciones que consisten en:

15 ajustar dicha circulación primaria de vapor procedente de dicho reactor hacia dicha turbina para cambiar las demandas de potencia de turbina;

ajustar dicha recirculación de moderador-refrigerante a través del reactor en respuesta al de las demandas de potencia de turbina;

20 supervisar la presión de dicha circulación primaria de vapor;

25 reducir dicha circulación secundaria de vapor a dicho equipo auxiliar de central de consumo de vapor en el caso de un rápido incremento de demanda de turbina que produce una reducción en la presión de la circulación primaria de vapor, manteniendo así dicha presión e impidiendo una reducción de la potencia del reactor; y

restablecer dicha circulación secundaria de vapor a dicho equipo auxiliar de central después de que el reglaje de dicha recirculación de moderador-refrigerante ha aumentado la potencia del reactor y ha aumentado la presión de dicha circulación

30
E

1 primaria de vapor.

2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha circulación secundaria de vapor incluye una parte de dicha circulación primaria de vapor derivada de ella.

5 3. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha circulación secundaria de vapor incluye una circulación de vapor extraído de dicha turbina.

4. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha circulación secundaria de vapor incluye una parte de dicha circulación primaria de vapor derivada de ella y una circulación de vapor extraído de dicha turbina.

10 5. Método según la reivindicación 4, caracterizado porque dicha parte de dicha circulación primaria de vapor y dicha circulación de vapor extraído se reducen secuencialmente y se restablecen secuencialmente, siendo dicha porción de dicha circulación primaria de vapor la primera a ser reducida y la última a ser restablecida.

15 6. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho equipo auxiliar de central incluye un recalentador efectuándose el realentamiento de dicho recalentador por dicha circulación secundaria de vapor, utilizando así la capacitancia térmica de dicho recalentador para mantener la presión de dicha circulación primaria de vapor durante un rápido incremento de demanda.

20 7. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho equipo auxiliar de central incluye un calentador de agua de alimentación, efectuándose el calentamiento de dicho calentador de agua de alimentación por medio de dicha circulación secundaria de vapor, utilizándose así la capacitancia térmica de dicho calentador de agua de alimentación para mantener

24 30

1 la presión de dicha circulación primaria de vapor durante un rápido incremento de demanda.

8. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha central termoeléctrica incluye un condensador, in-
5 cluyendo además el método las operaciones que consisten en:

derivar una parte de dicha circulación primaria de vapor hacia dicho condensador, en el caso de una rápida reducción de demanda de vapor que produce un incremento de la presión de la circulación primaria de vapor, amnteniendo así dicha pre-
10 sión e impidiendo un incremento de la potencia de turbina mediante la utilización de la capacitancia térmica de dicho condensador; y

continuar la derivación de dicha parte de dicha circulación primaria de vapor, hasta que el reglaje de dicha recirculación de moderador-refrigerante haya disminuido la potencia del reactor y reducido la presión de dicha circulación primaria de vapor.

9. Aparato para llevar a cabo el método de las reivindicaciones 1 a 8, que incluye:

20 un regulador de turbina que responde a los cambio de demanda de potencia de turbina;

una válvula de control de vapor primario que responde a dicho regulador para ajustar dicha circulación primaria de vapor de acuerdo con los cambio de demanda de potencia de tur-
25 bina;

un dispositivo de control de recirculación que responde a dicho regulador para ajustar dicha recirculación de moderador-refrigerante a través de dicho reactor en respuesta a dichos cambio de demanda de potencia de turbina;

30 un regulador de presión para supervisar la presión de

1 dicha circulación primaria de vapor en un punto situado río
arriba respecto a dicha válvula de control de vapor primario; y
un dispositivo de control de circulación secundario que
responde a dicho regulador de presión para (i) reducir dicha
5 circulación secundaria de vapor, en el caso de un rápido incremen-
to de demanda de turbina que produce una reducción de la presión
de la circulación primaria de vapor, manteniendo así dicha pre-
sión e impidiendo una reducción de la potencia de turbina y
(ii) restablecer dicha circulación secundaria de va-
10 por después de que el reglaje de dicha recirculación de modera-
dor-refrigerante ha aumentado la potencia del reactor y ha ele-
vado la presión de dicha circulación primaria de vapor.

10. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado
15 porque dicha circulación secundaria de vapor incluye una parte
de dicha circulación primaria de vapor derivada de ella.

11. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado
porque dicha circulación secundaria de vapor incluye una cir-
culación de vapor extraído de dicha turbina.

20 12. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado
porque dicha circulación secundaria de vapor incluye una parte
de dicha circulación primaria de vapor derivada de ella y una
recirculación de vapor extraído de dicha turbina.

25 13. Aparato según la reivindicación 12, caracterizado
porque dicha parte de dicha circulación primaria de vapor y di-
cha circulación de vapor extraído se reducen secuencialmente y
se restablecen secuencialmente, siendo dicha parte de dicha
circulación primaria de vapor la primera a ser reducida y la úl-
tima a ser restablecida.

30 14. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado
porque dicho equipo auxiliar de central incluye un recalentador,

1 efectuándose el calentamiento de dicho recalentador por medio
de dicha circulación secundaria de vapor, utilizándose así la
capacitancia térmica de dicho recalentador para mantener la pre-
sión de dicha circulación primaria de vapor durante un rápido
5 incremento de demanda.

15. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado
porque dicho equipo auxiliar de central incluye un calentador
de agua de alimentación, efectuándose el calentamiento de dicho
calentador de agua de alimentación por dicha circulación secun-
10 daria de vapor, utilizándose así la capacitancia térmica de di-
cho calentador de agua de alimentación para mantener la presión
de dicha circulación primaria de vapor durante un rápido incre-
mento de demanda.

16. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado
15 además porque incluye:

un condensador; y

un dispositivo de control de circulación derivada que
responde a dicho regulador de presión para:

(i) derivar una parte de dicha circulación primaria
20 de vapor hacia dicho condensador, en el caso de una rápida re-
ducción de demanda de vapor que da lugar a un incremento de la
presión de la circulación primaria de vapor, manteniendo así
dicha presión e impidiendo un incremento de la potencia de tur-
bina mediante la utilización de la capacitancia térmica de dicho
25 condensador, y

(ii) continuar la derivación de una parte de dicha cir-
culación primaria de vapor hasta que el reglaje de dicha recir-
culación de moderador-refrigerante haya disminuido la potencia
del reactor y reducido la presión de dicha circulación primaria
30 de vapor.

1 17. Aparato según la reivindicación 16, caracterizado porque dicha circulación secundaria de vapor incluye una parte de dicha circulación primaria de vapor derivada de ella y una circulación de vapor extraído de dicha turbina.

5 18. Aparato según la reivindicación 9, caracterizado además porque incluye:

 una tubería principal de vapor para suministrar a dicha turbina dicha circulación primaria de vapor procedente de dicho reactor;

10 estando dicha válvula de control de vapor primario dispuesta en dicha tubería principal de vapor;

 detectando dicho regulador de presión la presión que reina en dicha tubería principal de vapor, en un punto situado rio arriba respecto a dicha válvula de control de vapor primario; y

15

 un colector situado en dicha tubería principal de vapor en un punto situado rio arriba respecto a dicha válvula de control de vapor primario;

 incluyendo dicho dispositivo de control de circulación secundaria:

20

 (i) una tubería secundaria de vapor que conecta dicho equipo auxiliar de la central con dicho colector; y

 (ii) una válvula de control de vapor secundario que responde a dicho regulador de presión, situada en dicha tubería secundaria de vapor para reducir secuencialmente y restablecer dicha circulación secundaria de vapor en el caso de un rápido incremento de la demanda.

25

 19. Aparato según la reivindicación 16 y 18, caracterizado además porque

30

26

1 dicho dispositivo de control de circulación derivada
incluye:

(i) una tubería de derivación de vapor primario que conecta dicho condensador con dicho colector, y

5 (ii) una válvula de control de derivación de vapor primario que responde a dicho regulador de presión, situada en dicha tubería de derivación de vapor primario para abrir secuencialmente dicha tubería de derivación y para cerrar dicha tubería de derivación en el caso de una rápida reducción de la
10 demanda.

20. Aparato según la reivindicación 17, caracterizado además porque incluye:

(i) una tubería de vapor extraído que conecta dicho equipo auxiliar de la central con dicha turbina, y

15 (ii) una válvula de control de vapor extraído que responde a dicho regulador de presión, situada en dicha tubería de vapor extraído para reducir y restablecer secuencialmente dicha circulación de vapor extraído en el caso de un rápido incremento de demanda; y

20 incluyendo dicho dispositivo de control de circulación derivada:

(i) una tubería de derivación de vapor primario que conecta dicho condensador con dicho colector, y

25 (ii) una válvula de control de derivación de vapor principal que responde a dicho regulador de presión, situada en dicha derivación de vapor primario para abrir secuencialmente dicha tubería de derivación y cerrar dicha tubería de derivación en el caso de rápida reducción de la demanda.

21. Aparato según la reivindicación 20, caracterizado porque dicho equipo auxiliar de la central incluye un recal-

1 tador, efectuándose el calentamiento de dicho recalentador por
dicha circulación secundaria de vapor, utilizándose así la capa-
citancia térmica de dicho recalentador para mantener la presión
de dicha circulación primaria de vapor, para obtener un rápido
5 seguimiento de carga y para impedir una reducción de la potencia
del reactor durante un rápido incremento de demanda.

22. Aparato según la reivindicación 20, caracterizado
porque dicho equipo auxiliar de la central incluye un calentador
de agua de alimentación, efectuándose el calentamiento de dicho
10 calentador de agua de alimentación por medio de dicha circula-
ción secundaria de vapor, utilizándose así la capacitancia tér-
mica de dicho calentador de agua de alimentación para mantener
la presión de dicha circulación primaria de vapor, asegurar un
rápido seguimiento de carga e impedir una reducción de la poten-
15 cia del reactor durante un rápido incremento de demanda.

23. Se reivindica por último como objeto sobre el que
ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: UN METODO
Y APARATO PARA SEGUIMIENTO DE CARGA EN UNA CENTRAL TERMOELEC-
TRICA.

20 Todo conforme queda descrito y reivindicado en la pre-
sente memoria descriptiva que consta de cuarenta páginas meca-
nografiadas y dibujos que se acompañan.

Madrid, 2 de diciembre de 1.977
BERNARDO UNGRIA

p.p.



25

30

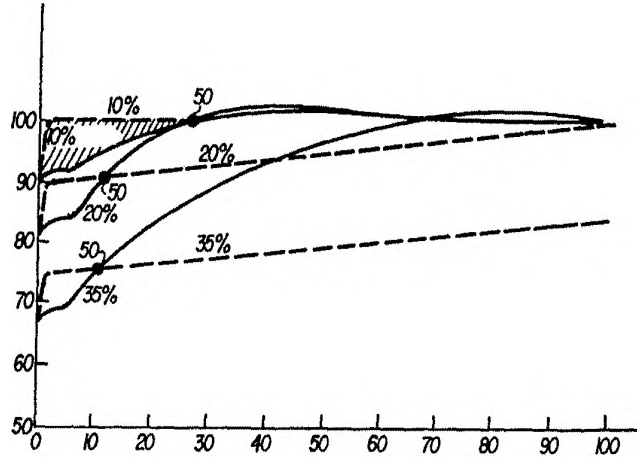


FIG. 2

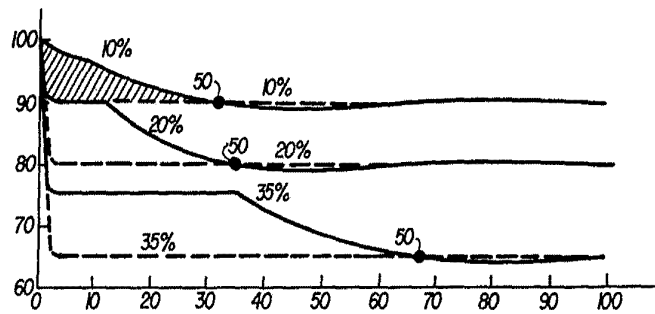


FIG. 3

ESCALA VARIABLE
Madrid, 2 diciembre 1.977
BERNARDO UNGRIA

P.P.

