

MINISTERIO DE INDUSTRIA
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



(18) ES	(11) NUMERO 376261	(10) A1
(21)	(22) FECHA DE PRESENTACION 1-5 FEB 1970	

PATENTE DE INVENCION

(30) PRIORIDADES: (31) NUMERO 799,275	(32) FECHA 14-2-1969	(33) PAIS USA.
--	--------------------------------	--------------------------

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
--------------------------	----------------------------------	--

(54) TITULO DE LA INVENCION

Disposición de sistema de control para una instalación en reactores de energía nuclear.

(71) SOLICITANTE (S)

GENERAL ELECTRIC COMPANY, (sociedad de USA.).

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

New York, N.Y. 10016 (USA). 159 Madison Avenue.

(72) INVENTOR (ES)

John James Hogle, (USA).

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE

D. CARLOS ROEB UNGEHEUER.



1

5

10

15

20

25

30

Varios tipos diferentes de reactores de energía nuclear usando la energía de calor producida por reacciones de fisión nuclear para rendir trabajo útil, han sido desarrollados. Los reactores del tipo de moderador-refrigerante hirviente, tales como los reactores de agua hirviente, han sido encontrados como altamente deseables para muchas aplicaciones. Un reactor típico de este tipo incluye un conjunto o núcleo de reacción en cadena, compuesto de material de combustible nuclear, contenido en elementos de combustible. El material de combustible está incluido en un casco o revestimiento, resistente a la corrosión, conductor de calor. El núcleo de reactor, compuesto de una pluralidad de estos elementos en relación espaciada, está incluido en un recipiente, a través del cual fluye el moderador-refrigerador del reactor. Cuando el refrigerante pasa entre los elementos de combustible espaciados, se calienta por la energía emitida durante la reacción de fisión, que calienta y evapora el refrigerante. El vapor resultante abandona el reactor, es dirigido a un sistema de energía impulsado por fluido, tal como un sistema de generador de turbina de ciclo simple, se condensa y finalmente es devuelto al ciclo en el reactor.

En tales reactores, el refrigerante actúa, tanto para alejar calor del núcleo del reactor, como para hacer más lentos o moderar neutrones rápidos o de fisión liberados por medio de acontecimientos de fisión en el combustible, para incrementar la probabilidad de una presencia de fisiones subsiguientes y para mantener una reacción de fisión en cadena. Como ocurre ebullición dentro del núcleo, la forma

1
5
10
15
20
25
30

ción de burbujas de vapor en el refrigerante disminuye el importe de moderador líquido en el núcleo del reactor, disminuyendo por ello la reactividad. Así, la reactividad incrementada en el núcleo tiende a incrementar la generación de calor que forma más burbujas de vapor. Estas burbujas, a su vez, tienden a disminuir la reactividad. De esta manera el reactor es autoregulado. El nivel general de reactividad en tal reactor se ajusta regulando las barras de control. Por ejemplo, si las barras de control son parcialmente retiradas, el nivel de flujo de neutrones y, por lo tanto, la reactividad aumentan. La reactividad incrementada hace aumentar la generación de calor, la que causa formación de burbujas adicionales de vapor. Cuando se forman las burbujas de vapor, el efecto de moderación del refrigerante disminuye, compensando parcialmente la reactividad incrementada. Continuará la ebullición a este nivel en tanto permanezca constante la presión del reactor. Sin embargo, si la presión se varía sustancialmente durante el funcionamiento, sin ajustes compensadores hechos en el nivel de energía del reactor, el mismo puede no ser auto-regulado, puesto que un incremento en la presión tiende a inhibir la formación de burbujas de vapor moderador, permitiendo aumentar el nivel de energía. Por lo tanto, es preferible que la presión interna del reactor se mantenga sustancialmente constante y que la reactividad se controle por otros medios. Como se ha discutido arriba, el sistema básico de control del reactor, consiste en las barras de control conteniendo materiales absorbentes de neutrones, que hacen disminuir la reactividad cuando se inserta.

1 Sin embargo, el cambio en el nivel de energía de reactor y
de salida de vapor, resultante de un cambio en la posición
de barra de control, es un cambio relativamente a largo pla-
5 zo, que generalmente tiene lugar a través de un periodo de
20 - 30 segundos. Tal retardo en el cambio de la salida de
vapor es, naturalmente, indeseable en la práctica, donde se
desean respuestas considerablemente más rápidas.

10 Los reactores del tipo de refrigerante moderador
tienen disponible un mecanismo de control adicional, que no
está disponible en otros tipos de reactores. El refrigerante
líquido es bombeado desde el reactor por encima del núcleo
del reactor, y se devuelve bombeando al reactor por debajo
del núcleo. Variando el régimen de flujo bombeado a través
15 de este camino de recirculación, la cantidad de refrigerante
líquido, por unidad de tiempo, que pasa a través del núcleo,
puede variarse. Así, cuando se desee un incremento en el
nivel de energía, puede aumentarse el flujo de recirculación
barriendo por ello burbujas de vapor fuera del núcleo a un
20 régimen más rápido. Puesto que aumenta la proporción del
núcleo conteniendo líquido más que refrigerante vaporizado,
se incrementa el efecto de moderación y así aumenta la reac-
tividad. Donde se desee disminuir el nivel de energía del
reactor, puede disminuirse el flujo de recirculación, barrien-
25 do por ello las burbujas de vapor fuera del núcleo, a un ré-
gimen más bajo. Puesto que el núcleo entonces contendrá una
proporción más alta de burbujas de vapor y una menor propor-
ción de refrigerante líquido moderador, disminuirá la reactivi-
dad. Por lo tanto, después de haberse ajustado el nivel

1
básico de funcionamiento del reactor ajustando las barras de
control, el nivel de energía del reactor puede variar a
través de un alcance sustancial, variando el régimen de flu-
5 jo de recirculación del refrigerante para seguir los requisi-
tos de vapor de la carga.

Mientras que el reactor responderá a un cambio en
demanda de vapor, por la carga, más rápidamente, ajustando
el régimen de flujo del reactor, que simplemente ajustando
10 las posiciones de barra de control, todavía existe un retra-
so de alrededor de 5 a 15 segundos antes de que se alcance
el nuevo nivel de energía. Así, existe una necesidad conti-
nuada de un sistema de control mejorado de reactor de agua
hirviente, que responda más rápidamente a niveles de carga
15 variantes.

Se ha sugerido que el tiempo de respuesta a la car-
ga resultante de ajustar simplemente las barras de control,
podría mejorarse haciendo bajar la presión del reactor tem-
poralmente para permitir que pase una mayor cantidad de va-
20 por a la carga durante el periodo, en que las barras de con-
trol están incrementando la reactividad del núcleo. Sin em-
bargo, esto se ha encontrado como inconveniente, puesto que
el descenso en la presión del reactor a través del periodo de
20 - 30 segundos, requerido por el ajuste de barra de control,
25 disminuirá temporalmente, más que aumentará el nivel de ener-
gía del reactor. Esto ha resultado del hecho de que, cuando
la presión en el reactor cae rápidamente, se forman muchas
más burbujas de vapor inmediatamente en el núcleo, a causa
de la presión más baja. Este aumento en volumen de vacío
30

1 en el núcleo disminuye el efecto moderador del refrigerante
sustancialmente, dando por resultado una reactividad dismi-
nuida. La reactividad, naturalmente, se incrementa por úl-
5 timo con la retirada de las barras de control. Sin embargo,
la reactividad se disminuye durante un periodo significativo
en un tiempo, cuando la carga requiere vapor adicional.
Entonces, como la reactividad aumenta, debido a la retirada
de barras de control, y el nivel de energía aumenta, el ni-
10 vel de presión del reactor se hace retornar al ajuste origi-
nal. Esto tiene una tendencia a causar una condición de ex-
ceso de energía durante breve plazo, puesto que cuando la
presión se hace retornar al nivel original, la presión den-
tro del núcleo, temporalmente aumenta, al punto en que se
15 forman menos burbujas de vapor. Esto aumenta el efecto de
moderación del refrigerante temporalmente, incrementando la
reactividad. Cuando la reactividad aumenta, se forman más
burbujas de vapor y se equilibra el nivel de salida de va-
por. Sin embargo, es probable que se produzca una condición
20 de exceso de energía durante breve periodo antes de que este
efecto de auto-regulación pueda compensar el retorno de la
presión del reactor al nivel de funcionamiento normalizado.
Así, mientras que se rebaja temporalmente la presión del
reactor, mientras se están ajustando las barras de control,
25 se incrementará temporalmente la cantidad de vapor, que pa-
sa a la carga, por lo que pueden resultar fluctuaciones ad-
versas en el nivel de energía del reactor durante el perio-
do, en que las barras de control están variando el nivel
básico de energía.

1

5

10

15

20

25

30

También, es generalmente indeseable intentar usar la reposición de barra de control para seguir variaciones de plazo breve en necesidades de vapor de carga. Las posiciones relativas de las muchas barras de control a través del núcleo están por lo menos parcialmente dictadas por los requisitos de conformación de flujo y de economía de combustible. Para rendimiento óptimo general del reactor, diferentes barras de control deberán moverse a diferentes distancias para obtener un deseado cambio de nivel de energía del reactor. El esquema de movimiento es complejo y difícil de mantener, cuando tengan que hacerse frecuentes cambios para seguir requisitos de carga a breve plazo. Además el frecuente accionamiento de mecanismos de impulsión de control desgastará partes vitales y causará el aumento en la probabilidad de fallo de impulsión. Cuando el operador del reactor tiene que mover frecuentemente un gran número de barras de control a distancias diferentes, aumenta la probabilidad de un error. Un error resultante como una retirada impropia de barra, puede causar una repentina inserción de reactividad, que podría dañar el reactor o causar un cierre de energía o "cesa".

Los objetos arriba citados y otros, se realizan de acuerdo con este invento, procurando un reactor nuclear de refrigerante moderador hirviente con un sistema de control, que incluye barras de control para ajustar el nivel general de energía del reactor, control de flujo de recirculación para variar el nivel de energía a través de un alcance sustancial y un medio de control de punto de ajuste de regulador de presión, que coopera con el control de flujo de recir

1
5
10
15
20

culación para ajustar la presión de retroceso sobre el reactor a través de un alcance relativamente estrecho, que puede tolerarse por el reactor, de modo que con ocasión de un repentino aumento en la demanda de vapor de carga, el nivel de presión del reactor puede hacerse caer en un importe adecuado para alimentar vapor adicional a la carga, mientras que el control de recirculación está llevando la potencia del reactor, subiendo al nivel requerido. Este sistema de control también incluye medios para compensar un repentino descenso en la demanda de vapor de carga. Este sistema es capaz de mejorar el tiempo de respuesta desde los 4 segundos requeridos para el flujo de vapor para comenzar a aumentar después de una demanda de carga, cuando sólo se usa control de flujo de recirculación a una respuesta de alrededor de 1% por segundo, en que se utilizan, tanto el control de flujo de recirculación, como el ajuste del punto de regulación. Estos medios de control están interrelacionados, de modo que no ocurran graves fluctuaciones en el nivel de energía del núcleo.

Los detalles del invento y de una ejecución preferida del mismo, se comprenderán mejor haciendo referencia a los dibujos, en que:

La figura 1 muestra una representación esquemática del sistema de control del reactor según este invento:

la figura 2 muestra las características de respuesta de un sistema de control de la técnica anterior, a una demanda de grado de carga de 10

la figura 3 muestra las características de respuesta del sistema de control de este invento a una demanda del

1 grado de 10%;

la figura 4 muestra las características de respuesta de un sistema de control de la técnica anterior, a una demanda de grado de carga de 20%; y

5 la figura 5 muestra las características de respuesta del sistema de control de este invento a una demanda del grado de carga de 20%.

En las figuras, las letras tienen el siguiente significado:

10 A = presión de tubería de vapor

B = demanda de carga;

C = imposición;

D = demanda obligada de carga;

15 E = error de demanda de carga;

F = flujo de neutrones;

G = flujo de vapor;

H = presión de reactor;

J = segundos;

20 X = respuesta a 20% de demanda de grado de carga (técnica anterior);

L = respuesta a 20% de demanda de grado de carga (con ajuste de punto de regulación de presión)

M = Respuesta a 10% de demanda de grado de carga (técnica anterior);

25 N = Respuesta a 10% de demanda de grado de carga (con ajuste de punto de regulación de presión)

y PSI = $\frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$ y presión por pulgada cuadrada.

Haciendo ahora referencia a la figura 1, se puede observar en la misma un reactor nuclear 10 del tipo moderado y refrigerado por agua hirviente. El vapor, producido por

1

el reactor 10, pasa, a través de la tubería 11 principal de vapor, a la carga, que en este caso es una turbina 12, que mueve un generador 13 eléctrico. Después de pasar por la turbina 12, el vapor es condensado en el condensador 14 principal. Una línea de derivación 16 está prevista para desviar vapor de la tubería 11 directamente al condensador principal 14 en el caso de que la turbina 12 no pudiera aceptar la cantidad necesaria de vapor.

5

10

15

20

25

El nivel de energía bruta del reactor se controla por barras de control, indicadas esquemáticamente en 18. La reactividad dentro del núcleo del reactor está controlada por la posición de barras de control 18. Como se ha discutido arriba, un reactor del tipo de agua hirviente tiene una ventaja única en que el nivel de energía, sobre un alcance sustancial, puede controlarse por control del régimen, al que se hace recircular agua a través del núcleo. Como se ve en la fig. 1, el agua de recirculación abandona el reactor a través de la línea 19 y se devuelve por bombeo al reactor por una bomba 20 de velocidad variable a través de la tubería 21 y válvula 22 de aislamiento. Cuando la velocidad de la bomba 20 aumenta, se bombea más agua a través del núcleo del reactor. Este flujo más rápido tiende a barrer burbujas de vapor fuera del núcleo a un régimen más rápido. Así, existe un incremento en proporción de agua moderadora dentro del núcleo, elevando por ello la reactividad del núcleo y el nivel de energía del reactor.

30

El flujo de recirculación es controlado variando la velocidad de un generador 24 de corriente alterna, que

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

suministra la energía al motor 25 de inducción de la bomba de recirculación. Un controlador de velocidad 26 controla la velocidad del generador, variando el acoplamiento de fluido entre un motor 27 impulsor de inducción y el generador 24. El acoplamiento es variado cambiando la posición del tubo vaciador de aceite en un acoplador 28 convencional de fluido. Aunque en la fig. 1 se ilustra solamente un lazo simple de recirculación y sistema de impulsión de bomba, en general se usarán en paralelo varios de estos sistemas. Un controlador maestro 23 recibe la señal de error de demanda de carga y activa cada uno de los sistemas de recirculación. Un tacómetro 33 mide la velocidad de la bomba y emite una señal al punto de suma 29. Esta señal se compara con la señal producida por el controlador maestro. Las dos señales se cancelarán entre sí en operaciones de estado constante. En el punto de suma 29, la señal en la salida indica la manera proporcional, en que aquella señal afectará a la salida desde el punto de suma. Así, la señal desde el tacómetro 33 tenderá a afectar inversamente el paso de señal al controlador 26 de velocidad, mientras que la señal desde el controlador maestro afectará directamente la señal al controlador de velocidad. En otras palabras, una señal de velocidad más alta desde el tacómetro tenderá a rebajar la velocidad del controlador de velocidad, mientras que una señal más alta desde el controlador maestro tenderá a incrementar la velocidad del controlador de velocidad. El punto de suma 29 puede consistir en cualquier dispositivo eléctrico o mecánico adecuado, capaz de ejecutar la función de comparación de señal. Por lo tan-

1 to, puede usarse una disposición de válvula piloto, una dis-
posición de palanca o un circuito eléctrico convencional.
Los otros puntos de suma, discutidos más abajo, funcionan de
una manera similar. Aunque este sistema es altamente eficaz,
5 puede desearse que se emplee un sistema alternativo de con-
trol de flujo de recirculación (no mostrado), en que el re-
frigerante de recirculación es bombeado por una gran bomba
de velocidad constante a través de una válvula estrangulado-
ra, que está controlada por el controlador maestro 23.

10 Aunque el sistema de control de flujo de recircula-
ción es altamente eficaz al ajustar el nivel de energía del
reactor, se ha hallado que no tiene una respuesta tan rápida,
como hubiera sido deseable para cambios repentinos de grado
de carga sobre el flujo de vapor. El invento aquí descrito
15 utiliza control de flujo de recirculación y además añade un
sistema para ajustar el punto de ajuste de presión de la tube-
ría de vapor en una base temporal para obtener respuesta.
Este sistema incluye medios para tantear la velocidad del
20 generador 13 para detectar cambios repentinos en el mismo o
para aceptar cambios rápidos de carga, introducidos manual-
mente y para incrementar simultáneamente el régimen de flujo
de recirculación y la disminución del punto de ajuste de pre-
sión, de modo que la presión del reactor se permite caer tem-
25 poralmente. Esto causa, tanto transferencia rápida de vapor
adicional a la turbina, como, suprimiendo vacíos del reactor,
incrementa la cantidad de moderador en el núcleo o incremen-
ta rápidamente la reactividad en el núcleo.

La velocidad del generador 13 es comprobada conti-

1 nuamente, produciendo una señal de velocidad, que pasa al
punto de suma 30, a través de la línea 31. El punto de suma
30 compara la señal de velocidad del generador con una señal
5 32 de referencia de velocidad. Una comparación similar de
señal de carga detectada y de referencia de carga podría
usarse, donde la carga fuera distinta al sistema de genera-
dor de turbina, mostrado en esta ejecución. Si la velocidad
del generador cayese por debajo de la señal de referencia de
10 velocidad, se hará pasar al punto de suma 37, una señal de-
mandando vapor adicional para la turbina 12. Bajo condicio-
nes de estado constante las señales de velocidad del genera-
dor y de referencia de velocidad se cancelarán mutuamente.
La señal de ajuste de carga, que pueda ser introducida ma-
15 nualmente o puede resultar de un controlador automático, se
ajusta ordinariamente para que sea mayor aproximadamente por
el equivalente de 10% de flujo de vapor, de modo que el flu-
jo de vapor sea normalmente controlado por el regulador de
20 presión 34, como se describirá más detalladamente a continua-
ción. Las señales desde el punto de ajuste de carga 35 y
punto de suma 30 se comparan en el punto de suma 37, dando
por resultado una señal de demanda obligatoria de carga, que
se hace pasar al portillo 36 de valor bajo. El portillo 36
de valor bajo también recibe una señal del regulador de pre-
25 sión 34. El portillo 36 actúa en respuesta a la más baja de
estas dos señales. Cuando varía la más baja de estas señales,
el portillo 36 acciona la válvula 38 de control de turbina
a través del servo-mecanismo 39.

La señal impuesta de demanda de carga también pasa

1 al punto 41 de suma, donde una imposición igual al 10% de es-
fuerzo introducido en el ajuste de carga 35 se deduce, de mo-
do que la salida desde el punto de suma 41 es la verdadera
5 demanda de carga. La señal de demanda de carga verdadera
pasa al punto de suma 42, donde se la compara con la señal
desde el regulador 34 de presión. Durante el funcionamiento
de estado constante, estas señales se cancelarán entre sí.
Sin embargo, si existiese una diferencia en las señales de
10 demanda de carga y de regulador de presión, el punto 42 de
suma producirá una señal de salida, que es la señal de error
de demanda de carga. La señal de error de demanda de carga
pasará al controlador maestro 23, de modo que el flujo de re-
circulación pueda ajustarse para corregir el error, como se
15 ha descrito arriba. La señal de error de demanda de carga
también pasa al ajustador 44 de punto de ajuste de transiente.

El punto 45 de suma compara la presión efectiva de
la tubería de vapor de la tubería 11, el punto 46 de ajuste
de presión regulado a mano y la señal del ajustador 44 de
20 punto de ajuste de transiente. Cuando existe un rápido aumen-
to en la demanda de carga, la señal del ajustador de punto
de regulación de transiente será tal que varíe apreciablemen-
te el regulador de presión para permitir que pase a la turbi-
na 12 una mayor cantidad de vapor.

25 La señal desde el regulador de presión 34 también
pasa al punto de suma 48, donde se la compara con la señal
de salida del portillos 36 de valor bajo. La pequeña imposi-
ción (generalmente equivalente a alrededor de 2 libras por
pulgada cuadrada) se introduce en el punto de suma 48 para

1 mantener cerrada la válvula de derivación, puesto que las
otras dos señales ordinariamente se cancelan entre sí. Si
la señal del regulador de presión subiese sustancialmente
por encima de la señal del portillo 36 de bajo valor y excee-
5 diese de esta imposición, como ocurriría si la demanda de
carga impuesta tomase el control del portillo 36 de bajo va-
lor, la señal de salida del punto de suma 48 operará la vál-
vula 50 de derivación a través del servo-mecanismo 51. Esto
10 hará que el vapor pase al lado de la turbina 12 y pase direc-
tamente al condensador principal, 14. El régimen de vaporiza-
ción del reactor puede mantenerse a nivel con la maniobra
normal de carga, de modo que la derivación de vapor no se re-
quiere normalmente. Este ocurre cuando cae la demanda de
15 carga a un régimen más rápido del que puede acomodar el sis-
tema y mayor que la imposición de 10% en la señal de demanda
de carga.

Bajo condiciones de funcionamiento de estado cons-
tante, la señal de velocidad y la señal 32 de referencia de
20 velocidad se equilibrarán en el punto de suma 30, y así no
pasará ninguna señal desde el punto de suma 30 al punto de
suma 37. La demanda obligada de carga entonces será el ajus-
te 35 de carga, incluyendo la imposición construida dentro.
Esta señal pasará al portillo de bajo valor 36. Entre tanto
25 la demanda obligada de carga habrá hecho suprimir la imposi-
ción en el punto de suma 41 y la señal de demanda de carga
pasará al punto de suma 42. Bajo estas condiciones de esta-
do constante, el regulador de presión 34 tendrá el control
sobre el flujo de vapor de la turbina. La señal desde el re-

1 regulador 34 de presión, que entra en el punto de suma 42, equi-
librará la demanda de carga. Así, no habrá ninguna señal
de salida desde el punto de suma 42 al ajustador 44 de punto
de regulación de transiente o controlador maestro 23. Así,
5 la velocidad de flujo de recirculación permanecerá constante.
El portillo 36 de bajo valor controlará la válvula 38 a tra-
vés del servo-mecanismo 39, en respuesta a la señal desde el
regulador 34 de presión. El punto de suma 48, que recibe
10 señales de entrada desde el regulador 34 de presión y del
portillo 36 de bajo valor es equilibrará dentro de los lími-
tes impuestos por la pequeña imposición. Así, la válvula
50 de derivación permanecerá cerrada.

15 El sistema de control mejorado de este invento
entrará en juego cuando exista un cambio rápido en demanda
de carga. Suponiendo una emergencia o un cambio en la deman-
da eléctrica, que haga que el generador 13 se retarde por un
importe equivalente a alrededor de 10% de grado de carga.
La señal 31 de velocidad cae al nivel por debajo de aquel
20 de la referencia de velocidad 32. Puesto que la salida del
punto de suma 30 es inversamente proporcional a la señal de
velocidad 31 (como se indica por el signo negativo adyacente
a la flecha de señal de entrada de velocidad) esto incremen-
tará el paso de la señal al punto de suma 37. Así, la deman-
25 da obligada de carga aumentará, puesto que la salida del punt
to de suma 37 es directamente proporcional a la entrada des-
de el punto de suma 30. Así, la señal que alcanza el porti-
llo 36 de bajo valor desde el punto de suma 37, se incremen-
tará. Esto no tendrá ningún efecto inmediato puesto que el

1 portillo de bajo valor funciona de acuerdo con la más baja
de las dos señales recibidas. Entre tanto, una señal incre-
mentada alcanzará el punto de suma 41, donde se suprime la
5 imposición construida dentro. La verdadera demanda de carga
así aumentará proporcionalmente. La señal de salida desde el
punto de suma 42 de nuevo aumentará proporcionalmente, puesto
que la entrada de demanda de carga excederá de la entrada
desde el regulador 34 de presión. Una señal de error de de-
10 manda de carga desde el punto de suma 42 pasará al controla-
dor maestro 23 causando un aumento en el régimen de flujo de
recirculación. Esta señal de error de demanda de carga tam-
bién pasará a través del ajustador 44 de punto de regulación
de transiente al punto de suma 45. Una señal de salida, pro-
15 porcionalmente creciente, desde el punto de suma 45, aumenta-
rá la señal desde el regulador de presión 44 al portillo 36
de bajo valor. Puesto que ambas señales de entrada al porti-
llo 36 de bajo valor han aumentado, el portillo abrirá la
válvula de control 38 a través del servo 39 en respuesta a
20 la señal de regulador de presión, que es todavía la más baja
de las dos señales de entrada, Así ocurrirá un rápido aumento
en flujo de vapor desde el reactor 10 a la turbina 12. Este
régimen de flujo de vapor inicial más alto, debido al ajuste
del punto de ajuste de presión, causará un incremento en la
25 velocidad de la turbina. La señal de salida desde el punto
de suma 42 disminuirá, según aumenta la señal de regulador
de presión, hasta que alcance cero, en cuyo tiempo la deman-
da de carga es satisfecha y la señal del ajustador del punto
de regulación de transiente es también cero. Así, después

1 de pocos segundos, el punto de ajuste de presión retornará
al valor original. Esto es importante, puesto que si la pre-
sión del reactor tuviera que permanecer baja durante un perio-
5 do apreciable, entonces ocurrirá un efecto adverso sobre la
salida de vapor, puesto que a la presión más baja, se forma-
rían más vacíos en el núcleo, dando por resultado una menor
proporción de moderador en el núcleo y así una más baja salí-
da de calor del núcleo. Sin embargo, con el sistema del pro-
10 sente invento, la presión del reactor es disminuida durante
sólo un breve periodo, lo bastante largo para recoger rápida-
mente la variación de demanda de carga.

Cuando la turbina 12 recibe rápidamente el vapor
adicional necesario, aumenta la velocidad del generador 13,
15 incrementando la señal de velocidad al punto de suma 30. A
causa de que la regulación de velocidad (un maniobrador de
velocidad de tipo proporcional) la señal 31 de velocidad no
se emparejará enteramente con la señal de referencia de velo-
cidad en el punto 32, puesto que la señal de salida desde el
20 punto de suma 30 tiene que suministrar la señal de demanda de
carga necesaria para mantener abierta la válvula 38 de con-
trol por el importe requerido. Naturalmente, el ajuste 35
de carga puede incrementarse por esta misma cantidad, de mo-
do que la señal de velocidad pueda emparejar con la señal de
25 referencia de velocidad, si se desea. En cualquier caso, el
sistema así alcanza una nueva condición de estado constante
con un más alto flujo de recirculación y régimen de vaporiza-
ción para suministrar los mayores requisitos de vapor de la
turbina.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

Cuando la velocidad del generador 13 aumente repentinamente, ocurrirá en esencia lo inverso de lo que se ha descrito arriba respecto a un repentino aumento en la carga. Cuando la señal 31 de velocidad aumenta, la salida del punto de suma 30 disminuirá inversamente. Así, la señal de demanda obligada de carga desde el punto de suma 37, se hará disminuir. El portillo 36 de valor bajo comparará esta señal con aquella del regulador 34 de presión. Si la demanda de carga obligada es menor que la señal de regulador de presión, como sería el caso, donde la señal de demanda de carga obligada disminuye repentinamente por más de 10%, entonces el portillo 36 de bajo valor responderá a la demanda obligada de carga y comenzará a cerrar la válvula de control 38. Entretanto, la demanda obligada de carga pasa a través del punto de suma 41, donde la imposición es suprimida y alcanza el punto de suma 42, como la señal verdadera de demanda de carga. Puesto que esta señal será más baja que la señal desde el regulador de presión, la señal de salida desde el punto de suma 42 será más baja. Esta señal de error de demanda de carga alcanzará el controlador maestro 23 para causar una disminución en el flujo de recirculación. Esta señal también alcanzará el punto 45 de suma a través del ajustador 44 de punto de regulación de transiente. La señal de salida desde el punto 45 de suma será más baja, reduciendo por ello la señal desde el regulador 34 de presión al portillo 36 de bajo valor. Esta señal desde el regulador 34 de presión se comparará en el punto de suma 48 con la señal desde el portillo 36 de bajo valor. Si la diferencia en estas señales excede de la im-

1
sición pequeña, la señal de salida desde el punto de suma 48
abrirá la válvula 50 de derivación por medio de un servo-me
canismo 51. Esto permitirá verter vapor al condensador prin
5 cipal 14 para evitar un incremento indeseado en la presión
del reactor. Sea o no necesario derivar vapor al condensa-
dor principal, cuando el sistema hace disminuir el flujo de
vapor a la turbina 12, la señal de velocidad retornará a la
normal y el sistema de velocidad retornará a la normal y el
10 sistema retornará al funcionamiento de estado constante, a
un régimen de flujo más bajo de recirculación.

Los regímenes comparativos de respuesta de varios
parámetros operantes en el reactor a repentinas variaciones
de grado de demanda de carga, con el sistema de control de
15 flujo de recirculación de la técnica anterior y con el siste
ma de control del presente invento, se ilustran gráficamente
en las figuras 2 a 5.

Las figuras 2 y 3 muestran el cambio de flujo de
neutrones, flujo de vapor y presión de reactor con el tiempo
20 en respuesta a una demanda de grado de carga de 10%. Como
puede observarse en la figura 2, el sistema de la técnica
anterior requería alrededor de 3 segundos antes de ocurrir
un cambio observable en flujo de vapor. Con el sistema de
control de este invento, como se observa en la figura 3, el
25 aumento en flujo de vapor es muy rápido, con alrededor de
3% de incremento después de sólo alrededor de 2 segundos.
El incremento total de 10% en flujo de vapor se consigue en
solamente alrededor de 30 segundos con el sistema de este in
vento, mientras que el sistema anterior requería alrededor
30

1 de 37 segundos. Esta respuesta de flujo de vapor mucho más
rápida resulta del ajuste de punto de regulación de transien-
te que permite que la presión del reactor caiga drásticamente
5 durante los primeros pocos segundos después del incremento
en la demanda. Como se ha discutido arriba, el repentino
descenso en la presión del reactor durante algunos pocos se-
gundos, incrementará la porción de burbujas de vapor en el
núcleo. Esto da por resultado una caída en el flujo de neu-
10 trones durante alrededor de 4 segundos. Sin embargo, el ni-
vel de flujo de neutrones se recupera rápidamente y se alcan-
za el nivel de aumento de 10% después de alrededor de 8 se-
gundos, tanto con el sistema de la técnica anterior, como
con el sistema de control presente.

15 Las figuras 4 y 5 muestran un juego similar de cur-
vas, en que ha habido un incremento de demanda de grado de
carga de 20%. De nuevo, está claro que el sistema de este
invento procura un incremento mucho más rápido en el flujo
de vapor, en respuesta al incremento de demanda. Nuevamente
20 el nivel de flujo de neutrones es deprimido durante pocos
segundos, pero rápidamente vuelve a recuperar el nivel dese-
do.

Así, puede verse que el sistema de control de este
invento permite respuesta mucho más rápida a cambios repenti-
25 nos en demandas de carga no teniendo ninguna disminución en
seguridad o confiabilidad.

N O T A .

1 La presente patente de invención, consta de las
siguientes reivindicaciones:

5 1 - Disposición de sistema de control para una
instalación en reactores de energía nuclear, incluyendo un
reactor nuclear generador de vapor refrigerado por agua, su
10 ministrando vapor a una carga variable; medios de recircula
ción de refrigerante, incluyendo medios de bomba para hacer
recircular dicho refrigerante de agua a través del núcleo
de dicho reactor, y medios de control de válvula para con-
15 trolar el régimen de flujo de vapor desde dicho reactor a
dicha carga; comprendiendo dichos medios de control de vál
vula primeros medios responsables a variaciones de dicha
carga, produciendo una señal de demanda de carga; medios
reguladores de presión responsables a la presión en dicho
20 reactor y a la presión de base ajustada para dicho reactor,
caracterizada porque dicho medio de recirculación de refri-
gerante está conectado operativamente a dicho primer medio
para variar el régimen de flujo de recirculación de acuerdo
con variación en dicha señal de demanda de carga; medios
25 operadores de válvula, que conectan operativamente dicho -
primer medio y dichos medios reguladores de presión para
accionar dichos medios de válvula para variar el régimen de
flujo de vapor desde dicho reactor a dicha carga, de acuer-
do con la inferior de las señales de dicho primer medio y
30 dicho medio regulador de presión; y medios ajustadores de
punto de ajuste de transiente de presión, que responde a -
dicho primer medio, adaptados para hacer bajar el punto de
ajuste de dicho medio regulador de presión, por lo que la
presión del reactor se disminuye temporalmente por debajo

1 del punto de ajuste normal de presión, en respuesta a repen-
tinos aumentos en la demanda de carga.

5 2 - Disposición según la reivindicación 1, caracte-
rizada por medios de paso de derivación que responden a
dichos medios accionadores de válvula y a dichos medios -
reguladores de presión para desviar flujo de vapor desde
dicha carga en el caso de que el régimen de salida de vapor
del reactor sube significativamente alrededor del régimen,
al que dicha carga puede aceptar vapor.

10 3 - Disposición según la reivindicación 1, caracte-
rizado porque dicho medio de recirculación de refrigeran-
te incluye un controlador maestro, que responde a dichas -
variaciones de carga, y por lo menos un sistema de bombeo
variable, que responde a dicho controlador maestro, inclu-
15 yendo dicho sistema de bombeo un controlador de velocidad
que responde a dicho controlador maestro y a un tacómetro
que tantea la velocidad de la bomba de recirculación, un
acoplador variable de velocidad, accionable por dicho con-
trolador de velocidad, un motor de velocidad constante, -
20 conectado en relación impulsora con dicho acoplador varia-
ble de velocidad, un generador de corriente alterna, conec-
tado en relación impulsada con dicho acoplador variable de
velocidad, un motor de impulsión de bomba, adaptado para
recibir energía por la salida de dicho generador de corrien-
25 te alterna y una bomba, conectada en relación impulsada con
dicho motor de impulsión de bomba, dicha bomba, hidráulica-
mente conectada a dicho reactor, para recibir refrigeran-
te de dicho reactor y hacer recircular el mismo a través -
30 del núcleo del reactor.

1

4 - Disposición según la reivindicación 1, caracterizada porque dicho primer medio incluye variaciones de carga que son tanteadas; primeros medios sumadores, que comparan variaciones de carga con una referencia de carga; y segundos medios de suma para comparar la señal comparativa de dicho primer medio de suma con una señal de ajuste de carga y produciendo una señal de demanda de carga.

5

5 - Disposición según la reivindicación 1, caracterizada porque dicho medio regulador de presión incluye un medio de suma de presión, que compara señales de medios, - que tantean la presión de vapor en dicho reactor, una señal de punto de ajuste de presión y un medio ajustador de punto de ajuste de presión de transiente, que está adaptado a rebajar el punto de ajuste del reactor, cuando dicha señal de demanda de carga excede significativamente de la señal de salida de dicho medio de suma de presión.

10

15

6 - Disposición de sistema de control para una instalación en reactores de energía nuclear.

20

Según se describe y reivindica en la adjunta memoria descriptiva y se ilustra en los planos anexos, constando la memoria de veintitres hojas foliadas, escritas a máquina por una soia de sus caras.

[Handwritten Signature]
SANTOS ROEB
 P. P.
 Edo.: Pedro Matamorón

Madrid, a 5 de Febrero de 1970.

25

30

Fig. 1

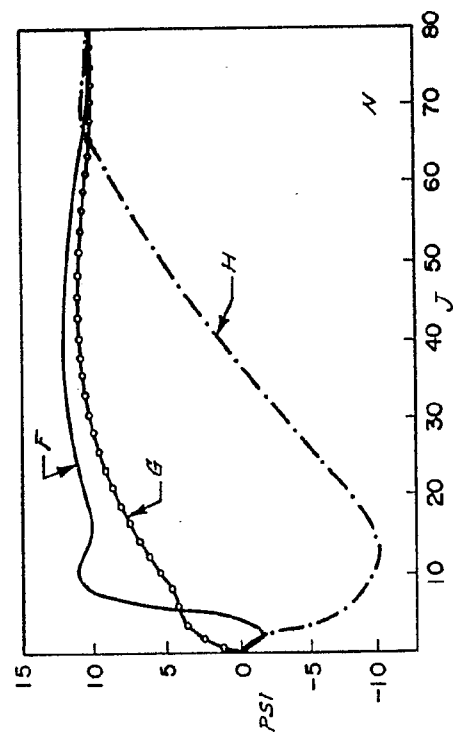
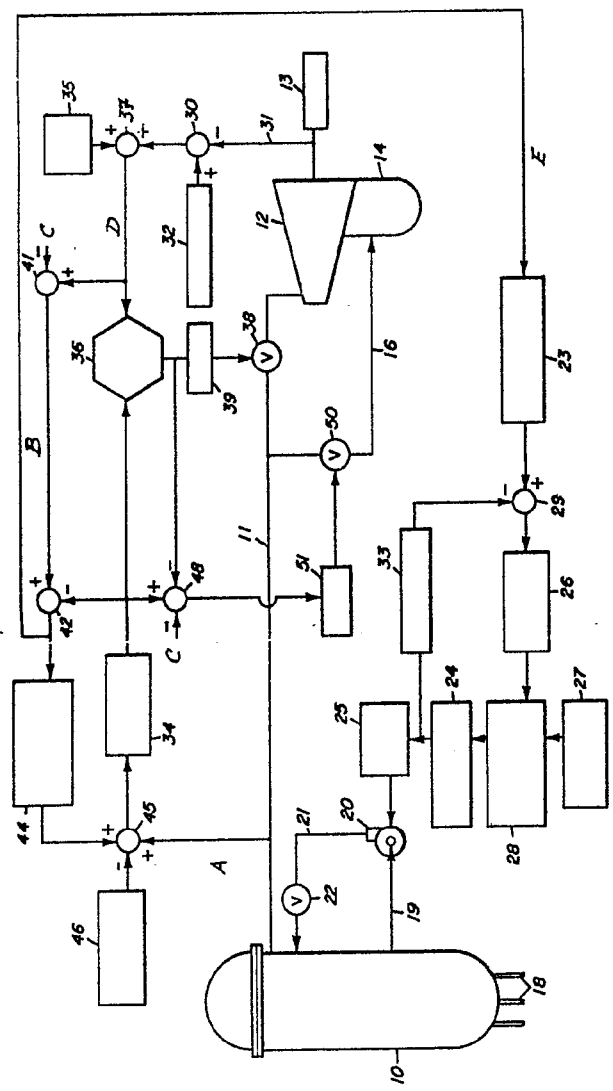


Fig. 3

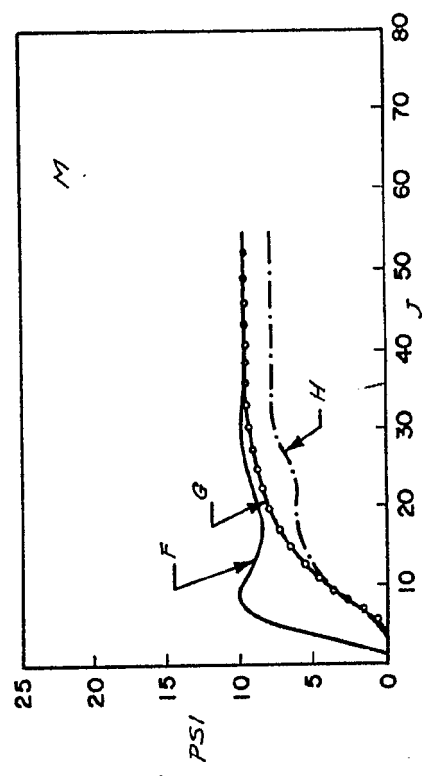


Fig. 2

ESCALA VARIABLE

U.S. PAT. OFF. P. 2

Fig. 1

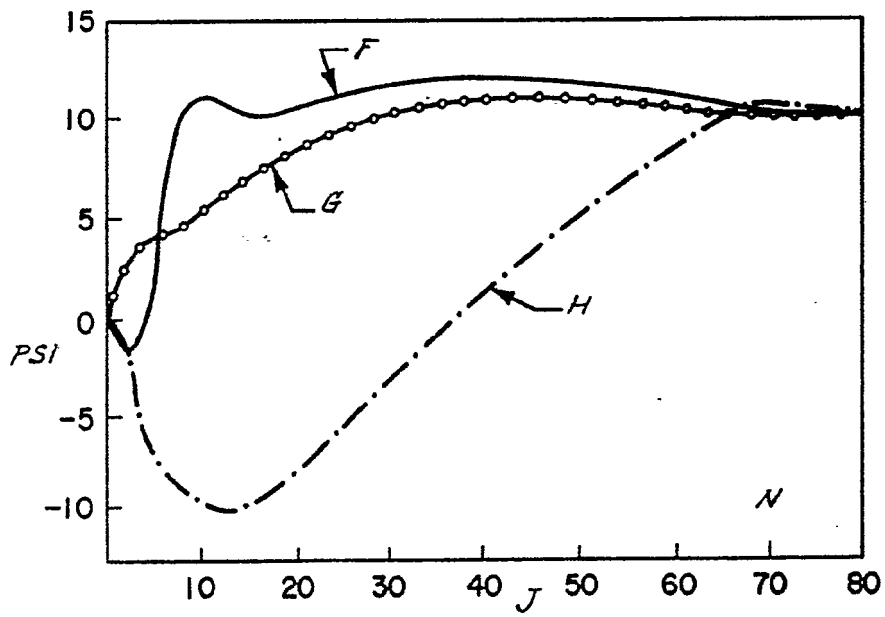
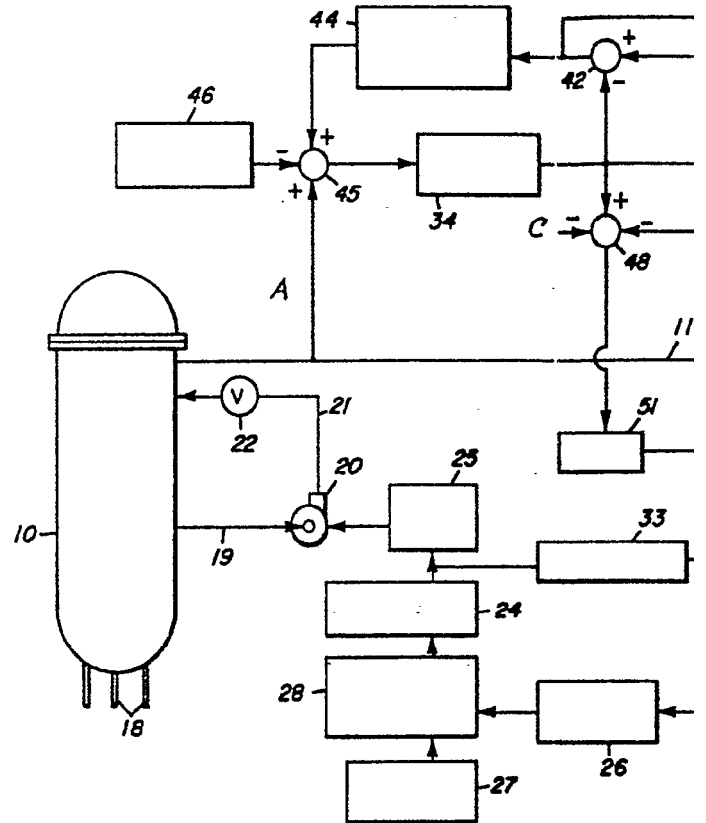


Fig. 3

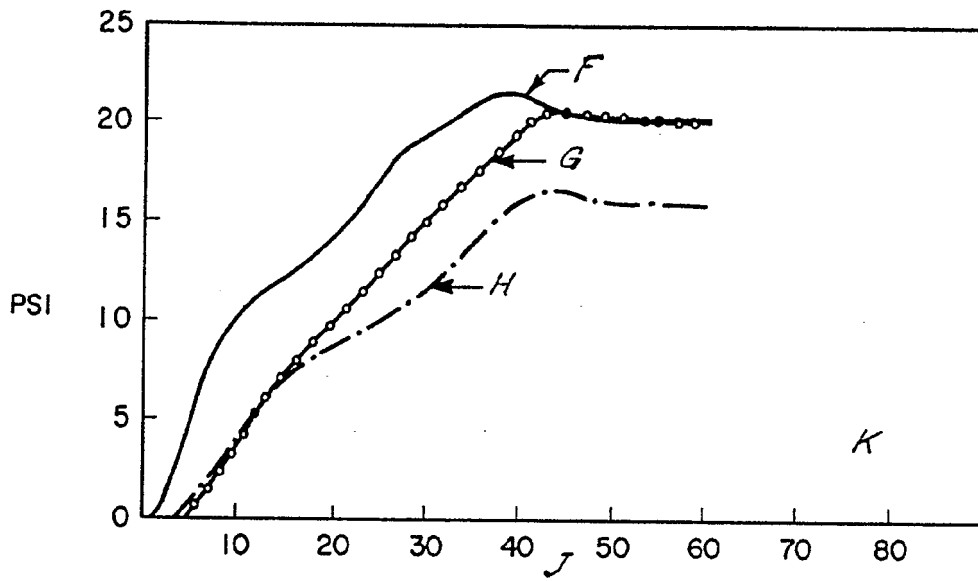


Fig. 4

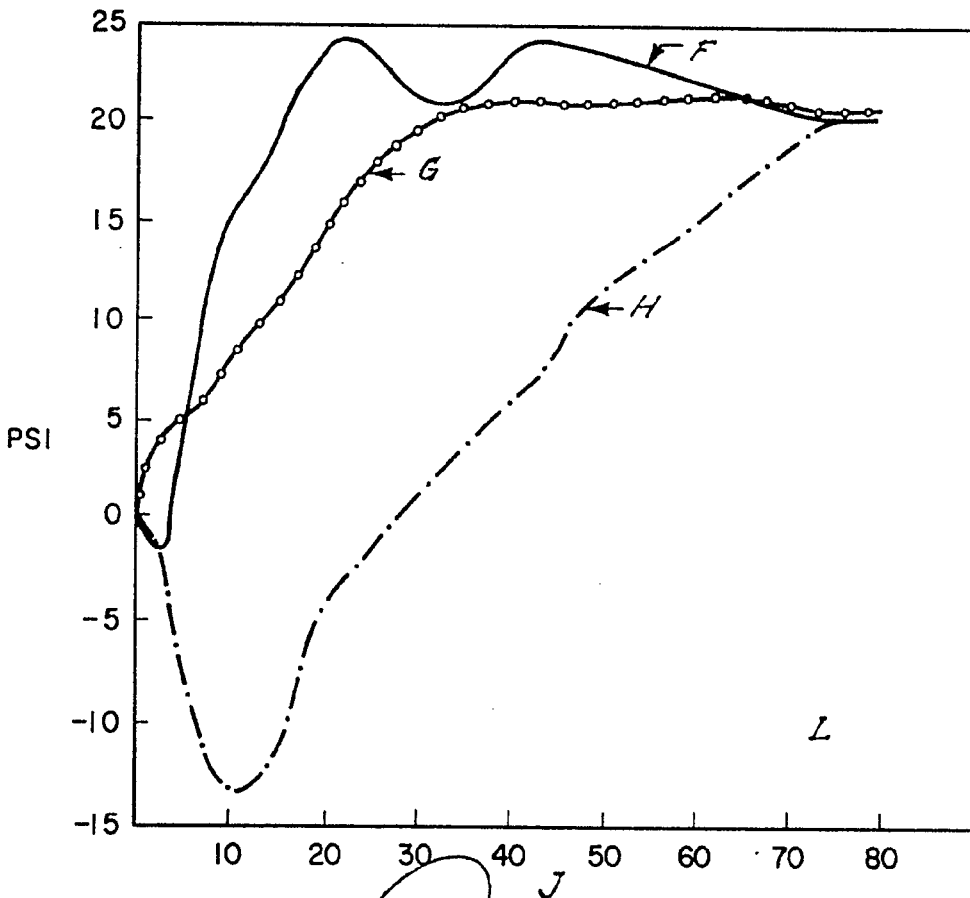


Fig. 5

ESCALA VARIABLE
CALIBRADO
P. P.