



Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

20 OCT 1978
PATENTE DE INVENCION

(19) ES	(11) NUMERO	(10) A I
(21)	456 552	
(22)	FECHA DE PRESENTACION	
	4-3-77	

(30) PRIORIDADES:	(32) FECHA	(33) PAIS
(31) NUMERO	5-3-76	Estados Unidos
664,114		

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

(54) TITULO DE LA INVENCION
METODO PARA SUPERVISAR DESDE EL EXTERIOR DE UN REACTOR NUCLEAR LA DISTRIBUCION DEL FLUJO A LO LARGO DE UN EJE DE UN NUCLEO DE REACTOR NUCLEAR

(71) SOLICITANTE (S)
WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
Westinghouse Building, Gateway Center, Pittsburgh, Pennsylvania 15222, Estados Unidos.

(72) INVENTOR (ES)

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE
D. BERNARDO UNGRIA GOIBURU

1 El invento se refiere, de manera general, a reactores
nucleares, y más particularmente, a unos métodos mejorados y
a los aparatos correspondientes para supervisar la distribución
de energía axial en el interior del núcleo de un reactor nuclear
5 desde el exterior del núcleo del reactor.

Generalmente, en los reactores de agua bajo presión,
un elemento de absorción de neutrones está incluido en el medio
de enfriamiento con una concentración variable y controlada,
con el objeto de modificar la reactividad y, por tanto, el ca
10 lor generado en el interior del núcleo, cuando se necesita.
Además, unas barras de control están intercaladas entre los
conjuntos de combustible, pudiendo desplazarse axialmente en
el sentido longitudinal dentro del núcleo, para controlar la
reactividad del núcleo y, por tanto, su potencia de salida.
15 Existen tres tipos de barras de control utilizadas para varias
finalidades, es decir las barras de longitud completas, las
barras de control de longitud parcial, y las barras de control
de paralización de reactor. Las barras de longitud parcial y
las barras de control de longitud completa están dispuestas de
20 modo que puedan desplazarse progresivamente dentro y fuera del
núcleo para obtener el grado de control deseado.

Como subproducto de la reacción de fisión, debido a un
proceso de decaimiento beta del yodo reactivo, se crea xenón.
El xenón tiene la propiedad de presentar una importante sección
25 transversal de absorción de los neutrones y, por tanto, tiene
un efecto notable sobre la distribución de energía en el inte
rior del núcleo y el control de la reactividad. Aunque otras
formas de regulación de reactividad respondan directamente al
control, la concentración de xenón en el interior del núcleo
30 crea serios problemas en el control del reactor porque presen

1 ta un tiempo de decaimiento relativamente largo y exige hasta
por lo menos 20 horas después de un cambio de potencia para
alcanzar un valor estable.

Aunque la distribución radial de la energía del núcleo
5 puede ser prevista con bastante precisión, en razón de la dis-
posición prescrita de los conjuntos de combustible y del posi-
cionamiento de las barras de control que están situadas simé-
tricamente en sentido radial a través del núcleo, la distribu-
ción axial de la energía puede variar mucho durante el funcio-
10 namiento del reactor. La distribución de la energía axial en
el núcleo ha planteado numerosos problemas durante la historia
del funcionamiento de los reactores, por múltiples razones.
Normalmente, la circulación del refrigerante a través de los
conjuntos de combustible se dirige desde una porción inferior
15 del núcleo hasta las regiones superiores del mismo, dando lu-
gar a la formación de un gradiente de temperatura en el senti-
do axial del núcleo. Los cambios en la velocidad de reacción
de fisión, que depende de la temperatura hará, por tanto, va-
riar la distribución de energía en sentido axial. En segundo
20 lugar, la variación axial en la distribución de energía cambia
la distribución axial del xenón, lo que acentúa todavía más
las variaciones de la energía en el sentido axial del núcleo.
Esto puede conducir a una oscilación de la distribución axial
de la energía producida por el xenón, la cual, hacia el final
25 de la vida del núcleo puede ser inestable si el operario no
realiza una intervención correctiva. En tercer lugar, la intro-
ducción de las barras de control a partir de la parte superior
del núcleo, sin tener en cuenta el historial de funcionamiento
anterior del reactor, puede empeorar las variaciones de ener-
30 gía en sentido axial.

1 El cambio de la potencia de salida del núcleo del reactor que se necesita para compensar un cambio de potencia eléctrica de una instalación generadora de electricidad se llama, corrientemente, "load follow"(seguimiento de carga). Un programa de control de "load follow" recomendado corrientemente por los vendedores de reactores utiliza el movimiento de las barras de control de longitud completa para realizar los incrementos y las reducciones de nivel de potencia y las barras de control de longitud parcial para controlar las oscilaciones espaciales de energía en sentido axial producidas por el xenón y la forma del perfil de la energía en sentido axial. Los cambios de reactividad asociados con los cambios de concentración del xenón, se compensan generalmente por cambios correspondientes en la concentración del elemento de absorción de neutrones situado en el refrigerante o moderador de núcleo. En este modo de funcionamiento, las barras de longitud parcial se desplazan para mantener la variación axial en una banda deseada, típicamente de aproximadamente más o menos 15%. La variación axial es un parámetro útil para medir la distribución de energía axial y se define por la siguiente ecuación:

$$A.O. = \frac{P_t - P_b}{P_t + P_b}$$

en la cual P_t y P_b indican la fracción de energía generada en la mitad superior y en la mitad inferior del núcleo, respectivamente, medidas generalmente por conjunto de detectores en dos secciones alineadas axialmente al exterior del núcleo alrededor de la periferia del reactor. No se ha realizado ningún esfuerzo para mantener el perfil inherente de energía axial del núcleo, aparte de mantener la variación axial dentro de la banda deseada. Las barras de longitud parcial se desplazan para redu

1 cir y disminuir la variación axial, independientemente de la
variación axial de estado permanente establecida anteriormente.
Este proceso da lugar a una fluctuación constante de la varia
ción axial durante una operación continuada de "load follow",
5 lo que da lugar a un cierto número de condiciones de funciona
miento indeseables. En primer lugar, la concentración axial de
la energía, que es un valor de cresta de energía importante
y centrado axialmente, puede producirse con una variación axial
reducida o nula. Estos valores de cresta de energía dan lugar
10 a una desventaja en la energía del reactor, que exige que el
reactor funcione a un nivel reducido, de tal manera que estos
valores de cresta no rebasen magnitudes de seguridad especifi
cadas. Las limitaciones de seguridad se imponen en razón de la
inadecuación de los sistemas actuales de mantenimiento situa
15 dos al exterior del núcleo que no son capaces de identificar
el nivel de potencia en el centro del núcleo. En segundo lugar,
pueden producirse variaciones importantes en el perfil de ener
gía axial, de naturaleza transitoria durante importantes cam
bios de carga en razón de la introducción de una gran cantidad
20 de barras de control a niveles de potencia reducidos. En ter
cer lugar, se producen fenómenos transitorios de gran amplitud
debidos al xenón cuando el reactor empieza de nuevo a funcio
nar, lo que da lugar a oscilaciones de energía en sentido axial.
En cuarto lugar, la utilización inadecuada de barras de longi
25 tud parcial puede producir distribuciones de energía axial
que no pueden ser identificadas fácilmente por los sistemas
actuales de detección dispuestos al exterior del núcleo. En
quinto lugar, se producen factores más importantes de calenta
miento en los canales (es decir, puntos calientes que se for
30 man en los canales de refrigeración entre los conjuntos de com

1 bustible) necesitando la reducción de la potencia nominal del
reactor para adaptarla a los fenómenos transitorios de gran am-
plitud y/o a los perfiles de energía perjudiciales. Finalmente,
no existe generalmente ninguna protección contra la concentra-
5 ción axial intensa con pequeñas radiaciones axiales.

 En razón de las numerosas condiciones de funcionamien-
to perjudiciales que se experimentan cuando se hace funcionar
un reactor nuclear en caso de "load follow", numerosos vendedo-
res de reactores recomiendan hacer funcionar el reactor con una
10 potencia de salida constante sin capacidad de "load follow".
Esta falta de flexibilidad de explotación de la instalación,
limita la utilidad de los reactores y exige que se conserven
instalaciones generadoras de electricidad alimentadas con com-
bustibles fósiles, para suministrar las diferencias de capaci-
15 dad necesarias en razón de los cambios de carga.

 Para establecer una capacidad efectiva de "load follow"
es preciso mantener durante todo el funcionamiento con carga
un perfil de energía axial sustancialmente constante. La soli-
citud de Patente de los Estados Unidos número de serie 501.569
20 de 29 de Agosto de 1974, trata este problema manteniendo un
perfil axial de xenón sustancialmente simétrico. Sin embargo,
para mantener eficazmente un perfil de flujo axial sustancial-
mente constante, se necesita un sistema de supervisión dotado
de la capacidad de restablecer sustancialmente el perfil axial
25 de flujo dentro del núcleo, de modo que las variaciones que se
producen en él puedan ser compensadas con precisión antes de
que se produzca una distribución inadecuada del xenón.

 Aunque el sistema de supervisión de flujo montado en
el interior del núcleo, que se describe en la Patente de los
30 Estados Unidos número 3.932.211 es capaz de facilitar una re

1 presentación precisa del perfil de flujo axial, utilizando de
tectores situados en el interior del núcleo, ya que estos de
tectores están sometidos al ambiente de intenso flujo del nú
cleo; son susceptibles de destruirse rápidamente si se utili
5 zan constantemente para esta finalidad. En general, estos de
tectores se utilizan para proporcionar mapas de flujo en el
momento del arranque del reactor o periódicamente a continua
ción para calibrar los detectores situados fuera del núcleo,
o según se describe en la Patente de los Estados Unidos mencio
10 nada más arriba después de iniciar importantes movimientos de
las barras de control. Sin embargo, un sistema de supervisión
de núcleo eficaz necesita que el mapa continuo del perfil de
flujo axial en el núcleo sea una herramienta eficaz. Los de
tectores situados al exterior del núcleo han sido utilizados
15 en el pasado con esta finalidad, porque han demostrado ser más
fiables, ya que están situados en un flujo menos intenso, en
un ambiente seco, a temperatura baja, y con una presión rela
tivamente inferior al exterior de la vasija sometida a presión.

Por consiguiente, el objeto principal del invento con
20 siste en proporcionar un método mejorado y el aparato corres
pondiente utilizando detectores dispuestos al exterior del nú
cleo para obtener una representación exacta del perfil del flu
jo axial sobre toda la altura del núcleo.

Teniendo en cuenta el objeto mencionado más arriba, el
25 invento consiste en un método para supervisar desde el exterior
de un reactor nuclear la distribución del flujo a lo largo de
un eje dado del núcleo del reactor, que incluye las operacio
nes que consisten en: dividir el núcleo por lo menos en tres
secciones a lo largo del eje dado; supervisar el flujo desde
30 el exterior del reactor en un emplazamiento situado en la pro

1 ximidad de cada una de dichas secciones de núcleo; transformar
el valor de flujo supervisado en los emplazamientos respecti
vos en tensiones de salida eléctricas correspondientes; cali
brar las tensiones de salida eléctricas respectivas para que
5 reflejen la potencia desarrollada en las secciones de núcleo
correspondientes; sumar las tensiones de salida eléctricas ca
libradas, para obtener una señal de potencia promediada; y su
pervisar la señal de potencia promediada en comparación con un
punto de reglaje indicativo de la potencia máxima admisible.

10 El invento consiste igualmente en un aparato para su
pervisar desde el exterior de un reactor nuclear la distribu
ción del flujo a lo largo de un eje dado de un núcleo del reac
tor, que incluye: por lo menos tres detectores sensibles al
flujo medido para suministrar una tensión de salida eléctrica
15 representativa, y que están dispuestos al exterior del núcleo
en la proximidad de una de por lo menos tres secciones del nú
cleo, en las cuales está dividido el núcleo, perpendicularmen
te al eje dado; por lo menos tres amplificadores de ganancia
ajustable para calibrar las tensiones eléctricas respectivas,
20 de modo que reflejen la potencia desarrollada en las secciones
de núcleo correspondientes; un dispositivo sumador para sumar
las tensiones eléctricas calibradas, con el objeto de obtener
una señal de potencia promediada; y un dispositivo para super
visar la señal de potencia promediada en comparación con un
25 punto de reglaje indicativo de la potencia máxima admisible.

En resumen, el método y el aparato según el invento su
peran los inconvenientes de la técnica anterior proporcionan
do una reconstrucción de la distribución relativa del flujo
axial en el interior del núcleo a partir de señales de flujo
30 del reactor supervisadas desde el exterior del núcleo. Las se

1 ñales de flujo del reactor se supervisan, por lo menos, por
tres detectores, que responden al flujo medido para facilitar
una tensión de salida eléctrica representativa. Los detectores
sensibles al flujo están dispuestos, respectivamente, al exte
5 rior del núcleo, están centrados alrededor de unos planos
correspondientes separados, y que cortan perpendicularmente el
eje del núcleo. Se han previsto unos medios para establecer
eléctricamente el valor relativo del flujo en una multiplici
dad de coordenadas axiales separadas, en cantidad suficiente
10 para obtener una reconstrucción significativa bajo la forma
de una representación por puntos de la forma relativa del flu
jo a lo largo del eje. El dispositivo para establecer eléctri
camente el valor relativo del flujo en cada coordenada axial,
utiliza la suma de las tensiones eléctricas de los detectores
15 multiplicadas respectivamente cada una por una constante pre
establecida. Por consiguiente, la distribución del flujo en
cualquier punto del núcleo puede obtenerse, sustancialmente,
con la misma fiabilidad que las respuestas de los detectores
situados al exterior del núcleo.

20 Para facilitar el entendimiento del invento, se hará
referencia a un modo de realización del mismo que se da a títu
lo de ejemplo, y que se ilustra en los dibujos adjuntos, en
los cuales:

25 la figura 1 es una vista en planta de un dispositivo
de contención de reactor nuclear típico, que utiliza dos modos
de realización del aparato de supervisión según el invento;

30 la figura 2 es una vista esquemática de un núcleo de
reactor que indica la posición relativa de los conjuntos de
combustible, de las barras de control y de los detectores si
tuados al exterior del núcleo;

1 la figura 3 es una vista esquemática de una sección transversal axial del núcleo y de la disposición relativa de dos modos de realización separados de los detectores situados al exterior del núcleo que se utilizan en el aparato de super
5 visión según el invento;

 las figuras 4A, 4B, 4C, 4D y 4E son unas representaciones gráficas del perfil de flujo axial para varias posiciones de las barras de control de longitud parcial y de longitud completa en el interior del núcleo;

10 la figura 5 es un diagrama esquemático de circuito intermedio utilizado para transformar las respuestas de los detectores en tensiones de salida;

 la figura 6 es un diagrama esquemático del circuito utilizado para el tratamiento de las tensiones de salida de la
15 figura 5, con el objeto de obtener la magnitud del flujo en una coordenada axial del núcleo;

 la figura 7 es un diagrama esquemático del circuito del generador de F_{xy} que se ilustra en la figura 6.

 La figura 1 ilustra una representación esquemática de
20 un reactor típico de agua bajo presión que puede utilizar el método y el aparato según el invento, para supervisar con más precisión los perfiles de flujo axial dentro del núcleo, con el objeto de evitar las dificultades de explotación experimentadas en la técnica anterior. El reactor de la figura 1 incluye una vasija 10 que forma un recipiente sometido a presión
25 cuando está herméticamente cerrado por su conjunto de cabezal 12. La vasija está dotada de un dispositivo de entrada de circulación de refrigerante 16 y un dispositivo de salida de circulación de refrigerante 14, que forman parte integrante de
30 sus paredes cilíndricas y que las atraviesan. Como es bien co

1 nocado en esta técnica, la vasija 10 contiene un núcleo de reac
tor 18 del tipo descrito más arriba y que se ilustra más deta
lladamente en la figura 2, que consiste principalmente en una
multiplicidad de elementos de combustible nuclear envainados,
5 dispuestos en unos conjuntos 20.

Para la producción de energía térmica en el interior
del núcleo, unos parámetros importantes que afectan la distri
bución axial, como se ha indicado más arriba, son el nivel de
inserción de las barras de control, tanto de las barras de lon
10 gitud completa como de las barras de longitud parcial, el his
torial de quemado del núcleo, el nivel de potencia del reactor
y la distribución del xenón. Sin una vigilancia constante de
la distribución axial del flujo en toda la altura axial del
núcleo, sería absolutamente necesario supervisar el historial
15 anterior de cada uno de estos parámetros y tener un conocimien
to completo del mismo para establecer una distribución sustan
cialmente plana del flujo axial para conseguir una capacidad
de "load follow". Estos parámetros importantes se miden a par
tir de la información obtenida del sistema de indicación de po
20 sición de las barras de control (tal como el sistema descrito
en la Patente de los Estados Unidos, núm. 3.858.191, del 31 de
Diciembre de 1974), a partir de termopares situados en el inte
rior del núcleo, a partir de los detectores de temperatura de
tipo resistivo, situados en la tubería de refrigerante y a par
25 tir de los detectores de neutrón 32 situados al exterior del
núcleo, que se ilustran en la figura 1.

Los detectores 32" y 32' ilustrados en la figura 1,
constituyen respectivamente tres y cuatro secciones sensibles
al flujo que están distribuidas uniformemente a lo largo de la
30 altura axial del núcleo. Aunque normalmente los dispositivos

1 de detectores situados en el interior del núcleo, están dispues
tos simétricamente alrededor del núcleo en un reactor que fun
ciona normalmente, tienen todos el mismo número de secciones
axiales, se ha previsto en este caso los detectores represen
5 tados por 32' y 32" para ilustrar dos modos de realización se
parados del invento, con el objeto de facilitar la ilustración.
Aunque la división de la longitud axial de los detectores si
tuados al exterior del núcleo en tres, cuatro o incluso un nú
mero infinito de secciones, no aporta una solución al proble
10 ma del acoplamiento parásito de flujo entre emplazamientos axia
les adyacentes, el método y el aparato que se utiliza en el in
vento para el tratamiento de las señales así obtenidas, permi
ten obtener una reconstrucción representativa de la distribu
ción del flujo en toda la altura axial del núcleo. El efecto
15 del acoplamiento parásito puede, sin embargo, reducirse a un
valor mínimo, utilizando la configuración mejorada que se ilus
tra en la figura 3 y en la cual cada una de las secciones de
detección están separadas axialmente la una de la otra.

La figura 2 ilustra una vista en planta de un núcleo
20 18 de reactor nuclear típico de agua bajo presión. Los emplaza
mientos 42 y 44 del núcleo identifican, respectivamente, los
emplazamientos de barras de control de longitud completa y de
longitud parcial utilizadas durante el funcionamiento a la po
tencia máxima. Los demás emplazamientos de núcleo 20 se refie
25 ren, generalmente, a posiciones de conjuntos de combustible,
y algunas posiciones han sido reservadas por otras aplicaciones
de control. Durante el funcionamiento para suministrar energía,
la distribución de la energía en el núcleo se controla en una
multiplicidad de emplazamientos de detección situados al exte
30 rior del núcleo, 46, 48, 50 y 52, dispuestos simétricamente

1 alrededor de la periferia de la vasija. Cada detector propor
ciona la información de flujo correspondiente en un cuadrante
adyacente del núcleo. Aunque en este modo de realización parti
cular se ha ilustrado el núcleo como estando separado en cua
5 drantes por los conjuntos de detección situados en las diagona
les del núcleo, se observará que los cuadrantes podrían tam
bién definirse situando los conjuntos de detección en las su
perficie planas del núcleo en los emplazamientos 0° , 90° ,
 180° y 270° . En estas condiciones, en el modo de realización
10 ilustrado, los valores de flujo detectados por el detector 52
son representativos de la potencia generada en el cuadrante
del núcleo limitado por el eje 0° y el eje 270° , que cortan
cada uno el plano horizontal de la vista en planta ilustrada
en la figura 2, y que ha de ser distinguido del eje vertical
15 del núcleo en el cual se ha medido el perfil axial de flujo.
Se observará en la disposición simétrica de los componentes
del núcleo que la potencia en cada cuadrante del núcleo es re
presentativa de la potencia en cada uno de los otros cuadran
tes del núcleo, Por tanto, los detectores de secciones múlti
20 ples $32' \text{ ó } 32''$ están situados en los emplazamientos de detec
ción situados al exterior del núcleo 46, 48, 50 y 52. Sin em
bargo, con el objeto de facilitar el entendimiento del trata
miento de las salidas de los detectores, se tendrá en cuenta
solamente uno de los emplazamientos de detección situado al
25 exterior del núcleo, ya que los demás emplazamientos de detec
ción se tratan de la misma manera.

La figura 3 ilustra una vista axial esquemática del
núcleo 18 que tiene tres secciones de detección separadas $32''$
dispuestas simétricamente e identificadas respectivamente por
30 T, M y B, que corresponden a los emplazamientos superior, cen

1 tral e inferior en el sentido axial del núcleo. Un conjunto de
cuatro detectores 32' está dispuesto en una posición diametral
mente opuesta a los detectores 32" e incluye cuatro secciones
de detección adyacentes respectivamente identificadas desde la
5 parte superior del núcleo hasta la parte inferior del núcleo,
por las referencias a, b, c y d.

De manera general, de acuerdo con el método según el
invento, el valor del flujo en cada coordenada a lo largo de
la longitud axial del núcleo puede establecerse a partir de
10 una suma de las tensiones de salida eléctricas, modificadas al
gebraicamente por una constante correspondiente preestablecida,
la cual se obtiene mediante una calibración inicial, y que se
recalibra periódicamente durante el curso de la vida del núcleo
conforme va agotándose el combustible. Se observará, además,
15 que estas constantes dependen en grado importante de las carac
terísticas físicas de la instalación y, por tanto, variarán de
una instalación a la otra y de un ciclo de combustible a otro
ciclo de combustible.

De acuerdo con el método según el invento, las formas
20 axiales de la energía del núcleo se reconstruyen a partir de
las respuestas de detectores de múltiples secciones, por medio
de una serie de Fourier de funciones sinusoidales limitadas
por la longitud axial extrapolada del núcleo. Es posible calcu
lar tres términos del desarrollo de una serie de Fourier a par
25 tir de la respuesta de un detector de tres secciones, cuatro
términos a partir de la respuesta de un detector de cuatro sec
ciones y n términos a partir de la respuesta de un detector de
n secciones. La distribución axial de la energía se representa,
por tanto, por la siguiente ecuación:

30
$$\phi_z = C_1 \sin Z + C_2 \sin 2Z + C_3 \sin 3Z + \dots + C_n \sin(nZ) \quad (1)$$

1 en la cual $Z = 0$ es el límite extrapolado en la parte superior del núcleo y $Z = \pi$ (180°) es el límite extrapolado en la parte inferior del núcleo.

5 Los valores de C se obtienen a partir de las respuestas del detector de secciones múltiples. La primera operación consiste en correlacionar la respuesta de los detectores con la división de la energía entre los segmentos axiales del núcleo. En general, las corrientes de detectores en el caso de una disposición de detectores de tres secciones al exterior
10 del núcleo, tal como 32", están relacionadas con la energía por las siguientes ecuaciones:

$$L_T = A_{11} P_T + A_{12} P_M + A_{13} P_B \quad (2)$$

$$L_M = A_{21} P_T + A_{22} P_M + A_{23} P_B \quad (3)$$

$$L_B = A_{31} P_T + A_{32} P_M + A_{33} P_B \quad (4)$$

15 en las cuales: P_T es igual a la energía en la tercera parte superior del núcleo; P_M es igual a la energía en la tercera parte central del núcleo; P_B es igual a la energía en la tercera parte inferior del núcleo; y A_{ij} son unos coeficientes constantes, que corresponden a una instalación de detectores
20 dada, siendo i y j unos números enteros que varían entre uno y n , siendo en este modo de realización n igual al número de secciones de detección. Las ecuaciones (2), (3) y (4) pueden escribirse en forma de matriz, como sigue:

$$25 \quad \begin{bmatrix} L_T \\ L_M \\ L_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_T \\ P_M \\ P_B \end{bmatrix} \quad (5)$$

Los elementos A_{ij} de la matriz pueden obtenerse ajustando las corrientes de los detectores observadas con las distribuciones de potencia axial observadas obtenidas a partir de mapas de
30 detección en el interior del núcleo, siendo: L_T la respuesta

1 obtenida a partir del detector T; L_M la respuesta obtenida a
partir del detector M y L_B la respuesta obtenida a partir del
detector B. Una matriz cuadrada similar del cuarto orden per
mite poner en ecuaciones las señales de detección $32'$ de cua
5 tro secciones y la energía en los cuadrantes axiales del nú
cleo obtenida a partir del sistema de supervisión de flujo si
tuado en el interior del núcleo durante la calibración de las
constantes. Los valores de P_T , P_M y P_B pueden obtenerse a par
tir de un sistema de supervisión fijo situado en el interior
10 del núcleo, en el cual los detectores intranucleares están dis
puestos de modo que midan respectivamente la energía en las
porciones superior, central e inferior del núcleo, o bien a
partir de un sistema de supervisión móvil situado en el inte
rior del núcleo, tal como el sistema descrito en la Patente
15 de los Estados Unidos mencionada más arriba.

Para obtener una calibración precisa del elemento de
matriz A_{ij} , el elemento de matriz debe ajustarse a las corrien
tes de detección observadas con las distribuciones de energía
axial observadas para cinco distribuciones de flujo diferentes,
20 tales como las configuraciones de flujo ilustradas en las figu
ras 4A, 4B, 4C, 4D y 4E. La figura 4A ilustra la distribución
de flujo a partir de un sistema de supervisión de flujo móvil
situado en el interior del núcleo, en el cual todas las barras
de control han sido retiradas del núcleo. La figura 4B ilustra
25 la distribución de flujo obtenida con las barras de longitud
parcial en la parte inferior del núcleo. La figura 4C ilustra
la distribución de flujo obtenida con barras de control de lon
gitud parcial y/o barras de control de longitud total en la
parte superior del núcleo. La figura 4D ilustra la configura
30 ción de flujo obtenida con las barras de control de longitud

1 parcial situadas en el centro axial del núcleo. De la misma ma
 nera la figura 4E ilustra la distribución de flujo concentrada
 axialmente, que se obtiene con las barras de longitud parcial
 en la parte inferior del núcleo y las barras de control en la
 5 porción superior del núcleo. Se observará que los mapas de flu
 jo obtenidos en las figuras 4A-4E se consiguen, normalmente,
 como parte de las mediciones de puesta en funcionamiento ini
 cial de la instalación.

La ecuación (5) se escribe de nuevo, generalmente, pa
 10 ra n detectores y se calcula la potencia axial en cada segmen
 to del núcleo en función de la corriente del detector de la
 siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{ij} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix} \quad (6)$$

siendo $[A_{ij}]^{-1}$ la inversa de la respuesta de correlación de ma
 20 triz del detector con las potencias del núcleo.

Los coeficientes de Fourier C_n se obtienen a partir
 de las terceras potencias del núcleo, solucionando el siguien
 te grupo de ecuaciones:

$$P_T = P_1 = \int_{Z_1}^{Z_2} \phi(z) dz \quad (7)$$

$$P_M = P_2 = \int_{Z_2}^{Z_3} \phi(z) dz \quad (8)$$

$$P_B = P_3 = P_n = \int_{Z_n}^{Z_{n-1}} \phi(z) dz \quad (9)$$

1 tro secciones se someten a tratamiento de una manera idéntica,
salvo que se utilizan 4 x 4 matrices. La ecuación que corres-
ponde a Q_{ij} es la misma. Durante el funcionamiento, después
de la calibración, es posible determinar el valor relativo
5 del flujo en cualquier punto del núcleo a partir de las res-
puestas de los detectores situados al exterior del núcleo, sus-
tituyendo la coordenada axial interesante por Z en la ecuación
(1). En la práctica, estos resultados se obtienen electrónic-
mente, como se describirá más adelante.

10 Para simplificar el tratamiento de las salidas de los
detectores, es posible utilizar una variante del procedimien-
to descrito más arriba, de acuerdo con el invento. La altura
axial del núcleo puede dividirse, figurativamente, en un núme-
ro distinto de coordenadas, suficiente para facilitar una re-
15 presentación puntual significativa de la distribución axial
del flujo en el núcleo. Por ejemplo, el núcleo puede dividirse
en 25 coordenadas puntuales, cayendo las primera y última coor-
denadas en los límites axiales del núcleo. En este caso, la
matriz A_{ij} puede desarrollarse hasta cien elementos cuando
20 se utiliza una disposición de cuatro detectores axiales. Los
elementos de matriz se obtienen de una manera similar a la que
se ha descrito más arriba, midiendo la energía en cada una de
las coordenadas puntuales con un sistema móvil de cartografía
de flujo situado en el núcleo (tal como el que se describe en
25 la Patente de los Estados Unidos mencionada más arriba), para
los cinco perfiles de flujo axial que se ilustran en la figu-
ra 4. Se observará que el número de perfiles de flujo neces-
ario para la calibración es igual solamente al número de detec-
tores utilizados, aunque se recomienda utilizar los cinco per-
30 files ilustrados en la figura 4 para obtener la máxima preci-

1 sión de la calibración. Los elementos de matriz A_{ij} se obtie
nen a partir de una solución simultánea de cada punto por los
valores medidos en cada perfil de flujo. La representación ma
tricial general para obtener una reconstrucción de coordenadas.
5 de 25 puntos de la distribución del flujo axial del núcleo,
viene dada por la siguiente ecuación:

10

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{25} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{ij} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} L_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ L_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

en la cual i es un número entero que varía entre 1 y 25, j es
un número entero que varía entre 1 y n , y n es igual al número
de secciones de detección. En estas condiciones, la energía
15 en cada coordenada puntual es igual a la suma de cada una de
las salidas de los detectores, multiplicada respectivamente
por una constante correspondiente. Este último método de trata
miento de las salidas de los detectores simplifica considera
blemente los componentes de circuito necesarios para obtener
20 la información de flujo en cada punto. Cuando se han obtenido
las representaciones puntuales, es posible reconstruir toda la
distribución axial del flujo en el núcleo. Se observará que en
este modo de realización los elementos de matriz A_{ij} que apa
recen en la ecuación(13), difieren de los elementos de matriz
25 A_{ij} que constituyen una constante en la ecuación (11).

En razón de las características físicas de numerosos
reactores, el número máximo de kilovatios por metro de cualquier
barra de combustible situada en la región superior del núcleo
se limita más severamente que en otras porciones del núcleo.
30 Esto se debe, parcialmente, al hecho de que la temperatura del

1 refrigerante es mucho más elevada en la región superior del núcleo que en la región inferior y que los criterios de pérdida
accidental de refrigerante establecidos por las normas gubernamentales exigen que el número de kilovatios por metro de cualquier barra situada en la región superior del núcleo sea limitada más severamente para reducir, lo más posible, las consecuencias posibles en el caso improbable de un accidente de esta naturaleza. Con el objeto de establecer una potencia nominal máxima es, por tanto, conveniente supervisar la distribución del flujo en la región superior del núcleo con una mayor definición que la distribución del flujo en la porción restante del núcleo. Por tanto, de acuerdo con un modo de realización preferido del invento, las coordenadas puntuales, en las cuales se calcula el flujo en la región superior del núcleo, pueden situarse más próximas las unas a las otras que las coordenadas en el resto del núcleo.

En el caso de una disposición de detectores situados al exterior del núcleo que utiliza tres secciones de detección T, M y B, tal como la disposición 32" y el último método de tratamiento de señales descrito más arriba, las respuestas correspondientes de los detectores L_T , L_M , y L_B se conectan a través de los amplificadores de aislamiento correspondientes 34, tal y como se ilustra en la figura 5, para establecer unas señales de tensión correspondientes V_1 , V_2 y V_3 , en las cuales se actúa eléctricamente para obtener la modificación algebraica necesaria para establecer las mediciones de flujo en cada coordenada deseada. Las resistencias variables 36 se utilizan para calibrar las respectivas salidas de los detectores. Además las salidas de cada uno de los respectivos detectores se suman por medio de un amplificador sumador de corriente 36 con el fin

1 de establecer una señal de potencia nuclear, que puede emplear
se para normalizar las mediciones de flujo, con el fin de es
tablecer una señal final que pueda ser comparada con los pun
tos de reglaje normalmente utilizados en el funcionamiento de
5 la instalación.

Para cada coordenada por la cual debe establecerse un
valor de flujo, las respectivas salidas de tensión procedentes
de cada una de las secciones de detección se aplican a unos am
plificadores correspondientes 54 de ganancia ajustable, cuya
10 ganancia se ajusta para que corresponda al valor calibrado ade
cuado de A_{ij} , según se ilustra en la figura 6. Las tensiones
de salida de las respectivas secciones de detección, multipli
cadas por la ganancia correspondiente proporcionada por los
amplificadores de ganancia ajustable 54, se suman a continua
15 ción por medio del circuito amplificador sumador 56, para faci
litar un valor de potencia media en el plano X-Y de esta coor
denada axial. La potencia media de cada coordenada se multipli
ca a continuación por un factor de valor de cresta correspon
diente F_{xy} , que es un parámetro de reglaje establecido por el
20 fabricante de la instalación, y se compara con un punto de re
glaje indicativo de la potencia máxima admisible para este em
plazamiento axial, por medio del detector de limite 62. Si se
rebasas el limite, una alarma puede ser activada para alertar
al operario, indicándole que la potencia está en una porción
25 identificada del núcleo que ha rebasado los límites deseados.
Además, la potencia media P_{av} puede ser visualizada o almacena
da por medio de una unidad adecuada de visualización o de alma
cenado 64.

El valor del factor de cresta F_{xy} dependerá del número
30 de barras de control presente en la coordenada axial correspon

1 diente. El valor apropiado de F_{xy} que ha de suministrarse al
multiplicador 60 de la figura 6, se obtiene por medio del cir
cuito de la figura 7. El decodificador recibe las entradas pro
cedentes del sistema indicador de posición de barras que iden
5 tifica si están presentes en la coordenada axial correspondien
te, barras de longitud parcial o dos grupos de control. Normal
mente, se utilizan solamente dos grupos de control con funcio
namiento a una potencia superior al 50%. Un sistema de indica
ción de posición de barras de este tipo, que puede ser utiliza
10 do para esta finalidad, se describe en la Patente de los Esta
dos Unidos 3.858.191, del 31 de Diciembre de 1974. Con la posi
bilidad de disponer de tres grupos de barras independientes
en cualquier coordenada axial dada, pueden obtenerse ocho com
binaciones posibles y, por tanto, ocho factores de cresta de
15 flujo distintos. El decodificador 66 descifra el factor de cres
ta adecuado que ha de ser aplicado al multiplicador 60 a par
tir de las señales de indicación de posición de barra y conec
ta el generador de función apropiado 68 que suministra el fac
tor de cresta apropiado al multiplicador 60.

20 Los resultados experimentales han confirmado que para
establecer las constantes iniciales, por ejemplo, en el caso
de un sistema de detección de tres secciones al exterior del
núcleo, los elementos $A_{1,3}$ y $A_{3,1}$ de la matriz A pueden ser
iguales a 0. Este resultado se obtiene porque el detector supe
25 rior no "ve" la tercera parte inferior del núcleo y el detector
inferior no "ve" la tercera parte superior del núcleo.

Los resultados experimentales han, igualmente, confir
mado que el método y el aparato según el invento facilitan una
diferente correlación entre las distribuciones de flujo esta
30 blecidas a partir de lecturas de detección efectuadas desde el

1 exterior del núcleo y en el interior del mismo.

De este modo, es posible efectuar a partir de señales de detección obtenidas desde el exterior del núcleo una deter
minación fiable de la potencia media en cada coordenada a lo
5 largo del eje axial del núcleo. Por tanto, la densidad de energ
ía lineal axial media X-Y de la barra de combustible puede obt
enerse en kilovatios por metro de barra de combustible, en func
ión de la posición axial. Cuando se ha obtenido esta informac
ión, pueden utilizarse varios procedimientos para establecer
10 un control más exacto sobre los parámetros de funcionamiento
de la instalación. Por ejemplo:

- 15 a. El factor F_z (factor de cresta axial medio X-Y) puede ser calculado y presentado numéricamente, o bajo la forma de una presentación analógica. Mult
iplicando por el factor F_{xy} que corresponde al peor caso supuesto, y añadiendo los límites de error máximos, puede obtenerse la visualización del factor F_q que corresponde al peor de los casos (factor de cresta de densidad de potencia nuclear).
- 20 b. La densidad de energía lineal axial en kilovatios por metro puede ser presentada visualmente utiliz
ando un tubo de rayos catódicos u otro dispositiv
o de visualización de tipo analógico. Igualmente, multiplicando por el factor F_{xy} que corresponde al
25 peor de los casos y añadiendo los límites de error, puede visualizarse la densidad de energía lineal en kilovatios por metro de barra de combustible caliente.
- 30 c. Pueden accionarse unos dispositivos de alarma en el caso de que se rebase un valor máximo preajustado

1 en cualquiera de los casos (a) y/o (b) mencionados
más arriba.

5 d. Las correlaciones de transferencia térmica facilitan límites más severos de la densidad de energía lineal a alturas más elevadas en el núcleo, debido a temperaturas de refrigeración más elevadas y/o a fracciones vacías. Con este sistema, la limitación de la potencia en kilovatios por metro puede ser alterada con la posición axial. Por tanto, se obtienen señales de protección de la instalación basadas en el rebasamiento de este límite. Igualmente, puede generarse señales de desconexión de la turbina y de interrupción de funcionamiento del reactor cuando la potencia en kilovatios por metro rebasa los límites predeterminados. Es igualmente posible generar un incremento ΔT de la protección cuando la potencia en kilovatios por metro rebasa unos límites predeterminados. El incremento ΔT puede presentarse bajo la forma de una señal numérica o transformarse en una señal analógica para su utilización directa en los sistemas de protección ΔT ya existentes en instalaciones en funcionamiento.

15 Por consiguiente, los reactores pueden ser explotados más cerca de sus límites de especificación, lo que aumenta considerablemente su rendimiento y les dota de una capacidad de "load follow" (seguimiento de carga).

TRADUCCION DE LAS INSCRIPCIONES DE LOS DIBUJOS ORIGINALES

Figuras 4A, 4B, 4C, 4D, 4E

30 a.- Flujo (ϕ)

- 1
- b.- Parte inferior
 - c.- Altura del núcleo
 - d.- Parte superior

5 Figura 5

- e.- Señal de potencia nuclear

Figura 6

- f.- Señales de posición de barras.

Figura 7

- g.- Puerta

10 En resumen, la presente patente de invención que se so
licita deberá recaer en las siguientes

REIVINDICACIONES

15 1. Método para supervisar desde el exterior de un
reactor nuclear la distribución del flujo a lo largo de un eje
dado de un núcleo de reactor nuclear, caracterizado porque in
cluye las operaciones que consisten en: dividir el núcleo en
por lo menos, tres secciones a lo largo del eje dado; supervi
20 sar el flujo desde el exterior del reactor en un emplazamiento
próximo a cada una de dichas secciones del núcleo; transformar
el valor de flujo medio en los emplazamientos respectivos, en
tensiones de salidas eléctricas correspondientes; calibrar las
tensiones de salida eléctricas respectivas para reflejar la
energía desarrollada en las secciones correspondientes del nú
cleo; sumar las tensiones eléctricas de salida calibradas para
25 obtener una señal de potencia media; y supervisar la señal de
potencia media comparándola con un punto de reglaje indicativo
de la potencia máxima admisible.

30 2. Método según la reivindicación 1, caracterizado
porque incluye la operación que consiste en reconstruir de ma

1 nera representativa y visualizar la forma relativa del flujo
a lo largo del eje dado a partir de las tensiones eléctricas
de salida calibradas.

3. Método según la reivindicación 1, caracterizado
porque la operación que consiste en supervisar la señal de po
5 tencia media consiste en: multiplicar la señal de potencia me
dia por un factor de cresta de potencia que varía según la po
sición de las barras de control en el núcleo del reactor; y
comparar el producto resultante con un valor predeterminado.

4. Método según una cualquiera de las anteriores
10 reivindicaciones, caracterizado porque la operación de calibra
ción consiste en: predeterminar el valor relativo del flujo en
cada una de las secciones del núcleo a lo largo del eje dado,
independientemente de los valores de flujo medidos, para obte
ner un cierto número de formas de flujo diferentes predetermi
15 nadas; ajustar el valor de flujo predeterminado de cada una de
las formas de flujo diferentes en un valor igual a la suma de
las tensiones eléctricas de salida medidas correspondientes,
modificadas respectivamente por una constante correspondiente
representada bajo la forma de una incógnita; resolver simultá
20 neamente el valor de cada una de las constantes correspondien
tes; y obtener unas señales que representan la potencia desarro
llada en las respectivas secciones del núcleo multiplicando
las tensiones eléctricas de salida respectivas por sus constan
tes correspondientes.

25 5. Método según la reivindicación 4, caracterizado
porque los valores de flujo predeterminados se establecen a
partir de instrumentos de supervisión de flujo instalados en
el interior del núcleo.

6. Método según una cualquiera de las reivindicacio
30 nes anteriores, caracterizado porque la distancias entre los

1 emplazamientos de supervisión varían en el sentido longitudi-
nal del eje dado.

5 7. Método según la reivindicación 6, caracterizado
porque los emplazamientos de supervisión están más cerca los
unos a los otros en una extremidad del eje que en la otra ex-
tremidad.

10 8. Método según la reivindicación 7, caracterizado
porque la separación entre los emplazamientos de supervisión
aumenta progresivamente desde una extremidad del eje del nú-
cleo hasta la otra extremidad.

9. Método según una cualquiera de las reivindicacio-
nes 1 a 5, caracterizado porque los emplazamientos de supervi-
sión están dispuestos simétricamente a lo largo de un eje para-
lelo al eje dado.

15 10. Aparato para supervisar desde el exterior de un
reactor nuclear la distribución del flujo a lo largo de un eje
dado del núcleo de un reactor nuclear, caracterizado porque
incluye: por lo menos tres detectores que responden al flujo
medido proporcionando una tensión eléctrica representativa y
20 que están situados cada uno al exterior del núcleo en la pro-
ximidad de las tres secciones de núcleo, por lo menos, en las
cuales está dividido el núcleo perpendicularmente al eje dado;
por lo menos tres amplificadores de ganancia ajustable para
calibrar las tensiones eléctricas respectivas de modo que re-
25 flejen la potencia desarrollada en las secciones de núcleo
correspondientes; un dispositivo sumador para sumar las tensio-
nes eléctricas de salida calibradas para obtener una señal de
potencia media, y un dispositivo para supervisar la señal de
potencia media comparándola con un punto de reglaje indicativo
30 de la potencia máxima admisible.

1

11. Aparato según la reivindicación 10, caracterizado porque dicho dispositivo para supervisar la potencia media incluye un dispositivo multiplicador para multiplicar la señal de potencia media por un factor de cresta que varía en función de las barras de control en el núcleo del reactor; y un dispositivo detector de límites para comparar el producto resultante con un valor predeterminado.

5

10

12. Aparato según la reivindicación 11, caracterizado porque incluye: un dispositivo para proporcionar una señal que indica la posición de las barras de control en el núcleo del reactor; una multiplicidad de generadores de función que facilitan cada uno un factor de cresta que corresponde a una de las múltiples formas de flujo diferentes predeterminadas, que se producen cuando cambia la posición de las barras de control en el núcleo del reactor; y una multiplicidad de circuitos de puerta que responden a la señal indicativa de la posición de las barras para conmutar el factor de cresta hacia dicho dispositivo multiplicador.

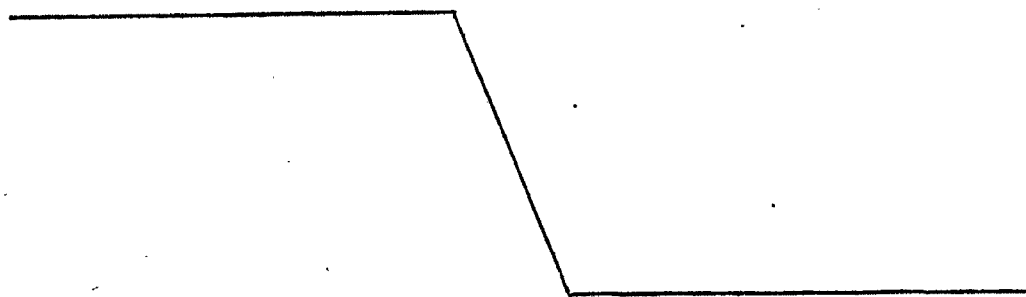
15

20

13. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: METODO PARA SUPERVISAR DESDE EL EXTERIOR DE UN REACTOR NUCLEAR LA DISTRIBUCION DEL FLUJO A LO LARGO DE UN EJE DE UN NUCLEO DE REACTOR NUCLEAR.

25

30

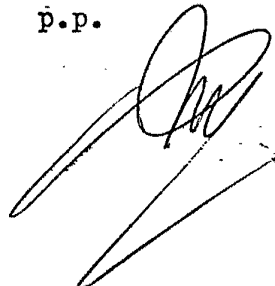


1 Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente
memoria descriptiva que consta de treinta páginas mecanografiadas y
dibujos adjuntos.

Madrid, 4 marzo 1.977

BERNARDO UNGRIA

p.p.



5

10

15

20

25

30

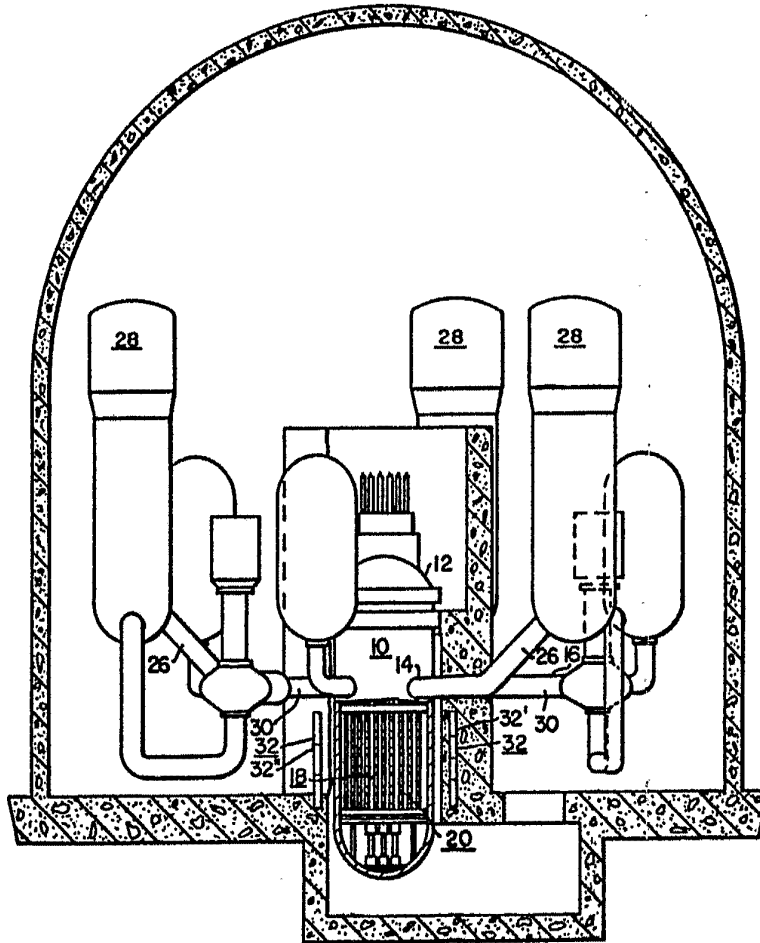


FIG. I

ESCALA VARIABLE
Madrid, 4 marzo 1.977
BERNARDO UNGRIA
P.P.

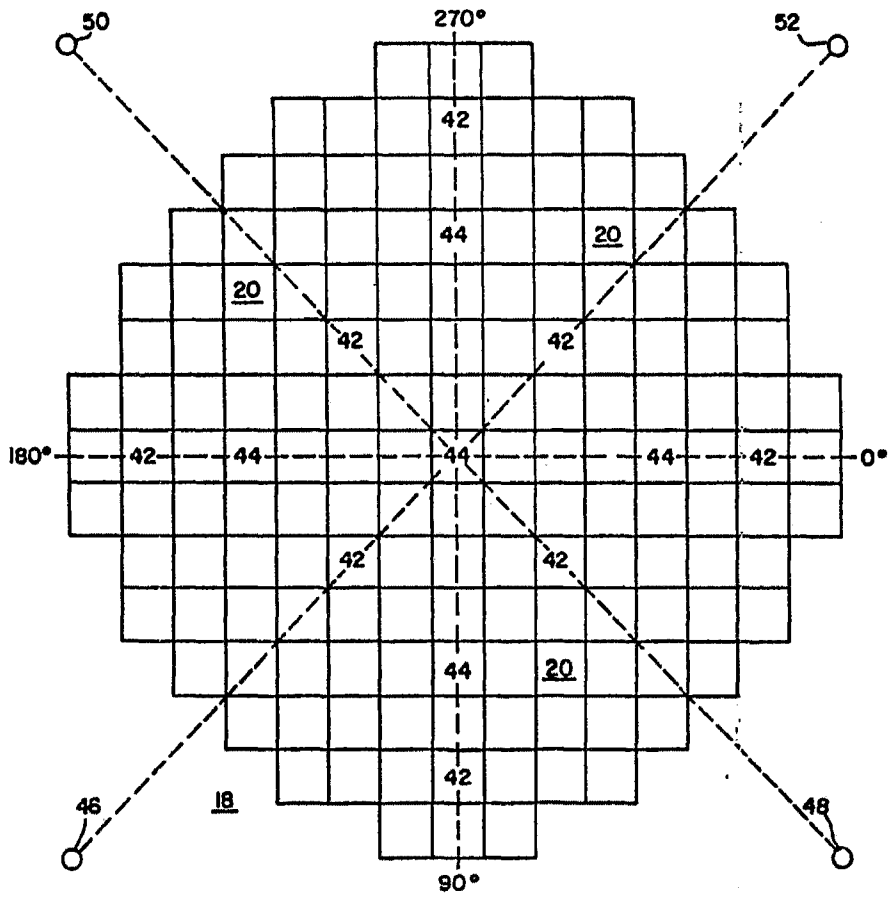


FIG. 2

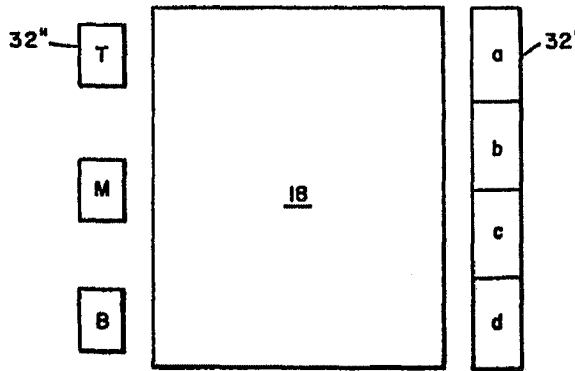


FIG. 3

ESCALA VARIABLE
Madrid, 4 marzo 1.977
BERNARDO UNGRIA
P.P.

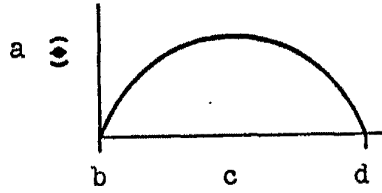


FIG. 4A

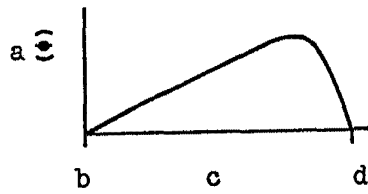


FIG. 4B

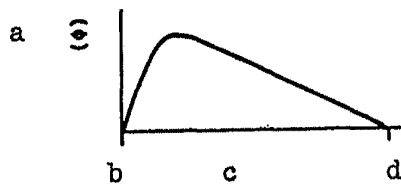


FIG. 4C

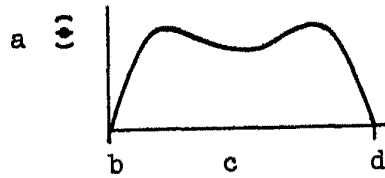


FIG. 4D

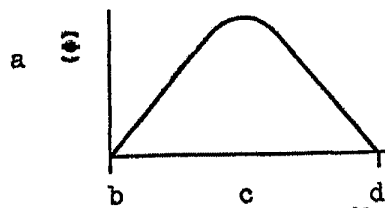


FIG. 4E

ESCALA VARIABLE
Madrid, 4 marzo 1.977

BERNARDO UNGRIA
P.P.

