

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA
Registro de la Propiedad Industrial

Concedida en virtud de la Ley de Patentes de 1984 con los datos siguientes: fecha de presentación de la solicitud de 17.10.79 y número de la memoria original.

11	NUMERO	10	A1
19	ES	21	
22	FECHA DE PRESENTACION		
	485124		
	17.10.79		



ESPAÑA

PATENTE DE INVENCION

60 PRIORIDADES:		
61 NUMERO	62 FECHA	63 PAIS
952.846	19.10.78	ESTADOS UNIDOS
67 FECHA DE PUBLICIDAD	61 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	G 21 C 7/08	
64 TITULO DE LA INVENCION		
"METODO PARA CARGAR CON COMBUSTIBLE Y HACER FUNCIONAR UN NUCLEO DE REACTOR NUCLEAR"		
71 SOLICITANTE (S)		
GENERAL ELECTRIC COMPANY		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
1 River Road, SCHENECTADY, New York 12305, Estados Unidos		
72 INVENTOR (ES)		
Steven Robert Specker; Craig Delany Sawyer; Russel Lee Crowther; Bennett Jay Gitnick; Kenneth Verl Walters; Robert Edward Brown y Larry Edgar Fennern, todos de nacionalidad estadounidense.		
73 TITULAR (ES)		
el mismo solicitante		
74 REPRESENTANTE		
D. BERNARDO UNGRIA GOIBURU		

1

EXTRACTO DE LA DESCRIPCION

Se describe un método y una disposición para hacer funcionar un reactor nuclear de agua hirviente así como modelos de conjuntos de combustible para este reactor, en los cuales se hace funcionar el reactor con barras de control dispuestas de manera especial que realizan las funciones principales de corrección de potencia y control de reactividad. Un segundo grupo de barras de control, separado y distinto, se extrae cuando el reactor funciona a su potencia nominal, y las barras de control de este grupo realizan la función principal de parada del reactor. El diseño de los conjuntos de combustible y las configuraciones elegidas de los conjuntos de combustible y de las barras de control permiten realizar la separación de las funciones de control. Las barras de control utilizadas para la corrección de potencia y el control de reactividad están dispuestas en regiones de núcleo de baja potencia, llamadas células de control. El diseño del combustible es tal que las barras de control de las células de control puedan permanecer en posiciones fijas en estas células durante el ciclo de funcionamiento sin que sea necesario extraerlas para la compensación de reactividad por el quemado.

5

10

15

20

DESCRIPCION GENERAL DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un diseño y a una disposición de combustible para reactor nuclear y a un método de utilización de esta disposición.

Los combustibles nucleares incluyen uranio y/o plutonio en forma apropiada. Por ejemplo, en un combustible utilizado corrientemente para reactores nucleares de potencia refrigerados y moderados con agua, el combustible incluye dióxido de uranio (UO_2), en el cual de 0,7 a 4,0 por ciento es U-235

25

30

1 fisionable mezclado con U-238 fértil. Durante el funcionamiento
to del reactor una parte del U-238 fértil se transforma en
Pu-239 y Pu-241 fisionables que contribuyen a mantener la po-
tencia del reactor. El U-238 es igualmente fisionable pero so-
5 lamente para los neutrones de alta energía del reactor.

En los reactores nucleares de potencia de agua hir-
viente comerciales bien conocidos, por ejemplo el reactor uti-
lizado en la central nuclear de Dresden cerca de Chicago,
Illinois, el combustible nuclear se presenta típicamente bajo
10 la forma de pastillas sinterizadas contenidas en un tubo de en-
vainado de forma alargada, constituido por un metal adecuado
tal como una aleación de circonio, para formar un elemento o
barra de combustible del tipo ilustrado, por ejemplo, en la pa-
tente de los Estados Unidos número 3.365.371. El tubo, hermétic-
15 camente cerrado por obturadores de extremidad, sirve para ais-
lar el combustible nuclear del fluido moderado-refrigerante y
para impedir la liberación de productos de fisión.

Estos elementos de combustible están dispuestos en
grupos y están soportados entre unas placas de unión superior
20 e inferior, en conjuntos o haces de combustible recambiables
separadamente, tal y como se representa, por ejemplo, en la pa-
tente de los Estados Unidos número 3.689.358. Un número sufi-
ciente de estos conjuntos de combustible están dispuestos en
una matriz, que tiene la forma aproximada de un cilindro circu-
25 lar recto, para formar el núcleo del reactor capaz de una reac-
ción de fisión auto-mantenida. El núcleo está inmerso en un
fluido, por ejemplo agua ligera, que sirve al mismo tiempo co-
mo fluido de trabajo y como moderador de neutrones.

Los reactores nucleares se recargan típicamente, de
30 manera periódica, con un exceso de reactividad suficiente para

1 mantener funcionamiento durante un ciclo de funcionamiento,
a menudo del orden de un año (llamado a continuación "intervalo de ciclo de combustible"). Al final de este tiempo se para el reactor y, de manera típica, se cambia aproximadamente la
5 cuarta parte de los conjuntos de combustible. El exceso de reactividad que existe en el comienzo de un ciclo de funcionamiento necesita un sistema de control de resistencia suficiente para mantener el factor de multiplicación efectivo igual a la unidad durante el funcionamiento del reactor. Generalmente,
10 el sistema de control incluye materiales de absorción de neutrones que sirven para controlar la población de neutrones mediante absorción sin fisión o captura de neutrones.

Típicamente, el sistema de control incluye un control mecánico bajo la forma de una pluralidad de barras de control, conteniendo un material absorbente de neutrones, que pueden ser introducidas selectivamente en los espacios o intervalos formados entre los conjuntos de combustible para controlar la reactividad, y por tanto el nivel de potencia de funcionamiento del núcleo. En una disposición conocida, por ejemplo la
15 que se representa en la patente de los Estados Unidos número 3.020.888, las barras de control tienen una sección transversal cruzada o cruciforme de tal manera que las "alas" de cada barra de control puedan ser introducidas en los espacios formados entre cuatro conjuntos de combustible adyacentes. Cada grupo de cuatro conjuntos de combustible que rodean una barra de control puede llamarse una "célula" de núcleo. (En la patente mencionada más arriba número 3.020.888, se describen materiales adecuados de absorción de neutrones así como un mecanismo de accionamiento de barras de control).

30 El sistema de control puede incluir también un mate-

1 rial absorbente de neutrones consumible, tal como gadolinio,
mezclado con una parte del combustible. Los isótopos Gd-155 y
Gd-157 de origen natural son fuertes agentes de absorción de
neutrones que son transformados por absorción de neutrones en
5 isótopos de valor de control inferior (capacidad de absorción
de neutrones). Esta utilización de materiales absorbentes con-
sumible disminuye el grado de control mecánico que se necesita
y, mediante una disposición apropiada del material absorbente
consumible, pueden conseguirse mejoras en la distribución de
10 la energía. Frecuentemente, estos materiales absorbentes consu-
mibles se incorporan en los elementos de combustible mezclándo-
los con porciones elegidas del combustible nuclear. Una dispo-
sición de material absorbente consumible se representa, por
ejemplo, en la patente de los Estados Unidos número 3.799.839.

15 Una información más completa respecto a los reacto-
res nucleares podrá encontrarse, por ejemplo, en "Nuclear
Power Engineering", N. M. El-Wakil, McGraw-Hill Book Company,
Inc., 1962.

El envainado tubular del elemento de combustible,
20 que puede tener un espesor del orden de 0,8 mm (0,032 pulga-
das) está sometido a un servicio relativamente duro en razón
de la presión elevada, temperatura alta, radiación nuclear y
ataque químico por productos de fisión en el ambiente del nú-
cleo del reactor nuclear. La extracción de las barras de con-
25 trol introducidas aumenta fuertemente la potencia local en los
elementos de combustible adyacentes. Estos bruscos e importan-
tes cambios de a nivel de potencial lineal local (kw/m-kw/pie)
del combustible puede dar lugar a la formación de elevadas ten-
siones y fuerzas localizadas debidas a la interacción de las
30 pastillas de combustible con el envainado. Si los bordes de

1 las pastillas adyacentes que se dilatan y tienden a separarse
(por los lados adyacentes de una grieta formada en una parti-
da) se bloquean contra el envainado, la fuerza localizada re-
sultante puede superar la carga unitaria de rotura del envaina-
5 do y producir en éste grietas que permiten la entrada de refri-
gerante en el elemento de combustible y la salida de productos
de fricción desde el elemento de combustible hasta el refrige-
rante que lo rodea. Este fenómeno indeseable es conocido bajo
el nombre de "interacción pastilla-envainado". Existe un valor
10 de umbral que depende del quemado del combustible y por debajo
del cual es conocido que el envainado no falla, independiente-
mente de la magnitud del incremento de la potencia lineal.

Entre las soluciones propuestas al problema de la
interacción pastilla-envainado (PCI) se utiliza un método para
15 acondicionar el combustible de modo que pueda soportar a conti-
nuación rápidos cambios de potencia. Este método se describe
en la patente de los Estados Unidos número 4.057.466. En bre-
ves palabras, el método incluye un control regulado, sistemáti-
co, de la velocidad de incremento de la potencia (por ejemplo
20 menos de 3,28 kw/m/hora-0,1 kw/pie/hora) para permitir que se
relajen las fuerzas localizadas de las pastillas que producen
la interacción pastilla-envainado. Esta velocidad se controla
por debajo de la velocidad crítica que produce desperfectos en
el envainado, de tal manera que se obtengan incrementos de la
25 potencia lineal local incluída entre el valor de umbral de PCI
y el nivel de potencia lineal local máximo deseado. Después de
este acondicionamiento se comprueba que pueden realizarse sin
desperfectos en el envainado cambios de potencia relativamente
rápidos, por debajo del nivel acondicionado máximo. La ventaja
30 principal de este método es el tiempo relativamente largo que

1 se necesita para esta operación de acondicionamiento o de rea-
condicionamiento, puesto que reduce el tiempo disponible para
el funcionamiento del reactor a niveles de potencia normales.
Igualmente, en numerosas situaciones de funcionamiento prácti-
5 cas, es imposible acondicionar completamente el combustible
cerca de las barras de control introducidas.

Otro fenómeno relacionado con el funcionamiento de
un reactor nuclear es la llamada "historia de barras de con-
trol". El efecto de la presencia de una barra de control con-
10 siste en reducir mucho la velocidad de quemado del combustible
fisionable en el combustible adyacente mientras que se reduce
la conversión de U-238 fértil en Pu-239 fisionable en un grado
notablemente inferior. Por tanto, cuando se extrae una barra
de control, la potencia aumenta en el combustible "no cubier-
15 to" más próximo a la barra de control (es decir, en los elemen-
tos de combustible de esquina y adyacentes periféricos del con-
junto de combustible) en un mayor grado que en el combustible
más alejado de la barra de control. Este efecto de historia de
barras de control es más importante para el combustible situa-
20 do en el elemento de combustible de esquina del conjunto de
combustible adyacente a la barra de control, y este efecto es
tanto o más pronunciado cuanto más tiempo permanece la barra
de control en una posición adyacente al combustible. El efecto
de historia de barras de control es más importante en los mode-
25 los en los cuales no existen seguidores en las barras de con-
trol.

Otro fenómeno que aparece en los reactores de agua
hirviente es la "supresión axial de hueco de vapor". En estos
reactores, la ebullición de refrigerante en el interior de los
30 anales individuales produce una realimentación negativa de

1 potencia porque la reactividad local del combustible disminuye
conforme van aumentando los huecos de vapor. Si una barra de
control se introduce parcialmente en la parte inferior de un
canal, suprime la ebullición cerca de la barra de control,
5 produciendo así una reducción correspondiente de los huecos de
vapor en las regiones de mayor actividad encima de la barra de
control. La reducción de la ebullición encima de una barra de
control parcialmente introducida puede producir importantes
crestas de energía que pueden superar la magnitud de la poten-
10 cia en un canal estando la barra de control completamente ex-
traída.

Durante los primeros tiempos de diseño y utilización
de reactores nucleares de potencia del tipo en cuestión, se
desarrollaron procedimientos y configuraciones para la intro-
15 ducción y la extracción de las barras de control. El procedi-
miento básico ha consistido en intentar distribuir los efectos
de la combustión del combustible, de producción de plutonio y
de historia de barra de control lo más uniformemente posible
entre los conjuntos de combustibles de núcleo mediante reduc-
20 ción e intercambio periódicos (compensación) de las configura-
ciones de barra de control.

En los procedimientos conocidos de utilización de
las barras de control, en el caso de reactores del tipo des-
crita, las barras de control se colocan en varias configuracio-
25 nes alternas que permiten intercambiar un grupo de barras de
control con otro durante el funcionamiento. Usualmente se uti-
lizan dos, tres o cuatro configuraciones de barras de control
que se introducen alternativamente en el núcleo del reactor
para realizar el control de corrección de potencia y de compen-
30 sación de reactividad por el quemado.

1 De acuerdo con los procedimientos conocidos de utili-
zación de barras de control, se hace funcionar el núcleo con
una configuración de barras de control dada durante un período
de producción de energía. A continuación se reduce la potencia
5 y la configuración dada se intercambia con otra configuración,
etc. En estas condiciones, pueden producirse de cinco a ocho
cambios de configuración de barras de control en un ciclo
anual de funcionamiento del reactor. Estas configuraciones de
barras de control y estos intercambios de configuraciones se
10 describen más detalladamente en la patente de los Estados Uni-
dos número 3.385.657.

Los procedimientos conocidos de utilización de las
barras de control hacen que la mayor parte del combustible es-
té sometido al efecto del movimiento de las barras de control
15 adyacentes, a la potencia nominal, durante el tiempo de perma-
nencia del combustible en el núcleo de aproximadamente cuatro
años. Este movimiento de las barras de control resulta del con-
trol de quemado, de los intercambios de configuraciones de
barras de control, del seguimiento de carga, del control de
20 xenon transitorio, del acondicionamiento del combustible, etc.
Estas variables de funcionamiento hacen que el número total de
movimientos de barras de control que el combustible experimen-
ta sea indeseablemente importante. Además, los intercambios
de configuración de barras de control excitan los fenómenos
25 transitorios de distribución espacial de potencia debidos al
xenon, y las imposiciones del movimiento de la barra de con-
trol, en razón de los límites térmicos, hidráulicos, de seguri-
dad y de acondicionamiento del combustible, hacen que el fun-
cionamiento del reactor sea indeseablemente complejo y aumen-
30 tan la probabilidad de un error por parte del operario. Por

1 consecuente, los procedimientos de explotación conocidos tien
den a reducir los márgenes térmicos y de seguridad, aumentan
la complejidad de fabricación, reducen los factores de capaci-
dad y aumentan el riesgo de deterioración del combustible.

5 Un resumen de los problemas observados con los méto-
dos de explotación conocidos de reactores de agua hirviente
con intercambio de configuraciones de barras de control es co-
mo sigue:

10 (1) La potencia del reactor debe ser reducida para
realizar los intercambios al mismo tiempo que se observan las
imposiciones de la interacción pastilla-envainado. En numero-
sos casos, puede necesitarse hasta cinco días para establecer
la potencia máxima del reactor después del intercambio, lo que
reduce el factor de capacidad del reactor.

15 (2) Los intercambios complican el diseño y la explo-
tación del reactor. Debido a la conveniencia de realizar los
intercambios de barras de control cuando la potencia ha sido
reducida por cualquier otro motivo, la explotación del reactor
es difícil de planificar y reactores similares se hacen funcio-
20 nar diferentemente durante un intervalo de ciclo de combusti-
ble.

25 (3) Los intercambios de barras de control y las re-
ducciones de potencia asociadas producen fenómenos transito-
rios espaciales y no espaciales debidas al xenon que complican
la explotación del reactor y contribuyen a hacer mas difícil
la determinación de los límites de interacción pastilla-envai-
nado (PCI).

30 (4) La curva de adiestramiento del operario del reac-
tor es alargada por las complicadas variables tridimensionales
en imposiciones que reaccionan las unas con las otras. Esto

1 aumenta la posibilidad de errores del operario en el caso de
infringir los límites de PCI u otras limitaciones.

5 (5) Todo el combustible, salvo el que está situado
en la periferia del núcleo experimenta grandes incrementos de
potencia lineal en razón del movimiento de las barras de con-
trol adyacentes durante intervalos de ciclo de combustible en-
tre las recargas. Generalmente la periferia del núcleo es la
única zona donde el combustible puede situarse de tal manera
que no esté sometido al efecto del movimiento de las barras de
10 control adyacentes.

15 (6) Todas las barras de control, salvo aquellas que
están situadas cerca de la periferia del núcleo, deben cum-
plir la doble función de corrección de potencia-control de
reactividad por quemado y parada del reactor. Por tanto, unas
características de diseño especializadas que se precisan para
estas diferentes funciones no pueden incorporarse fácilmente
en los diseños de barras de control y de dispositivos de ac-
cionamiento de barras de control.

20 (7) La aplicación del control automático de distri-
bución espacial de energía para seguimiento de carga u otras
aplicaciones se ve muy complicad- por el gran número de varia-
ble y su interacción compleja. Además, el hecho de situar las
barras de control en un punto adyacente a combustible de alta
potencia o elevada reactividad o en un punto adyacente a com-
bustible conteniendo material de absorción consumible no ago-
25 tado, da lugar a los siguientes inconvenientes:

30 El agua con reducido contenido de huecos de vapor
encima de las barras de control parcialmente introducidas ha-
ce que se alcance frecuentemente en estas regiones la potencia
de cresta local del reactor. Los límites térmicos tales como

1 los límites de transición o de alejamiento de ebullición se
ven también afectados de manera perjudicial por una introduc-
ción parcial de las barras de control en zonas adyacentes a un
combustible de alta reactividad.

5 Las barras de control introducidas cerca de un com-
bustible conteniendo material de absorción consumible no agota
do tienden a modificar el consumo del material absorbente y
producen un fenómeno transitorio espacial indeseable en el ma-
terial absorbente combustible que aumenta la potencia de cresta
10 local en el reactor o exige que el combustible sea diseñado y
fabricado con formas complicadas de material de absorción con-
sumible.

La presente invención consiste en separar las funcio-
nes de las barras de control en una función de corrección de
15 potencia-control de reactividad y una función de parada, y man-
teniendo un combustible de baja reactividad o diseño especial
en las células de control en las cuales se introducen las ba-
rras de control de corrección de potencia y control de reactivi-
dad durante el funcionamiento.

20 En el núcleo inicial, las células de control están
cargadas con conjuntos de combustible de diseño especial que
presentan una riqueza relativamente baja. Las células no utili-
zadas para el control se cargan con conjuntos de combustible
de diseño especial con riqueza inicial relativamente más impor-
25 tante, que pueden situarse en las células de control durante
los siguientes intervalos de ciclo de combustible. Cuando se
pone en marcha el reactor y se lleva a la potencia nominal,
las barras de control de las células no utilizadas para el con-
trol se extraen de manera sustancialmente completa y a conti-
30 nuación, durante el ciclo de funcionamiento, el reactor se

1 controla solamente por medio de las barras de control de las
células de control. En estas condiciones, sólo el combustible
de diseño especial con riqueza reducida de las células de con-
trol está sometido al efecto del movimiento de las barras de
5 control adyacentes a ellas durante el ciclo. Gracias a este
procedimiento, el funcionamiento del núcleo se simplifica mu-
cho y se evitan los numerosos problemas de intercambio de las
barras de control.

Al final de un ciclo de funcionamiento se para el
10 reactor, y los conjuntos de combustible de las células de con-
trol se descargan normalmente (se retiran del reactor) o se
desplazan a las posiciones periféricas de conjuntos de combus-
tible del núcleo del reactor. Los conjuntos de combustible
irradiados que no proceden de las células de control con reac-
15 tividad más reducida se introducen en las células de control.
Los conjuntos de combustible frescos (es decir no irradiados)
se introducen al exterior de las células de control (es decir
en las células que no se emplean para el control) a una cier-
ta distancia de las barras de control que han de ser introdu-
20 cidas a la potencia nominal.

El combustible permanece en el núcleo durante n ci-
clos de funcionamiento del núcleo (típicamente n es igual a
cuatro). Los conjuntos de combustible permanecen típicamente
en las células no utilizadas para el control durante $n-1$ ci-
25 clos de su tiempo de permanencia en el núcleo (aunque pueden
ser desplazados de una posición a otra en el interior de las
células no empleadas para el control), y a continuación se in-
troducen en las células de control durante su último ciclo de
tiempo de permanencia en el núcleo y después se descargan de
30 núcleo o se desplazan a la periferia del núcleo. Para ciertas

1 aplicaciones, un combustible no irradiado, de diseño especial
y de alta fiabilidad puede ser introducido directamente en
las células de control salvo en el primer ciclo, y ese combus-
tible permanecerá durante m ciclos, siendo m igual o diferente
5 de n (el número de ciclos de permanencia del combustible de
las células no previstas para el control). Ese diseño del nú-
cleo que incluye la separación de las funciones de las barras
de control y la colocación solamente de combustible de baja
reactividad en una zona adyacente a las barras de control de
10 corrección de potencia-control de reactividad de acuerdo con
la invención, se llama "núcleo de células de control".

Las barras de control deparada de las células no uti-
lizadas para el control se extraen durante el suministro de la
energía y están sometidas a reducidos desperfectos y esfuerzos
15 debidos al quemado y a la irradiación; por consiguiente estas
barras de control tienen una larga vida útil. Por tanto pueden
utilizarse materiales de control más costosos en estas barras,
en particular en su parte superior, para obtener su máxima ca-
pacidad de parada en frío y mejorar la capacidad de quemado
20 del reactor durante el ciclo de combustible. Igualmente, los
dispositivos de accionamiento de las barras de control de las
células no utilizadas para el control pueden ser relativamente
sencillos y económicos.

Por otra parte, puesto que las barras de control si-
25 tuadas en las células de control constituyen tan sólo la cuar-
ta parte aproximadamente de las barras de control del núcleo;
es posible optimizar los dispositivos de accionamiento y las
barras de control de las células de control teniendo en cuenta
su utilización principal para la corrección de potencia y el
30 control de reactividad de quemado. Esta optimización incluye

1 la utilización de dispositivos de accionamiento con movimiento
de gran precisión y barras de control con punta "gris" (de ca-
pacidad de control reducida). Ambas características aseguran
de manera ventajosa un cambio más progresivo de potencia en el
5 combustible adyacente cuando se desplaza la barra de control.
Los dispositivos de accionamiento con movimiento de precisión,
que son costosos y complejos, pueden ser retardados solamente
para ser utilizados en las posiciones de las células de con-
trol. Igualmente, es factible utilizar variantes de materiales
10 de barras de control que permiten obtener una vida útil más
larga y un espectro de absorción de neutrones más favorable.
Por ejemplo, los materiales de control de larga duración de
vida a base de hafnio reducen la perturbación de energía de
las barras de corrección de potencia y prolongan la vida útil
15 de estas barras.

Las máximas mejoras de la capacidad de rendimiento
del núcleo de células de control se obtienen mediante un dise-
ño apropiado de los conjuntos de combustible que han de ser
introducidos en las células de control, generalmente durante
20 el último o el penúltimo intervalo de ciclo de combustible an-
tes de su descarga de núcleo. Los diseños óptimos de conjuntos
de combustible son convenientes para proporcionar los efectos
de historia de control y el período de quemado de combustible
asociado, durante el cual se producen los efectos de historia
25 de control.

En el caso de un núcleo inicial, los conjuntos de
combustible que deben situarse en las células de control se di-
señan particularmente para esta aplicación. Igualmente, el di-
seño de los conjuntos de combustible que han de ser desplaza-
30 dos a las células de control durante la primera recarga es

1 diferente del diseño de los conjuntos de combustible que han
de ser desplazados a la célula de control durante las siguien-
tes recargas. En otras palabras, los conjuntos de combustible
se diseñan especialmente en función de su posición en el núcleo
5 y de su tiempo previsto de permanencia en éste.

Generalmente, los conjuntos de combustible de recar-
ga no se introducen en la célula de control hasta su tercero o
cuarto ciclo de permanencia en el núcleo y el diseño de mate-
rial absorbente consumible de ese combustible de recarga es ge-
10 neralmente diferente del de combustible inicial del núcleo.
Por consiguiente, los conjuntos de combustible de recarga pue-
den también ser diseñados de la manera más apropiada para sa-
car los máximos beneficios de la separación de las funciones
de control.

15 Unos conjuntos de combustible de diseño especial pue-
den emplearse en las células de control puesto que, en numero-
sas aplicaciones, solamente la mitad aproximadamente permanece
en las células de control durante su historia en el núcleo.
Estos conjuntos de combustible de diseño especial pueden intro-
20 ducirse en las células de control durante su primero, su segun-
do, su tercero, su cuarto o su quinto ciclo de residencia, y
en algunos casos, puede dejarse en las células de control du-
rante más de un ciclo. Sin embargo, en la aplicación usual óp-
tima, el combustible permanecerá en las células de control so-
25 lamente durante su último ciclo o su penúltimo ciclo de perma-
nencia en el núcleo.

Los criterios de fabricación exigen la utilización
de elementos de combustible de diseño standard para fabricar
los conjuntos de combustible, así como que el número de los di-
30 ferentes tipos standard de elementos de combustible sea mínimo.

1 Por consiguiente, se efectua el diseño de los conjuntos de com
bustible de modo que se utilicen en común la mayor cantidad po
sible de elementos de combustible standard, cumpliendo sin em-
bargo con los objetivos de diseño, rendimiento y seguridad.

5 Los modelos iniciales de conjuntos de combustible pa
ra el núcleo de las células de control permiten conseguir es-
tos objetivos incluyendo la reducción del número de tipos
standard de elementos de combustible que deben ser utilizados
para la fabricación de los conjuntos de combustible necesarios.

10 Los aspectos originales del diseño del núcleo de cé-
lulas de control, que evita el situar los conjuntos de combus-
tible conteniendo material absorbente consumible no agotado en
zonas adyacentes a las barras de control introducidas durante
el suministro de energía, permiten simplificar el diseño de
15 los elementos del combustible conteniendo material absorbente
consumible en los conjuntos de combustible mediante la reduc-
ción del número de zonas axiales diferentes de material absor-
bente en estos elementos de combustible.

Es posible utilizar variantes de configuraciones de
20 células de control según los requisitos particulares del nú-
cleo y el diseño del reactor. El criterio principal consiste
en que la configuración de las células de control debe facili-
tar la máxima simetría del núcleo y que debe estar presente un
número suficiente de células de control para obtener una pue-
25 ta en marcha cómoa del reactor, para controlar la corrección
de potencia y la reactividad sobrante máxima, así como para el
seguimiento de carga en la red de distribución máxima, así co-
mo para el seguimiento de carga en la red de distribución
eléctrica. El número y la posición de las células de control
30 pueden ser revisados al comienzo de un nuevo intervalo de

1 ciclo de combustible, cuando esto permite obtener una mejora
del rendimiento u otras ventajas.

La separación de las funciones de control y el dise-
ño original del núcleo permiten aplicar los criterios básicos
5 que consisten en que: (1) no se situara combustible conteniend
do material absorbente consumible no agotado cerca de barras
de control a una potencia notable, (2) no se situara combusti-
ble de alta reactividad cerca de barras de control a la poten-
cia nominal en estado permanente, (3) se reducirán los cambios
10 de configuración de barras de control y el movimiento de las
barras de control dentro de un intervalo de ciclo de combusti-
ble, (4) se mantendrá el combustible que experimenta importan-
tes cambios rápidos de potencia debidos a movimiento de las ba-
rras de control adyacentes, a una potencia relativamente más
15 baja cuando la barra de control está extraída, (5) se dará la
máxima reactividad de parada en frío a las barras de control
situadas en las regiones locales de mayor reactividad y se mi-
nimizarán los efectos del quemado de las barras de control so-
bre el control de parada en frío, y (5) se minimizará la per-
turbación de energía local y global por las barras de control
20 utilizadas para corrección de potencia y se dará la máxima du-
ración de vida a las barras de control que están sometidas de
manera importante a los neutrones cuando el reactor suministra
energía.

25 La aplicación de estos principios al diseño del nú-
cleo de células de control da lugar a un incremento de los má-
rgenes térmicos, de los factores de capacidad de la planta, sim-
plifica la explotación del reactor, disminuye la probabilidad
de un error por parte del operario y mejora la seguridad, la
30 fiabilidad del combustible, la economía de ciclo de combusti-

1 ble, simplifica la fabricación del combustible, y mejora la ve
locidad y la gama de seguimiento de carga.

Además, el número reducido de variables de la confi-
guración de las barras de control simplifica el diseño y aumen-
5 ta la posibilidad de aplicar un control completamente automáti-
co de corrección directa de la potencia.

La figura 1 es una ilustración esquemática de un sis-
tema de suministro de vapor mediante el reactor nuclear refri-
gerado y moderado por agua;

10 La figura 2 es una vista esquemática en planta de
una célula de combustible de un núcleo;

La figura 3A es una vista esquemática en planta de
la cuarta fase de un núcleo, que ilustra una disposición posi-
ble de la célula de control;

15 La figura 3B es una vista esquemática en planta que
ilustra una variante de disposición de célula de control;

La figura 4A es una vista esquemática en planta que
ilustra una variante de núcleo de célula de control para nú-
cleo inicial;

20 Las figuras 4B-4F ilustran disposiciones de ejem-
plos de conjuntos de combustible previstos para ser utilizados
en el núcleo de la figura 4A (EL = Elemento);

La figura 4G ilustra ejemplos de distribución de ma-
terial absorbente consumible a los elementos de combustible
25 (FEL = Longitud del elemento de combustible-Porcentaje; NU =
Uranio natural);

La figura 5 ilustra designaciones de grupo de las
barras de control de las células de control;

30 Las figuras 6A-6C son vistas esquemáticas en planta,
que ilustran un ejemplo de recarga de modelos de núcleo en

1 equilibrio;

La figura 7 ilustra un ejemplo de conjunto de combustible de recarga (EL = Elemento);

5 La figura 8A ilustra unos ejemplos de configuraciones de barra en varios grados de irradiación durante un ciclo de funcionamiento del núcleo;

La figura 8B ilustra el cambio de potencia local en un conjunto de combustible de alta reactividad de un núcleo de diseño convencional para diferentes posiciones de una barra de control adyacente a este conjunto;

10 La figura 8C ilustra un cambio típico de potencia local en un conjunto de combustible de una célula de control para diferentes posiciones de la barra de control en la célula de control;

15 La figura 8D ilustra un cambio típico de potencia local en un conjunto de combustible de alta reactividad de una célula no utilizada para control, que corresponde a diferentes posiciones de la barra de control en una célula de control adyacente;

20 Las figuras 9A-9D ilustran un ejemplo de barra de control y de dispositivo de accionamiento destinados a ser utilizados en las células de control del núcleo; y

La figura 10 ilustra un ejemplo de barra de control y de dispositivo de accionamiento destinados a ser utilizados en las células del núcleo no previstas para control.

25 Aunque no se limita a esta aplicación, se describe aquí la invención utilizada en un reactor nuclear refrigerado y moderado con agua del tipo de agua hirviente, del cual se ilustra un ejemplo de forma esquemática simplificada en la figura 1. Un sistema de reactor de este tipo incluye una vasija

30

1 de presión 10 conteniendo un núcleo de reactor nuclear 11 in-
merso en un refrigerante-moderador tal como agua ligera. El
núcleo 11, que está rodeado por una envoltura anular 12, inclu-
ye una pluralidad de conjuntos de combustible recambiables 13
5 dispuestos a una cierta distancia entre una reja de núcleo su-
perior 14 y una placa de núcleo inferior 16.

Una pluralidad de tubos de contención de dispositi-
vos de accionamiento de barras de control 17 contienen disposi-
tivos de accionamiento de barras de control por medio de los
10 cuales una pluralidad de barras de control 18 pueden ser intro-
ducidas selectivamente entre los conjuntos de combustible 13
para controlar la reactividad del núcleo. Cada uno de los tu-
bos de contención 17 está provisto de un elemento de soporte
de conjunto de combustible 19 que está provisto de receptácu-
15 los para recibir las piezas de extremidad 21 de cuatro conjun-
tos de combustible adyacentes. Las piezas de extremidad 21 y
los elementos de soporte 19 están dotados de conductos u orifi-
cios de refrigerante que comunican con una cámara de suminis-
tro de refrigerante 22. Una bomba de circulación de refrigeran-
20 te 23 introduce bajo presión el refrigerante en la cámara de
suministro 22 a partir de la cual el refrigerante sale a tra-
vés de los orificios formados en los elementos de soporte 19 y
en las piezas de extremidad del conjunto de combustible, su-
biendo a través de los conjuntos de combustible. De este modo
25 una parte de refrigerante se transforma en vapor que atraviesa
un sistema de separador-secador 24 antes de llegar a un aparato
de utilización tal como una turbina 26. El condensado que
se forma en un condensador 27 vuelve bajo la forma de agua de
alimentación a la vasija 10 por medio de una bomba 28.

30 Cada barra de control 18 y los cuatro conjuntos de

1 combustible circundantes constituyen una célula de combusti-
ble del núcleo. Una célula de este tipo 29 se presenta bajo
la forma de una vista en planta en la figura 2, en la cual los
cuatro conjuntos de combustible 13(1) - 13(4) que rodean la
5 barra de control 18 están soportados lateralmente en sus extre-
mos superiores por una reja de soporte de núcleo superior for-
mada por unas viguetas 30 y 32 que se entrecruzan y están suje-
tas las unas con las otras.

Cada uno de los conjuntos de combustible recambia-
10 bles 13 está constituido por una pluralidad de elementos de
combustible de forma alargada 34 soportados a una cierta dis-
tancia los unos de los otros entre unas placas de unión supe-
rior e inferior (no representadas) y rodeados por un canal de
circulación tubular 36 que dirige el refrigerante hacia arriba
15 entre los elementos de combustible. Se encontrará una ilustra-
ción más detallada de un conjunto de combustible de este tipo
en la patente de los Estados Unidos, mencionada más arriba,
número 3.689.358.

Un reactor del tipo descrito se recarga periódicamen-
20 te con una cantidad parcial de combustible que constituye una
cierta parte del núcleo. Típicamente, se hace funcionar el
reactor durante 12 a 18 meses antes de recargarlo, según la ri-
queza del combustible, la importancia de la cantidad de combus-
tible utilizada en la recarga así como las necesidades de la
25 red eléctrica de distribución. Estos intervalos de funciona-
miento entre recargas se llaman "ciclos de recarga".

De acuerdo con la invención, las células de combusti-
ble del núcleo están dispuestas de acuerdo con una configura-
ción de células de control y de células no utilizadas para el
30 control, estando las células de control separadas las unas de

1 las otras por lo menos por una célula no utilizada para el
control. Dos posibles configuraciones de este tipo se ilustran
por medio de vistas en planta de cuadrantes simétricos de ejem-
plos de núcleo representados en las figuras 3A y 3B, en las
5 cuales los conjuntos de combustible de las células de control
38 están designadas por la referencia "C" mientras que los con-
juntos de combustible de las células no utilizadas para el con-
trol 40 están designados por "N". Ambas configuraciones tienen
una simetría de 1/8 núcleo con una configuración diferente de
10 células de control respecto al centro del núcleo. (La simetría
del núcleo es una característica deseable aunque no absoluta-
mente necesaria de la disposición de núcleo de células de con-
trol que se describe aquí). El número de células de control
puede ser aumentado o disminuido y su configuración puede ser
15 cambiada entre ciclos de recarga. Por ejemplo, puede utilizar-
se la configuración de la figura 3A durante un ciclo de recar-
ga de un año y durante el ciclo de recarga de un año siguiente
las células de control pueden ser cambiadas a las posiciones
de la figura 3B.

20 La periferia del núcleo puede ser considerada como
región especial caracterizada, por ejemplo, por elevados gra-
dientes térmicos de flujo de neutrones. Para facilitar la iden-
tificación de los conjuntos de combustible que se utilizan
ventajosamente en esta región, los conjuntos de combustible y
25 periféricos llevan la referencia "P" mientras que los conjun-
tos de combustible adyacentes a éstos llevan en general la re-
ferencia "I".

Se observará que para facilitar la ilustración, sola-
mente se ha representado un cuadrante del núcleo, pero, supo-
niendo que el núcleo es simétrico, la representación de un
30

1 cuadrante es suficiente para definir todo el núcleo.

Además, de acuerdo con la invención, las células de control (llamadas a continuación células C) 38 se cargan con un combustible de reactividad relativamente bajo mientras que
5 las células no utilizadas para el control (llamadas a continuación células N) 40 se cargan con un combustible de reactividad relativamente elevada. Por ejemplo, (según las necesidades de un caso particular) las células C pueden tener en el comienzo de un ciclo de funcionamiento una reactividad equivalente a la
10 riqueza del combustible fresco incluida aproximadamente entre 0,711 y 1,2% en peso (porcentaje en peso del material fisiónable), siendo un valor típico de 0,924% en peso para un núcleo inicial, y las células N pueden tener una reactividad equivalente a una riqueza del combustible fresco incluida aproxima-
15 damente entre 1,6 y 2,7% en peso, o un valor medio del 2,15% en peso. Se da la relación entre material fisiónable incluido en las células N y el material fisiónable incluido en las células C el valor máximo compatible con las limitaciones de diseño de funcionamiento y de ciclo de combustible.

20 Además, los conjuntos de combustible periféricos P se cargan ventajosamente con un combustible de baja reactividad, por ejemplo equivalente a una riqueza de combustible fresco constituido por uranio natural (0,711% en peso) mientras que los conjuntos de combustible intermedios adyacentes I se
25 cargan con combustible de alta reactividad, por ejemplo equivalente a una riqueza de combustible fresco de aproximadamente 3% en peso. Esta utilización de la combinación de un combustible periférico de baja reactividad y de un combustible intermedio de alta reactividad minimiza las fugas de neutrones a partir del núcleo y aplasta la distribución de potencia radial en
30

1 el núcleo mejorando los márgenes relacionados con los límites
de rendimiento térmico.

Estando el combustible dispuesto de esta manera, de
acuerdo con la invención, cuando se pone en marcha el reactor
5 a su potencia nominal a partir de su parada, se extraen del
núcleo las barras de control situadas en las células N y en la
periferia, y a continuación durante el ciclo de funcionamiento
solamente se utilizan las barras de control de las células C
para el control del nivel y de la distribución de la potencia.
10 La estrategia de utilización de las barras de control de las
células C depende, entre otras cosas, de la distribución de
reactividad del combustible de las células N adyacentes. (En
lo que sigue se presentan ejemplos de estrategia de utiliza-
ción de las barras de control de las células C durante un ci-
15 clo de funcionamiento). Una estrategia general de explotación
del reactor ha sido descrita por R. L. Crowther en un artículo
que lleva por título "Análisis de quemado de reactores de agua
hirviente de gran potencia", Proceedings of IAEA Panel, Viena
1967, International Atomic Energy Agency (1968). El estado uni-
20 forme de final de ciclo de quemado-potencia que se describe
aquí se llama "Distribución de Haling".

Después de que un núcleo de reactor ha estado en fun-
cionamiento durante un número suficiente de ciclos de trabajo
repetidos uniformes tiende a alcanzar un "equilibrio" respecto
25 al número y a la riqueza de los conjuntos de combustible de
sustitución y su distribución en el núcleo. En estas condicio-
nes, este núcleo puede llamarse núcleo en equilibrio y los ci-
clos de funcionamiento del mismo, ciclos de equilibrio. Típica
mente, un núcleo en equilibrio se recarga aproximadamente cada
30 año cambiándose aproximadamente la cuarta parte de estos con-

1 juntos de combustible. Por tanto, un conjunto de combustible
para un núcleo en equilibrio permanece en el núcleo aproximada-
mente cuatro años con una exposición de descarga típica del
orden de 26.000 Mwd/ST (Megawatios días por tonelada standard).

5 En un núcleo en equilibrio, de acuerdo con la inven-
ción, los conjuntos de combustible de mayor quemado o menor
reactividad de las células N se utilizan en las células C du-
rante el último ciclo de permanencia de estos conjuntos en el
núcleo. El combustible de células N, en esta aplicación, está
10 diseñado particularmente para permitir su colocación en las cé-
lulas C durante su último ciclo y para proporcionar márgenes
térmicos y fiabilidad de combustible máximos. En una variante
de manera de llevar a la práctica la invención, unos conjuntos
de combustible especiales se cargan en las células C bien bajo
15 la forma de combustible fresco o después de permanecer en algu-
nas de las células N durante uno a tres ciclos de recarga.

En la explotación práctica de una red de distribu-
ción eléctrica, un reactor alcanza tan sólo raras veces un
"equilibrio" verdadero. Por consiguiente es preciso que el di-
20 seño práctico del núcleo del reactor permita ajustar la reacti-
vidad, la cantidad de materiales de carga, las configuraciones
de barras de control y los modos de explotación del reactor,
para acomodar las variaciones reales de las condiciones de ex-
plotación del reactor. Esto se obtiene de acuerdo con la inven-
25 ción, manteniendo una configuración repetitiva de células de
control y de células no previstas para el control en las por-
ciones centrales del núcleo del reactor, una zona periférica
de baja reactividad para minimizar los escapes de neutrones a
partir del núcleo y una zona intermedia entre las zonas cen-
30 tral y periférica cuyo número de conjuntos de combustible y

1 cuyo volumen puede variar.

Por tanto, el número de células C puede variar desde un ciclo de recarga a otro. Una flexibilidad suplementaria se obtiene gracias a la capacidad de efectuar la recarga con más
5 de un tipo de conjunto de combustible. Los conjuntos de combustible introducidos durante cada recarga pueden variar en su tipo, su riqueza media, su contenido de material absorbente consumible o en cualquier otra característica de diseño. y pueden también consistir en combustible descargado procedente de
10 una recarga anterior.

Sin embargo, en un reactor nuevo, que se acaba de poner en servicio, normalmente todo el combustible del núcleo es fresco. Los conjuntos de combustible previstos para ser empleados en este núcleo inicial pueden ser diseñados y dispuestos
15 para simular eficazmente un núcleo en equilibrio, con lo cual se facilita la transmisión desde el núcleo inicial al núcleo en equilibrio. Se describirá ahora la aplicación de la presente invención al funcionamiento inicial y al funcionamiento de ciclo de transición.

20 Las figuras 4A-4G ilustran un ejemplo de configuración de núcleo y un ejemplo de conjuntos de combustible previstos para ser utilizados en un núcleo inicial.

La configuración de núcleo inicial que se ilustra en la figura 4A emplea varios conjuntos de combustible diferentes de los tipos C_i , N_a , N_b , I_i y P_i , según se ilustra en las figuras 4B-4F, respectivamente. En las figuras 4B-4F, las posiciones del elemento de combustible que llevan la referencia W están ocupadas por tubos no cargados que tienen orificios inferior y superior por medio de los cuales el moderador constituido por agua fluye a través de ellos (como se describe por
30

1 ejemplo en la patente de los Estados Unidos N°3.802.995). En
las figuras 4C, 4D y 4E, los elementos de combustible que lle-
van la referencia BA contienen un material absorbente consumi-
ble tal como gadolinio mezclado con una cierta proporción de
5 material combustible. Unos ejemplos de distribución axial de
este material absorbente consumible se representan en la figu-
ra 4G. Estas disposiciones sencillas del material absorbente
combustible pueden utilizarse en el núcleo de células de con-
trol y en su funcionamiento de acuerdo con la invención, por-
10 que en una disposición de este tipo las barras de control no
están introducidas en conjuntos de combustible adyacentes con-
teniendo un material absorbente consumible no quemado en canti-
dad importante. En estas condiciones se evitan las perturbacio-
nes de distribución de potencia producidas por las barras de
15 control y su interacción con el quemado del material absorben-
te consumible. Igualmente, como se indica en las figuras 4C y
4D, ciertos elementos de combustible pueden no contener mate-
rial absorbente consumible según los requisitos del núcleo
particular y la posición del conjunto de combustible en el nú-
20 cleo.

Los conjuntos de combustible C_i , N_a , N_b , I_i y P_i es-
tán dispuestos de acuerdo con la configuración de la figura
4A para obtener la máxima capacidad de potencia del núcleo du-
rante el ciclo de funcionamiento inicial, cumpliendo al mismo
25 tiempo con los límites de seguridad de diseño. La zona perifé-
rica, que representa aproximadamente la octava parte del volu-
men del núcleo, se carga con conjuntos de riqueza reducida P_i
(figura 4F) para minimizar las fugas de neutrones a partir del
núcleo. Los conjuntos de combustible de elevada riqueza I_i (fi-
30 gura 4E) dispuestos en puntos adyacentes a los conjuntos peri-

1 féricos ayudan a aplastar la distribución radial de energía en
el núcleo, lo que permite obtener un mejor rendimiento térmico.

Los conjuntos de combustible C_i (figura 4E) están
previstos para ser utilizados en las células C durante el ciclo
5 de funcionamiento inicial. Además de una reducida riqueza
media, la distribución de riqueza de los elementos combustibles
del conjunto está diseñada de tal manera que los elementos de
combustible de riqueza más baja se situen en los emplazamientos
de elementos de combustible más próximos a la barra de control
10 adyacente. Se optimiza la distribución de los elementos
de combustible para obtener largos períodos de funcionamiento
con suministro de energía estando la barra de control introducida
en un punto adyacente al combustible. Esa disposición
permite que el conjunto soporte los períodos necesariamente
15 largos en un punto adyacente a las barras de control introducidas
seguidos por la extracción ulterior de las barras de control
y las crestas de potencia local asociadas que se deben a
la historia de la introducción anterior de las barras de control.
(Se observará que el conjunto de combustible C_i puede
20 también utilizarse en variante, en lugar del conjunto de combustible
 P_i en los emplazamientos periféricos del núcleo).

Los conjuntos de combustible N_a , N_b e I_i están previstos
para su permanencia inicial en las células N y su utilización
eventual en las células C después de que han acumulado
25 una exposición suficiente. Por ejemplo, los conjuntos de combustible
 N_a pueden ser desplazados a las células C para el segundo ciclo,
los conjuntos N_b para el tercer ciclo y los conjuntos I_i para el
cuarto ciclo. Entre las características de diseño de estos conjuntos
que permiten esta utilización, se
30 halla la distribución especial de riqueza del combustible que

1 prevé en el último ciclo de funcionamiento barras de control
introducidas durante largos períodos de funcionamiento.

En un esquema que constituye una variante, unos con-
juntos de tipo C_i nuevos (no irradiados) pueden introducirse
5 en las células de control a cada ciclo de recarga. Los elemen-
tos de combustible de estos conjuntos pueden diseñarse con una
protección especial contra las importantes variaciones de po-
tencia que se producen en razón del movimiento de las barras
de control adyacentes, por ejemplo dotándolos de barreras de
10 envainado tal y como se describe en la patente de los Estados
Unidos N° 3.925.151.

Como se ha indicado más arriba, el funcionamiento
del núcleo de células de control implica la extracción de to-
das las barras de control salvo las de las células C cuando se
15 lleva al reactor a su potencia nominal. El funcionamiento a la
potencia nominal se controla a continuación por medio de las
barras de control de las células C. La estrategia de utiliza-
ción de las barras de control de células C puede ser muy senci-
lla, en particular en comparación con las estrategias anterior-
20 res de utilización de las barras de control.

La configuración original de los conjuntos de combus-
tible que se representan en la figura 4A, permite igualmente
un arranque cómodo del reactor y una gran flexibilidad de ex-
plotación. Los conjuntos de combustible N_a (figura 4C) que tie-
25 nen la siguiente reactividad baja están situados en posiciones
alternas simétricas de 1/8 núcleo de las células de control.
Durante el arranque, las barras de control situadas en las po-
siciones N_a se utilizan para controlar parcialmente la reactivi-
dad de hueco de vapor, Doppler y Xenon, y se trata del últi-
30 mo grupo de barras de control que se extrae antes de utilizar

1 las barras de control solamente en las posiciones C_i con el
objeto de controlar el funcionamiento del núcleo. Esto minimi-
za la potencia local más allá de las extremidades de las barras
de control que se desplazan a potencia baja del reactor y ade-
5 más facilita el arranque rápido y fiable del reactor.

Durante el siguiente ciclo de recarga, la posición
de las células de control (C_i) puede ser cambiada a las posi-
ciones N_a , descargándose los conjuntos de combustible desde
las posiciones C_i o desplazándose éstos hasta las posiciones
10 periféricas P_i , desplazándose los conjuntos de combustible de
las posiciones N_b a las posiciones C_i , y situándose conjuntos
de combustible nuevos en las posiciones vacías N_b .

Durante el siguiente ciclo de recarga, las células
de control pasan a las posiciones C_i que se representan en la
15 figura 4A. Este programa de recarga y de explotación conjunto
reduce el número de conjuntos de combustible que han de ser
desplazados durante una recarga. Un programa de recarga en es-
tado de equilibrio integrado utilizando una estrategia similar
se describirá más adelante.

20 Un ejemplo de estrategia de utilización de barras de
control de células C se describe en términos generales hacien-
do referencia a la figura 5 que ilustra las barras de control
de células C que constituyen los elementos de ocho grupos de
la misma.

25 Utilizando las designaciones de grupo de la figura
5, una selección típica de las configuraciones de barras de con-
trol de células C durante el ciclo es como sigue:

(1) Las barras de control de los grupos 1, 2 y 8 se
introducen hasta posiciones relativamente profundas. Se em-
30 plean para compensar cualquier cambio de reactividad durante

1 el ciclo hasta que aproximadamente la tercera parte de su longitud haya sido extraída del núcleo. A continuación se extraen totalmente del núcleo.

5 (2) Las barras de control del grupo 3 se introducen en posiciones intermedias y con relación a las barras de los grupos 1, 2 y 8, para hacer que el núcleo sea crítico, con una distribución radial aproximada de la potencia del núcleo máxima hacia el centro del núcleo y con una cresta de magnitud central por lo menos igual a la de la distribución de quemado
10 Haling indicada más arriba.

(3) Las barras de control del grupo 7 se introducen desde unas posiciones poco profundas hasta posiciones profundas y sirven una doble función. Se utilizan para corregir la distribución radial de energía del núcleo durante las fases
15 del ciclo en las cuales las barras de control del grupo 1 y del grupo 2 están profundamente introducidas. Además, aseguran la corrección de potencia axial necesaria para mantener una densidad de energía aceptablemente limitada en la proximidad de los conjuntos de combustible de alta reactividad adyacentes a los
20 conjuntos periféricos. Además, durante el seguimiento de carga, el arranque y otras condiciones en las cuales se necesita flexibilidad de funcionamiento, las barras de control del grupo 7 se introducen profundamente de tal manera que al ser extraídas parcialmente, la densidad local de potencia en el combustible fuera de las extremidades de las barras sea inferior
25 al valor de umbral de interacción pastilla-envainado (PCI) que limita la potencia y, por consiguiente, estas barras de control pueden ser desplazadas a partir de sus condiciones profundas a la potencia nominal.

30 (4) Las barras de control de los grupos 4 y 5 se uti

1 lizan solamente para corrección de potencia axial durante la
parte del ciclo en la cual están introducidas las barras de
control de los grupos 1, 2 y 8. Durante este tiempo se introdu-
cen solamente en el grado necesario para mantener márgenes de
5 densidad de potencia aceptables en los conjuntos de combusti-
ble de alta reactividad adyacentes. Cuando las barras de con-
trol de los grupos 1, 2 y 8 están totalmente extraídas, las
barras de control de los grupos 4 y 5 se introducen para asegu-
rar el control de reactividad durante el resto del ciclo. Este
10 intercambio de las barras de control de los grupos 1, 2 y 8
con las de los grupos 4 y 5 se efectúa a veces para minimizar
la densidad de cresta de la potencia en los conjuntos de com-
bustible de células C. Puesto que los conjuntos de combustible
de las células C situados en las células de los grupos 4 y 5
15 no tienen historia de barras de control encima de su plano cen-
tral en el momento del intercambio, tienen una cresta de poten-
cia local inferior a la que los conjuntos de células de con-
trol de los grupos 1, 2 y 8 hubiesen tenido en el caso de no
haberse efectuado el intercambio.

20 (5) Finalmente, las barras de control del grupo 6
se introducen solamente en el grado necesario para mantener
una densidad de potencia aceptable en los conjuntos de alta
reactividad o para asegurar un control profundo y una flexibi-
lidad de explotación a la potencia máxima similar a la utiliza-
25 ción de las barras de control del grupo 7, como se ha descrito
anteriormente.

Al final de un ciclo de funcionamiento, el reactor
se para para efectuar la recarga. Normalmente los conjuntos pe-
riféricos se descargan del núcleo. Los conjuntos de células C
30 se extraen de las células C y se descargan del núcleo o, entre

1 otros casos, estos conjuntos pueden ser desplazados hasta las
posiciones periféricas de conjuntos de combustible para un ciclo de utilización suplementario en el núcleo. Las células C se recargan con los conjuntos de combustible de mayor quemado
5 y menor reactividad procedentes de las células N. (Los conjuntos de quemado elevado procedentes de las células N pueden también ser desplazados a las posiciones periféricas de conjuntos de combustible). Unos conjuntos de combustible nuevos se introducen en las células N (efectuándose la carga preferentemente
10 de manera dispersa), teniendo dichos conjuntos nuevos una riqueza apropiada para facilitar la reactividad precisa durante el siguiente ciclo de funcionamiento.

Un ejemplo de configuración de un núcleo recargado de acuerdo con la invención se ilustra en la figura 6A en la
15 cual los sufijos 0-3 de las referencias de conjuntos de combustible indican el número de ciclos de exposición del combustible en el momento de esta recarga.

Una variante de configuración que proporciona una distribución de reactividad similar a la del modelo de núcleo inicial de la figura 4A se representa en la figura 6B. El combustible de quinto ciclo situado en la periferia (posiciones P_4) es generalmente combustible periférico del cuarto ciclo procedente de un ciclo anterior, pero también puede ser combustible desplazado a partir de las posiciones de células de control. Esta configuración puede repetirse en el equilibrio descargando los conjuntos de combustible P_4 , C_3 y/o P_3 , desplazando los conjuntos de combustible N_2 y/o C_3 a las posiciones P, desplazando los conjuntos de combustible N_2 a las posiciones C_3 , desplazando los conjuntos de combustible N_1 a las posiciones
25 N_2 anteriores, y cargando combustible fresco en las posi-
30

1 ciones vacantes N_1 .

La figura 6C ilustra una variante de configuración de carga similar a la de la figura 6B, salvo que las células de control están situadas en emplazamientos diferentes con relación al centro del núcleo, de la misma manera que la disposición de núcleo de la figura 3B. Se observará que las células de control de la disposición de la figura 6C están en los mismos emplazamientos que las células de combustible N_2 en la disposición de la figura 6B.

10 Puesto que los conjuntos de combustible N_2 están programados para ser utilizados en las células de control durante su último ciclo, el número de conjuntos de combustible que deben ser desplazados de esta manera durante la recarga puede ser minimizado alternando la configuración de células de control de la figura 6B durante un ciclo de recarga con la configuración de la figura 6C en el siguiente ciclo de recarga, y con la configuración de la figura 6B en el ciclo de recarga siguiente, y así sucesivamente. Esta alternancia distribuye la utilización del quemado de las barras de control sobre un mayor número de barras de control y exige por tanto aproximadamente el doble del número de barras de control de función especial y larga vida útil para corrección de potencia y control de reactividad en las células de control.

Un ejemplo de conjunto de combustible de recarga, previsto para ser utilizado como combustible nuevo N_0 en la disposición de núcleo de las figuras 5, 6A y 6C se ilustra en la figura 7. Este diseño es notable debido a la utilización de elementos de combustible de riqueza relativamente baja en la esquina de las barras de control del conjunto lo que reduce los efectos de historia de barras de control y permite utilizar

1 el conjunto en las posiciones de células o después de su expo-
sición en las células N.

Unos elementos de combustible especiales pueden ser
utilizados en las posiciones de elementos de combustible de
5 los conjuntos de recarga por el combustible inicial del núcleo
que son más propensas a desperfectos debidos a cambios de po-
tencia o a interacción pastilla-envainado, por ejemplo en las
posiciones 3, 4, 5 y 7 del conjunto de combustible de recarga
de la figura 7. Estos elementos de combustible pueden fabricar
10 se con barreras de envainado protectoras constituidas por ejem-
plo por una capa de cobre o de circonio puro que protege el en-
vainado contra el ataque de los productos de fisión. Este ele-
mento combustible resistente a los desperfectos puede incluir
también pastillas de combustible de forma anular y/o pastillas
15 de combustible conteniendo un aditivo en forma de agente plas-
tificante.

Se observará que los conjuntos de la presente inven-
ción pueden contener una cantidad superior o inferior de mate-
rial de absorción consumible según los requisitos del núcleo y
20 la posición del conjunto particular en el mismo.

Un ejemplo de configuraciones de barras de control
de células C a varias exposiciones E durante un ciclo de fun-
cionamiento del núcleo en equilibrio de la figura 6A se ilus-
tra en la figura 8A. Las barras de control se accionan en gru-
25 pos y las designaciones de grupo 1-8 son las mismas que en la
figura 5. Los números marcados en los cuadrados que represen-
tan las células C indican el porcentaje de inserción a la pro-
fundidad máxima de las barras de control de las células. En es-
tas condiciones 100 indica una introducción completa y 0 indi-
30 ca una extracción completa de las barras.

1 No se utiliza ninguna barra de control fuera de las
células de control para el funcionamiento a una potencia nota-
ble, y el movimiento de las barras de control de las células
de control se minimiza durante las operaciones del reactor.

5 La figura 8B ilustra la potencia relativa en una zo-
na adyacente a una barra de control, en función de la posición
de la barra de control con relación al fondo, para un núcleo
de diseño y funcionamiento convencionales. La figura ilustra
los efectos de la inyección de hueco de vapor reducida en la
10 parte superior del núcleo sin generación de elevada potencia
de cresta resultante incluso cuando la barra de control está
introducida en el fondo del núcleo.

La figura 8C representa curvas similares de potencia
relativa en función de la posición de la barra de control para
15 un núcleo de diseño y funcionamiento de acuerdo con el contex-
to de núcleo de células de control de la invención. Se observa
rá que (en comparación con el núcleo convencional de la figura
8B) la potencia de cresta en una zona adyacente a la barra de
control disminuye notablemente, que es más difícil obtener una
20 cresta de potencia en una posición alta o baja en el núcleo,
que las barras de control pueden ser introducidas más profunda-
mente en el núcleo sin aumentar la cresta de potencia, y que
la posición totalmente extraída de la barra de control da lu-
gar a una reducción de potencia encima del 80% superior del
25 combustible aproximadamente.

La figura 8D ilustra los efectos del movimiento de
las barras de control, en el interior de las células de con-
trol de acuerdo con la invención, sobre el combustible de alta
reactividad contenido en las células no previstas para control.
30 En comparación con las tendencias de distribución de potencia

1 del combustible de alta reactividad de diseño convencional
(figura 8B) el cambio de potencia (kw/m-kw/pié) durante el mo-
vimiento de las barras de control es más pequeño, existe un me-
jor control de la cresta de potencia axial en este combustible
5 mediante introducción parcial de la barra de célula de control,
existe una transición más progresiva desde un estado de barra
de control a otro, el incremento de potencia en la parte supe-
rior del núcleo es mucho más pequeña, y se reduce la potencia
de cresta local del reactor.

10 Por consiguiente en el modo de explotación de célu-
las de control, de acuerdo con la invención, es posible intro-
ducir las barras de control en los 17% inferiores del núcleo
sin aumentar notablemente la potencia de cresta ya sea en el
combustible de las células de control ya sea en el combustible
15 de alta reactividad fuera de las células de control, es decir
en las células no utilizadas para el control. Por otra parte,
la introducción de las barras de control de las células de con-
trol en las posiciones centrales del núcleo reduce notablen-
te la potencia de cresta en el combustible de las células adya-
20 centes no previstas para control. Estas características pueden
ser utilizadas para obtener con el diseño de las células de
control una corrección de potencia más óptima que la que se
consigue con los métodos de control de la técnica anterior que
han sido utilizados.

25 Una propiedad importante del núcleo de células de
control según la invención es la separación de las funciones
de las barras de control de las células C y de las células N.
Las barras de control de las células C, utilizadas para el con-
trol de nivel de potencia del núcleo y para el control de co-
30 rrección, constituyen tan sólo la cuarta parte de las barras

1 de control aproximadamente. El resto de las barras de control,
es decir las que están fuera de las células C, tienen como
función principal la de parar el reactor. Esta separación de
funciones, y la minimización del número de las barras de con-
5 trol utilizadas para el control de la potencia del núcleo, per-
mite adaptar el diseño de las barras de control y de sus dispo-
sitivos de accionamiento para realizar la función particular
de una manera que no es práctica cuando todas las barras de
control y todos los dispositivos de accionamiento deben reali-
10 zar la doble función de corrección de potencia y de parada.

Por ejemplo, es conveniente que las barras de con-
trol de las células C tengan una larga vida y que produzcan un
cambio progresivo no brusco de la potencia local en el combus-
tible adyacente al ser desplazadas. Un ejemplo de barras de
15 control 181 y un ejemplo de dispositivos de accionamiento de
barras de control 171 adecuados para ser utilizados en las cé-
lulas C, se ilustran en las figuras 9A-9D.

La barra de control 181 está constituida por una pie-
za de fundición superior 42 provista de una empuñadura 44, co-
20 nectada con una pieza de fundición inferior 46 por una columna
central cruciforme 48. La pieza de fundición inferior 46 está
provista de un limitador de velocidad 50, de rodillos de guía-
do 52 y de un receptáculo de acoplamiento 54 previsto para ser
conectado con el dispositivo de accionamiento 171. La pieza
25 de fundición superior 42 está igualmente provista de rodillos
de guiado 55 por medio de los cuales la barra de control 181
está soportada lateralmente entre los conjuntos de combusti-
ble.

Unos revestimientos en forma de U están conectados
30 con la columna central 48 y con las piezas de fundición supe-

1 rior e inferior 42 y 46, para formar las cuatro palas 56(1) -
56(4) de la barra de control. Contenidas en el interior de ca-
da una de las palas 56(1) - 56(4) se halla una pluralidad de
barras de absorción de neutrones 58. Una barra de absorción
5 típica que se ilustra en la figura 9B, está constituida por un
tubo 60 herméticamente cerrado que contiene un material adecua-
do de absorción de neutrones por ejemplo polvo 62 de carburo
de boro natural (B_4C). La columna de polvo 62 está segmentada
por una serie de bolas separadas 64 cuyo movimiento está limi-
10 tado por unas deformaciones circunferenciales 66 formadas en
las paredes del tubo 60. Esta disposición ayuda a evitar hue-
cos en la columna de polvo 62 e impide que todo el polvo salga
de la barra en el caso de formarse una grieta en una parte de
la misma.

15 Es conveniente que las barras de control situadas
en las células de control tengan un impacto mínimo sobre el
combustible adyacente, reduciendo así al mínimo el cambio lo-
cal de potencia cuando se extrae la barra de control. Esto
puede conseguirse en cierto grado formando una "punta gris"
20 (punta parcialmente absorbente) en la pala de barra de con-
trol para desplazar el moderador constituido por agua y al mis-
mo tiempo absorber una menor cantidad de neutrones que los ma-
teriales de control más fuertes en cualquier otro punto de la
pala de control.

25 Igualmente es conveniente que las barras de control
situadas en las células de control tengan una larga vida útil.
Las puntas y los bordes de las alas de las palas de control
absorben el número máximo de neutrones y limitan la vida útil
de las barras de control. La utilización selectiva de un mate-
30 rial provisto de una larga vida útil, no produce productos

1 gaseosos u otros productos de reacción perjudiciales en razón
de la captura de neutrones en las regiones de elevada captura
de las barras de control prolongará la vida útil de las barras
de control.

5 Las características que aseguran la adaptación de la
barra de control 181 para su utilización en las células C son
las siguientes: la barra de control 181 puede dotarse de una
punta de larga vida útil o "punta gris" de varias maneras. (El
término punta gris significa que la intensidad de control
10 aumenta progresivamente desde la parte superior o desde la ex-
tremidad de empuñadura). Como se ilustra en la figura 9A la em-
puñadura 44 se hace más ancha y más larga de lo normal y se
forma, por ejemplo, con acero inoxidable que es un agente de
absorción de neutrones pero que tiene una menor intensidad de
15 control que el boro. Por consiguiente, la empuñadura de mayo-
res dimensiones 44 desplaza el agua y proporciona una transi-
ción de intensidad de control desde la punta hasta el cuerpo
de la barra de control.

Otra manera suplementaria de obtener una barra de
20 control 181 dotada de punta gris y de una larga vida útil se
ilustra en la figura 9C. Esta manera consiste en llenar los tu-
bos 60 de las barras absorbentes 58 de las palas 56(1) - 56(4)
con el material absorbente 62 hasta alturas progresivamente
más reducidas en dirección a los bordes externos de las palas.

25 Una disposición que permite obtener al mismo tiempo
un efecto de punta gris y una vida útil más larga de las palas
de control se ilustra en la figura 9D. En esta disposición un
material absorbente de neutrones adecuados tal como el hafnio
se utiliza en lugar de boro en la parte superior que represen-
30 ta entre la 24ª y la 4ª parte de la longitud de las barras de

1 absorción internas y en la totalidad de la longitud de una o
varias barras absorbentes externas 58. En razón de los fuertes
gradientes de flujo de neutrones en una pala de control, las
puntas y las barras de absorción externas de la misma están so-
5 metidas al mayor flujo de neutrones incidentes, al mayor grado
de captura de neutrones y por tanto tienen la vida más corta.
El hafnio utilizado en estas posiciones proporciona una vida
de pala mucho más elevada que el B_4C porque el hafnio no produ-
ce productos de reacción perjudiciales, incluyendo los gases
10 producidos por B_4C .

Igualmente, el hafnio es menos absorbente de neutro-
nes térmicos que el B_4C , pero es un agente de absorción fuerte
de neutrones epitérmicos. En estas condiciones proporciona una
menor absorción de neutrones térmicos pero es más interesante
15 con el U-238 para los neutrones epitérmicos. Se obtiene así
una menor conversión del U-238, y por tanto menores efectos de
historia de barra de control. El mayor gasto que representa el
hafnio puede justificarse cuando se utiliza en barras de con-
trol de células C, puesto que constituyen la minoría de las
20 barras de control de núcleo y están sometidas al servicio más
duro. El diseño de barras de control de la figura 9D minimiza
el coste situando el material de hafnio costoso solamente en
la región de la barra de control donde se necesita este mate-
rial para prolongar la vida útil de la barra de control.

25 Finalmente, para reducir el grado de cambio de po-
tencia local en el combustible adyacente cuando se desplaza la
barra de control, es conveniente que el dispositivo de acciona-
miento de barra de control 171 (figura 9A) sea del tipo de mo-
vimiento de precisión. Un dispositivo de accionamiento adecua-
do que combina un movimiento de precisión y una parada rápida
30

1 se describe en la patente de los Estados Unidos N° 3.734.824.

Las barras de control situadas fuera de las células C, es decir las barras de control de las células N, se extraen cuando el núcleo del reactor está funcionando a la potencia nominal. Por tanto, estas barras de control tienen una larga vida útil y pueden realizarse con un material más fuertemente absorbente y más costoso, para obtener la máxima capacidad de apagado.

Un ejemplo de una barra de control 182 y de un dispositivo de accionamiento 172 previstos para ser utilizados en las células N se ilustra en la figura 10. La disposición general de la barra de control 182 es similar a la de la barra de control 181 de la figura 9A. Por tanto, no se repetirá la descripción general.

15 Estando el reactor en estado frío, por ejemplo en el caso de un reactor de agua hirviente, el combustible situado hacia la parte superior del núcleo es más reactivo. Por tanto, en las barras de control de células N es preciso utilizar un material absorbente de neutrones más costoso y más fuerte, solamente en la cuarta parte o en la tercera parte superior de las barras de absorción. En estas condiciones, como se ilustra en la figura 10, las palas especialmente fuertes de apagado de las barras de absorción contienen, por ejemplo, carburo de boro-10 en la tercera parte superior de las palas 56'(1)-56'(4) y el B_4C usual en las dos terceras partes inferiores de su longitud.

Finalmente, el dispositivo de accionamiento de barras de control 172 puede ser relativamente sencillo, asegurando un movimiento paso a paso y de apagado rápido. Un dispositivo de accionamiento adecuado de este tipo se representa, por

1 ejemplo, en la patente de los Estados Unidos N° 3.020.887.

Por consiguiente se ha descrito un diseño y una disposición de barras de combustible y de control para núcleo de reactor nuclear así como un método de explotación por medio del cual el diseño del núcleo y su funcionamiento se simplifican mucho con un riesgo reducido de degradación del combustible. Mediante la reducción sustancial del número de barras de control que han de ser manipuladas a la potencia nominal y gracias a un mayor rigor y a una mayor sencillez en las configuraciones de barras de control, puede obtenerse un funcionamiento automático de las barras de control.

TRADUCCION DE LAS DESCRIPCIONES DE LOS DIBUJOS ORIGINALES

Figura 5

a.- Grupos de células de control.

15 Figuras 6A, 6B, 6C

b.- N_0 - Combustible nuevo (figura 5)

c.- N_1 - Combustible expuesto durante el ciclo presente.

d.- N_2 - Combustible expuesto durante los dos ciclos anteriores.

e.- C_3 y P_3 - Combustible expuesto durante tres ciclos anteriores.

f.- N_0 , C_2 - Combustible expuesto durante dos ciclos anteriores.

g.- N_3 , C_3 , P_3 - Combustible expuesto durante tres ciclos anteriores.

h.- P_4 - Combustible expuesto durante cuatro ciclos anteriores.

Figuras 8A, 8B, 8C, 8D

30 i.- Designaciones de grupos (véase figura 5).

- 1 j.- Posiciones de las barras de control - Porcenta-
je de introducción completa.
- k.- Potencia relativa.
- l.- Porcentaje de introducción completa.
- 5 m.- Potencia en conjunto de combustible nuevo de mo-
delo convencional cuando la barra de control adyacente se ex-
trae hacia el fondo.
- n.- Fondo.
- o.- Longitud axial del combustible.
- 10 p.- Parte superior.
- q.- Técnica anterior.

Figura 9D

r.- Hafnio.

Figura 10

- 15 s.- Boro en la tercera parte superior.
- t.- B_4C en las dos terceras partes interiores.

En resumen, la presente patente de invención que se solicita deberá recaer en las siguientes

REIVINDICACIONES

- 20 1. Método para cargar con combustible y hacer funcio-
nar un núcleo de reactor nuclear que tiene una pluralidad de
células, en el cual cada célula incluye una pluralidad de con-
juntos de combustible individualmente sustituibles que rodean
una barra de control que puede ser introducida selectivamente,
25 parándose dicho reactor después de cada ciclo sucesivo de fun-
cionamiento periódico para el cambio de una fracción de los
conjuntos de combustible de dicho núcleo, caracterizado porque
incluye las operaciones que consisten en:

- (1) diseñar una configuración de dos tipos de célu-
30 las en dicho núcleo, concretamente un grupo de células de con-

1 trol y un grupo de células no previstas para el control, estando dichas células de control separadas las unas de las otras por lo menos por una célula no prevista para el control;

(2) situar unos conjuntos de combustible de reactividad relativamente baja en dichas células de control, siendo su diseño particularmente adaptado para su utilización en dichas células de control;

(3) situar unos conjuntos de combustible de reactividad más elevada en dichas células no previstas para el control, siendo su diseño particularmente adaptado para su utilización ulterior en dichas células de control, siendo dicha reactividad más elevada suficiente para un tiempo de permanencia de dichos conjuntos de combustible en dicho núcleo que corresponde a n ciclos de funcionamiento;

15 (4) hacer funcionar dicho núcleo del reactor durante un ciclo de operación con las barras de control de dichas células no previstas para el control sustancialmente extraídas de dicho núcleo y con las barras de control de por lo menos algunas células de control introducidas selectivamente en dicho núcleo para controlar su nivel de potencia;

(5) apagar dicho reactor para recargar dicho núcleo al final de dicho ciclo;

(6) retirar los conjuntos de combustible de cada una de dichas células de control;

25 (7) cambiar todos los conjuntos de combustible retirados de dichas células de control por conjuntos de combustible irradiados que han sido desplazados desde dichas células no previstas para el control, después de permanecer dichos conjuntos de combustible durante $n-1$ ciclos en dicho núcleo;

30 (8) introducir en dichas células no previstas para

1 el control conjuntos de combustible no irradiados en un número
igual por lo menos al número de los conjuntos de combustible
irradiados desplazados a dichas células de control, proporci-
nando la riqueza de dichos conjuntos de combustible no irradia
5 dos una reactividad suficiente para un tiempo de permanencia
de n ciclos de funcionamiento en dicho núcleo; y

(9) hacer funcionar dicho núcleo del reactor durante
los siguientes ciclos de funcionamiento de acuerdo con las fa-
ses (4)-(8).

10 2. Método según la reivindicación 1, caracterizado
porque dicho funcionamiento de dicho núcleo del reactor es tal
que las palas parcialmente introducidas de las barras de con-
trol no se introducen en zonas adyacentes al combustible de al
ta reactividad.

15 3. Método según las reivindicaciones 1 ó 2, caracte-
rizado porque ciertos conjuntos de combustible contienen un ma
terial absorbente consumible y porque dicho funcionamiento del
núcleo del reactor es tal que las palas parcialmente introduci
das de las barras de control no se introducen en zonas adyacen
20 tes al combustible conteniendo material de absorción consumi-
ble no agotado.

4. Método según la reivindicación 3, caracterizado
porque dichos conjuntos de combustible no irradiados introduci
dos en dichas células no previstas para el control incluye:
25 una pluralidad de elementos de combustible de forma alargada
separados y sustancialmente paralelos dispuestos en una confi-
guración de cuatro lados, eligiéndose dos lados adyacentes del
conjunto para su posicionamiento adyacente a las palas de una
barra de control de dicho núcleo; un grupo central de dichos
30 elementos del combustible de dicho conjunto conteniendo combus

1 tible de riqueza relativamente elevada; un grupo intermedio de
dichos elementos de combustible conteniendo combustible de ri-
queza intermedia inferior a dicha riqueza elevada; un grupo pe-
riférico de dichos elementos de combustible conteniendo combus-
5 tible de riqueza reducida inferior a dicha riqueza intermedia;
unos elementos de combustible situados en las esquinas conte-
niendo combustible de riqueza inferior a dicha riqueza reduci-
da; conteniendo el elemento de combustible de esquina situado
en la esquina formada por dichos lados adyacentes predetermina-
10 dos un combustible de riqueza inferior a la de cualquier otro
elemento combustible de dicho conjunto; conteniendo algunos de
dichos elementos de combustible de dicho conjunto un agente
de absorción consumible; y por lo menos una barra de conduc-
ción de moderador que se extiende a través de dicho grupo cen-
15 tral de dichos elementos de combustible.

5. Método según las reivindicaciones 1-4, caracteri-
zado porque las operaciones (7) y (8) se modifican retirando
solamente algunos conjuntos de combustible de por lo menos al-
gunas células de control y se sustituyen con conjuntos de com-
20 bustible procedentes de las células no previstas para control
que han sido irradiadas durante $n-1$ ciclos.

6. Método según las reivindicaciones 1-4, caracteri-
zado porque las operaciones (7) y (8) se modifican retirando
por lo menos algunos conjuntos de combustible de por lo menos
25 algunas células de control y se sustituyen por conjuntos de
combustible no irradiados de reactividad relativamente reduci-
da.

7. Método según las reivindicaciones 1-4, caracteri-
zado porque las operaciones (7) y (8) se modifican retirando
30 solamente algunos de los conjuntos de combustible de por lo

1 menos algunas de dichas células de control y se sustituyen por
conjuntos de combustible irradiados de reactividad relativamen
te reducida que han sido irradiados en un número de ciclos in-
ferior a $n-1$ ciclos en dichas células no previstas para con-
5 trol.

8. Método según la reivindicación 7, caracterizado
porque solamente los conjuntos de combustible que incluyen un
medio para aumentar la resistencia de los elementos combusti-
bles que contienen a la interacción pastilla-envainado se des-
10 plazan desde dichas células no previstas para el control hasta
dichas células de control.

9. Método según las reivindicaciones 1-8, caracteri-
zado porque incluye las operaciones suplementarias que consis-
ten en designar un grupo de células de control secundarias con
15 teniendo conjuntos de combustible cuyo combustible tiene una
reactividad superior a la reactividad del fluido de dichas cé-
lulas de control aunque inferior a la reactividad del combusti-
ble de las células no previstas para el control, en utilizar
las barras de control de dichas células de control secundarias
20 durante el arranque del reactor y el acercamiento al funciona-
miento a la potencia máxima y en mantener extraídas las barras
de control de dichas células de control secundarias durante el
funcionamiento a la potencia máxima.

10. Método según las reivindicaciones 1-9, caracteri-
25 zado porque incluye la operación que consiste en situar barras
de control teniendo puntas "gris" en dichas células de con-
trol, proporcionando dichas puntas "gris" una fuerza de con-
trol progresivamente decreciente a lo largo de una parte de
las extremidades superiores de las barras de control.

30 11. Método según las reivindicaciones 1-10, caracte-

1 rizado porque incluye la operación que consiste en situar haf-
nio en las porciones superior y laterales de las barras de con-
trol de dichas células de control, estando el resto del mate-
rial absorbente de neutrones constituido por boro en dichas ba-
5 rras de control de dichas células de control.

12. Método según las reivindicaciones 1-11, caracte-
rizado porque incluye la operación que consiste en situar ba-
rras de control que tienen una capacidad de control superior
en sus porciones superiores con relación a la que tienen en
10 sus porciones inferiores, en dichas células no previstas para
el control.

13. Método según las reivindicaciones 1-12, caracte-
rizado porque incluye la operación que consiste en situar car-
buro de boro-10 en la parte superior de las barras de dichas
15 células no previstas para el control que representa entre la
cuarta parte y la tercera parte de la longitud de estas barras,
conteniendo sus porciones inferiores B_4C natural.

14. Método según las reivindicaciones 1-13, caracte-
rizado porque los conjuntos de combustible situados en dichas
20 células de control en la operación (2) están diseñados particu-
larmente para tolerar en su proximidad el movimiento de barras
de control, conteniendo los elementos de combustible del con-
junto adyacente al canal de barras de control de la célula com-
bustible de riqueza reducida y no conteniendo material de ab-
25 sorción consumible.

15. Método para cargar con combustible y hacer fun-
cionar un núcleo del reactor nuclear que tiene una pluralidad
de conjuntos de combustible individualmente recambiables que
rodean una barra de control que puede ser introducida selecti-
30 vamente, y en el cual dicho reactor se para después de cada

1 ciclo sucesivo de funcionamiento periódico para la sustitución de una fracción de los conjuntos de combustible del núcleo, estando dicho método caracterizado porque incluye las operaciones que consisten en;

5 (1) diseñar en dicho núcleo una configuración de células que incluye un primer grupo de células de control en número suficiente para que sus barras de control sean capaces de controlar dicho núcleo a la potencia nominal, estando las células de este grupo separadas las unas de las otras por lo
10 menos por una célula de otros grupos de células,

un segundo grupo de células de control en número suficiente para que sus barras de control puedan controlar dicho núcleo a la potencia nominal, estando sus células separadas las unas de las otras por lo menos por una célula de otros grupos de células, estando las células de dicho segundo grupo de
15 células de control dispuestas en posiciones de células diferentes en dicho núcleo con relación a las células de dicho primer grupo de células de control, y

un grupo de células no previstas para el control, cuyas células están situadas entre las células de dichos primero
20 y segundo grupos de células de control;

(2) situar dichos conjuntos de combustible de reactividad relativamente reducida en las células de dicho primer grupo de células de control;

25 (3) situar en dichas células no previstas para el control conjuntos de combustible de reactividad más elevada que incluyen por lo menos algunos conjuntos de combustible no irradiado que tienen una reactividad suficiente para permanecer en dicho núcleo durante n ciclos de funcionamiento;

30 (4) situar en las células de dicho segundo grupo de

1 las células de control conjuntos de combustible proporcionando
una reactividad media incluida entre la reactividad media de
las células de dicho primer grupo de las células de control y
la reactividad media de dichas células no previstas para el
5 control, habiendo sido irradiados por lo menos algunos de los
conjuntos de combustible situados en dicho segundo grupo de cé-
lulas de control durante n-2 ciclos de funcionamiento;

(5) hacer funcionar dicho núcleo del reactor durante
un ciclo de funcionamiento con las barras de control de dicho
10 segundo grupo de células de control y de dichas células no pre-
vistas para el control sustancialmente extraídas a la potencia
nominal y con las barras de control de por lo menos algunas de
las células de dicho primer grupo de las células de control in-
troducidas selectivamente para controlar el núcleo del reactor;

15 (6) apagar dicho reactor para recargar dicho núcleo
al final de cada ciclo;

(7) retirar por lo menos algunos conjuntos de combus-
tible de cada una de las células de dicho primer grupo de célu-
las de control y cambiarlos por conjuntos de combustible de ma-
20 yor reactividad;

(8) retirar por lo menos algunos de los conjuntos de
combustible de dichas células no previstas para el control y
cambiarlos por conjuntos de combustible no irradiados;

(9) situar en las células de dicho segundo grupo de
25 células de control conjuntos de combustible de reactividad re-
lativamente reducida, manteniendo en ellas por lo menos alguno
de los conjuntos de combustible que han sido irradiados duran-
te n-1 ciclos de funcionamiento, con lo cual se minimiza el mo-
vimiento de los conjuntos de combustible durante dicha recar-
30 ga; y

1 (10) hacer funcionar dicho núcleo del reactor duran-
te otro ciclo de funcionamiento con las barras de control de
las células de dicho primer grupo de células de control y de
dichas células no previstas para el control sustancialmente ex
5 traídas a la potencia nominal y con las barras de control de
por lo menos algunas de las células de dicho segundo grupo de
las células de control introducidas selectivamente para contro
lar el núcleo del reactor.

10 16. Método según la reivindicación 15, caracterizado
porque en la operación (7) la sustitución de los conjuntos de
combustible de las células de dicho primer grupo de células de
control incluye por lo menos algunos conjuntos de combustible
que han sido irradiados durante n-2 ciclos de funcionamiento,
con lo cual, para el siguiente ciclo de funcionamiento se si-
15 tua un combustible de reactividad reducida en las células de
dicho primer grupo de células de control y sus barras de con-
trol se introducen selectivamente para controlar el núcleo del
reactor con las barras de control de las células de dicho se-
gundo grupo de células de control y de dichas células no previs
20 tas para el control sustancialmente extraídas del núcleo a la
potencia nominal.

25 17. Método según las reivindicaciones 15 ó 16, carac-
terizado porque durante la operación (8) los conjuntos de com-
bustible que están situados en dichas células no previstas pa-
ra el control incluyen una mezcla en proporciones iguales de
conjuntos de combustible que han sido irradiados durante n-3
ciclos y de conjuntos de combustible no irradiados.

30 18. Método según las reivindicaciones 15-17, caracte-
rizado porque incluye la operación suplementaria que consiste
en situar conjuntos de combustible de reactividad relativamen-

1 te reducida en posiciones periféricas de conjuntos de combus-
tible de dicho núcleo.

19. Método según la reivindicación 18, caracterizado
porque incluye la operación suplementaria que consiste en si-
5 tuar conjuntos de combustible de reactividad más elevada en po-
siciones de conjuntos de combustible intermedios de dicho nú-
cleo entre dichas posiciones periféricas de conjuntos de com-
bustible y dichos grupos de células.

20. Método según la reivindicación 19, caracterizado
10 porque incluye la operación que consiste en desplazar por lo
menos algunos de los conjuntos de combustible de dichas posi-
ciones intermedias de conjuntos de combustible hasta posicio-
nes de células no previstas para el control durante dicha car-
ga.

15 21. Método según las reivindicaciones 18-20, caracte-
rizado porque por lo menos una parte de los conjuntos de com-
bustible situados en dichas posiciones periféricas de conjun-
tos de combustible han sido irradiados y están dispuestos en
dichas posiciones periféricas durante su último ciclo de fun-
20 cionamiento en dicho núcleo.

22. Método según las reivindicaciones 15-21, caracte-
rizado porque incluye la operación que consiste en situar ba-
rras de control provistas de puntas "gris" en las células de
dichos primero y segundo grupos de células de control, propor-
25 cionando dichas puntas "gris" una fuerza de control que dismi-
nuye progresivamente a lo largo de una parte de las extremida-
des superiores de las barras de control.

23. Método según las reivindicaciones 15-22, caracte-
rizado porque incluye la operación que consiste en situar
30 hafnio en las porciones superior y laterales de las barras de

1 control en las células de dichos primero y segundo grupos de células de control, estando constituido por boro el resto del material absorbente de neutrones contenido en las barras de control de estas células.

5 24. Método según las reivindicaciones 15-23, caracterizado porque incluye la operación que consiste en situar unas barras de control que tienen una fuerza de control más importante en su porción superior que en su porción inferior, en dichas células no previstas para el control.

10 25. Método según las reivindicaciones 15-24, caracterizado porque incluye la operación que consiste en situar carburo de boro-10 en la zona incluida entre la cuarta parte y la tercera parte superior de las barras de control de dichas células no previstas para el control, conteniendo sus porciones inferiores B_4C .

15 26. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita por: "METODO PARA CARGAR CON COMBUSTIBLE Y HACER FUNCIONAR UN NUCLEO DE REACTOR NUCLEAR".

20 Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente Memoria descriptiva que consta de cincuenta y cinco páginas mecanografiadas y dibujos adjuntos.

Madrid, 17 de octubre de 1.979

BERNARDO UNGRIA

P.P.

25

30

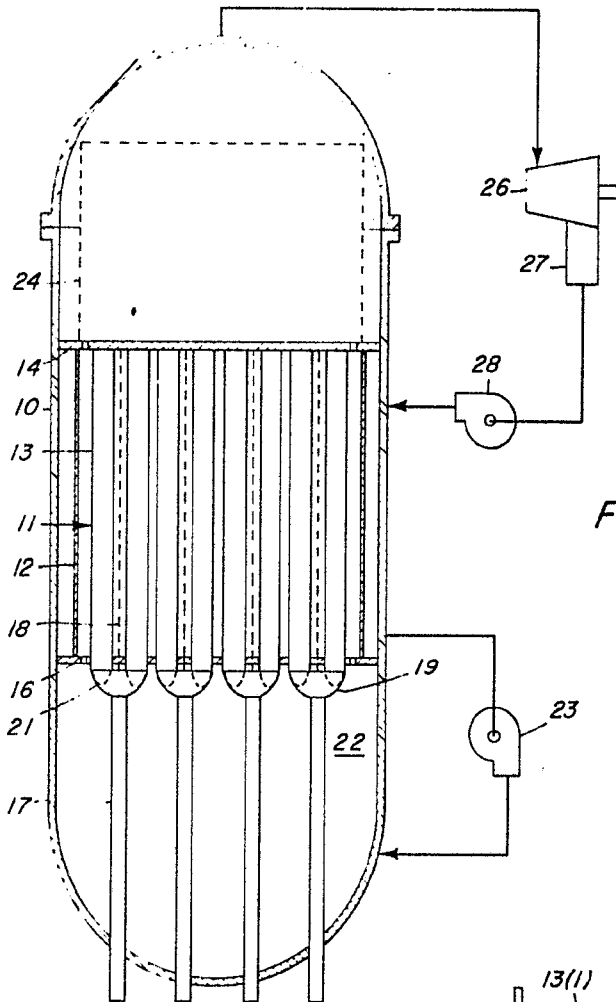


Fig. 1

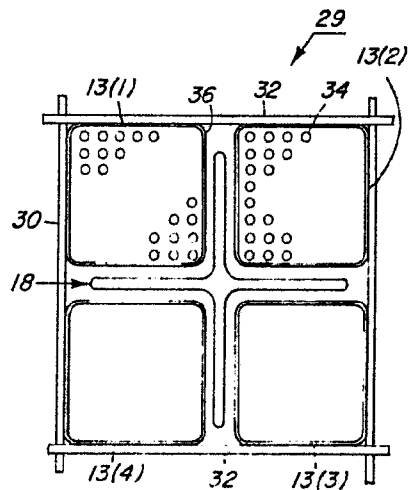


Fig. 2

BOCINA VARIANTE
del 17 de octubre de 1970
EDUARDO MORA

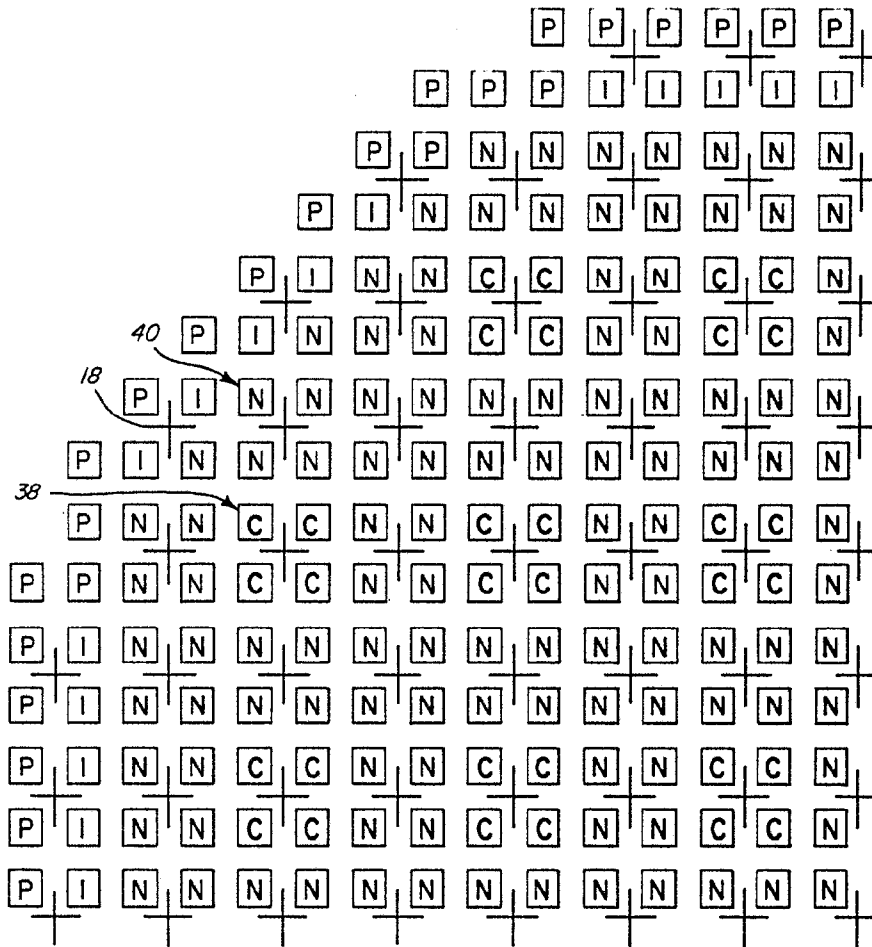
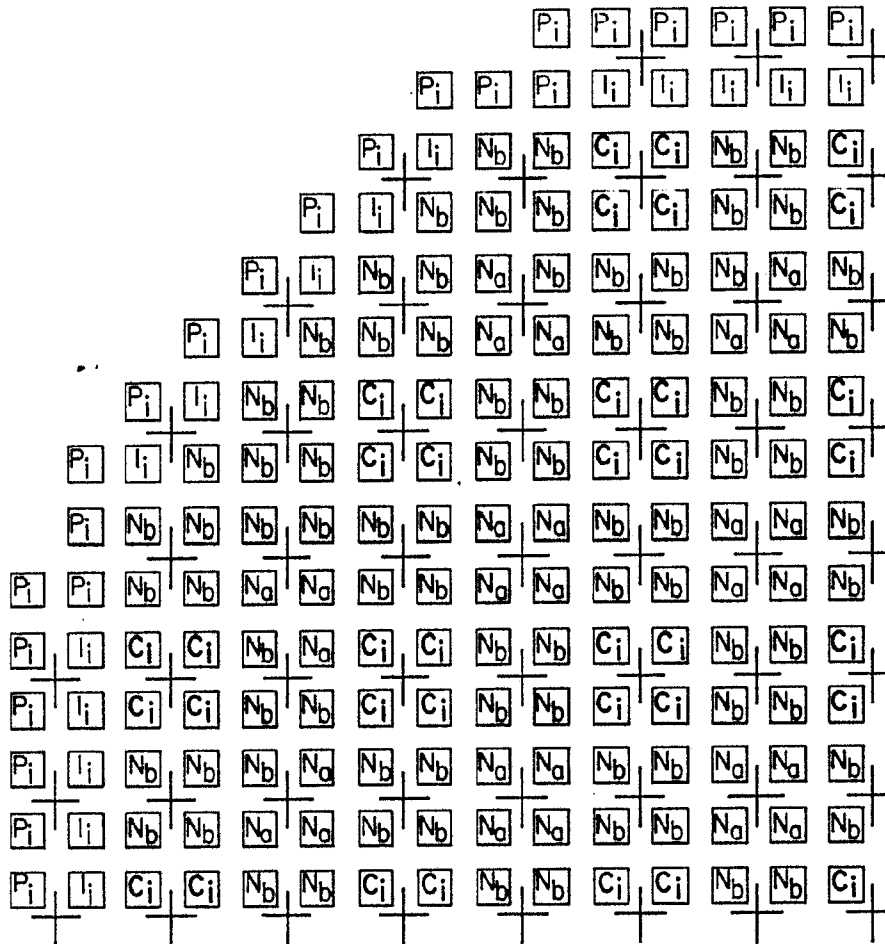


Fig. 3B

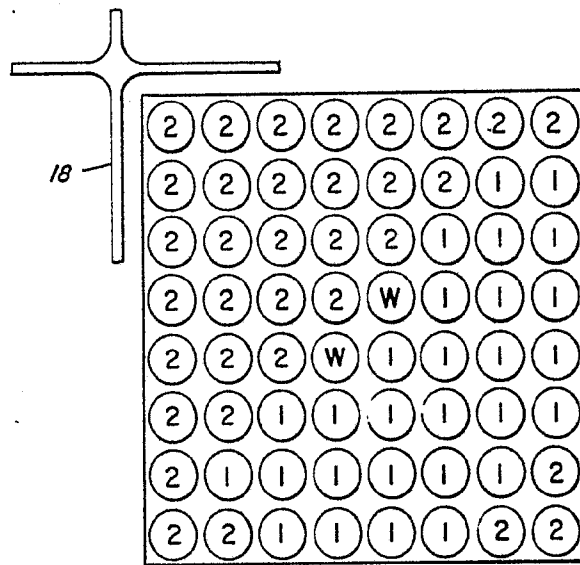
BOGALA VANTAPUR
Kadapa, 10 de Setembro de 1952
SIVARAO



- Ci - Fig. 4B
- Na - Fig. 4C
- Nb - Fig. 4D
- Ii - Fig. 4E
- Pi - Fig. 4F

Fig. 4A

ESCALA VARIABLE
 Madrid, 17 de octubre de 1.970
 BERNARDO J. J. J.



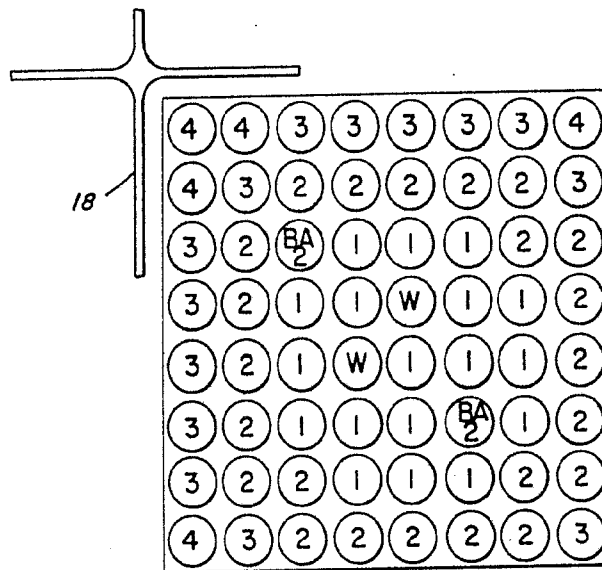
Ci

<u>EL</u>	<u>No.</u>	<u>U-235 w/o</u>
1	27	1.2
2	35	0.711

Fig. 4B

ESCALA VARIABLE
 Madrid, 17 de octubre de 1.979
 BERNARDO INGRERA

P. G.

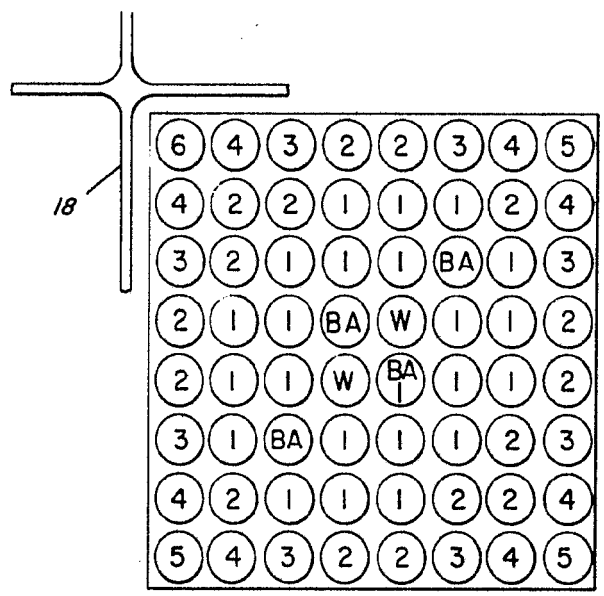


N_a

<u>EL</u>	<u>No.</u>	<u>U-235 %</u>	<u>Gd %</u>
1	18	2.2	
2	23 & 25	1.7	
3	14	1.2	
4	5	0.711	
5	0 & 2	1.7	6

Fig. 4C

ESCALA VARIABLE
 Habana, 17 de octubre de 1959
 BENIGNO VIGOREA

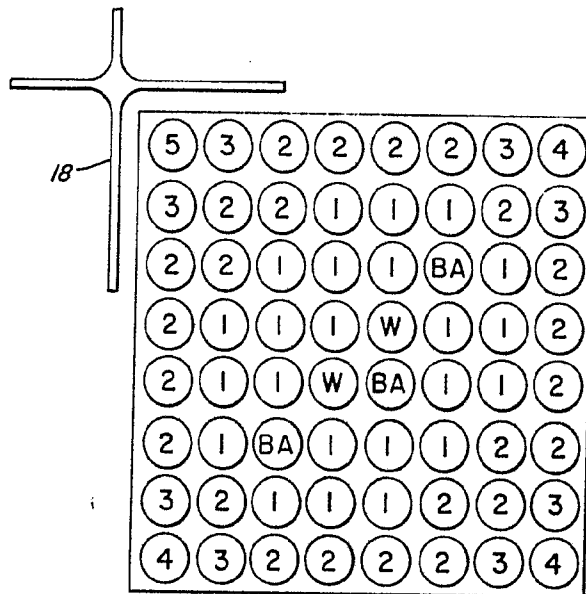


Nb

EL	No.	U-235 %	Gd %
1	22 & 23	3.3	
2	16	2.4	
3	8	2.2	
4	8	2.0	
5	3	1.7	
6	1	1.2	
BA	4 & 3	3.0	5

Fig. 4D

APPROVED FOR RELEASE BY THE NATIONAL ARCHIVES
 REF ID: A66302



I_i

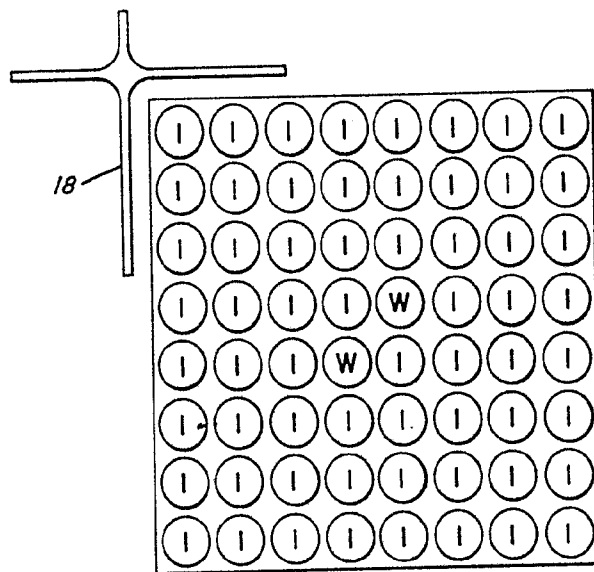
<u>EL</u>	<u>No.</u>	<u>U-235 %</u>	<u>Gd %</u>
1	23	3.8	
2	24	2.6	
3	8	2.2	
4	3	1.7	
5	3	1.2	
BA	1	3.0	3

Fig. 4E

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

APR 1970

[Handwritten Signature]



P_i

<u>EL</u>	<u>No.</u>	<u>U-235 %</u>
1	62	0.711

Fig. 4F

ESPAÑA VARIANTE
Madrid, 17 de octubre de 1972
BERNABO LIGUERA

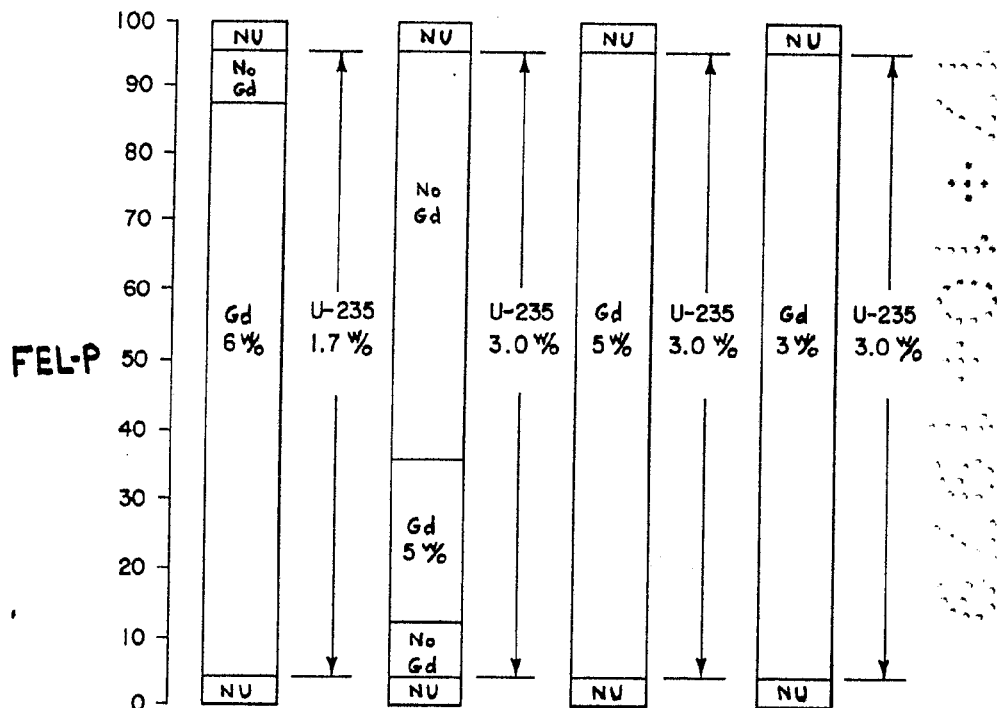
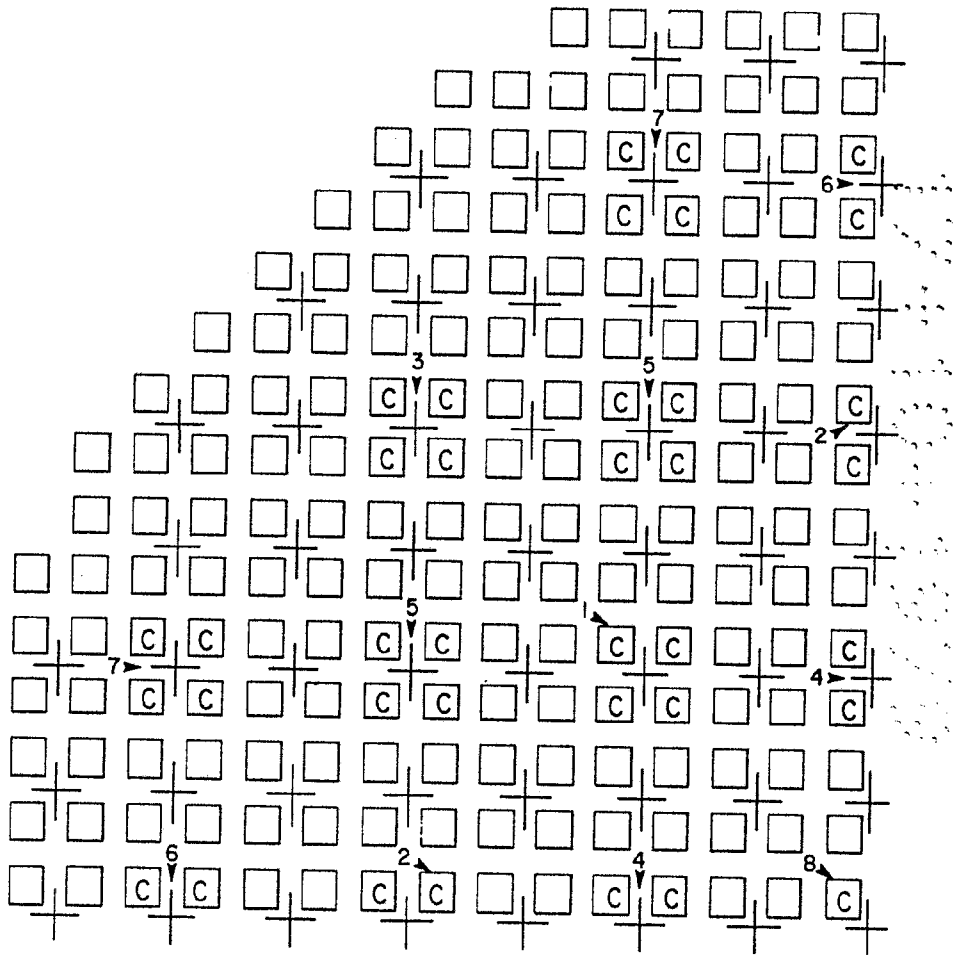


Fig. 46

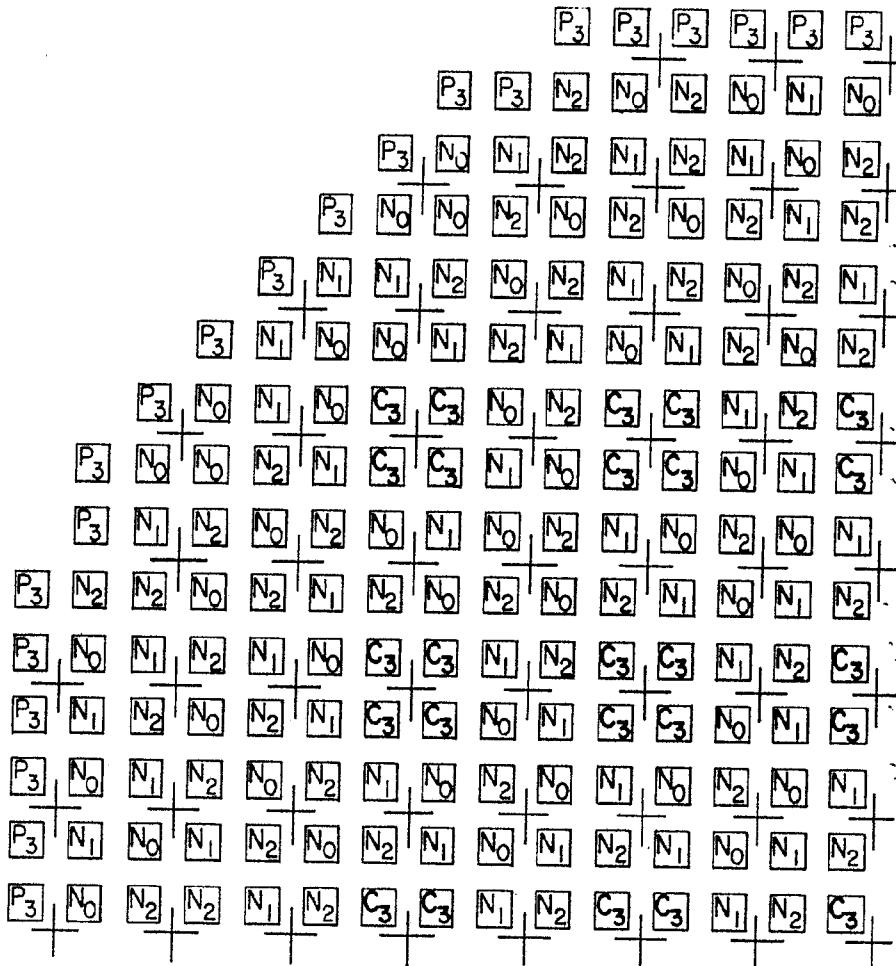
BOCALA VARIABLE
 Madrid, 17 de octubre de 1953
 BERNARDO UNGER



a

Fig. 5

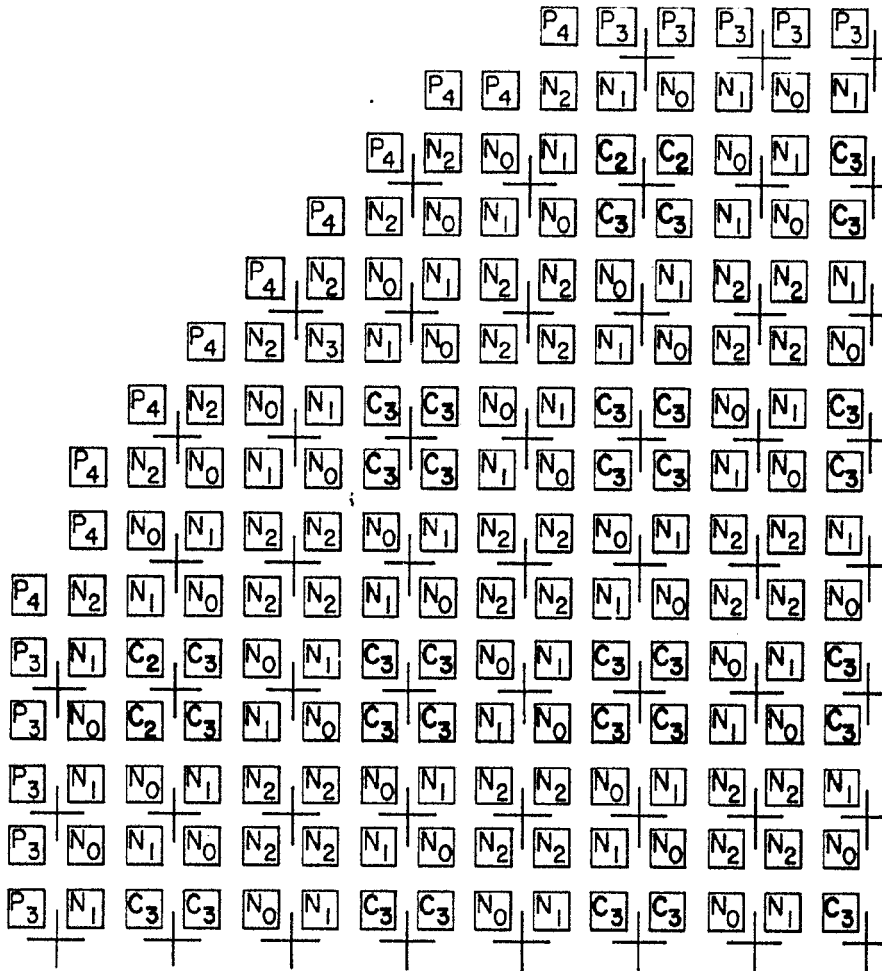
DO NOT WRITE IN THESE SPACES



b N₀ - (Fig. 7)
 c N₁ -
 d N₂ -
 e C₃ & P₃ -

Fig. 6A

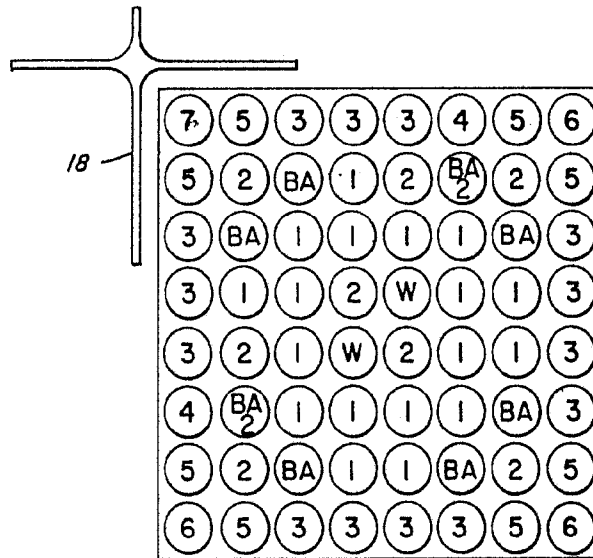
BOUND VARIABLE
 Model 1, 17, in reference to 2.002
 boundary point



- b N₀ - (Fig. 7)
- c N₁ -
- b N₂, C₂ -
- c N₃, C₃, P₃ -
- b P₄ -

Fig. 6B

BOONDA VARENNIT
 Kadell, 17 de octubre de 1957
 2211-1100



<u>EL</u>	<u>No.</u>	<u>U-235 %</u>	<u>Gd %</u>
1	18	3.8	
2	8 + 10	3.0	
3	14	2.6	
4	2	2.4	
5	8	2.2	
6	3	1.7	
7	1	1.2	
BA	8 + 6	3.0	3

Fig. 7

ESCALA VARIABLE
 No. 17 de octubre de 1.970
 BERNARDO V. GRIJA

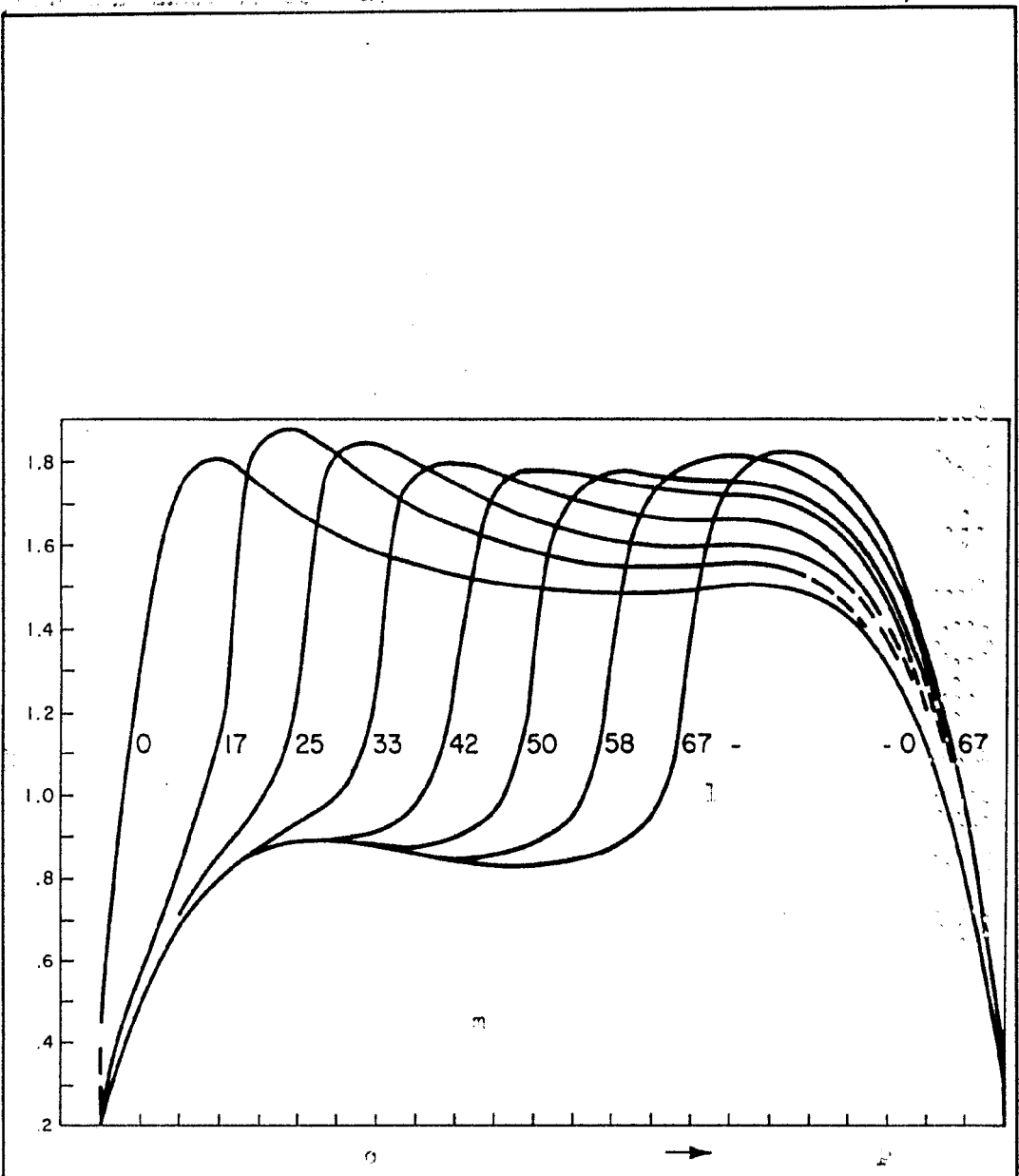


Fig. 8B

EXONIA VENTURA
1980, 17 de octubre de 1980
EDUARDO VENTURA

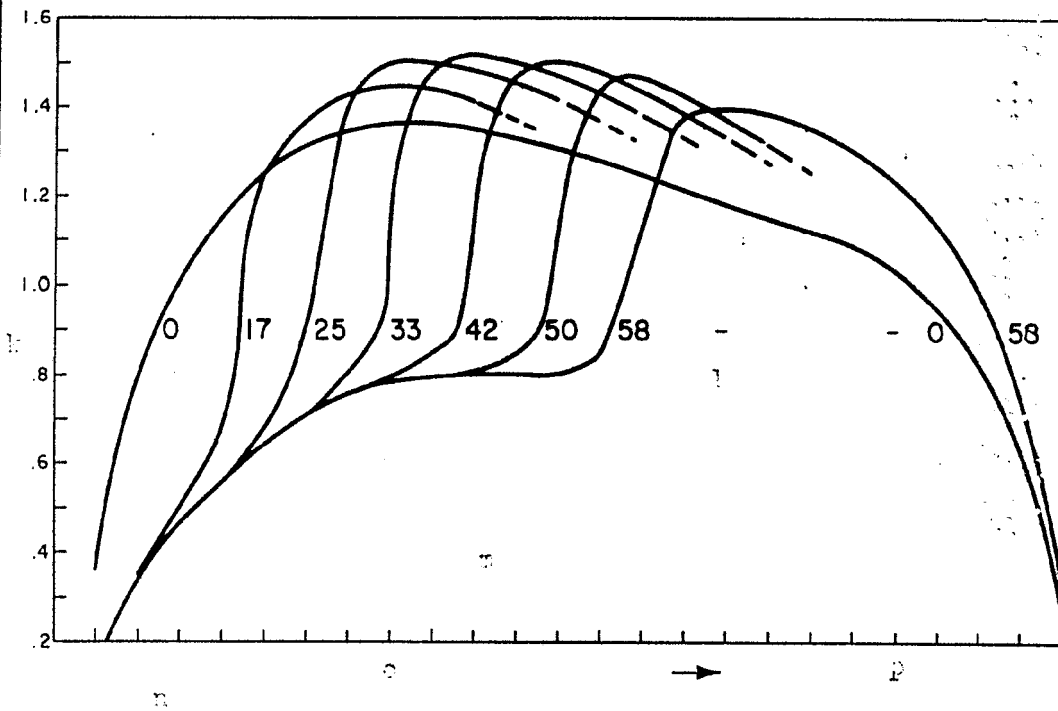
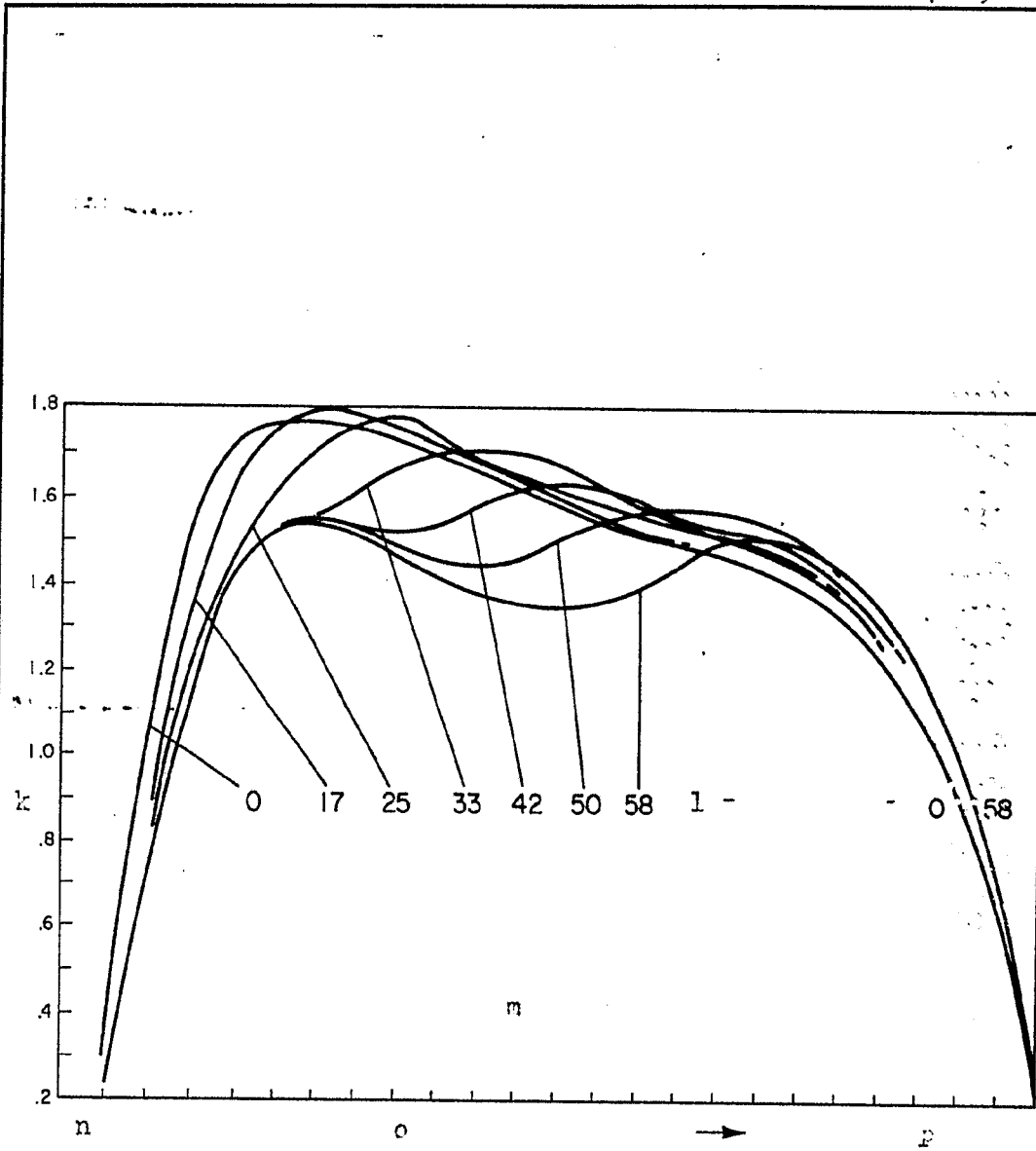


Fig. 8C

INFORMAL VARIABLE
Defined, 10-16-58, in 2-100
REPLY 10/11/58



q Fig. 8D

ESCALA VARIABLE
Madrid, 17 de octubre de 1.930
BERNARDO NGRIA

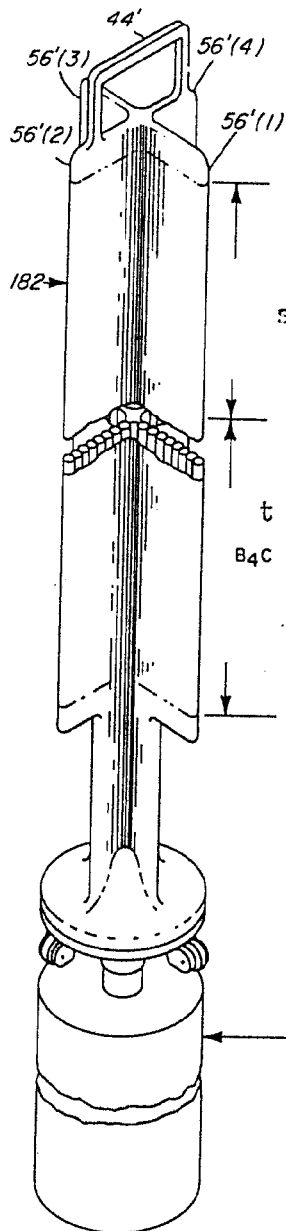


Fig. 10

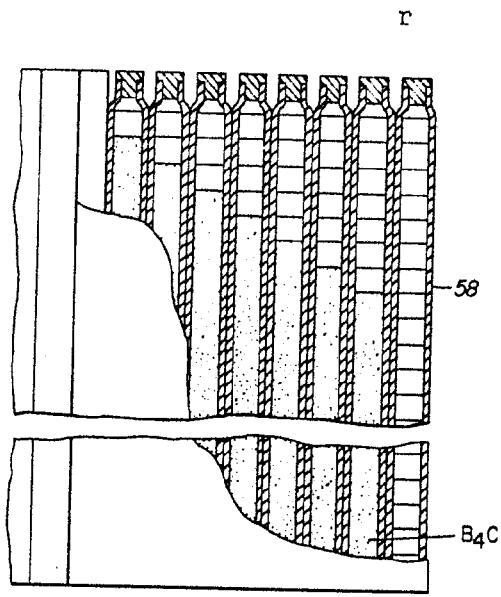


Fig. 9D

ESCALA VARIABLE
Madrid, 17 de octubre de 1.979
BERNARDO VICENT