

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 615**

51 Int. Cl.:

**G21C 5/00** (2006.01)

**G21C 19/20** (2006.01)

**G21C 3/326** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2005 E 05018755 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2015 EP 1647994**

54 Título: **Procedimiento de implementación de una configuración de conjuntos combustible de un núcleo inicial**

30 Prioridad:

**15.10.2004 US 966907**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**25.09.2015**

73 Titular/es:

**WESTINGHOUSE ELECTRIC COMPANY LLC  
(100.0%)  
P.O. BOX 355  
PITTSBURGH, PA 15230-0355, US**

72 Inventor/es:

**STUCKER, DAVID L.;  
FETTERMAN, ROBERT J. y  
BRADFUTE, JEFFREY L.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 546 615 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de implementación de una configuración de conjuntos combustible de un núcleo inicial

**Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

- 5 La presente invención se refiere, en general, a conjuntos combustible para un reactor nuclear y, más concretamente, a un procedimiento avanzado de gestión del combustible por medio de una disposición de conjuntos combustible nucleares dentro del núcleo inicial de un reactor de agua ligera.

**Información de antecedentes**

- 10 Los modernos reactores comerciales de energía nuclear son abastecidos de combustible con uranio con un contenido en U-235 ligeramente enriquecido. El núcleo del reactor está formado por numerosos conjuntos combustible alargados, rectangulares, dispuestos dentro de una vasija cilíndrica. Los conjuntos combustible están dispuestos de acuerdo con un patrón de carga concebido para satisfacer determinadas exigencias técnicas, como la distribución de potencia, incluyendo los límites de los picos de potencia dentro del núcleo. Otras consideraciones incluyen la potenciación al máximo del ciclo de combustible, o el tiempo requerido entre los reabastecimientos de combustible. La configuración de la carga inicial, el plan de sustitución y la disposición del combustible durante la vida del reactor son consideradas como gestión del combustible en el núcleo, y es una consideración del diseño del reactor nuclear importante. El uso del combustible U-235 ligeramente enriquecido necesita que las porciones del núcleo sean periódicamente retiradas y sustituidas por combustible nuevo o fresco. Así, es habitual combinar nuevos conjuntos combustible procedentes de ciclos de combustible anteriores. Unas existencias típicas de conjuntos combustible incluyen cerca de un tercio de nuevos conjuntos combustible, generalmente designados como conjuntos combustible, aproximadamente un tercio de conjuntos combustible quemados una vez y aproximadamente un tercio de conjuntos combustible quemados dos veces.

- 25 Por consiguiente, el patrón de carga de combustible para el primer núcleo de un reactor nuclear, por ejemplo un reactor de agua ligera, generalmente utiliza tres zonas de enriquecimiento en base al enriquecimiento medio de U-235 de los conjuntos combustible con una zona determinada, presentando cada zona unas proporciones genéricamente iguales. La Figura 1 representa una representación esquemática de dicho patrón de carga conocido de la técnica anterior 2 que utiliza tres lotes de combustible de tamaño genéricamente igual 4, 6, 8. Un lote es un grupo de conjuntos combustible que están típicamente situados en el interior y, a continuación, que son permanentemente retirados del núcleo 14 de forma conjunta. Nótese que el patrón mostrado en la Figura 1 ilustra solo un octavo del núcleo de reactor 14 y adopta una simetría del núcleo. Las zonas incluyen dos zonas de enriquecimiento bajo 4, 6 las cuales, según se muestra, están generalmente cargadas en una forma de tablero de ajedrez hacia el interior del reactor 10, y una zona de enriquecimiento elevada 8 que está cargada fundamentalmente en la periferia del reactor 12.

- 35 La longitud del ciclo de recarga de combustible para los núcleos 14 ensamblados de acuerdo con la disposición precedente se ajusta modificando los enriquecimientos de todas las zonas 4, 6 8 de una manera sustancialmente igual. Sin embargo esto provoca la desventaja de una utilización del combustible relativamente deficiente debido fundamentalmente a las fugas elevadas neutrónicas provocadas por la zona de elevado enriquecimiento 8 que está dispuesta en la periferia del reactor 12. Así mismo, el uso de tres regiones genéricamente de igual tamaño en las zonas 4, 6, 8 es inconsistente con las prácticas de gestión de combustible actuales de la industria con respecto a los ciclos de recarga, en las que la fracción de reabastecimiento de combustible varía en función de la longitud del ciclo deseada. Un ciclo es el tiempo durante el cual la disposición del combustible normalmente fijo dentro del núcleo del reactor no es modificado, empezando habitualmente con la sustitución de un lote de alimentación, o de un lote de combustible fresco, dentro del núcleo y finalizando con la retirada de los conjuntos combustible quemados en alto grado. El número de quemados que un conjunto combustible ha experimentado es el número de ciclos que ha habido en el núcleo del reactor. Un ciclo típico podría oscilar entre 10 y 18 meses de duración. A modo de ejemplo, los ciclos de 18 meses de acuerdo con la técnica anterior referida requieren que aproximadamente un 40% del núcleo sea sustituido en cada ciclo, comprendiendo típicamente la sustitución una mezcla de conjuntos combustible que presentan enriquecimientos tanto altos como bajos. Por tanto, se debe apreciar que el uso de lotes de igual tamaño provoca la descarga de regiones o zonas de enriquecimiento bajo con quemaduras muy bajas, al tiempo que requieren una inversión financiera considerable. Por consiguiente, dicha práctica no es eficiente y resulta escasamente económica. Los grandes ahorros en los costes globales de combustible se consiguen reduciendo al mínimo el enriquecimiento inicial requerido para conseguir un esquema de gestión de combustible equilibrado.

- 55 Además de la falta de eficiencia de los procedimientos de la técnica anterior para establecer los núcleos iniciales está el hecho de que dichos procedimientos se realizan sobre una base *ad hoc*, llevada a cabo sobre una base de un sistema de tanteo que se basa en años de experiencia en la técnica. No hay un enfoque sistemático para desarrollar el primer núcleo. En cuanto tales, los núcleos iniciales creados por dichos procedimientos deben ser creados de forma conservadora con una construcción con un margen de error, lo que provoca que el núcleo lleve más tiempo del necesario para alcanzar el equilibrio, incrementado con ello los costes.

Los documentos US4324615, US2004196946, US3432389 y US6504889 divulgan procedimientos de la técnica anterior de realización de núcleos inicialmente zonificados utilizando lotes de conjuntos combustible de diferente enriquecimiento.

5 Es deseable, por tanto, evitar las consecuencias desfavorables de los costes de los ciclos de combustible asociadas con esquemas de gestión conocidos del núcleo inicial del combustible nuclear. Existe la necesidad, por tanto, de un procedimiento avanzado de realización de núcleos iniciales de reactores nucleares.

Por consiguiente, hay campo para la mejora en la técnica de la gestión del combustible dentro del núcleo para reactores nucleares incluyendo la disposición de conjuntos combustible de núcleo inicial y en procedimientos de realización de los mismos.

10 **Sumario de la invención**

Estas y otras necesidades se satisfacen en la presente invención, la cual se refiere a un procedimiento de carga de un núcleo inicial para un reactor nuclear de forma que sustancialmente imite el núcleo de recarga de un ciclo equilibrado altamente económico y eficiente de un reactor nuclear.

15 En un aspecto de la divulgación, correspondiente a la invención, según se definen la reivindicación 1, se proporciona un procedimiento para la realización de un núcleo inicial económico para un reactor.

20 El procedimiento incluye la provisión de unos haces de la pluralidad de conjuntos combustible, en el que los haces incluyen al menos unos lotes de combustible altamente enriquecidos, unos lotes de combustible enriquecidos en menor medida y unos lotes de combustible enriquecidos en la menor medida. El núcleo de recarga del ciclo de equilibrio incluye unos lotes de conjuntos combustible de alimentación, unos conjuntos de combustible quemados una vez y unos conjuntos combustible quemados una vez, en los que los conjuntos combustible de alimentación presentan el enriquecimiento de uranio 235 medio más elevado, los conjuntos combustible quemados una vez presentan un combustible menos enriquecido y los conjuntos combustible quemados dos veces presentan el combustible menos enriquecido, y en el que los lotes de combustible altamente enriquecido del núcleo inicial tienen aproximadamente el mismo tamaño y enriquecimiento que el lote de combustible de alimentación del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio.

25 El procedimiento incluye además la etapa de aproximar la reactividad de los lotes de combustible quemados una vez y de los lotes de combustible quemados dos veces del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio en el ciclo inicial mediante el empleo de lotes de combustible dentro del núcleo inicial que presentan enriquecimientos medios iniciales basados en la reactividad no nula, comenzando la quemadura del ciclo y el enriquecimiento inicial del combustible quemado una vez y dos veces del núcleo del ciclo de recarga de equilibrio.

30 Uno o más de los lotes de combustible del núcleo inicial pueden incluir uno o más sublotes que comprendan conjuntos combustible de similar enriquecimiento medio. El procedimiento puede incluir la provisión, como lotes de combustible altamente enriquecidos, dos sublotes de elevado enriquecimiento dimensionados y enriquecidos para imitar los lotes de combustible de alimentación del núcleo del ciclo de recarga de equilibrio conocido. Los sublotes de enriquecimiento elevado son cargados hacia el interior del núcleo inicial y los lotes de combustible de enriquecimiento bajo son fundamentalmente cargados en la periferia del núcleo inicial-

35 El procedimiento incluye la provisión de un diseño de rejilla avanzado para el núcleo inicial, en el que el diseño de rejilla está estructurado para compensar un gran pico de flujo de neutrones térmicos, lo cual se traduce en que los lotes de combustible altamente enriquecidos dentro de la configuración del núcleo inicial están dispuestos en posición adyacente a los lotes de combustible menos enriquecido dentro de la configuración del núcleo central. El diseño de rejilla avanzado puede incluir un patrón genéricamente cuadrado de filas adyacentes de varillas de combustible en el que las varillas de combustible incluyan al menos seis tipos de varillas de combustible diferentes en cuanto a enriquecimiento medio desde las menos enriquecidas a las más enriquecidas y en la que la rejilla avanzada dispone de al menos varillas de combustible enriquecidas en las esquinas del patrón genéricamente cuadrado, la siguiente a las varillas de combustible menos enriquecidas en las filas más exteriores del patrón genéricamente cuadrado y las varillas de combustible más enriquecidas hacia el centro del patrón genéricamente cuadrado.

40 En otro aspecto de la divulgación, que no forma parte de la invención reivindicada, un núcleo inicial avanzado para un reactor nuclear comprende: una pluralidad de conjuntos combustible que presentan diferentes enriquecimientos de uranio 235 medios, en la que el núcleo inicial está cargado disponiendo una pluralidad de conjuntos combustible en una configuración que imita el núcleo del ciclo de recarga de equilibrio conocido, al menos en términos de distribución espacial de la reactividad.

45 El núcleo inicial avanzado puede incluir haces de la pluralidad de conjuntos combustible en los que los haces incluyan al menos unos lotes de combustible altamente enriquecidos, lotes de combustible menos enriquecidos y lotes de combustible lo menos enriquecido. El núcleo de carga del ciclo de equilibrio puede incluir lotes de conjuntos combustible de alimentación, conjuntos combustible quemados una vez y conjuntos combustible quemados dos veces, en los que los conjuntos combustible de alimentación presenten el enriquecimiento de uranio 235 medio más

elevado, los conjuntos combustible quemados una vez presenten un combustible menos enriquecido y los conjuntos combustible quemados dos veces presenten el combustible menos enriquecido y en el que los conjuntos combustible altamente enriquecidos del núcleo inicial tengan aproximadamente el mismo tamaño y enriquecimiento que el lote de combustible de alimentación del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio.

5 La reactividad de los lotes de combustible quemados una vez y de los lotes de combustible quemados dos veces del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio pueden ser aproximados en el núcleo inicial mediante el uso de lotes de combustible en el núcleo inicial que presenten un enriquecimiento medio inicial en base a la reactividad no nula, comenzando la combustión nuclear y el enriquecimiento inicial del combustible quemado una vez y dos veces del núcleo del ciclo de recarga de equilibrio. Uno o más de los lotes de combustible del núcleo inicial pueden incluir uno o más sublotes que comprenden conjuntos combustible de similar enriquecimiento mutuo. Los lotes de combustible altamente enriquecidos del núcleo inicial pueden incluir dos sublotes de enriquecimiento elevado dimensionados y enriquecidos para imitar los lotes de combustible de alimentación del núcleo del ciclo de recarga de equilibrio conocido. Los sublotes de enriquecimiento elevados pueden ser cargados hacia el interior del núcleo inicial y los lotes de enriquecimiento bajo de combustible pueden ser cargados fundamentalmente en la periferia del núcleo inicial.

El núcleo inicial avanzado puede incluir un diseño de rejilla avanzado en el que el diseño de rejilla avanzado esté estructurado para compensar un pico de un flujo de neutrones térmicos que se traduzca en que los lotes de combustible altamente enriquecidos situados dentro de la configuración del núcleo inicial estén dispuestos en posición adyacente a los lotes de combustible menos enriquecidos situados dentro de la configuración del núcleo inicial.

### **Breve descripción de los dibujos**

Una comprensión cabal de la invención puede ser obtenida a partir de la descripción subsecuente de los ejemplos tomados en combinación con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

25 La Figura 1 es un diagrama esquemático del patrón de carga de un núcleo inicial de un reactor nuclear, que muestra un octavo del núcleo y que adopta una simetría del núcleo.

La Figura 1A es un diagrama esquemático del entero núcleo, mostrado como un contorno de un dibujo en línea de puntos, y que destaca el emplazamiento dentro del núcleo de la sección de un octavo de la Figura 1.

30 La Figura 2 es un diagrama esquemático de un núcleo de recarga del ciclo de equilibrio para un reactor nuclear.

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un núcleo inicial avanzado de acuerdo con la presente divulgación.

35 La Figura 4 es un diagrama esquemático del cuadrante izquierdo superior de un diseño de rejilla avanzado para el núcleo inicial de la Figura 3, en el que la formación de varillas combustible mostrada adopta una simetría de la rejilla.

La Figura 4A es un diagrama esquemático de la entera rejilla esbozada en un dibujo en línea de puntos y que muestra el emplazamiento en su interior de la porción de rejilla ilustrada en la Figura 4.

### **Descripción de los ejemplos**

40 La invención se describirá en su aplicación a un procedimiento de realización inicial de núcleos para reactores nucleares de agua ligera que utilizan datos para un núcleo de recarga de un ciclo de equilibrio de 18 meses, aunque debe resultar evidente que podría igualmente ser aplicado a otros ciclos de recarga de combustible con independencia del número de lotes de combustible utilizados. Así mismo, se debe apreciar que las figuras y la correspondiente divulgación de la presente memoria simplemente facilitan ejemplos representativos de núcleos iniciales generados a través de la aplicación del procedimiento de la presente invención y, por tanto, no son limitativos del alcance de la invención.

Antes de proceder de forma más detallada a la descripción de la presente invención, es importante ofrecer una panorámica general de la terminología habitualmente empleada en la industria de la energía nuclear según se aplica en la presente memoria. Determinados términos en este campo, fueron descritos en la sección anterior de Información de Antecedentes. A continuación se analizará terminología adicional.

50 Según se emplea en la presente memoria, la referencia a un “tablero de ajedrez” se utiliza para describir un patrón de carga de conjuntos combustible de núcleo de reactor de la técnica anterior conocida, en el que los conjuntos combustible de enriquecimiento similar están dispuestos de una manera análoga similar a la rejilla de cuadrados rojos y negros sobre un tablero de ajedrez, estando dispuestos los conjuntos combustible de un enriquecimiento (por ejemplo un combustible quemado una vez) en una posición correspondiente a los cuadrados rojos del tablero de

ajedrez, y los conjuntos combustible de otro enriquecimiento (por ejemplo combustible quemado dos veces) dispuestos en las posiciones adyacentes salteadas correspondientes a los cuadrados negros del tablero de ajedrez.

5 El término "equilibrio" se utiliza típicamente con referencia al estado sustancialmente estable, altamente deseable, del núcleo del reactor que tradicionalmente se consigue después de varios ciclos de recarga de combustible a continuación del ciclo del núcleo inicial. Una vez conseguido, el ciclo de equilibrio proporciona una operación muy eficiente (por ejemplo, la combustión de combustible) y resulta predecible, la recarga económica del núcleo en ciclos de recarga posteriores. Por consiguiente, generalmente es conveniente conseguir un equilibrio del esquema del sistema de gestión dentro del núcleo lo más cerca posible en la vida útil de la planta. En equilibrio, los conjuntos de alimentación siempre tendrán el mismo enriquecimiento y estarán situados en los mismos emplazamientos que los 10 conjuntos combustible anteriores y los conjuntos quemados una vez y quemados dos veces que permanecen en el núcleo, resultarán redistribuidos en idénticas posiciones ocupadas por los conjuntos anteriores quemados una y dos veces.

Según se emplea en la presente memoria el término "haz" se refiere a uno o más de un conjunto combustible (esto es, una pluralidad).

15 El término "rejilla o enrejado" se refiere a una formación de combustible dentro de un conjunto combustible y a la disposición concreta de las varillas de combustible individuales dentro de dicha formación.

La configuración de conjuntos combustible avanzada de la presente divulgación se traduce en un patrón de carga de combustible inicial que estrechamente imita la distribución de reactividad especial de dicho núcleo de recarga de equilibrio deseable.

20 Comparando el núcleo inicial de la presente divulgación con, por ejemplo, la disposición de conjuntos combustibles de núcleo inicial de la técnica anterior conocida de la Figura 1, y con el núcleo de equilibrio deseado de la Figura 2, que típicamente se consigue después de varios ciclos de recarga posteriores al ciclo del núcleo inicial de la Figura 1, ayudará a obtener una comprensión y una apreciación claras de la presente divulgación.

25 La Figura 1, como se analizó con anterioridad, muestra un patrón de carga de un núcleo de reactor de la técnica anterior conocida 2, tal y como se representa en un diagrama esquemático de un octavo del núcleo de reactor 14 que se presume que ofrece una forma simétrica. La Figura 1A muestra el contorno general del entero núcleo 14 y el emplazamiento de la sección de un octavo del mismo, mostrado en la Figura 1. Como se muestra en la Figura 1, el patrón de carga 2 sitúa la zona de enriquecimiento más elevada 8, la cual incluye el combustible representado simbólicamente con la letra A en la periferia 12 del núcleo 14. Las zonas 4, 6 incluyen combustible B quemado una vez menos reactivo y combustible C quemado dos veces, el menos reactivo, respectivamente, que están dispuestos en un patrón de tablero de ajedrez hacia el interior 10 del núcleo 14, según se muestra. Dicha configuración, como se analizó con anterioridad, se traduce en una distribución de potencia del reactor que está en el punto máximo cerca de la periferia del núcleo 12, donde los neutrones se fugarán del reactor y nunca volverán. Por consiguiente, la disposición de conjuntos combustible mencionada se traduce en una utilización de combustible defectuosa y por 35 consiguiente ineficiencia económica.

El núcleo inicial avanzado (por ejemplo 214 de la Figura 3) y el procedimiento de realización del mismo, superan estos inconvenientes mediante la provisión de un núcleo inicial 214 (Figura 3) que permite un enriquecimiento inicial más bajo al tiempo que proporciona la misma extracción de energía y establece una distribución de potencia que permanece centralmente en su punto máximo a lo largo del ciclo de combustión nuclear. En concreto, la presente invención utiliza el núcleo de recarga de ciclo de equilibrio deseable 114 (Figura 2), como un objetivo de diseño e imita al menos la distribución de reactividad del núcleo de equilibrio 114 del núcleo del reactor inicial 214 (Figura 3). La distribución de reactividad del núcleo de equilibrio 114 (Figura 2) proporciona un modelo para determinar el número de regiones discretas dentro del patrón de carga del núcleo inicial 216 (Figura 3) que copian los conjuntos combustible frescos (por ejemplo, los conjuntos combustible A' de la zona 108 de la Figura 2), el combustible quemado una vez (por ejemplo, los conjuntos combustible B' de la zona 104 de la Figura 2), y quemado dos veces (por ejemplo, los conjuntos combustible C' de la zona 106 de la Figura 2) del núcleo del ciclo de recarga de equilibrio elegido como objetivo 114. Los valores de reactividad para el núcleo de equilibrio 114 son obtenidos por medio del enriquecimiento inicial de los conjuntos combustible A, B, C y, en menor grado, a partir de la carga del absorbedor susceptible de combustión de dichos conjuntos. Esto puede comprenderse perfectamente comparando las Figuras 2 40 y 3, que a continuación serán analizadas con mayor detalle.

La Figura 2 muestra una representación esquemática del patrón de carga 116 del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio elegido como objetivo. Como la Figura 1, la Figura 2 también parte de la base de una simetría del núcleo de un octavo. Como se muestra, a diferencia del combustible de enriquecimiento elevado A de la zona B del patrón de carga de la técnica anterior 2 de la Figura 2, los conjuntos combustible de enriquecimiento elevado A están situados hacia el interior del núcleo 110, en la zona 108, el combustible altamente enriquecido A' es un tablero de ajedrez con conjuntos combustible quemados una vez B', también dispuestos hacia el interior del núcleo 110, en la zona 104. Los conjuntos combustible menos enriquecidos C' están fundamentalmente dispuestos en la periferia del núcleo 112.

La Figura 3 muestra una ilustración esquemática de una pauta de carga de núcleo inicial representativa 216 y del núcleo inicial resultante 214 cuando se emplea el procedimiento avanzado de la presente invención con el fin de imitar el núcleo de recarga del ciclo de equilibrio deseado 114 de la Figura 2. En concreto, de acuerdo con el procedimiento avanzado de la presente invención, se conoce la distribución de la reactividad del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio deseado 114. Dicha distribución se ilustra en el ejemplo de la Figura 2. Así mismo, es bien conocido que muchos datos, incluyendo datos relacionados con dicha distribución de la reactividad se encuentran disponibles con respecto a los ciclos de equilibrio para reactores nucleares, en términos generales. Dichos datos han sido obtenidos a lo largo de años de control de ciclos de equilibrio de diversos reactores y mediante el desarrollo y aplicación de muchos procedimientos de la técnica anterior conocidos (por ejemplo, algoritmos) en el ámbito nuclear a lo largo de los años en un intento de potenciar al máximo la gestión del combustible dentro del núcleo. En esencia, el procedimiento avanzado de la presente invención implica la toma de dichos datos y su aplicación para imitar la distribución de la reactividad del núcleo del ciclo de equilibrio altamente económico y eficiente 114 (Figura 2), en el núcleo inicial 214. En otras palabras el procedimiento de la presente invención imita un resultado final deseado (por ejemplo el equilibrio del núcleo) que típicamente lleva años conseguir, y obtiene un resultado comparable en una etapa inicial (por ejemplo, el núcleo inicial 214 del reactor), mejorando con ello drásticamente la eficiencia y la economía de la gestión del combustible. Esto implica la aplicación de parámetros conocidos del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio 114, como por ejemplo el enriquecimiento inicial de los conjuntos combustible concretos 104, 106, 108 y la carga o cantidad de absorción susceptible de quemarse de la combustión nuclear del conjunto, y la imitación de la distribución de la reactividad que resulta de dichos parámetros, utilizando únicamente aquellos parámetros de conjuntos combustible que pueden ser modificados dentro del núcleo inicial 214. Por ejemplo, solo el enriquecimiento inicial, la cantidad y emplazamiento de los lotes de los conjuntos combustible dentro del núcleo, puede ser modificado debido a que todos los demás parámetros están en un valor de punto de partida inicial de variabilidad cero, el núcleo inicial no ha todavía experimentado ninguna combustión nuclear. Por tanto, el procedimiento de la presente invención recupera un núcleo avanzado 214 utilizando parámetros conocidos a partir del núcleo de equilibrio deseado elegido como objetivo e imitándolos lo más estrechamente posible.

La Figura 3, de nuevo ilustra un octavo del núcleo 214 y adopta una simetría del núcleo. En comparación con el núcleo inicial 214 de la Figura 3 con el núcleo de recarga del ciclo de equilibrio 114 de la Figura 2, es evidente que el núcleo inicial 214 consigue imitar de forma ajustada la distribución de la reactividad espacial del núcleo muy económico de recarga del ciclo de equilibrio escogido como objetivo tanto en términos de claridad de sublotos como de distribución espacial. Con el fin de conseguir este objetivo, el procedimiento de la presente invención, a diferencia de las tres zonas sustancialmente iguales de núcleos iniciales conocidos (por ejemplo zonas 4, 6, 8 de la Figura 1) proporciona un núcleo que ofrece esencialmente cualquier combinación y configuración adecuada necesaria de lotes y sublotos de combustible. En concreto, los enriquecimientos del núcleo inicial ejemplar 214 se obtienen mediante el empleo de un grupo de haces de enriquecimiento elevado 208 de aproximadamente el mismo tamaño y enriquecimiento que el lote de alimentación del ciclo de equilibrio 108. En segundo lugar, el combustible quemado 104, 106 en el núcleo del ciclo de recarga de equilibrio 114 es aproximado mediante el uso de enriquecimientos iniciales que aproximan la reactividad del comienzo no nulo de la combustión nuclear del ciclo (BOC) y el enriquecimiento inicial de las existencias de combustible quemadas 104, 106 del núcleo del ciclo de recarga de equilibrio 114. El intervalo del enriquecimiento resultante del núcleo inicial 214 es mucho mayor que el de la técnica anterior conocida (véase, por ejemplo la Figura 1). Por ejemplo, el enriquecimiento del núcleo inicial ejemplar 214 de la Figura 3 oscila entre aproximadamente 0,30 hasta por encima de aproximadamente 4,5, como se mide en peso el U-235. Al contrario, a modo de ejemplo, comparativo, el núcleo inicial de la técnica anterior representativa 14 de la Figura 1 presenta un margen de enriquecimiento de aproximadamente 2,35 hasta aproximadamente 4,45 en peso de U-235.

Así mismo, el núcleo inicial ejemplar 214 de la Figura 3 incluye dos sublotos de enriquecimiento elevado 208, 208' que están dimensionados y enriquecidos para imitar la región o zona de combustible fresca 108 del ciclo de recarga de equilibrio 116. Las siguientes dos subbandas 204, 204' están dimensionadas de manera similar y están enriquecidas para imitar la reactividad de la porción quemada una vez 104 del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio 114. Por último, los sublotos restantes, por ejemplo 206, 206' están dimensionados para reflejar la porción quemada dos veces 106 del núcleo de recarga 114 siendo los enriquecimientos seleccionados de manera similar para imitar la reactividad del combustible quemado dos veces 106 en el núcleo de recarga de equilibrio 114.

En el ejemplo de la Figura 3, los dos sublotos de combustible altamente enriquecido 208, 208' están situados hacia el interior 210 del núcleo 214 más que en la periferia 212 como en la técnica anterior conocida (véase, por ejemplo, el combustible altamente enriquecido 8 en la periferia del núcleo 12 de la Figura 1). El procedimiento siguiente implica el posicionamiento del par de sublotos de combustible 206, 2306' que imitan el combustible quemado dos veces 206 del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio 114 fundamentalmente en la periferia 212 del núcleo 214. El resto del combustible dentro del núcleo inicial 214 puede ser enriquecido y dispuesto según se necesite, en cualquier combinación, con el fin de imitar el ciclo de equilibrio deseado. Por ejemplo, el núcleo inicial 214 mostrado en la Figura 3 incluye dos sublotos 204, 204' dimensionado y enriquecido para imitar el combustible quemado una vez 104 del núcleo de equilibrio 214. Dichos sublotos 204, 204' están dispuestos de manera intermitente, como resulta necesario para conseguir la distribución de reactividad deseada. Por consiguiente, el núcleo inicial 214 y el procedimiento de realización del mismo de la invención, supera las fuga neutrónicas desventajosas de la técnica

anterior, la retirada o sustitución prematura del combustible altamente enriquecido y las ineficiencias económicas asociadas con ellas.

Así mismo, debido a que el núcleo inicial 214 imita las distribuciones de reactividad del núcleo de recarga de equilibrio 114, la longitud del tiempo o ciclo para pasar al ciclo del núcleo de recarga resultan mejorados de forma drástica. Dichas mejoras se deben en gran medida a la extensión mucho más amplia de los enriquecimientos y a los tamaños no iguales de los sublotos utilizados en el núcleo inicial avanzado 214. Este conjunto de parámetros de diseño del núcleo avanzados presenta el efecto de reducir al mínimo el enriquecimiento de descarga del ciclo inicial 214 y, con ello, potenciar al máximo el enriquecimiento del combustible transportado para una exposición ulterior dentro del reactor. El combustible que es transportado desde el ciclo inicial 214 hasta los ciclos de recarga es de un enriquecimiento y reactividad representativa del núcleo de recarga escogido como objetivo 114.

Con el fin de soportar el diseño del núcleo inicial avanzado expuesto, se requiere un diseño de rejilla avanzado. La rejilla es la formación de combustible y la disposición concreta de los emplazamientos de las varillas dentro de un conjunto combustible. La Figura 4 muestra un ejemplo representativo de dicho diseño de rejilla avanzado 300 para al menos algunos de los conjuntos combustible del núcleo inicial ejemplar 214. Para facilitar la ilustración, solo se muestra el cuadrante izquierdo superior de la rejilla 300. Se presume una simetría especular en los cuadrantes restantes (véase la Figura 4A, que pone de manifiesto el emplazamiento de la sección de un cuerpo de la Figura 4 dentro del la rejilla 300). La rejilla 300 está diseñada para compensar los haces de combustible internos altamente enriquecidos 208, 208' que son adyacentes a los haces de enriquecimiento bajo (por ejemplo 206, 206'). Es bien sabido que dicha disposición de carga de combustible se traducirá en un pico de flujo de neutrones térmicos amplio en las filas del borde radial 304 del haz de enriquecimiento elevado 208 debido a la absorción muy baja de los haces de enriquecimiento bajo 206 (no mostrados en la Figura 4). Este es un aspecto del núcleo de recarga de equilibrio (Figura 2) que no puede ser imitado en el núcleo inicial 214 (Figura 3) porque los haces de baja reactividad del núcleo de recarga de equilibrio (por ejemplo, 106) son absorbedores de neutrones en grado mucho más alto que los haces de enriquecimiento bajo del núcleo inicial (por ejemplo, 204). Esto se debe a que los haces quemados del núcleo de recarga 114 incluyen productos de fisión altamente absorbentes y actínidos de orden elevado. Los haces de enriquecimiento bajo del núcleo inicial (por ejemplo, 206, 206') que no han sido quemados, no poseen dichos productos nucleares absorbentes.

En diseños de rejilla conocidos de la técnica anterior (no mostrados), cada varilla de combustible de un conjunto determinado generalmente presenta el mismo enriquecimiento. Un diseño de haz uniformemente enriquecido, para los haces altamente enriquecidos, provocaría unos factores de pico de potencia inaceptablemente altos dentro del núcleo inicial ejemplar 214 (Figura 3). Así, el diseño de rejilla avanzado 300 de la presente invención utiliza seis tipos de varillas diferentes (véase por ejemplo, la llave por debajo de la rejilla 300 de la Figura 4) en una configuración diseñada para reducir los factores de pico cuando los conjuntos altamente enriquecidos son adyacentes a los conjuntos menos enriquecidos (véanse, por ejemplo, los conjuntos combustible 208 adyacentes a los conjuntos combustible 206' de la Figura 2). Menos enriquecidos en este caso se refieren a enriquecimientos que oscilan entre aproximadamente de 1 a 2,50 en peso de U-235, con el fin de simular la reactividad de los conjuntos quemados (por ejemplo, 104, 106).

En concreto, como se muestra en la Figura 4, la zonificación radial del haz 208 se emplea para reducir el enriquecimiento de las varillas de combustible 302 en los bordes del haz 208 resultando con ello una distribución de potencia de los haces que compensa el flujo de neutrones térmicos inusualmente alto en la periferia de los haces 212 (Figura 3). Dicha reducción del enriquecimiento está típicamente limitada a las dos primeras filas 304, 306 del haz 208 debido a la trayectoria libre de medios de neutrones térmicos en el haz de elevado enriquecimiento 208 que es relativamente corto (por ejemplo aproximadamente 1 paso).

El ejemplo de la Figura 4 muestra en la rejilla 300 o la forma en que las varillas de combustible están dispuestas para formar un haz, como por ejemplo el haz mostrado de elevado enriquecimiento 208. Son empleados seis tipos de varillas de combustible 302, 304, 306, 308, 310, 312 y que oscilan, respectivamente, en el nivel de enriquecimiento del menos enriquecido al más enriquecido. Como se analizó con anterioridad, un enriquecimiento bajo en el supuesto ejemplar se refiere a entre aproximadamente de 1 a 2,50 peso de U-235. Un enriquecimiento medio oscila de modo preferente entre aproximadamente 2,50 y 3,50 en peso de U-235 y un enriquecimiento elevado oscila de modo preferente entre aproximadamente de 3,50 a 5 en peso de U-235. Debe apreciarse, sin embargo, que hay variantes de enriquecimiento incluso con estas categorías designadas (por ejemplo, baja, media, alta). Esto se apreciará con referencia a los diversos enriquecimientos de los conjuntos combustible (por ejemplo, A, B, C, A', B', C') y de los haces (por ejemplo, 4, 6, 8, 104, 106, 108, 204, 206, 208) en las Figuras 1 a 3 y de las varillas de combustible individuales (por ejemplo, 302, 304, 306, 308, 310, 312) según se ha designado en la leyenda por debajo de la rejilla 300 de la Figura 4. Se apreciará así mismo que los niveles de enriquecimiento específicos y los intervalos ilustrados y analizados en la presente memoria son simplemente un ejemplo de un núcleo inicial (por ejemplo 214), cargado de acuerdo con la presente invención. Una amplia variedad de disposiciones alternativas se incluyen en el alcance de la invención.

La rejilla 300 de la Figura 4 presenta un patrón genéricamente cuadrado de varillas de combustible adyacentes. Las varillas de combustible de enriquecimiento más bajo 302 están dispuestas en las esquinas de la rejilla 300. Las varillas de enriquecimiento más bajo siguientes 304 están dispuestas a lo largo de los lados o bordes de la rejilla

300. Los enriquecimientos de las varillas de combustible aumentan entonces gradualmente a medida que las posiciones de las varillas se aproxima al centro de la rejilla 300 donde están dispuestas las varillas de combustible más altamente enriquecidas 310 y las varillas de combustible más altamente enriquecidas 308 están dispuestas en un patrón simétrico. Por consiguiente, el diseño de rejilla avanzada referido de la presente divulgación compensa el pico de flujo térmico del entorno, fundamentalmente causado por los haces enriquecidos interiores 208, 208' (mostrados de forma óptica en la Figura 3) del núcleo inicial ejemplar 214 (Figura 3) que están en posición adyacente a los haces de enriquecimiento bajo 206, 206 (mostrado de forma óptima en la Figura 3), reduciendo el enriquecimiento en los bordes o los lados 304 de la rejilla 300, reduciendo con ello dichos picos de potencia y soportando el núcleo inicial altamente eficiente y por tanto económico 214 (Figura 3).
- 5
- 10 Aunque han sido descritas con detalle formas de realización específicas de la invención, se debe apreciar por parte de los expertos en la materia que podrían desarrollarse modificaciones y alternativas a dichos detalles a la luz de las enseñanzas de la divulgación. Por consiguiente, las disposiciones concretas divulgadas pretenden ser solo ilustrativas y no limitativas en cuanto al alcance de la invención según queda definida en las reivindicaciones adjuntas.

15

**REIVINDICACIONES**

1.- Un procedimiento de implementación de un núcleo inicial económico (214) que todavía no ha experimentado ninguna combustión nuclear para un reactor nuclear de agua ligera, comprendiendo dicho procedimiento:

5 la provisión de una pluralidad de conjuntos combustible (208, 206, 204) que tienen enriquecimientos medios diferentes de uranio 235, incluyendo al menos lotes de combustible altamente enriquecidos (208), lotes de combustible enriquecidos en menor grado (204), y los menos enriquecidos lotes de combustible (206),

10 la disposición de dicha pluralidad de conjuntos combustible (208, 206, 204), en una configuración de núcleo inicial estructurada para imitar al menos en términos de distribución de reactividad espacial, un núcleo de recarga de ciclo de equilibrio conocido que incluye lotes de conjuntos combustible de alimentación, conjuntos combustible quemados una vez y conjuntos combustible quemados dos veces, en el que los conjuntos combustible de alimentación presentan el enriquecimiento medio más elevado,

15 incluyendo dicha etapa de disposición la toma de datos obtenidos a lo largo de los años de control de los ciclos de equilibrio de diversos reactores y aplicándolos para imitar la distribución de reactividad de dicho núcleo de recarga del ciclo de equilibrio del núcleo inicial con el fin de imitar el ciclo de equilibrio deseado utilizando lotes de combustible altamente enriquecido (208) que tengan aproximadamente el mismo tamaño y enriquecimiento que los conjuntos de combustible de alimentación de dicho núcleo de recarga del ciclo de equilibrio, y aproximando la reactividad de los lotes de combustible quemados una vez y de los lotes de combustible quemados dos veces del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio mediante el uso de los lotes de combustible (204, 206) que presentan enriquecimientos medios iniciales en base a una reactividad no nula, de inicio del ciclo de combustión nuclear y de enriquecimiento inicial del combustible quemado una vez y dos veces del núcleo de recarga del ciclo de equilibrio, y

25 la provisión de un diseño de rejilla avanzado (300) para al menos algunos de los conjuntos combustible altamente enriquecidos (208) adyacentes a los conjuntos combustible de enriquecimiento bajo (206) del núcleo inicial, empleando una zonificación radial del conjunto combustible para reducir el enriquecimiento de las varillas de combustible (203) en los bordes del conjunto combustible (208), disponiendo las varillas de combustible de enriquecimiento más bajo (302) en las esquinas de la rejilla (300) y las varillas de enriquecimiento más bajo siguientes (304) a lo largo de los lados o bordes de la rejilla (300).

30 2.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicho núcleo inicial incluye un interior (110) y una periferia (112), y en el que los conjuntos combustible menos enriquecidos están fundamentalmente dispuestos sobre la periferia del núcleo (112).

3.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el enriquecimiento medio resultante dentro de dicho núcleo inicial oscila desde por debajo de aproximadamente un 1% en peso del uranio 235 hasta aproximadamente un 5% en peso de uranio 235.

35 4.- El procedimiento de la reivindicación 1 que incluye la provisión de un diseño de rejilla avanzado (300) para al menos algunos de los conjuntos combustible de dicho núcleo inicial, en el que dicho diseño de rejilla está estructurado para compensar un gran pico de flujo de neutrones térmicos que deriva de dichos lotes de combustible altamente enriquecidos dentro de dicha configuración de núcleo inicial que está dispuesta en posición adyacente a lotes de combustible menos enriquecidos dentro de dicha configuración de núcleo inicial, y en el que dicho diseño de rejilla avanzado incluye un patrón genéricamente cuadrado de filas adyacentes de varillas de combustible; en el que dichas varillas de combustible incluyen al menos seis tipos de varillas de combustible diferentes (302, 304, 306, 308, 310, 312) que oscilan en cuanto a enriquecimiento medio desde el menos enriquecido al más enriquecido; y en el que dicha rejilla avanzada dispone las varillas de combustible menos enriquecidas en las esquinas de dicho patrón genéricamente cuadrado, las varillas de combustible siguientes menos enriquecidas (302) en las filas más hacia fuera de dicho patrón genéricamente cuadrado y las varillas de combustible más enriquecidas (310, 312) hacia el centro de dicho patrón genéricamente cuadrado.

45

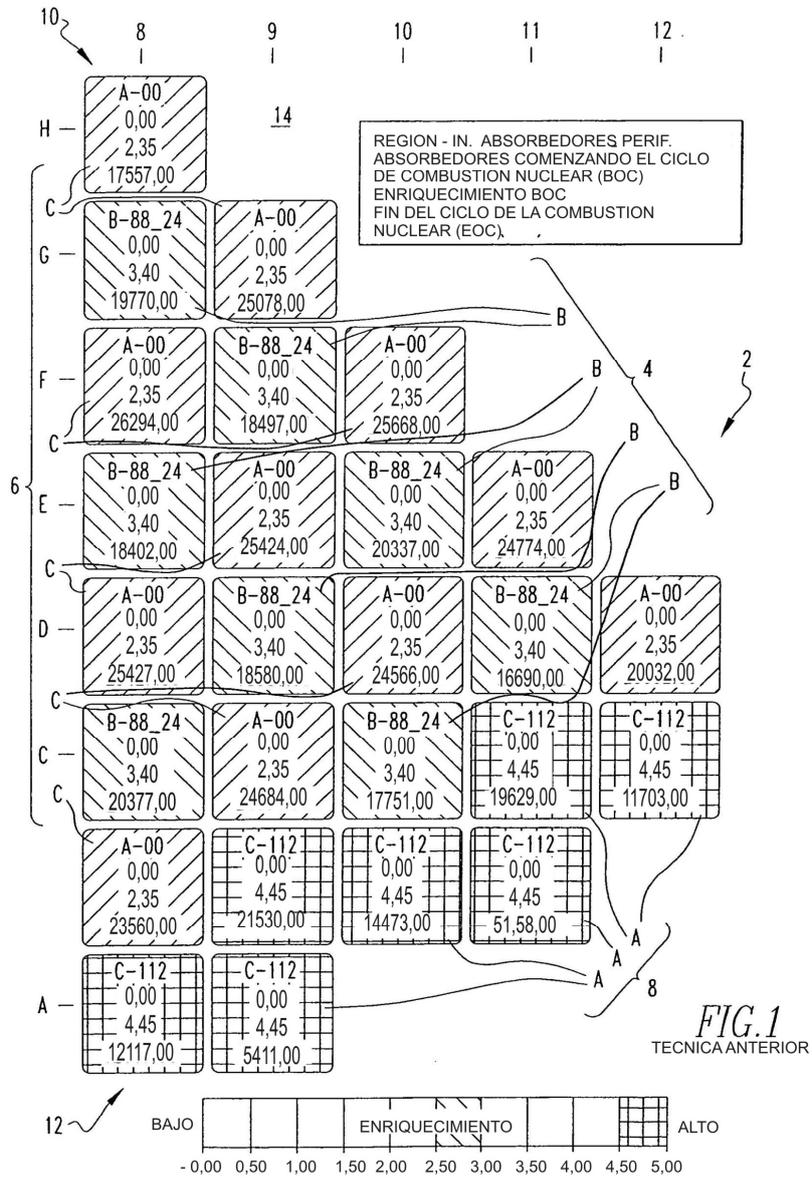
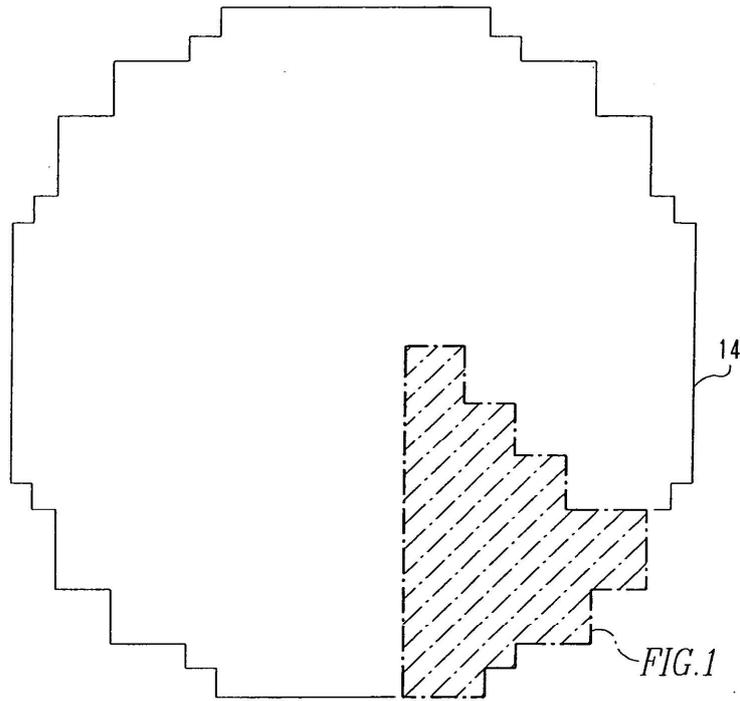
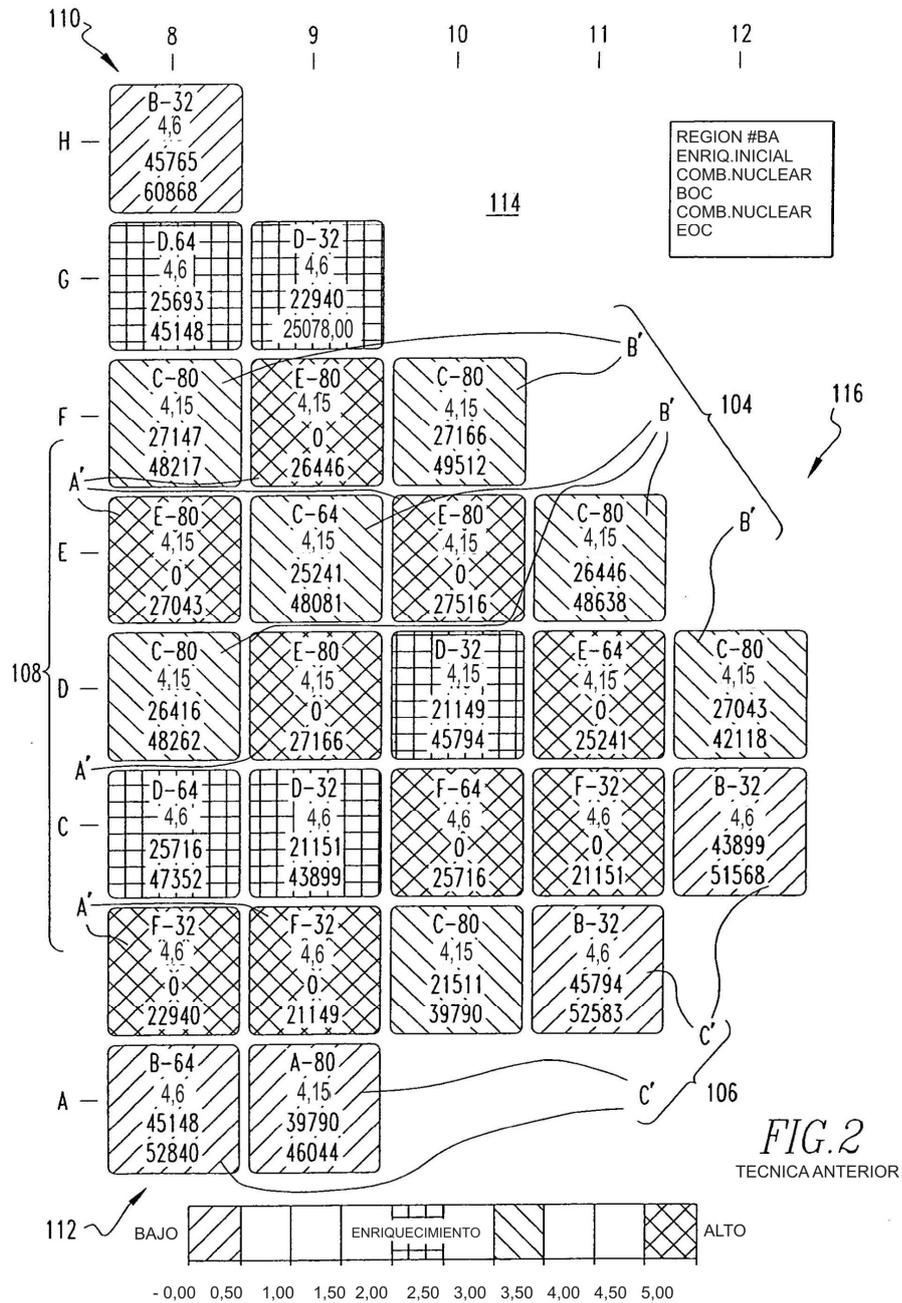


FIG. 1  
TECNICA ANTERIOR



*FIG.1A*





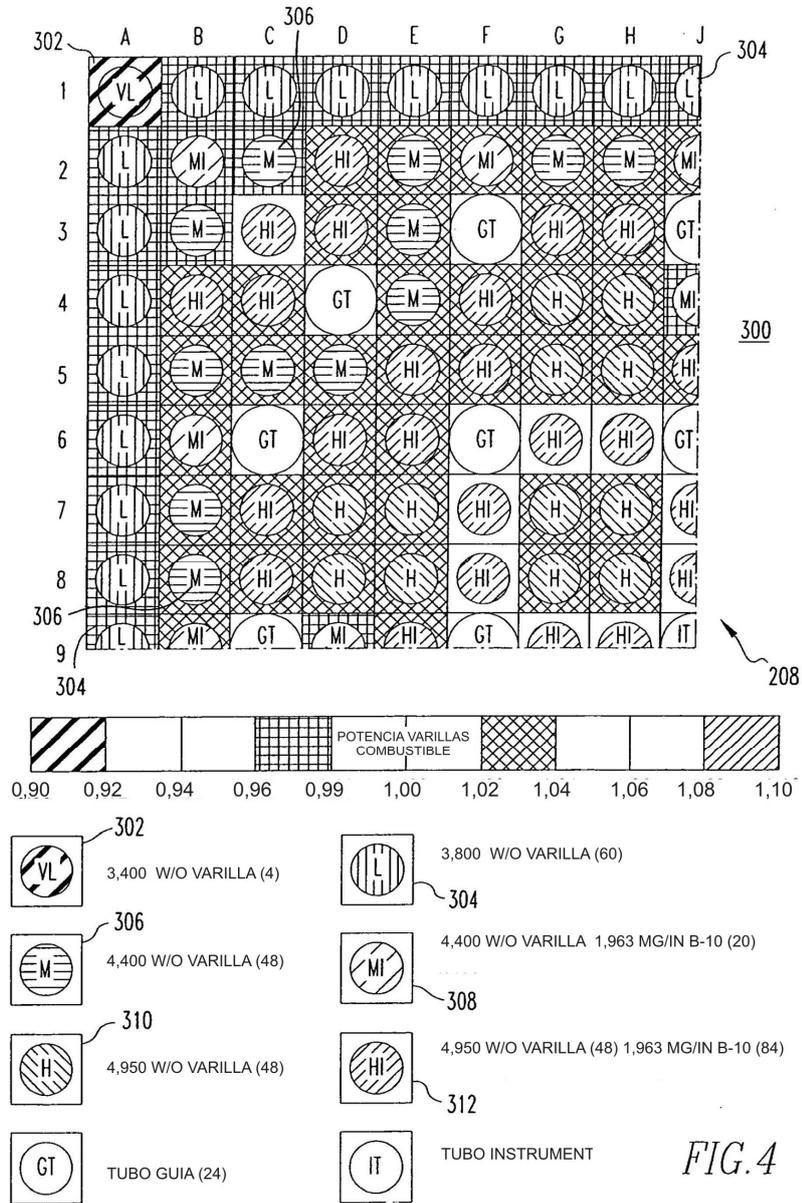
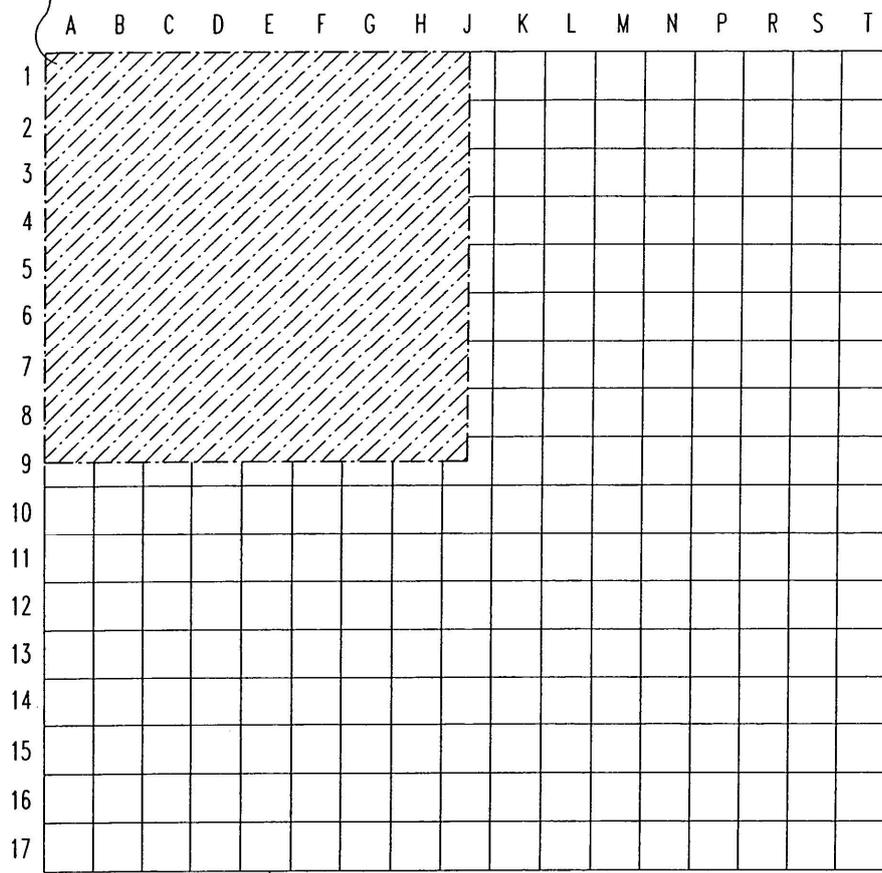


FIG. 4



300

FIG. 4a