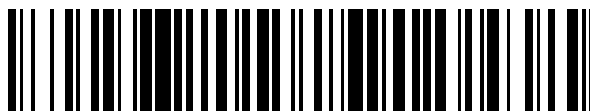


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 558 081**

51 Int. Cl.:

G21C 3/32 (2006.01)

G21C 3/326 (2006.01)

G21D 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.04.2011** **E 11161548 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2015** **EP 2375420**

54 Título: **Zona de refuerzo de la exposición para haces de reactor nuclear de agua en ebullición**

30 Prioridad:

08.04.2010 US 756236

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

01.02.2016

73 Titular/es:

GLOBAL NUCLEAR FUEL-AMERICAS, LLC
(100.0%)
3901 Castle Hayne Road
Wilmington, North Carolina 28401, US

72 Inventor/es:

REESE, ANTHONY PAUL;
KVAALL JR., GERALD DEAN y
TROSMAN, LUKAS

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 558 081 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

Zona de refuerzo de la exposición para haces de reactor nuclear de agua en ebullición

Antecedentes**1. Campo**

- 5 La invención se refiere a una barra de combustible nuclear que incluye una zona de refuerzo y un conjunto de haz de combustible que incluye la barra de combustible nuclear.

2. Descripción de la técnica relacionada

10 Con referencia a la FIG. 1, se ilustra en la vista en sección un entorno operativo convencional para barras de combustible y conjuntos de combustible, de la vasija de presión de un reactor nuclear de agua en ebullición (RPV) 10, con partes cortadas por claridad. La vasija de presión 10 del reactor tiene una forma cilíndrica en general y se cierra en un extremo mediante un cabezal inferior 12 y en el otro extremo por un cabezal superior 14 extraíble. Se extiende una pared lateral 16 desde el cabezal inferior 12 al cabezal superior 14. La pared lateral 16 incluye una brida superior 18 sobre la que se fija el cabezal superior 14. Una vaina 20 del núcleo conformada cilíndricamente rodea un núcleo 22 del reactor. La vaina 20 está soportada en un extremo por un soporte 24 de vaina que incluye un cabezal 26 de vaina extraíble opuesto. Se genera calor dentro del núcleo 22, que incluye los haces 40 de combustible. Los haces 40 de combustible incluyen una pluralidad de barras de combustible que tienen material fisiónable. Por ejemplo, un haz 40 de combustible convencional puede incluir una matriz de 10x10 de barras de combustible.

20 Una barra 100 de combustible convencional, tal como se ilustra en la FIG. 2, puede tener una longitud de aproximadamente 381 cm (150 pulgadas) pero puede tener longitudes de aproximadamente 304,8 cm (120 pulgadas), 337,8 cm (133 pulgadas), 350,5 cm (138 pulgadas), 353,1 cm (139 pulgadas), y 368,3 cm (145 pulgadas). La barra 100 de combustible convencional se rellena con bolas sinterizadas de combustible nuclear, por ejemplo, uranio natural y/o enriquecido. El combustible nuclear se puede disponer dentro de la barra de combustible convencional de modo que regiones (zonas) diferentes dentro de la barra 100 de combustible que incluye las bolas sinterizadas tengan diferentes enriquecimientos.

25 La barra de combustible nuclear convencional ilustrada en la FIG. 2 incluye tres zonas 110, 120 y 130 diferentes. La primera y tercera zonas 110 y 130 se extienden aproximadamente en los primeros y últimos 15,2 cm (seis pulgadas) de la barra de combustible e incluyen uranio natural que tiene el 0,71 % de U235 en peso mientras que la segunda zona 120 incluye uranio enriquecido que tiene, por ejemplo, el 2,4 % de U235 en peso. Aunque la barra de combustible convencional ilustrada en la FIG. 2 incluye una segunda zona 120 que tiene un enriquecimiento del 2,4 %, los expertos en la materia comprenderán fácilmente que la segunda zona 120 de la barra 100 de combustible convencional puede incluir uranio enriquecido hasta el 5 % de U235 en peso.

30 Es bien conocido que los núcleos del reactor se cargan con combustible en exceso y por ello reactividad en exceso para mantener la potencia a todo lo largo de los ciclos de potencia que se extienden durante varios meses. Para compensar esto, se incorporan venenos consumibles en los haces de combustible junto con las barras de combustible. Un veneno consumible es un absorbente de neutrones, que se convierte mediante la absorción de los neutrones en un material de menor capacidad de absorción de neutrones. Un buen veneno consumible conocido es el gadolinio, normalmente en la forma de gadolinia. Es también conocido que la distribución de potencia dentro del núcleo del reactor está desplazada hacia las regiones inferiores del núcleo. Para compensar esto, se incorporan en los haces de combustible venenos consumibles junto con las barras de combustible en las regiones inferiores del núcleo.

35 La FIG. 3 ilustra una barra 200 convencional que contiene gadolinia. Como la barra 100 de combustible convencional ilustrada en la FIG. 2, la barra 200 incluye también tres zonas 210, 220 y 230. Como la barra 100 convencional, la primera y segunda zonas 210 y 230 de la barra 200 incluyen uranio natural. Sin embargo, la segunda zona 220 puede estar o bien parcial o bien completamente rellena con uranio enriquecido que contiene gadolinia. En el caso de que la segunda zona 220 esté parcialmente rellena con gadolinia el resto de la segunda zona 220 se rellena con uranio enriquecido.

40 La FIG. 4 es un ejemplo de un haz 40 de combustible convencional. Como se muestra en la FIG. 4, el haz 40 de combustible encierra una pluralidad de barras 100 de combustible. Las barras 100 de combustible dentro del haz 40 de combustible están soportadas en un extremo inferior por una placa 42 de sujeción inferior, en la parte media por un separador 44 provisional, y en la parte superior por una placa 46 de sujeción superior. El haz 40 de combustible también incluye un canal 50 de combustible, que encierra la pluralidad de barras 100 de combustible, y un asa 52 de extracción para el transporte del haz 40 de combustible. En la parte inferior del haz 40 de combustible hay una pieza 54 de embocadura que permite que un refrigerante fluya al interior y a través del haz 40 de combustible. Además de las barras 100 de combustible, el haz 40 de combustible convencional incluye típicamente barras de agua próximas al centro del haz 40 de combustible que permiten que el refrigerante fluya a su través para moderación de los neutrones. El haz 40 de combustible convencional incluye también barras 200 que contienen gadolinia.

La FIG. 5A ilustra una sección transversal de un haz 40 de combustible que incluye una matriz de barras (F1, F2, F3, F4 y P1) de combustible convencional, una matriz de barras (G1, G2 y G3) de combustible que contienen gadolinia, y dos barras de agua. Los perfiles de cada una de las barras de combustible y las barras de agua en el haz 40 de combustible tal como se ilustra en la FIG. 5A se proporcionan en la FIG. 5B. Por ejemplo, la barra de combustible F1, tal como se ilustra en la FIG. 5A en el punto de rejilla A-1 (e ilustrado en la FIG. 5B), incluye una capa fértil de uranio natural que corresponde a la primera zona 110 de la barra 100 de combustible convencional ilustrada en la FIG. 2. En las FIGS. 5A y 5B, la capa fértil anteriormente mencionada ocupa los 15,2 cm (seis pulgadas) inferiores de la barra de combustible F1 (es decir los 15,2 cm (seis pulgadas) inferiores incluyen uranio natural que tiene el 0,71 % de U235 en peso). La parte media de la barra F1 de combustible (que corresponde a la segunda zona 120 de la barra 100 de combustible convencional ilustrada en la FIG. 2) es de aproximadamente 350,5 cm (138 pulgadas) de largo e incluye uranio enriquecido (es decir uranio que incluye el 2,4 % de U235 en peso). Los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de la barra F1 de combustible (que corresponden a la tercera zona 130 de la barra 100 de combustible convencional ilustrada en la FIG. 2) incluye uranio natural que tiene el 0,71 % de U235 en peso. Como se ha explicado anteriormente, los 15,2 cm (seis pulgadas) inferiores de cada una de las barras de combustible en el haz convencional se rellenan con uranio natural que tiene el 0,71 % en peso de U235.

Las FIGS. 5A y 5B ilustran también un ejemplo de una barra de combustible convencional que incluye gadolinia. Por ejemplo, la G1 situada en el punto de rejilla D-4 (y que tiene un perfil ilustrado en la FIG. 5B) ilustra una barra de combustible que tiene una capa fértil inferior de uranio natural que contiene, en peso, el 0,71 % de U235. La capa fértil inferior corresponde a la primera zona 210 ilustrada en la FIG. 3. La parte media de G1 incluye combustible que contiene el 4,9 % de uranio enriquecido. La parte media corresponde a la segunda zona 220 ilustrada en la FIG. 3. Tal como se ha ilustrado, la parte media de G1 incluye una parte que incluye el 8 % de gadolinia en peso y una parte que no incluye nada de gadolinia. Los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de G1 se rellenan con uranio natural que tiene el 0,71 % de U235 en peso. Esta capa fértil superior de uranio natural corresponde a la tercera zona 230 ilustrada en la FIG. 3.

El documento US 6.005.905 se refiere a una disposición de un núcleo de reactor nuclear, y desvela una barra de combustible que corresponde en general al preámbulo de la reivindicación 1 del presente documento.

Sumario

En un aspecto, se proporciona una barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 1 del presente documento. En otro aspecto, se proporciona un haz de combustible que usa la barra de combustible de acuerdo con la reivindicación 6 del presente documento. Se le desvela en el presente documento una barra de combustible que puede incluir un primer uranio enriquecido en una zona de refuerzo de la barra de combustible, en la que la zona de refuerzo puede disponerse directamente en un fondo de la barra de combustible. La barra de combustible puede incluir también un segundo uranio enriquecido en una segunda zona de la barra de combustible, en la que la segunda zona se dispone sobre la zona de refuerzo. La barra de combustible puede incluir también uranio natural en una tercera zona de la barra de combustible, en la que la tercera zona se dispone sobre la segunda zona. De acuerdo con la invención, un porcentaje de enriquecimiento del uranio enriquecido en la zona de refuerzo es de al menos el uno por ciento.

Se desvela en el presente documento un haz de combustible que puede incluir una primera barra de combustible. La primera barra de combustible puede incluir un primer uranio enriquecido en una zona de refuerzo de la primera barra de combustible, en el que la zona de refuerzo de la primera barra de combustible se dispone directamente en el fondo de la primera barra de combustible. La barra de combustible puede incluir también un segundo uranio enriquecido en una segunda zona de la primera barra de combustible, en el que la segunda zona de la primera barra de combustible se dispone sobre la zona de refuerzo de la primera barra de combustible. La barra de combustible puede incluir también uranio natural en una tercera zona de la primera barra de combustible, en el que la tercera zona de la primera barra de combustible se dispone sobre la segunda zona de la primera barra de combustible. De acuerdo con la invención, un porcentaje de enriquecimiento del uranio enriquecido en la zona de refuerzo de la primera barra de combustible es de al menos el uno por ciento.

Breve descripción de los dibujos

Las descripciones de ejemplo de la presente invención se comprenderán más claramente a partir de la siguiente descripción detallada tomada en conjunto con los dibujos adjuntos.

La FIG. 1 es una vista de una vasija de presión de reactor convencional con secciones eliminadas por claridad;

La FIG. 2 es una vista de una barra de combustible convencional;

La FIG. 3 es una vista de una barra de combustible convencional conteniendo gadolinia;

La FIG. 4 es una vista de un haz de combustible convencional;

La FIG. 5A es una sección transversal de un haz de combustible convencional;

La FIG. 5B ilustra varios perfiles de las barras incluidas en el haz de combustible convencional ilustrada en la FIG. 5A;

La FIG. 6 es una vista de una barra de combustible de acuerdo con un ejemplo ilustrativo, que no es parte de la presente invención;

5 La FIG. 7 es una vista de una segunda barra de combustible de acuerdo con una realización de la presente invención;

La FIG. 8A es una sección transversal de un haz de combustible que usa las barras de combustible de acuerdo con realizaciones de ejemplo;

La FIG. 8B ilustra varios perfiles de las barras incluidas en el haz de combustible ilustrado en la FIG. 8A;

10 La FIG. 9 ilustra el resultado de una simulación por ordenador del núcleo usando un haz de combustible convencional; y

La FIG. 10 ilustra los resultados de una simulación por ordenador del núcleo usando un haz de combustible que incorpora las barras de combustible de acuerdo con las realizaciones de ejemplo de la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones de ejemplo.

15 Se describirán ahora más completamente realizaciones de ejemplo de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran las realizaciones de ejemplo.

La invención puede, sin embargo, realizarse de diferentes formas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, y no se debería interpretar como limitada a las realizaciones expuestas en el presente documento.

En los dibujos, los tamaños de los componentes pueden estar exagerados por claridad.

20 Debe entenderse que cuando se refiere que un elemento o capa está “sobre”, “conectado a”, o “acoplado a” otro elemento o capa, puede estar directamente sobre, conectado a, o acoplado a el otro elemento o capa o a elementos intermedios o capas que puedan estar presentes. Por el contrario, cuando se refiere que un elemento está “directamente sobre”, “directamente conectado a”, o “directamente acoplado a” otro elemento o capa, no hay elementos intermedios o capas presentes. Tal como se usa en el presente documento, el término “y/o” incluye
25 cualquiera y todas las combinaciones de uno o más de los elementos listados asociados.

Debe entenderse que, aunque los términos primero, segundo, etc. se pueden usar en el presente documento para describir diversos elementos, componentes, regiones, capas, y/o secciones, estos elementos, componentes, regiones, capas, y/o secciones no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos solo se usan para distinguir un elemento, componente, región, capa, y/o sección de otro elemento, componente, región, capa, y/o
30 sección. De ese modo, un primer elemento, componente, región, capa, o sección explicado a continuación se podría denominar un segundo elemento, componente, región, capa, o sección sin apartarse de las enseñanzas de las realizaciones de ejemplo.

Términos espacialmente relativos, tales como “por debajo”, “debajo”, “inferior”, “por encima”, “superior”, y similares, se pueden usar en el presente documento por facilidad de descripción para describir un elemento o característica de
35 relación con otro(s) elemento(s) o característica(s) tal como se ilustra en las figuras. Se deberá entender que los términos espacialmente relativos se pretende que engloben diferentes orientaciones del dispositivo en su uso u operación además de la orientación representada en las figuras. Por ejemplo, si el dispositivo en las figuras se vuelca, elementos descritos como “debajo” o “por debajo” de otros elementos o características estarían entonces orientados “por encima” de los otros elementos o características. Así, el término ejemplar de “por debajo” puede
40 englobar tanto la orientación por encima como por debajo. El dispositivo puede orientarse en otra forma (rotado 90° o en otras orientaciones) y los descriptores espacialmente relativos usados en el presente documento interpretarse en consecuencia.

Las realizaciones descritas en el presente documento se referirán a vistas en planta y/o vistas en sección transversal por medio de vistas esquemáticas ideales. En consecuencia, las vistas pueden modificarse dependiendo de las
45 tecnologías y/o tolerancias de fabricación. Por lo tanto, las realizaciones de ejemplo no están limitadas a aquellas mostradas en las vistas, sino que incluyen modificaciones en la configuración formada en base a los procesos de fabricación. Por lo tanto, las regiones ejemplificadas en las figuras tienen propiedades esquemáticas y las formas de regiones mostradas en las figuras ejemplifican formas o regiones específicas de elementos, y no limitan las realizaciones de ejemplo.

50 Como se ha explicado anteriormente, una barra 100 de combustible convencional incluye una primera región 110 y una tercera región 130, cada una de las cuales tiene aproximadamente 15,2 cm (seis pulgadas) de longitud, que incluyen uranio natural. Los presentes solicitantes, sin embargo, han descubierto que la sustitución del uranio natural que ocupa la primera zona 110 de una barra de combustible convencional 100 con uranio enriquecido incrementa significativamente el número de ciclos que puede ser operado un haz de combustible antes de que sea necesaria la

sustitución del haz de combustible.

La FIG. 6 ilustra una barra de combustible 300 de acuerdo con un ejemplo ilustrativo.

Como se muestra en la FIG. 6, la barra 300 de combustible de ejemplo incluye una zona 310 de refuerzo en la parte inferior de la barra de combustible, una segunda zona 320, y una tercera zona 330 en la parte superior de la barra. La segunda zona 320 puede incluir uranio enriquecido, por ejemplo, uranio que tenga más del 0,71 % de U235 en peso. La tercera zona 330 puede ser de aproximadamente 15,2 cm (6 pulgadas) de largo y puede llenarse con uranio natural. La primera zona 310 puede tener también una longitud L de 15,2 cm (seis pulgadas), sin embargo, las realizaciones de ejemplo no están limitadas a ello, por ejemplo la longitud L de la zona 310 de refuerzo puede ser mayor que, igual, o más pequeña que 15,2 cm (seis pulgadas).

La zona 310 de refuerzo puede incluir uranio enriquecido que está enriquecido al menos tanto como un uno por ciento (1 % de U235 en peso). En la FIG. 6, X % representa el porcentaje en peso de U235 en la segunda zona 320 e Y % representa el porcentaje en peso de U235 en la zona 310 de refuerzo. En las realizaciones de ejemplo Y % es mayor que o igual al 1 %. Por ejemplo, si la segunda zona 320 incluye el 3 % de uranio enriquecido (3 % de U235 en peso) la zona 310 de refuerzo puede incluir uranio que tenga el 1 % o más de uranio enriquecido ($Y \% \geq 1 \%$). En consecuencia, una diferencia principal entre la barra 100 de combustible convencional ilustrada en la FIG. 2 y la barra 300 de combustible de acuerdo con este ejemplo ilustrativo es que la barra 300 de combustible incluye una zona 310 de refuerzo que incluye uranio enriquecido en la parte inferior de la barra 300 de combustible en lugar de una capa fértil inferior de uranio natural en la parte inferior de la barra 300 de combustible.

La FIG. 7 ilustra una barra 400 de combustible de acuerdo con una realización de la invención.

En esta realización de ejemplo, la barra 400 de combustible incluye gadolinia. Como en barra 300 de combustible ilustrada en la FIG. 6, la barra 400 incluye también tres zonas: una zona 410 de refuerzo, una segunda zona 420, y una tercera zona 430. La tercera zona 430 de la barra 400 incluye uranio natural y puede ser de aproximadamente 15,2 cm (seis pulgadas) de largo. Sin embargo, la zona 410 de refuerzo y la segunda zona 420 incluyen uranio enriquecido y la segunda zona 420 incluye adicionalmente gadolinia. En la FIG. 7, A % y B % representan el porcentaje de gadolinia presente en la zona 410 de refuerzo y en la segunda zona 420, respectivamente, en peso. En la FIG. 7, X % representa el porcentaje en peso de U235 en la segunda zona 420 e Y % representa el porcentaje en peso de U235 en la zona 410 de refuerzo. De acuerdo con la invención, Y % es mayor que o igual al 1 % y A % es igual a 0 %.

La FIG. 8A ilustra una sección transversal de un haz 40' de combustible que incluye una matriz de barras F1-F4 de combustible que tienen la configuración de la barra 300 de combustible ilustrada en la FIG. 6 y barras G1-G3 de combustible que tienen la configuración de la barra 400 de combustible ilustrada en la FIG. 7 (véase la FIG. 8A). El haz 40' de combustible incluye también barras WR de agua. Los perfiles de cada una de las barras de combustible se proporcionan en la FIG. 8B. Por ejemplo, la barra de combustible F1, tal como se ilustra en la FIG. 8B, incluye uranio enriquecido (2,4 % de U235 en peso) que se extiende en casi toda la longitud de la barra de combustible estando rellenos los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de la barra con uranio natural que tiene el 0,71 % de U235 en peso. Con referencia a la FIG. 6 y a la FIG. 8B, la zona de uranio enriquecido de F1 representa tanto la zona 310 de refuerzo como la segunda zona 320 y representa adicionalmente un ejemplo en el que $X \% = Y \% = 2,4 \%$. Adicionalmente, los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de la barra de combustible F1 corresponden a la tercera zona 330 ilustrada en la FIG. 6. Como otro ejemplo, la barra de combustible F2, tal como se ilustra en la FIG. 8B, incluye uranio enriquecido (3,2 % de U235 en peso) que se extiende en casi toda la longitud de la barra de combustible estando los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de la barra F2 rellenos con uranio natural que tiene el 0,71 % de U235 en peso. Con referencia a la FIG. 6, la zona de uranio enriquecido de F2 corresponde a la zona 310 de refuerzo y a la segunda zona 320 de la barra 300 de combustible y representa adicionalmente un caso en el que $X \% = Y \% = 3,2 \%$. Como en el ejemplo previo, los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de la barra de combustible F2 corresponden a la tercera zona 330 ilustrada en la FIG. 6.

La FIG. 8B ilustra también un ejemplo de una barra de combustible que contiene gadolinia tal como se ilustra en la FIG. 7. Por ejemplo, G1 ilustra una barra de combustible que tiene tres zonas. La primera zona ocupa los 15,2 cm (seis pulgadas) inferiores de la barra de combustible e incluye uranio enriquecido que tiene el 4,9 % de U235 en peso. Esta zona corresponde a la zona 410 de refuerzo ilustrada en la FIG. 7. Sin embargo, los 15,2 cm inferiores de la barra G1 de combustible incluye también el 2 % de gadolinia en peso. Los siguientes 350,5 cm (ciento treinta y ocho pulgadas) de la barra G1 de combustible incluyen uranio enriquecido que tiene el 4,9 % de U235 en peso. Sin embargo, solo los 121,9 cm (cuarenta y ocho pulgadas) inferiores de esta zona incluyen el 8 % de gadolinia en peso mientras que los siguientes 228,6 cm (noventa pulgadas) incluyen solo uranio enriquecido que tiene el 4,9 % de U235 en peso. Los 15,2 cm superiores de la barra G1 de combustible incluyen uranio natural. Como reconocerá un experto en la materia, la barra G1 de combustible representa un caso en el que $X \% = Y \% = 4,9 \%$, $A \% = 2 \%$, y $B \% = 8 \%$.

Como otro ejemplo de una barra de combustible que incluye gadolinia, la barra G3 de combustible incluye una primera zona que contiene uranio enriquecido (4,9 % de U235 en peso) que se extiende aproximadamente los primeros 15,2 cm (seis pulgadas) inferiores de la barra de combustible. Esta zona incluye también aproximadamente

el 2 % de gadolinia en peso. Los siguientes 350,5 cm (ciento treinta y ocho pulgadas) de la barra incluyen uranio enriquecido (4,9 % de U235 en peso) que tiene el 8 % en peso de gadolinia. Los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de la barra G3 de combustible incluyen solo uranio natural. Como reconocerá un experto en la materia, la barra G3 de combustible representa un caso en el que $X \% = Y \% = 4,9 \%$, $A \% = 2 \%$, y $B \% = 8 \%$.

- 5 Como una realización de la presente invención de una barra de combustible que incluye gadolinia, la barra G2 de combustible incluye una primera zona que contiene uranio enriquecido (4,9 % de U235 en peso) que se extiende aproximadamente los primeros 15,2 cm (seis pulgadas) inferiores de la barra de combustible. Esta zona incluye solo uranio enriquecido a diferencia de las zonas correspondientes de las barras G1 y G3. Los siguientes 350,5 cm (ciento treinta y ocho pulgadas) de la barra G2 incluyen uranio enriquecido (4,9 % de U235 en peso) que tiene el 8 % en peso de gadolinia. Los 15,2 cm (seis pulgadas) superiores de la barra G2 de combustible incluyen solo uranio natural. Como reconocerá un experto en la materia, la barra G2 de combustible representa un caso en el que $X \% = Y \% = 4,9 \%$, $A \% = 0 \%$, y $B \% = 8 \%$.

- 10 Las FIGS. 9 y 10 representan resultados de simulación de un núcleo de reactor que incluye haces de combustible 800. Debido a la simetría, solo se modelizó un cuarto del núcleo. Más específicamente, las FIGS. 9 y 10 representan un ciclo de equilibrio del núcleo de reactor que usa los diseños de barra y haz de combustible convencional y nuevamente desarrollados. Por ejemplo, la FIG. 9 representa el ciclo de equilibrio de un núcleo que utiliza el haz 40 de combustible ilustrado en las FIGS. 5A y 5B y la FIG. 10 representa el ciclo de equilibrio de un núcleo que utiliza los diseños de barras 300 de combustible y 400 y el haz 40' de acuerdo con realizaciones de ejemplo.

- 20 Como puede verse en la FIG. 9, cuando se usan haces 40 convencionales en el núcleo del reactor, el número de haces frescos (identificadas por el carácter "0" en la rejilla), haces quemadas una vez (representadas por el carácter "1" en la rejilla), y haces quemadas dos veces (representadas por el carácter "2" en la rejilla) en el ciclo de equilibrio son 384, 384, y 32, respectivamente. Sin embargo, cuando el núcleo se carga con los haces 40' de combustible (véase la FIG. 10), de acuerdo con realizaciones de ejemplo, el número de haces frescos, haces quemados una vez, y haces quemados dos veces son 356, 356 y 88 respectivamente. En breve, el número de haces quemados dos veces se incrementa en aproximadamente el 175 % y el número de haces frescos y de haces quemados una vez disminuye en el 7 % cuando se usa el diseño de haz 40' de combustible de acuerdo con las realizaciones de ejemplo en lugar del haz 40 de combustible convencional. Estos resultados indican que el diseño del haz 40' de combustible nuevamente desarrollado que usa las barras 300 y 400 de combustible nuevamente desarrolladas ofrece una mejora significativa sobre la técnica convencional.

- 30 En breve, la eliminación de las capas fértiles de uranio natural en la parte inferior del haz permite que el tamaño del lote (el número de haces de combustible frescos) se disminuya en un grado tal que se realiza una ganancia neta en eficiencia. No es obvio que esto debiera ser así y es, de hecho, contra intuitivo. Un experto en la técnica esperaría que la colocación de una gran cantidad de uranio de alto valor, alta reactividad directamente en el fondo del núcleo en donde la fuga de neutrones es más alta daría como resultado una pérdida de eficiencia. Sin embargo, después de una investigación completa, la pérdida de eficiencia por la eliminación de la capa fértil inferior es más que desplazada por la ganancia en eficiencia por la disminución resultante en el tamaño del lote.

Aunque la invención se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a realizaciones de ejemplo de la misma, se entenderá por los expertos en la materia que se pueden realizar varios cambios en la forma y detalles de la misma sin apartarse del alcance de las reivindicaciones a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Una barra (400) de combustible que comprende:
- 5 un primer uranio enriquecido en porcentaje en peso en una zona (410) de refuerzo de la barra (400) de combustible, estando dispuesta la zona (410) de refuerzo directamente en una parte inferior de la barra (400) de combustible;
- un segundo uranio enriquecido en porcentaje en peso en una segunda zona (420) de la barra (400) de combustible, estando dispuesta la segunda zona (420) sobre la zona (410) de refuerzo; y
- 10 uranio natural en una tercera zona (430) de la barra (400) de combustible, estando dispuesta la tercera zona (430) sobre la segunda zona (410), en la que un porcentaje de enriquecimiento del primer uranio enriquecido en la zona (410) de refuerzo es de al menos un uno por ciento;
- caracterizada porque:
- la segunda zona (420) además incluye un veneno consumible;
- en la que la zona (410) de refuerzo no incluye un veneno consumible.
- 15 2. La barra de combustible según la reivindicación 1, en la que la tercera zona (430) tiene una longitud de aproximadamente 15,2 cm..
3. La barra de combustible según la reivindicación 1 o 2, en la que la segunda zona (420) está directamente sobre la zona (410) de refuerzo.
4. La barra de combustible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que una parte de la segunda zona (420) incluye el veneno consumible y otra parte de la segunda zona (420) no incluye el veneno consumible.
- 20 5. La barra de combustible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el veneno consumible es gadolinia.
6. Un haz (40') de combustible que comprende la barra de combustible según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

FIG. 1
TÉCNICA CONVENCIONAL

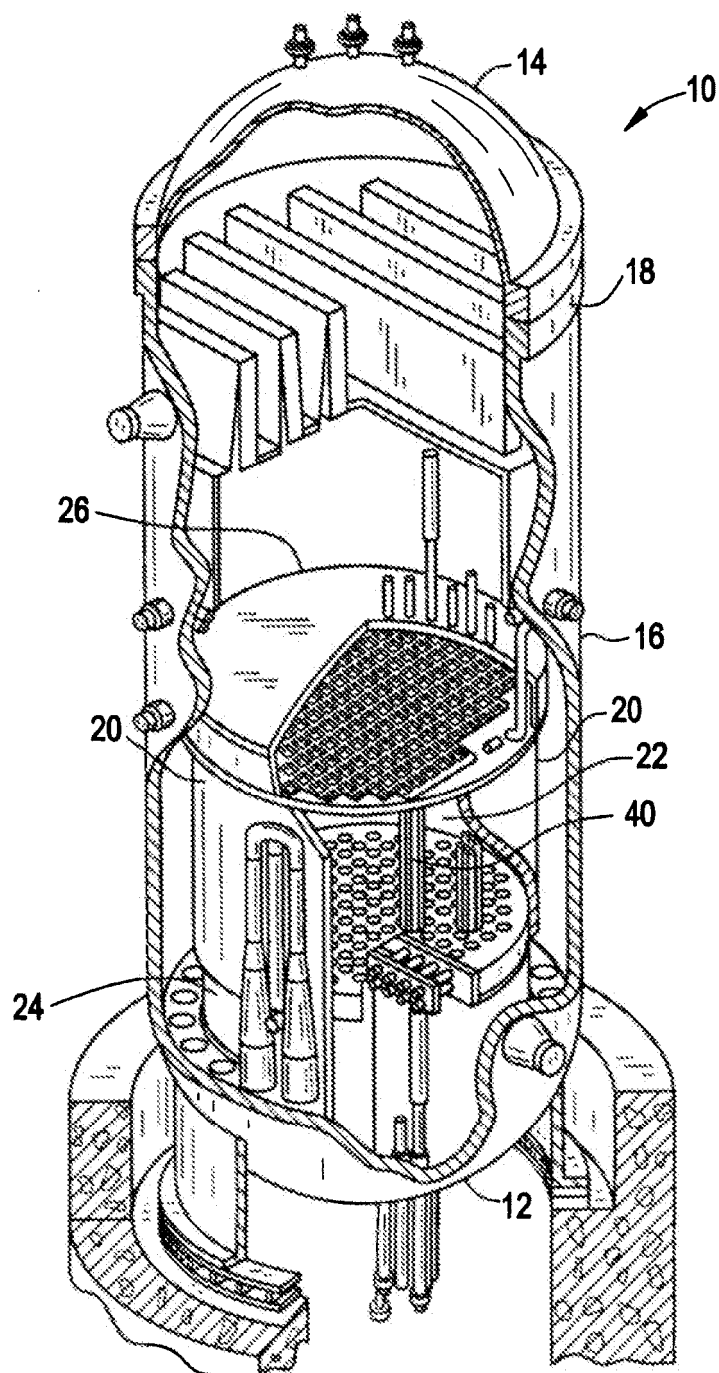


FIG. 2
TÉCNICA CONVENCIONAL

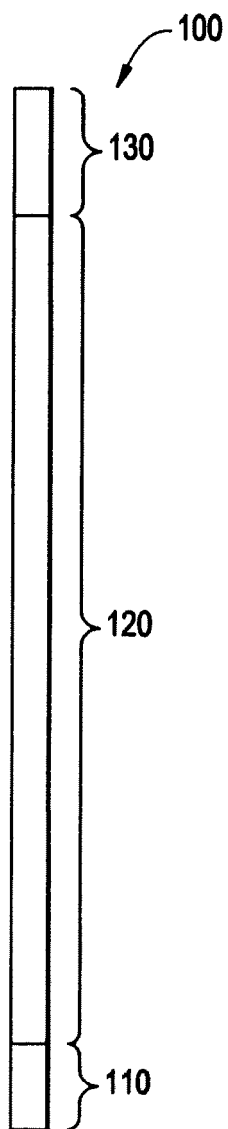


FIG. 3
TÉCNICA CONVENCIONAL

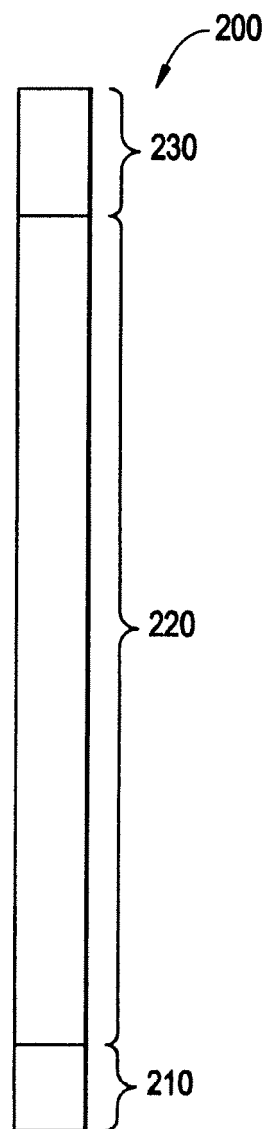


FIG. 4
TÉCNICA CONVENCIONAL

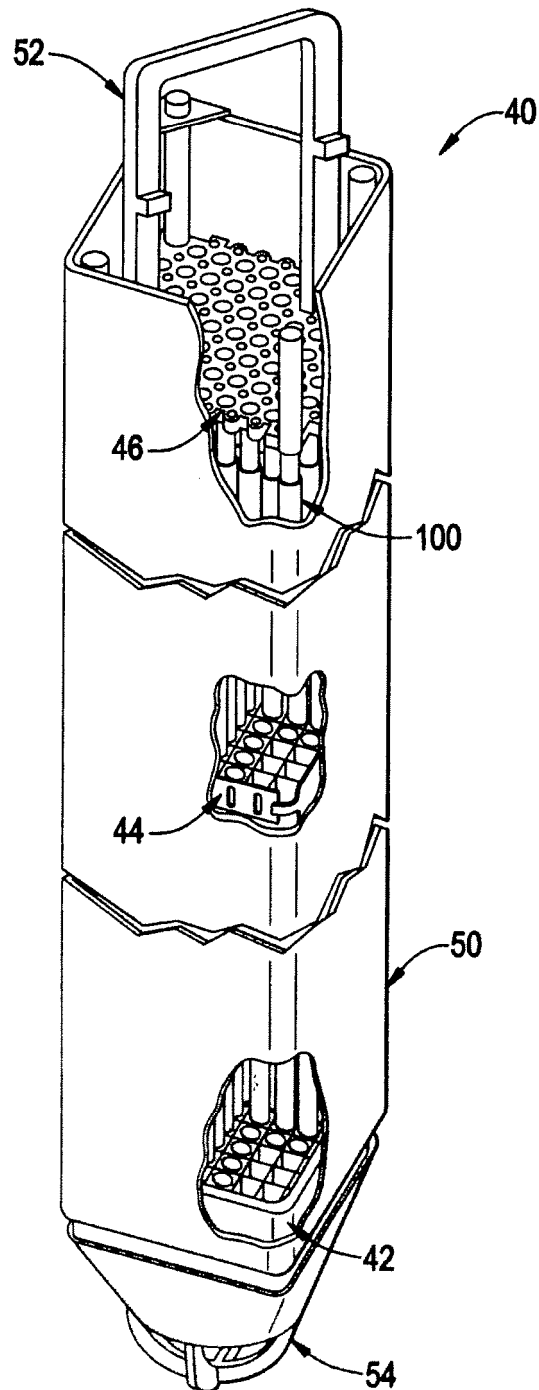


FIG. 5A
TÉCNICA CONVENCIONAL

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	F1	F2	F3	F4	F4	F4	F4	F3	F2	F1
2	F2	P1	G3	P1	F4	F4	P1	G3	P1	F2
3	F3	G3	F4	F4	G3	F4	F4	F4	G3	F3
4	F4	P1	F4	G1	F4	WR		F4	P1	F4
5	F4	F4	G3	F4	P1			F4	G2	F4
6	F4	F4	F4	WR		P1	F4	G3	F4	F4
7	F4	P1	F4			F4	G1	F4	P1	F4
8	F3	G3	F4	F4	F4	G3	F4	F4	G3	F3
9	F2	P1	G3	P1	G2	F4	P1	G3	P1	F2
10	F1	F2	F3	F4	F4	F4	F4	F3	F2	F1

FIG. 5B
TÉCNICA CONVENCIONAL

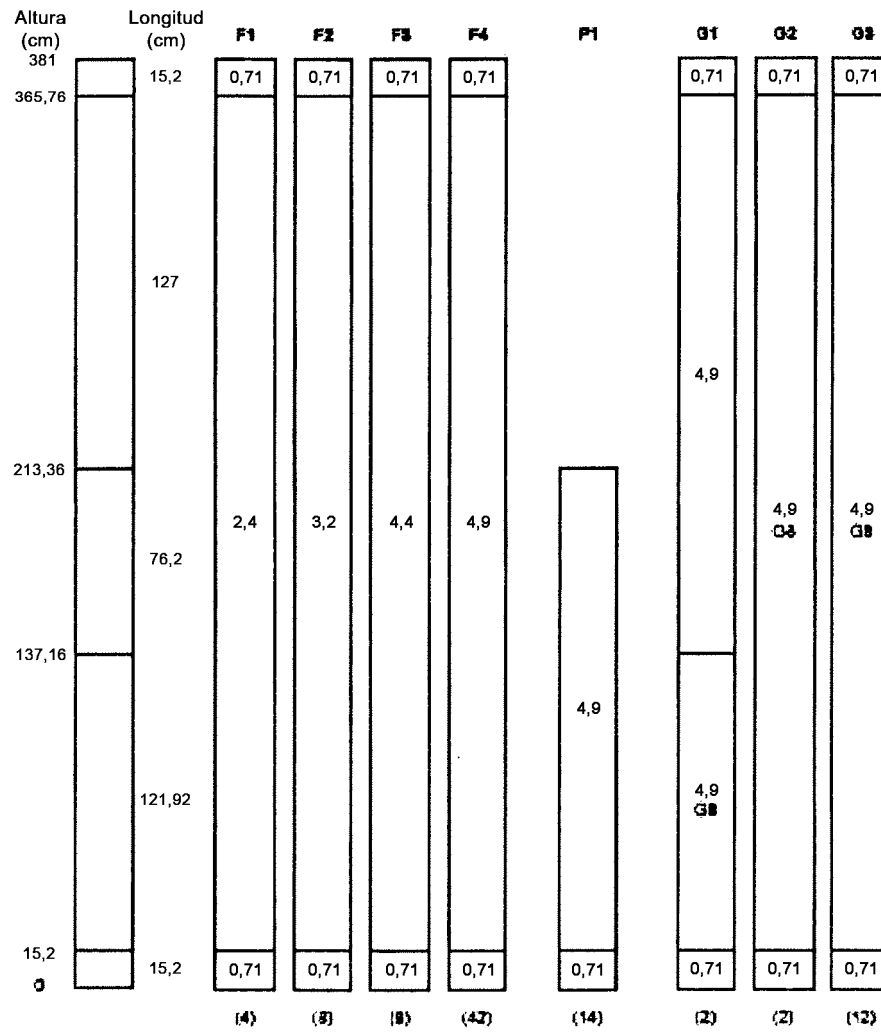


FIG. 6
TÉCNICA CONVENCIONAL

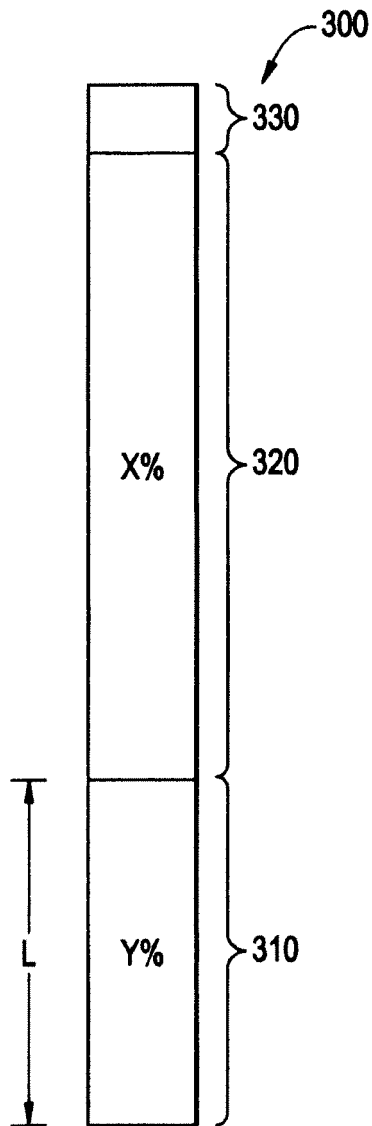


FIG. 7

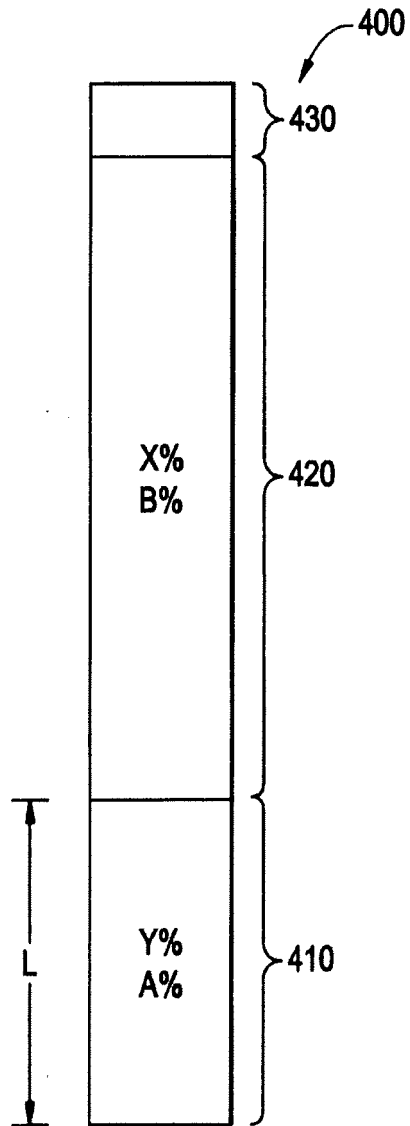


FIG. 8A

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	F1	F2	F3	F4	F4	F4	F4	F3	F2	F1
2	F2	P1	G3	P1	F4	F4	P1	G3	P1	F2
3	F3	G3	F4	F4	G3	F4	F4	F4	G3	F3
4	F4	P1	F4	G1	F4	WR		F4	P1	F4
5	F4	F4	G3	F4	P1			F4	G2	F4
6	F4	F4	F4	WR		P1	F4	G3	F4	F4
7	F4	P1	F4			F4	G1	F4	P1	F4
8	F3	G3	F4	F4	F4	G3	F4	F4	G3	F3
9	F2	P1	G3	P1	G2	F4	P1	G3	P1	F2
10	F1	F2	F3	F4	F4	F4	F4	F3	F2	F1

FIG. 8B

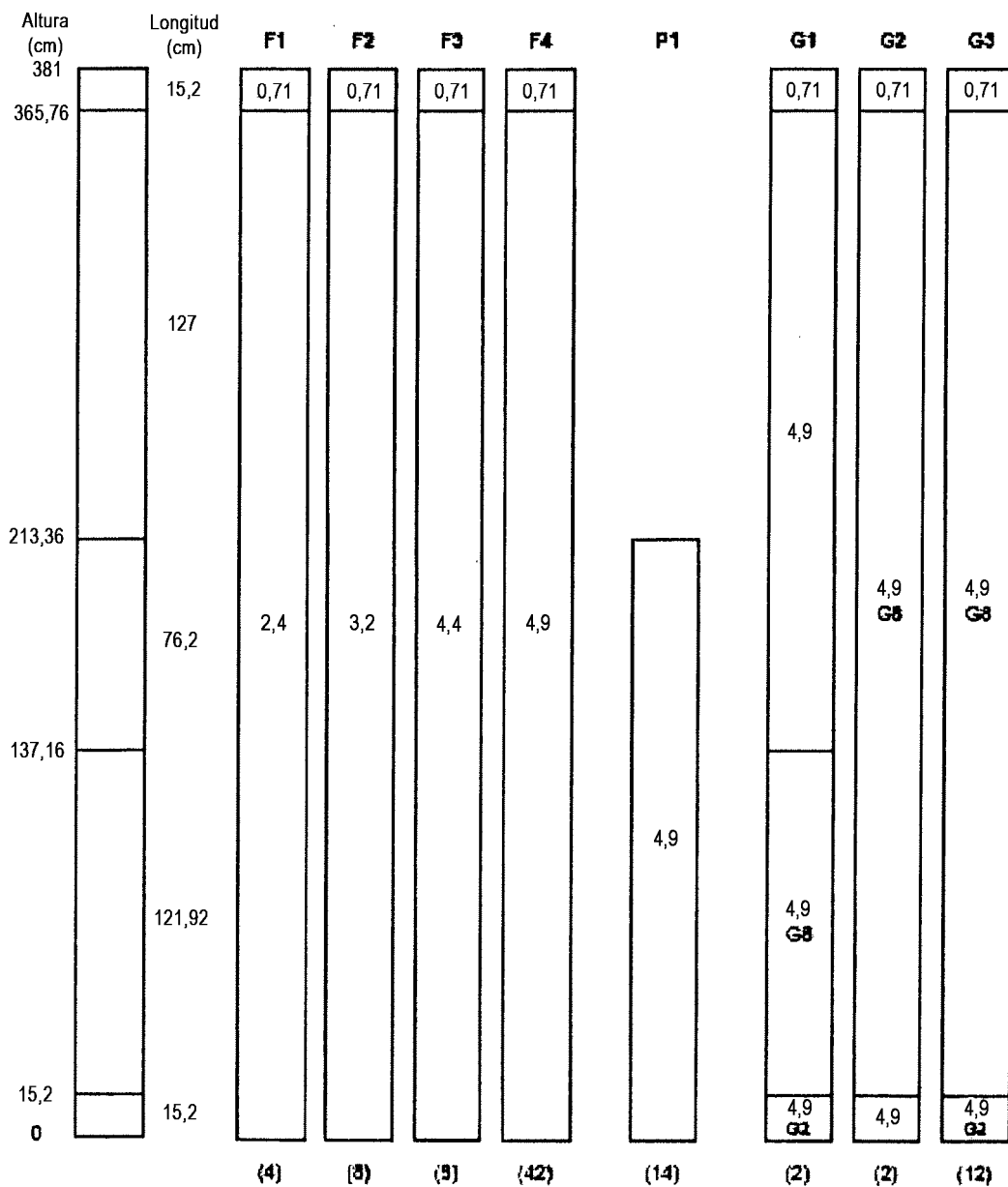


FIG. 9

TÉCNICA CONVENCIONAL

Tamaño lote = 384 Fracción lote = 48,0%

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1																	
2																	Tamaño del núcleo: 800
3																	
4																	Lote fresco: 384
5																	Quemado una vez: 384
6																	Quemado dos veces: 32
7																	
8																	Tamaño periferia: 92
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	

FIG. 10

Tamaño lote = 356 Fracción lote = 44,5%

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																

Tamaño del núcleo:	800
Lote fresco:	356
Quemado una vez:	356
Quemado dos veces:	98
Tamaño periferia:	92