

321983



PATENTE DE INVENCION

=====

321983

M E M O R I A            D E S C R I P T I V A

S o b r e :

"UN ELEMENTO DE COMBUSTIBLE PARA REACTORES NUCLEARES"

-----

Solicitante: UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION, Entidad  
estadounidense, con domicilio en GERMANTOWN, -  
MARYLAND ( U.S.A.).

-----

Inventores: DR Paul GREEBLER, D. Kenneth M. HORST, D. Eugene  
E. OLICH y D. Bertram WOLFE.

-----

-----

--



321983

Esta invención se refiere a barras combustibles para reactores nucleares, y particularmente a barras combustibles que tienen porciones segmentadas de combustible, dispuestas para expandirse y contraerse térmicamente una con respecto a otra en una manera compensadora, para lograr un coeficiente de expansión térmica de una reactividad que se aproxima a cero.

5.-

10.-

15.-

20.-

25.-

30.-

Para el propósito de medir fácil y exactamente el coeficiente Doppler de un núcleo de reactor nuclear y aislar los fenómenos de ensanchamiento Doppler a partir de otros fenómenos neutrónicos de un reactor nuclear, es deseable reducir el efecto de cambio en la reactividad, debido a la expansión térmica axial del combustible, a un mínimo o preferiblemente a cero. Es además deseable en un reactor en el cual se utilizan neutrones rápidos o de alta energía, mantener la reacción de fisión, para incrementar la economía del neutrón a altos niveles de potencia, reduciendo la fuga de neutrones. Resulta una fuga incrementada de neutrones cuando el área de superficie externa de un núcleo cilíndrico y alargado aumenta debido a la expansión térmica axial del combustible. El incremento de volumen y la correspondiente disminución en la reactividad debido a la fuga neutrónica, ocultará así la reducción de la reactividad debido al ensanchamiento Doppler. El empleo del ensanchamiento Doppler para el control de excursiones en los reactores de neutrones rápidos, se describe con detalle en la solicitud copendiente de Paul Greebler, Serie No. 345.056, presentada el 14 de Febrero de 1.964 y se incorpora en la presente en el grado en que sea pertinente para la descripción presente.

La presente invención permite que se mida el efecto del ensanchamiento Doppler directamente, y permite además su

321983



5.- aplicación aislada para reducir el efecto de un incremento - rápido en la reactividad, sin influencia de otros fenómenos de núcleo del reactor. La presente invención simplifica consecuentemente, en gran parte, el control del reactor, utilizando el efecto Doppler mencionado anteriormente o en otros casos en los cuales los efectos de expansión térmica sobre la reactividad complican el control.

10.- En algunos núcleos de reactor del arte anterior, - el material combustible fisil se aloja normalmente en recipientes individuales, y se dispone en serie en una barra de combustible o elemento combustible, primariamente para el propósito de contener productos peligrosos de fisión radioactiva. En otros núcleos de reactor del arte anterior, el material combustible fisil es alojado en un recipiente individual o compactado para formar una pastilla de cerámica de alta densidad dentro de un cubrimiento o aderezo tal como una barra combustible. En estas barras combustibles del arte anterior, se proveía a menudo un espacio aleatoriamente o a intervalos regulares entre los recipientes de combustible fisil

15.- individuales, o pastillas de cerámica densas, y el recubrimiento o aderezo de combustible para permitir la expansión del material combustible. La separación se proveía para el propósito primario y único de evitar pandeo estructural de la barra combustible cuando ambos extremos de la barra eran mantenidos en una relación rígida o fija uno con respecto a

20.- otro, por ejemplo, en un reactor de agua a presión. No se hacia esfuerzo, en los núcleos de reactor del arte anterior, para utilizar de una manera efectiva la expansión térmica de segmentos combustibles apropiadamente construidos, en regiones de espacio apropiadamente dispuestas, para reducir o modificar el coeficiente de expansión térmica de reactividad.

25.-

30.-



321983

En el método y dispositivo de la presente invención, el combustible se divide en segmentos que están dispuestos para expandirse individualmente a áreas de espacio libre pre-determinadas, y son de una longitud especificada, en número especificado y están dispuestos de una manera especificada dentro del núcleo, para lograr un coeficiente de expansión térmica de reactividad cero o casi cero. Incidentalmente al anterior, se logra también una adaptación a la expansión térmica lineal.

5.-

10.-

Es por lo tanto un objeto de esta invención proveer una barra combustible que tenga un coeficiente de expansión térmica global de reactividad que se aproxime a cero.

15.-

Es un objeto adicional de ésta invención proveer una barra combustible mediante la cual pueda aplicarse el efecto de ensanchamiento Doppler como medio primario para controlar una excursión de reactor o controlar por lo demás el nivel de potencia de operación de un reactor neutrónico.

20.-

Es otro objeto de ésta invención proveer una barra combustible en la cual el combustible esté segmentado y se expanda y contraiga independientemente del cubrimiento o aderezo externo.

25.-

Otros objetos y objetos más particulares de esta invención se manifestarán mediante el estudio de la siguiente descripción detallada cuando se pone junto con el dibujo anexo, en el cual:

30.-

La figura 1 es una sección longitudinal de una modalidad de dos segmentos del elemento combustible, que muestra las partes en detalle;

La figura 2 es una sección longitudinal de una modalidad de dos segmentos del elemento combustible, que muestra los aspectos básicos en cuanto a la longitud del segmento;



321983

La figura 3 es una sección longitudinal de una modalidad de tres segmentos del elemento combustible, que muestra aspectos básicos en cuanto a la longitud del segmento;

5.- La figura 4 es una sección longitudinal de una modalidad de cuatro segmentos del elemento combustible, que muestra los aspectos básicos en cuanto a la longitud del segmento;

10.- La figura 5 es una sección longitudinal de una modalidad de cinco segmentos del elemento combustible, que muestra aspectos básicos en cuanto a la longitud del segmento; y

La figura 6 es una gráfica que ilustra el efecto de variar la posición del hueco interno a lo largo de la longitud de un elemento combustible de dos segmentos.

15.- El coeficiente de expansión térmica de reactividad se define en la presente como el cambio de reactividad para el cambio de la expansión térmica por unidad de longitud - (v.gr. centímetros) a lo largo del eje longitudinal del combustible fisil a temperaturas cercanas a la potencia normal o de operación valorada. Se apreciará que dicha expansión no es constante a temperaturas superiores o inferiores; sin embargo, el valor específico de cualquier nivel de operación seleccionado no modifica el principio de operación y no debe considerarse que controla el principio, concepto u operaciones de esta invención,

25.- Haciendo referencia a la figura 1, el elemento combustible de ésta invención comprende esencialmente un cubrimiento o aderezo tubular 11 que aloja una zona de combustible 12 entre tapones reflectores de neutrones 13 y 14, extremos, superior e inferior, respectivamente, con la zona de combustible 12 incluyendo un material combustible fisil sólido dividido por lo menos en dos y no más de cinco segmentos montados deslizablemente en la misma. Los segmentos com-

30.-

321983



- 5.- bustibles superior e inferior con longitudes seleccionadas de conformidad con los principios discutidos más completamente más adelante, se retienen bajo compresión entre medios de resorte y un tope fijo, de modo que queden fijos en su extremo inferior y se les permite expandirse contra medios de resorte v.gr., 28 a 31, a un segmento hueco 16 (para el segmento inferior 23) o 32 para el segmento superior 30 en su extremo superior. Tales segmentos pueden proveerse como un número apropiado de subsegmentos separadamente cubiertos 17,
- 10.- dispuestos en serie a lo largo de la longitud del elemento de combustible, en grupos, en relación de ajuste flojo dentro del cubrimiento 11, de manera que el cubrimiento 11 no será arrastrado por la expansión axial de los subsegmentos 17. Las longitudes y el número de segmentos de combustible que montan
- 15.- y disponen particularmente según se describe más adelante, para reducir el coeficiente de expansión térmica de reactividad que se aproxime a cero. Esencialmente, uno de dichos segmentos 30 está montado dentro de dicho cubrimiento, con el extremo inferior fijo en relación con dicho cubrimiento y el
- 20.- extremo superior siendo expandible a un hueco 32 en el extremo superior de dicho cubrimiento. Se fija un segundo segmento a dicho cubrimiento por debajo del plano medio, con el extremo superior extendiéndose a través del plano medio y siendo expandible a un hueco 17 efectivamente entre su parte superior
- 25.- y el extremo inferior del segmento 30.

30.- La disposición básica anterior se provee con modificaciones apropiadas, descritas más adelante, para incluir de 2 a 5 segmentos combustibles. Una modalidad típica para un elemento de combustible de dos segmentos se ilustra en la figura 2, que muestra la disposición y la longitud del seg-



321983

mento necesarias para operación de conformidad con ésta invención. Básicamente, los detalles de construcción para el elemento combustible de dos segmentos serán aplicables también a los elementos combustibles con más de dos segmentos.

- 5.- Para montarse en un recipiente de núcleo de reactor (no mostrado) haciendo referencia a la figura 1, se provee un perno de soporte inferior 21 en el extremo inferior del cubrimiento o aderezo 11, y se fija, por ejemplo, mediante soldadura o de manera similar al mismo. El perno de soporte inferior 21 se dispone a manera de ser recibido y soportado en un hundimiento o perforación en una placa de rejilla (no mostrada) en un recipiente de contención del reactor (no mostrado). Por encima y en contacto inmediato con el perno de soporte inferior 21, se dispone dentro de dicho cubrimiento o aderezo 11, un tope 14 que sirve como un reflector neutrónico inferior que se fabrica de níquel, carbón o de un material reflector neutrónico similar. Sobre el reflector neutrónico inferior 14 y adyacente al mismo, se encuentra una pastilla aisladora de segmento inferior 22, fabricada a partir de cualquier material aislante térmico de alta temperatura, v.gr., óxido de aluminio, magnesio, zafiro o similares. En contacto con dicha pastilla de aislamiento 22, para la modalidad de elementos combustible de dos segmentos, se encuentra la superficie extrema inferior de un segmento de combustible inferior y relativamente alargado 23, constituido de una pluralidad agrupada de subsegmentos 17 dispuestos en serie. Cada subsegmento es un combustible fisil que contiene material compacto individualmente cubierto, v.gr.,  $UO_2$ ,  $PuO_2$ , mezclas de los mismos o similares. El cubrimiento de subsegmento 25 puede comprender cualquiera o más de los aceros inoxidable
- 10.-
- 15.-
- 20.-
- 25.-
- 30.-



321983

- de calidad de reactor nuclear usuales, o una aleación de zirconio u otro metal de baja absorción de neutrones. El diámetro externo de los subsegmentos se dispone de manera que sea menor que el diámetro interno del cubrimiento de elemento de combustible 11 a las temperaturas de operación, para permitir el movimiento axial no obstruido del segmento 23 dentro del cubrimiento 11 con relación al aislador 22 y al tope 14. En contraste inmediato con el subsegmento superior del segmento de combustible inferior 23, se encuentra la pastilla aisladora superior de segmento inferior, 26, de un diámetro, a una temperatura de operación, igual al diámetro de subsegmento 17. Por arriba de dicho aislador 26 se encuentra el hueco 16 y encima del hueco 16 se encuentra el tapón 27 fijo por soldadura o de manera similar al extremo superior de la porción inferior 29 del cubrimiento de elemento de combustible 11. En el hueco 16, en compresión contra tanto el tapón 27 como la pastilla de charola 26, se encuentra el resorte 28 que mantiene los subsegmentos 17 dispuestos en serie, en su sitio contra la pastilla aisladora 22 y al reflector de neutrones inferior 14. De tal modo, el segmento de combustible inferior 23 puede expandirse sólo hacia arriba contra el resorte 25 al hueco 16. Además, la porción de cubrimiento inferior 29 puede expandirse independientemente hacia arriba, llevando con la misma al tapón 27.
- 5.-
- 10.-
- 15.-
- 20.-
- 25.-
- 30.-
- De manera similar, el segmento de combustible superior 30 se dispone con el extremo inferior de la porción superior 33 del cubrimiento de elemento de combustible 11, que rodea a dicho segmento 30, la cual porción 33 está fija en su extremo inferior, por ejemplo, mediante soldadura o de manera similar al tapón 27. El extremo superior del segmento



321983

- de combustible superior 30 comprime el resorte superior 31 en el hueco superior 32 contra el tope 13 de reflector de neutrones superior fabricado de material similar al reflector de neutrones inferior 14, el cual reflector 13 está a su vez en contacto inmediato con el acoplamiento superior 34.
- 5.- El acoplamiento superior 34 está fijo, por ejemplo, mediante soldadura o de manera similar, al cubrimiento de elemento de combustible 11. El acoplamiento superior 34 se provee también con el hundimiento 35 en el cual se ajusta el extremo de tapón macho 37 de la barra de extensión 38, y se une por ejemplo, mediante tornillos, remaches, pernos o similares. La barra de extensión 38 se utilizan tanto para insertar como para separar el elemento de combustible con relación al haz de elementos de combustibles similares, que comprende el núcleo del reactor, y puede actuar además como un escudo contra la radiación sobre la parte superior del núcleo. Se disponen casquillo superior e inferior 40 y 41 a tope con casquillos similares de elementos de combustible adyacentes, con las ranuras 42 de los casquillos 40 y 41 dispuestas para evitar el paso de corriente de neutrones a lo largo de la barra causando activación de la cabeza de recipiente de reacción (no mostrada). La cabeza de la barra de extensión 39 se provee en el extremo superior de la barra de extensión 38, y está adaptada para recibir medios de agarre (no mostrados) para levantar la unidad de barra de extensión elemento de combustible hacia afuera del reactor.
- 10.-
- 15.-
- 20.-
- 25.-

Debe notarse particularmente la posición del hueco 16 en el elemento de combustible de dos segmentos. Aunque los elementos de combustible de tres, cuatro y cinco segmentos tengan segmentos de iguales longitudes, se ha encontrado

30.-



# 321983

- que para el elemento de combustible de dos segmentos, el hueco 16 en la parte superior del segmento inferior 23, debe estar por encima del plano transversal medio 50 del elemento de combustible, con el extremo superior del segmento 23 siendo
- 5.- do movable en el mismo con el extremo inferior estando fijo por debajo de dicho plano medio. La figura 6 es una gráfica que muestra el porcentaje de reducción en el coeficiente de expansión térmica de reactividad, como una función de la posición del hueco 16 dentro del núcleo a lo largo de la longitud del elemento de combustible de dos segmentos. La curva
- 10.- 45 ilustra el porcentaje de reducción en el coeficiente de expansión térmica de reactividad para calentamiento de estado isotérmico o estable. La curva 46 ilustra el mismo efecto para un calentamiento transitorio más rápido que podría ocurrir durante un incremento brusco en la reactividad. Se observará que el punto 47, en donde el coeficiente de expansión
- 15.- térmica de reactividad está en un mínimo, que ocurre por arriba del punto medio 48 que corresponde al plano transversal medio 50 del elemento de combustible, de la figura 2. Para
- 20.- un elemento de combustible de dos segmentos que tiene una longitud de segmento de combustible fisil total de 85.94 cm. el punto 47 está aproximadamente a 10 cm. por arriba del plano transversal medio 50 (punto 48 sobre las curvas 45 y 46 de la figura 6) del elemento de combustible.
- 25.- Se ha encontrado que para los elementos de combustible de tres, cuatro y cinco segmentos, la longitud de los segmentos puede hacerse igual para lograr los resultados deseados, una circunstancia que simplifica fortuitamente la fabricación del combustible. Se ha encontrado también que el
- 30.- empleo de más de cinco segmentos introducirá también un volumen demasiado grande de material absorbedor de neutrones en el núcleo de reactor, para el beneficio ganado en la reducción adicional del coeficiente de expansión térmica de reactividad.



# 321983

Para el elemento de combustible de tres, cuatro y cinco segmentos, según se ilustra en las figuras 3, 4 y 5 respectivamente, las configuraciones para el reflector superior 13 y hacia arriba así como el reflector inferior 14 y hacia abajo son idénticas a las del elemento de combustible de dos segmentos de las figuras 1 y 2. El elemento de combustible de tres segmentos de la figura 3 comprende un hueco superior 32 inmediatamente debajo del reflector superior 13, una primera pastilla aisladora superior 51 mantenida en compresión contra subsegmentos dispuestos en serie en el segmento de combustible superior 30, mediante el resorte 28 situado en el hueco superior 32. El extremo inferior del segmento de combustible superior 30 descansa contra la primera pastilla aisladora inferior 52 que descansa a su vez contra el tambor 53 fabricado de acero inoxidable o material similar. El cubrimiento o aderezo 11 del elemento de combustible se fija por ejemplo, mediante soldadura o de manera similar a dicho primer tapón 53. Inmediatamente debajo del primer tapón 53, dispuesto de una manera similar al hueco superior 32, primera pastilla aisladora superior 51, segmento superior 30, primera pastilla aisladora inferior 52, y primer tapón 53, se encuentran un segundo hueco 55, segunda pastilla aisladora superior 56, segundo segmento 57, segunda pastilla aisladora inferior 58 y segundo tapón 59. El segundo resorte 60 está dispuesto en el segundo hueco 55 para mantener el segundo segmento 57 en compresión. Inmediatamente debajo del segundo tapón 59, de una manera similar a la anterior, se dispone el tercer hueco 63 que contiene un tercer resorte 64, tercera pastilla aisladora superior 65, tercer segmento 66 y tercera pastilla aisladora inferior 67, en compresión contra el receptor de neutrones superior 14.

321983



5.- El elemento de combustible de cuatro segmentos es similar al elemento de tres segmentos pero con el tercer tapón 69, el cuarto hueco 70 conteniendo un cuarto resorte 71, una cuarta pastilla aisladora superior 72, un cuarto segmento 73 y una cuarta pastilla aisladora inferior 74 en compresión contra el reflector inferior de neutrones 14, todos dispuestos en serie por debajo de la tercera pastilla aisladora 67.

10.- De una manera similar, para el elemento de combustible de cinco segmentos, el cuarto tapón 75, el quinto hueco 76, el quinto resorte 77, el quinto aislador superior 78, el quinto segmento 79 y la quinta pastilla aisladora inferior 80 en compresión contra el reflector inferior de neutrones 14, están todos dispuestos en serie por debajo de la cuarta pastilla aisladora 74.

15.- Para demostrar más aptamente el efecto de segmentación del combustible según se describió anteriormente, se dispone el Cuadro 1 para mostrar datos referentes a ejemplos de elementos de combustible de dos, tres, cuatro y cinco segmentos de esta invención en comparación con un elemento de combustible idéntico en todos los aspectos a los anteriores, con la excepción de que el combustible no está segmentado. En los cinco ejemplos, la cantidad de combustible fisil contenida en cada elemento de combustible es la misma. El número que antecede a la parte de elemento de combustible es el número de referencia para una correspondiente línea de dimensión mostrada en las figuras 2, 3, 4 y 5 como aplicables al elemento de combustible de dos, tres, cuatro, o cinco segmentos respectivamente. Aunque el elemento de combustible que no tiene segmentación del combustible se indica en el Cuadro 1, no ha incluido dibujo del elemento de combustible no segmentado,

20.-

25.-

30.-



321983

5.- ya que no es parte ni representa una modalidad de esta invención, y se utiliza sólo para comparación. Se cree que toda persona experta en el arte comprenderá fácilmente su construcción. El Cuadro II incluye datos pertinentes a un reactor típico de neutrones rápidos que utilizaría benéficamente las barras de combustible de esta invención para formar un núcleo de reactor.

10.- Cuando se pone en operación un núcleo de reactor nuclear, que comprende una pluralidad de elementos de combustible segmentados de ésta invención, y se eleva de la temperatura ambiente a la potencia de operación, es obvio que tanto el cubrimiento ll como los segmentos de combustible se expandirán axialmente debido a sus propiedades inherentes de expansión térmica lineal que, para el cubrimiento de acero inoxidable es de  $17.65 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C.}$ , y para el combustible es de  $9.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C.}$  De tal modo, desde la iniciación hasta la temperatura de operación, los segmentos se expandirán concurrentemente con un movimiento de expansión relativo entre los segmentos. A medida que el segmento inferior se expande hacia arriba a su hueco, el segmento superior se expandirá también hacia arriba a su hueco, pero también, como una unidad, se moverá hacia arriba en alejamiento con respecto al segmento inferior debido a la expansión térmica axial del cubrimiento ll. Durante éste período, el elemento de combustible de ésta invención no operará adecuadamente de la manera descrita anteriormente para compensar el cambio en el coeficiente de expansión térmica de reactividad. Se prefiere que el elemento de combustible de ésta invención opere cuando el reactor alcanza el poder de operación, de modo que la velocidad de flujo del refrigerante puede variarse a manera de mantener una temperatura constante del recubrimiento, mientras que la

15.-

20.-

25.-

30.-



321983

temperatura del combustible y la expansión resultante del combustible pueden variar en respuesta al nivel de reactividad. También, en el caso de un incremento brusco en la reactividad, que da como resultado un incremento brusco en la temperatura del combustible, transcurrirá un tiempo finito antes de que el cubrimiento del elemento de combustible incremente su temperatura. Este período es usualmente del orden de milisegundos. En cualquier caso, la expansión térmica axial del cubrimiento no afectará la operación del elemento de combustible de ésta invención.

Los cálculos para determinar el coeficiente de expansión térmica de reactividad pueden realizarse consecuentemente para un sistema mono-dimensional utilizando la teoría de difusión por medios computadores digitales, a través de cálculos iterativos. Básicamente, la fuga de neutrones más la absorción de neutrones se equilibra contra la fuente de neutrones a partir de las reacciones de fusión por cálculos repetidos mediante el computador digital. Dentro de la exactitud de estos cálculos, el número de segmentos requeridos para que el coeficiente de expansión térmica de reactividad alcance cero, se encuentra que no excede de cinco y después continúa los incrementos en el número de segmentos hasta un nivel de cero. No se logra así ninguna mejora adicional y resulta una falla en el incremento de materiales extraños. Consecuentemente, un elemento de combustible de cuatro o cinco segmentos es casi el óptimo.

Haciendo referencia al Cuadro 1, puede observarse que el valor absoluto del coeficiente de expansión térmica de reactividad ha sido reducido substancialmente substituyendo el elemento de combustible no segmentado de diseño conven-

321983



- 5.- cional por un elemento de combustible segmentado. Puede observarse que el incremento de la segmentación del combustible a más de cinco segmentos daría como resultado que el coeficiente permaneciera cerca de cero o fuera ligeramente positivo - hasta no alcanzar beneficio adicional de la segmentación. Por el contrario, la segmentación adicional tendería a ser desventajosa introduciendo más material de absorción de neutrones en el núcleo, reduciendo de tal modo la economía de neutrones y tendiendo a requerir más combustible fisil para la misma salida de potencia. De tal modo, la segmentación del combustible y la provisión de huecos según se describió anteriormente, hace que el coeficiente de expansión térmica se aproxime, y en el caso del elemento de combustible de cuatro segmentos, que alcance cero, permitiendo de tal modo la expansión térmica del combustible para no afectar la reactividad del reactor.

- 20.- Aunque la modalidad anterior ha sido descrita con detalle, puede haber obviamente muchas otras modalidades o variaciones en la configuración que pueden ser hechas por una persona experta en el arte, sin apartarse del espíritu, alcance o principio de ésta invención. Por lo tanto, esta invención no está limitada excepto de conformidad con el alcance de las cláusulas anexas.

CUADRO I

Número de referencia de dimensión	Configuración del elemento de combustible Artículo	Sin segmentación (no hay dibujo)	Dos segmentos (Fig.2)	Tres segmentos (Fig.3)	Cuatro segmentos (Fig. 4)	Cinco segmentos (Fig. 5)
101	Barra de extensión 38 (Protector neutrónico) y conectores	38.10 cm.	38.10 cm.	38.10 cm.	38.10 cm.	38.10 cm.
102	Reflector superior 13	10.19	10.19	10.19	10.19	10.19
103	Hueco superior 32	6.55	2.35	1.94	1.50	0.88
104	Primera pastilla aisladora superior 51	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
105	Segmento de combustible superior 30	85.94	32.96	28.65	21.47	17.19
106	Primera pastilla aisladora inferior 52.		0.95	0.95	0.95	0.95
107	Primer tapón 27 (Fig.2) o 53 (Figs.3,4 & 5)		1.59	1.59	1.59	1.59
108	Segundo hueco 16 (Fig.2) o 55 (Figs.3,4 & 5)		4.19	2.78	1.85	1.61
109	Segunda pastilla aisladora superior 26 (Fig.2) o 56 (Figs.3,4 & 5)		0.95	0.95	0.95	0.95

321983





# 321983

CUADRO I (Continuación)

Número de referencia de dimensión	Configuración del elemento de combustible Artículo	Sin segmentación (no hay dibujo)	Dos segmentos (Fig.2)	Tres segmentos (Fig.3)	Cuatro segmentos (Fig.4)	Cinco segmentos (Fig.5)
110	Segundo segmento de combustible 23 (Fig.2) o 57 (Figs. 3, 4 & 5)		52.98	28.65	21.48	17.19
111	Segunda pastilla aisladora inferior 22 (Fig.2) o 58 (Figs. 3, 4 & 5)		0.95	0.95	0.95	0.95
112	Segundo tapón 59			1.59	1.59	1.59
113	Tercer hueco 63			1.83	1.80	1.67
114	Tercera pastilla aisladora superior 65			0.95	0.95	0.95
115	Tercer segmento de combustible 66			28.65	21.48	17.19
116	Tercera pastilla aisladora inferior 67			0.95	0.95	0.95
117	Tercer tapón 69				1.59	1.59
118	Cuarto hueco 70				1.40	1.61
119	Cuarta pastilla aisladora superior 72				0.95	0.95



321983

CUADRO I (Continuación)

Número de referencia de dimensión	Configuración del elemento de combustible Artículo	Sin segmentación (no hay dibujo)				
		Dos segmentos (Fig.2)	tres segmentos (Fig.3)	Cuatro segmentos (Fig.4)	Cinco segmentos (Fig.5)	
120	Quarto segmento de combustible 73			21.48	17.19	
121	Quarta pastilla aisladora inferior 74			0.95	0.95	
122	Quarto tapón 75				1.59	
123	Quinto hueco 76				0.77	
124	Quinta pastilla aisladora superior 78				0.95	
125	Quinto segmento de combustible 79				17.19	
126	Quinta pastilla aisladora inferior 80				0.95	
127	Reflector inferior 14	10.19	10.19	10.19	10.19	
128	Perno de soporte inferior 21, placa de rejilla, protector de sodio y de rayos gama	43.18	43.18	43.18	43.18	

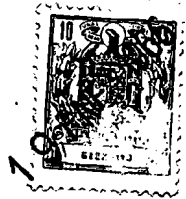


321983

CUADRO I (Continuación)

Número de referencia de dimensión	Configuración del elemento de combustible. Artículo	Sin segmentación (No hay dibujo)				
		Dois segmentos (Fig.2)	Tres segmentos (Fig.3)	Cuatro segmentos (Fig.4)	Cinco segmentos (Fig.5)	
	Diámetro del núcleo de reactor.	86.07	86.07	86.07	86.07	86.07
	Diámetro de elemento de combustible	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
	Diámetro de pastilla de combustible	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
	Temperatura del combustible	2480°C	2480°C	2480°C	2480°C	2480°C
	Temperatura de cubrimiento	427°C	427°C	427°C	427°C	427°C
	Potencia de operación (total para el reactor)	20 MW	20 MW	20 MW	20 MW	20 MW
	Coefficiente de expansión térmico de reactividad	-0.0038	-0.0011	-0.0001	ceró	+0.0006

321983



CUADRO II

	Tipo de reactor	Heterogéneo, de neutrones rápidos	
	Combustible	PuO <sub>2</sub> - UO <sub>2</sub> mixtos, pastillados	
5.-		Riqueza total	= 0.168 átomos %
	Materiales moderadores (fracción volumétrica)	BeO	= 10.02 %
		Acero inoxidable	= 23.77 %
		Sodio	= 20.88 %
10.-	Energía neutróica media	120 Kev (Energía máxima 2.5 Mev)	
	Salida de potencia	20 MWt	
	Control de reflector	Barras de níquel	
15.-		Número total	= 10
		Reactividad máxima por barra	= 25
		Carrera total	= 88.9 cm
	Sistema de transmisión de calor	Primario, sodio	
20.-		Secundario, sodio	
		Terciario, aire	
	Contención	Recipiente principal (tipo 304 SS)	
		Diámetro interno en la sección de combustible fisil	= 10.16
25.-		Diámetro interno en la sección superior	= 144.8 cm
		Espesor de paredes	= 0.952-1.9 cm
		Presión de diseño	= 3.5 kg/cm <sup>2</sup> manométricos.
	Núcleo	Diámetro	= 85.8 cm
30.-		Longitud del combustible fisil	= 85.8 cm

321983



CUADRO II (Continuación)

		Flujo de neutrones (pico mayor que 1 Mev)	= $1 \times 10^{14}$ neut/cm <sup>2</sup> sec.
5.-	Barra combustible	Longitud global	= 3.05 cm.
		Diámetro externo en la sección de combustible <u>fi</u> sil	= 2.54 cm.
		No. total en el núcleo	= 618
10.-		Cubrimiento	= Acero inoxidable Tipo 316
		Disposición hexagonal con barra moderadora central	
	Barra moderadora	No. total de BeO en el núcleo	= 108
15.-	Cubrimiento	Hexagonal, diámetro a través de planos	= 7.78 cm.
		Longitud	= 269.24 cm.
		Espesor de pared	= 0.15 cm.
		Material	= Acero inoxidable tipo 316
20.-	Barra de extensión	Longitud del protector neutrónico	= 121.9 cm.
		Longitud por arriba del protector neutrónico	= 66.04 cm.
		Diámetro externo máximo	= 2.23 cm.
25.-		Material	= Acero inoxidable tipo 316 y B <sub>4</sub> C
		Espesor de cubrimiento	= 0.101 cm.
	Refrigerante	Temperatura de entrada	= 371°C
		Temperatura de salida	= 488°C
30.-		Velocidad de flujo a la potencia	= 4360 gpm
		Velocidad en el núcleo	= 2.6 cm/sec promedio 3.9 m/sec max.

321983



CUADRO II (Continuación)

		Coefficiente de transferencia térmica	= 97690 kcal/hr-m <sup>2</sup> /°C
5.-	Carga de combustible	U-238	= 1598 kg
		Pu - 240	= 26 kg
		Pu 239	= 296 kg
		Total	= 1920 kg
10.-	Composición de combustible	PuO <sub>2</sub> - UO <sub>2</sub>	= 45.4 % Volumen
		BeO	= 11.2 % en volumen
15.-		Refrigerante (sodio)	= 19.2 % en volumen
		Estructura (acero)	= 23.8 % en volumen
	Datos físicos	Fracción de fisiones por debajo de 9 Kev	= 0.22
20.-		Duración de neutrones rápidos	= 0.36 x 10 <sup>-6</sup> sec
		Flujo de neutrones, total	
		Centro de núcleo	= 6.4 x 10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> - sec
		Promedio	= 3.4 x 10 <sup>14</sup> n/cm <sup>2</sup> - sec
25.-		Calentamiento por rayos gama y neutrónico.	
		Fisión rápida gama	= 7.8 Mev/fisión
30.-		Producto de fisión gama	= 7.2 Mev/fisión
		(n, gama) reacción	= 8.2 Mev/fisión
		Dispersión inelástica	= 2.4 Mev/fisión
		Dispersión elástica	= 3.6 Mev/fisión
		Total	= 29.2 Mev/fisión

321983



N O T A

La Patente de Invención se solicita para España, por veinte años, de acuerdo con la vigente Legislación deberá recaer sobre: "UN ELEMENTO DE COMBUSTIBLE PARA REACTORES NUCLEARES", con prioridad de la demanda de Patente en U.S.A. Serial nº 462.145, de fecha 7 de Junio de 1.965, según las características esenciales de las siguientes:

R E I V I N D I C A C I O N E S

- 10.- 1ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, que comprende un cubrimiento alargado, una zona de combustible fisil dentro de dicho cubrimiento, un primer segmento de combustible en una región extrema de dicha zona fijo efectivamente en el extremo interno para expansión longitudinalmente hacia afuera dentro de dicho cubrimiento, por lo menos un segundo segmento de combustible dispuesto dentro de dicho cubrimiento y extendiéndose por arriba del plano transversal medio de dicha zona de combustible, y que define con dicho primer segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento por encima de dicho plano transversal medio, y expandible por incremento en la temperatura, para entrar a dicho espacio hueco y reducirlo, causando así que el coeficiente de expansión térmico de reactividad tienda a ser positivo, desviando el coeficiente de expansión térmica de reactividad negativo producido por la expansión térmica concurrente de dicho elemento, se logra un coeficiente de expansión térmica de reactividad global que se aproxime a cero.

- 30.- 2ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, según la reivindicación 1ª, en donde dicho primero y segundo segmentos de combustible se expanden hacia arriba - con dicho primer segmento de combustible por encima de dicho segundo segmento de combustible.

321983



3ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, según la reivindicación 1ª, en donde dicho primer segmento de combustible tiene entre 50 y 67 % de la longitud de dicho segmento de combustible.

- 5.- 4ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, que comprende un cubrimiento alargado, una zona de combustible fisil dentro de dicho cubrimiento, un primer segmento de combustible en un extremo de dicha zona suspendida efectivamente en el extremo interno, para expansión longitudinal hacia afuera dentro de dicho cubrimiento, un segundo segmento de combustible dispuesto dentro de dicho cubrimiento y que se extiende por arriba del plano transversal medio de dicha zona de combustible, y se define con dicho primer segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento por encima de dicho plano transversal medio, y expandible por incremento en la temperatura, para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, por lo menos un tercer segmento de combustible dispuesto dentro de dicho cubrimiento por debajo de dicho plano transversal medio y que define con dicho segundo segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento y expandible por incremento de la temperatura para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, causando así el coeficiente de expansión térmico de reactividad tienda a hacerse positivo, desviando el coeficiente de expansión térmica de reactividad negativo, hasta lograr un coeficiente de expansión térmica global de reactividad que se aproxima a cero.

25.- 5ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, según la reivindicación 4ª, en donde dicho primero, segundo y tercer segmentos de combustible son de igual longitud.

30.-

321983



- 5.- 6ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, que comprende un cubrimiento alargado, una zona de combustible fisil, dentro de dicho cubrimiento, un primer segmento de combustible en un extremo de dicha zona suspendido efectivamente en el extremo interno para expansión longitudinalmente hacia afuera dentro de dicho cubrimiento, un segundo segmento de combustible dispuesto dentro de dicho cubrimiento y que se extiende por arriba del plano transversal medio de dicha zona de combustible y que define con dicho primer segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimien-  
10.- to por encima de dicho plano transversal medio, y que puede expandirse por incremento en la temperatura para entrar en el espacio hueco mencionado y reducirlo, un tercer segmento de combustible dispuesto dentro de dicho cubrimiento por debajo  
15.- de dicho plano transversal medio y que define con dicho segundo segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento y que puede expandirse hacia adentro por incremento en la temperatura para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, por lo menos un cuarto segmento de combustible  
20.- dispuesto dentro de dicho cubrimiento por debajo de dicho plano transversal medio y que define con dicho tercer segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento y que puede expandirse hacia adentro por incremento en la temperatura, para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, causando así, que el coeficiente de expansión térmica de reactividad tienda a hacerse positivo, desviando el coeficiente de expansión térmica de reactividad negativo, para lograr así un  
25.- coeficiente de expansión térmica global de reactividad que se aproxime a cero.
- 30.- 7ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, según la reivindicación 6ª, en donde dicho primero,

321983



segundo, tercero y cuarto segmentos de combustible son de igual longitud,

- 8a.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, que comprende un cubrimiento alargado, una zona de combustible fisil dentro de dicho cubrimiento, un primer segmento de combustible en un extremo de dicha zona suspendida efectivamente en el extremo interno para expansión longitudinal hacia afuera dentro de dicho cubrimiento, un segundo segmento de combustible dispuesto dentro de dicho cubrimiento y que se extiende por encima del plano transversal medio de dicha zona de combustible y se define con dicho primer segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento por arriba de dicho plano transversal medio, y que puede expandirse hacia afuera por incremento en la temperatura para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, un tercer segmento de combustible dispuesto entre dicho cubrimiento y que puede expandirse hacia afuera por incremento en la temperatura, para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, un cuarto segmento de combustible dispuesto entre dicho cubrimiento por debajo de dicho plano transversal medio y que define con dicho tercer segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento y que puede expandirse hacia adentro por incremento en la temperatura, para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, un quinto segmento de combustible dispuesto dentro de dicho cubrimiento por debajo de dicho plano transversal medio y que define con dicho cuarto segmento de combustible un espacio hueco dentro de dicho cubrimiento, y que puede expandirse hacia dentro por incremento en la temperatura, para entrar en dicho espacio hueco y reducirlo, causando así que el coeficiente de expansión térmica de reactividad tienda a hacerse positivo, desviando el coeficiente de expansión térmica negativo
- 5.-
- 10.-
- 15.-
- 20.-
- 25.-
- 30.-

321983



de reactividad, para lograr así un coeficiente de expansión térmica global de reactividad que se aproxime a cero.

5.-

9ª.- Un elemento de combustible para reactores nucleares, según la reivindicación 8ª, en donde dichos primero, segundo, tercero, cuarto y quinto segmentos de combustible son de igual longitud.

10ª.- "UN ELEMENTO DE COMBUSTIBLE PARA REACTORES NUCLEARES".

10.-

Según queda sustancialmente descrito en la presente memoria descriptiva que consta de veintisiete hojas escritas a máquina por una sólo cara acompañada de sus correspondientes dibujos.

Madrid, 19 de Enero de 1.966

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION

P.P.

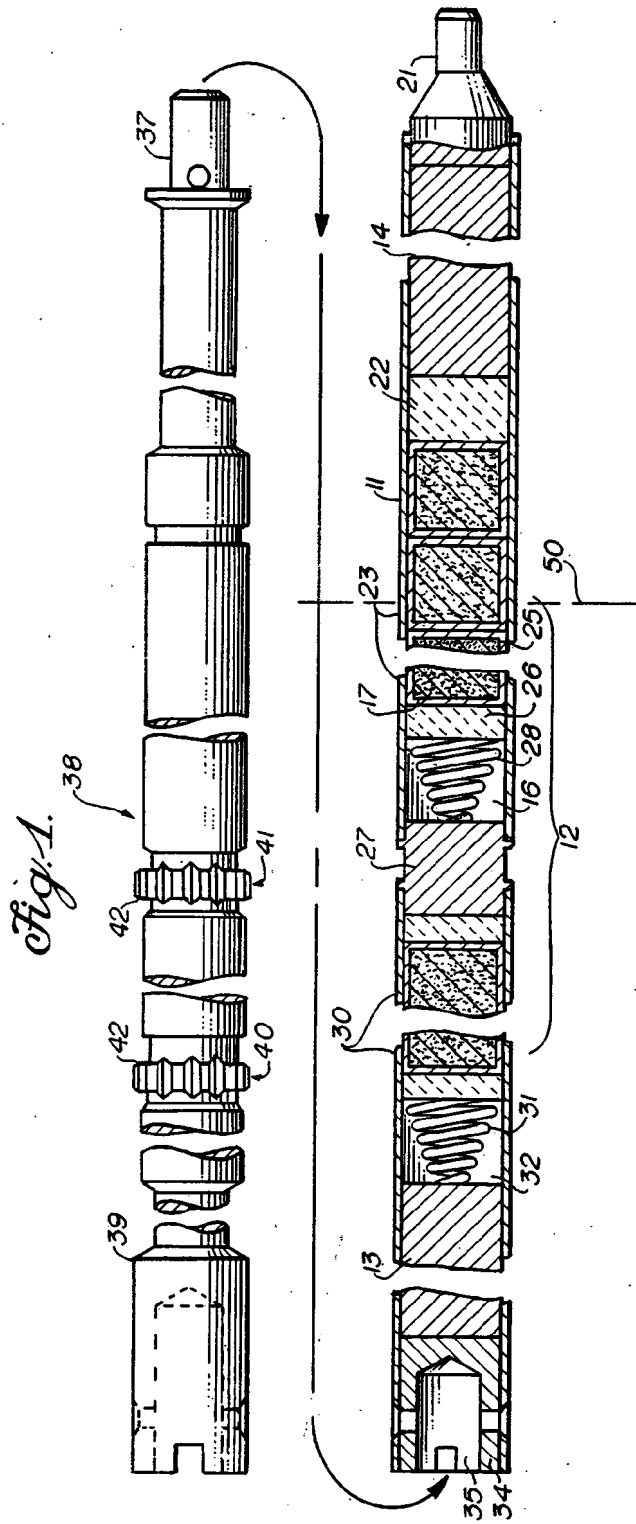
FRANCISCO GARCIA CABRERIZO  
P P.

Firmado: M. Dolores Jorquera

321983



19 ENE



19 ENE. 1966

Madrid,

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION

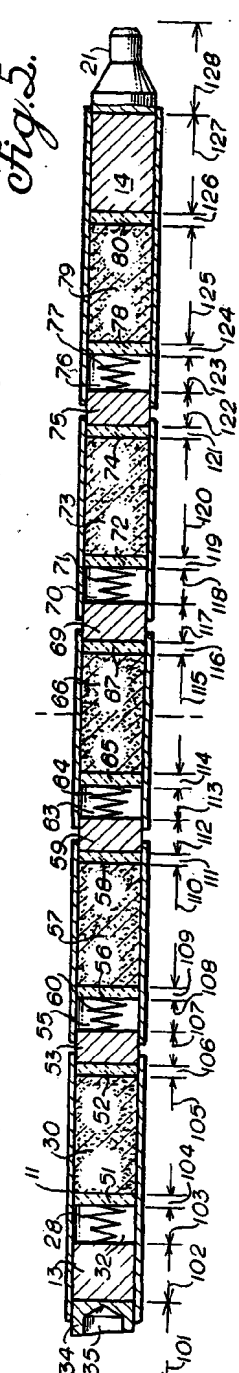
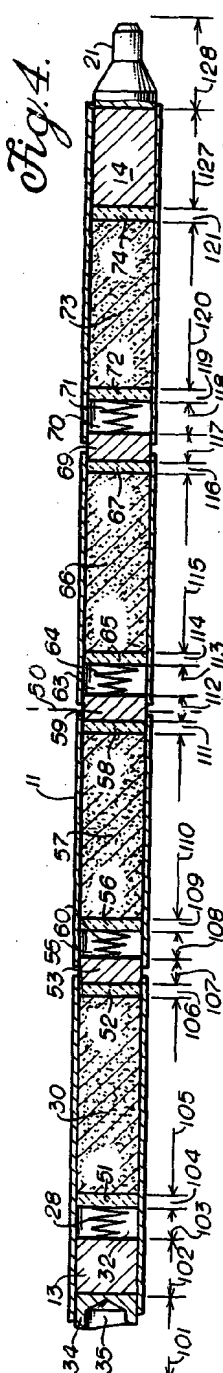
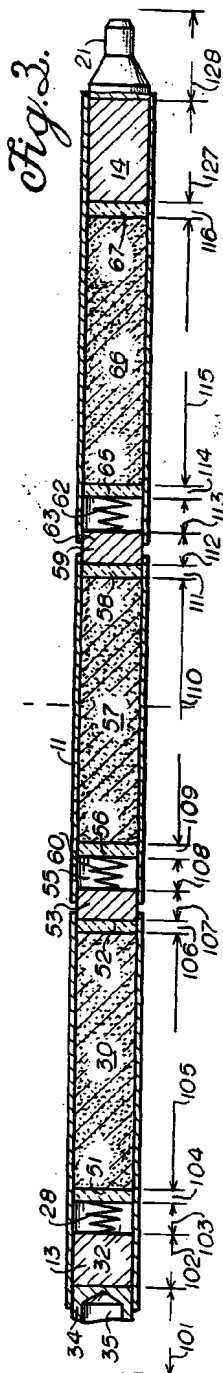
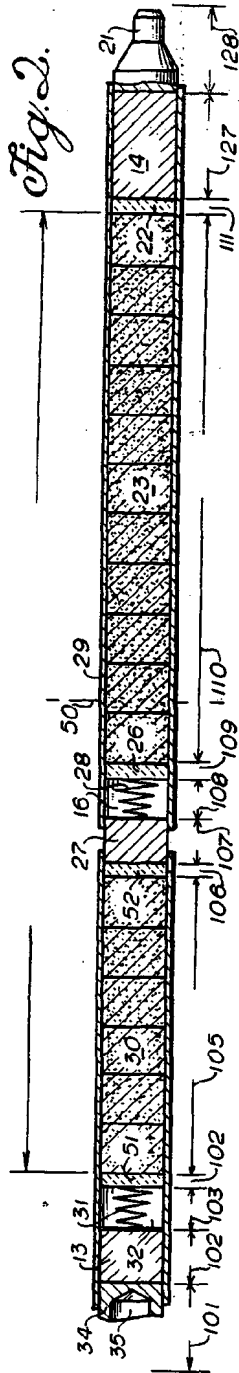
P. P.

FRANCISCO GARCIA CABRERIZO

P. P.

Escala variable

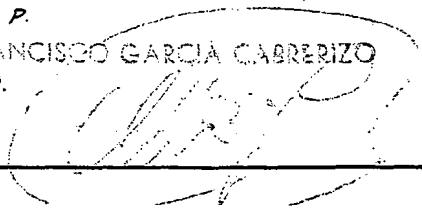
321983



Madrid, 19 ENE. 1966

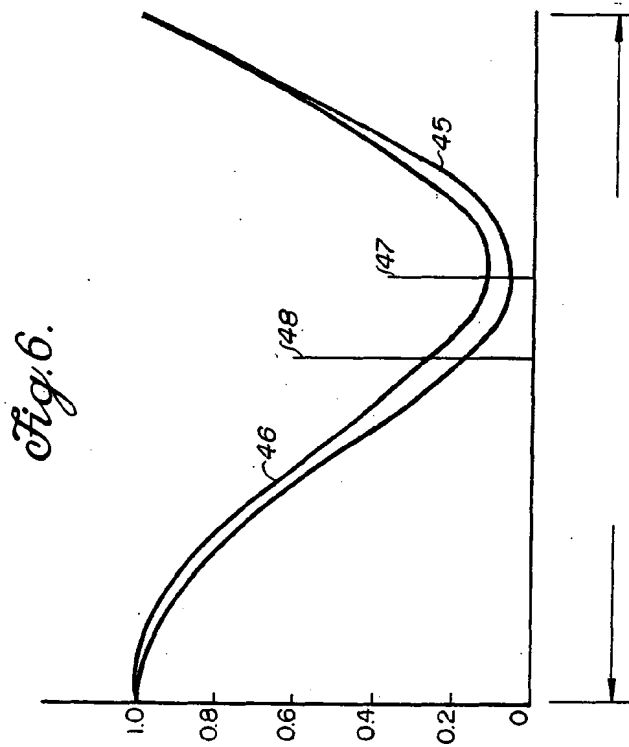
UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION  
P. P.  
FRANCISCO GARCIA CABRERIZO  
P. P.

Escala variable



SP-11

321983



Madrid, 19 ENE. 1966

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION  
P. P.

FRANCISCO GARCIA CABRERIZO  
P. P.

Firmado: M.<sup>a</sup> Dolores Jorquera

*Escala variable*