

O.G. 11.242 TL/.

308658



PATENTE DE INVENCION

=====

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 COMBUSTIBLE PARA REACTOR NEUTRÓNICO"

- - - - -

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

- - - - -

Inventor: D. Mack E. Lackey, de nacionalidad norteamericana.

- - - - -

Esta invención concierne generalmente a los ele-
mentos combustibles para reactores neutrónicos, y más espe-
cíficamente a elementos combustibles para reactores neutró-
nicos con temperaturas internas sustancialmente inferiores

3 0 8 6 5 8



a las encontradas en los elementos combustibles convencionales.

Característico en el arte de reactores neutrónicos, especialmente aquella parte del arte que concierne a los reactores de potencia, ha sido el problema de obtener una alta temperatura de funcionamiento del reactor conservando al mismo tiempo la integridad del elemento combustible en su interior. El funcionamiento a alta temperatura es necesario para obtener económicamente una eficiencia termodinámica competitiva en los reactores de potencia.

El metal uranio y otros metales que, en otros aspectos, resultan satisfactorios para la fabricación de elementos combustibles, tienen generalmente puntos de fusión relativamente bajos u otras características físicas indeseables que limitan la temperatura de su empleo. En un intento de obtener elementos combustibles que puedan operar a temperaturas más altas que las permitidas por los elementos metálicos, se han utilizado materiales cerámicos de alta temperatura. Sin embargo, los cerámicos de alta temperatura se caracterizan, generalmente, por sus bajas conductividades térmicas, susceptibilidad a los esfuerzos térmicos y sus resistencias relativamente bajas a la tracción. Debido a la baja resistencia a la tracción de los materiales cerámicos, los elementos combustibles cerámicos deben ser fabricados en secciones gruesas. En las gruesas secciones de elementos combustibles cerámicos se producen elevaciones de temperaturas debido a la generación interna de calor en su interior, juntamente con las bajas conductividades térmicas que son características de los materiales cerámicos. Esta elevación de temperatura puede alcanzar



308658

- varios millares de grados F. en la línea central del elemento combustible con relación a la superficie del mismo. Esta elevación de temperatura es altamente indeseable ya que crea grandes esfuerzos térmicos en el combustible cerámico y también porque limita la temperatura de superficie a la cual puede ser operado con seguridad el elemento combustible.
5. Como quiera que la temperatura máxima encontrada dentro del elemento combustible es el factor limitante al determinar el nivel de potencia a que puede funcionar el elemento combustible,
10. las temperaturas de la línea central de éste en un reactor pueden determinar efectivamente el nivel del sistema reactor completo. La eficiencia térmica de un sistema reactor depende grandemente de la temperatura impartida desde los elementos combustibles al sistema que trabaja el fluido, la cual, a su vez, depende en alto grado de la temperatura de superficie del elemento combustible. Se desprende de esto que la elevación de temperatura en el interior de los elementos combustibles cerámicos produce el efecto de hacer descender la salida y eficiencia térmica de todo el sistema reactor.
15. Otro efecto pernicioso que se presenta como resultado de la elevación de temperatura en los elementos combustibles de un reactor neutrónico, es el gran incremento de la expansión térmica a lo largo del eje del combustible en que se produce esta elevación. Debe preverse un espacio en los extremos de los tubos que encierran los gránulos de combustible, para absorber esta expansión. Como respuesta a los cambios de potencia del reactor se producen enganchones indeseables entre el combustible y los tubos como consecuencia de las variaciones de temperatura del combustible.
20. Se han realizado intentos de reducir el problema de la elevación de temperatura en los elementos cerámicos
- 25.
- 30.



308658

- suministrando éstos en forma hueca. Aun cuando se ha alcanzado con esta forma un éxito parcial, este método de reducción de la temperatura en el interior queda limitado por las dificultades de fabricación de elementos cerámicos de paredes delgadas y también por el límite inferior del grosor de pared del elemento combustible por debajo del cual no puede mantenerse la integridad del elemento por causa de la debilidad inherente a los elementos cerámicos en cuanto a los esfuerzos de tensión y su susceptibilidad a la rotura bajo cargas de choque.
- 5.
- 10.

- Por ejemplo, se han usado también soportes estructurales en forma de revestimiento y vástagos interiores para soportar delgados elementos anulares que no pueden auto-soportarse. Este método ha tenido también solo un éxito parcial debido a la dificultad de encontrar materiales estructurales que tengan coeficientes de dilatación térmica parejos a los de los materiales combustibles cerámicos. Las diferencias en los coeficientes de expansión desarrollan tensiones en el combustible y material estructural con los cambios de temperatura, originándose también fisuras o huecos entre uno y otro material que dificultan grandemente la transmisión del calor.
- 15.
- 20.

- Según esto es un objeto general de la invención la provisión de un elemento combustible para reactor neutrónico, en el que se ha minimizado la elevación de la temperatura interior.
- 25.

- Otro objeto de la invención es la provisión de un elemento combustible con bajas temperaturas internas para cualquier potencia de salida proporcionada por el elemento.

30. Todavía otro objeto de la invención es la provi-

3 0 8 6 5 8



si3n de un elemento combustible provisto de una regi3n de combustible y una regi3n soporte de combustible que est3n unidas metal3rgicamente.

5. Otro objeto de la invenci3n es la provisi3n de un elemento combustible que tiene una regi3n de combustible y una regi3n de soporte de combustible las cuales presentan caracter3sticas f3sicas, t3rmicas y qu3micas similares, mientras difieren en sus caracter3sticas nucleares.

10. Otro objeto de la invenci3n es la provisi3n de un elemento combustible en el cual es posible la producci3n de una mayor cantidad de material fisible entre el material f3rtil.

15. Todav3a otro objeto de la invenci3n es la provisi3n de un elemento combustible en cuya fabricaci3n pueden emplearse materiales con bajos valores de conductividad t3rmica que hasta la fecha no se consideraban pr3cticables.

Otros objetos de la invenci3n se har3n evidentes al examinar la descripci3n que sigue de la presente invenci3n y los dibujos anejos, en los cuales:

20. La figura 1 es una vista en secci3n transversal de un elemento combustible s3lido de forma cil3ndrica, realizado de acuerdo con la presente invenci3n.

25. La figura 2 es una secci3n transversal de un cilindro hueco de material combustible, con combustible enriquecido dispuesto alrededor de su radio externo, de acuerdo con la presente invenci3n.

30. La figura 3 es una vista en secci3n transversal de un elemento combustible en forma de cilindro hueco, con combustible enriquecido dispuesto alrededor de sus radios externo e interno, de acuerdo con la presente invenci3n.

3 0 8 6 5 8



5. La figura 4 es un gráfico de comparación de las distribuciones de temperaturas a través de elementos combustibles en forma de cilindros macizos construidos de acuerdo con la presente invención y de acuerdo con las enseñanzas anteriores del arte.

10. La figura 5 ilustra los incrementos de los picos relativos de temperatura en los elementos combustibles multi-región como una función de la cantidad de segregación del combustible enriquecido y del agotado y de la fracción del total de calor que se ha generado en forma uniforme en la totalidad del elemento.

15. De acuerdo con la presente invención, se provee un elemento combustible para reactor neutrónico, el cual comprende una camisa de material no fisible que rodea al núcleo portador de uranio, y que posee unas propiedades físicas y térmicas uniformes en toda su masa. No obstante, las propiedades nucleares de la región del núcleo varían, ya que el isótopo fisible uranio-235 se encuentra en mayor abundancia en la región del núcleo adyacente a la camisa que en el resto
20. del núcleo portador del uranio.

25. Los elementos combustibles hechos de acuerdo con la invención pueden comprender materiales combustibles tales como uranio metálico, UO_2 , U_3O_8 , UC , UC_2 , U_2C_3 , UN , USi ó U_3Si ; siendo de principal interés el UO_2 debido a la extensa
30. investigación realizada sobre él y a su empleo extensivo en reactores neutrónicos. Pueden ser usados también otros materiales que contengan uranio y que satisfagan los requerimientos normales para elementos combustibles. Los materiales de revestimiento pueden ser seleccionados, para los elementos combustibles construidos de acuerdo con esta invención, en

308658



la misma forma que se seleccionan para su empleo en los elementos combustibles convencionales.

Hay que observar que, aun cuando esta invención puede ser aplicada a elementos combustibles metálicos, está

5. enfocada principalmente a los elementos combustibles cerámicos adaptados para operar a altas temperaturas. Los elementos combustibles cerámicos son también de especial interés debido a que requieren soporte estructural cuando se fabrican en secciones delgadas y están especialmente sujetos a elevaciones interiores de temperatura debido a sus bajas conductividades térmicas y las gruesas secciones del combustible en comparación con los tipos de combustibles metálicos y de dispersión.

10. Los gránulos de UO_2 , que pueden constituir la parte del núcleo de un elemento combustible neutrónico, se fragmentan por agrietamiento radial, producido por la excesiva tensión térmica más bien que por los cambios en las propiedades mecánicas originados por la radiación. Las tensiones térmicas surgen principalmente de los gradientes de temperatura en los gránulos, gradientes que tienen su origen en la generación de calor que se origina en todo el elemento y en la baja conductividad térmica del UO_2 , y no como resultado de la temperatura absoluta del elemento. El objeto de la invención, al reducir la elevación interior de temperatura en un gránulo de combustible, tiene, por tanto, un efecto secundario beneficioso: el de reducir las tensiones originadas por el gradiente de temperatura en un elemento combustible. Otro beneficio derivado de la reducción de los picos de temperatura, es el que se obtiene cuando se reduce la expansión térmica a lo largo del eje del elemento
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

308658



combustible. Los elementos combustibles pueden hacerse en este caso dejando poco o ningún espacio para la expansión en los extremos de los tubos de revestimiento. En la región supercalentadora del Reactor BONUS y en el Reactor Experimental Enfriado por Gas, se hicieron necesarias las depresiones en los extremos de los gránulos de combustible para poder absorber dicha expansión.

Para facilitar la explicación de la invención se hace referencia a las figuras 1-3, en las que se ilustran varias incorporaciones preferidas de la invención. En la figura 1, se muestra transversalmente seccionado un elemento combustible de óxido de uranio en forma de cilindro macizo recto o vástago, el cual sería adecuado para su empleo en la región de la caldera del Reactor BONUS instalado en Point Higuera, Puerto Rico. El vástago de combustible completo tal y como se usa en la región de la caldera del Reactor BONUS, tiene una longitud activa de 54 pulgadas y comprende dos segmentos, cada uno de los cuales tiene una longitud activa de 27 pulgadas. La figura 1 es también típica de un elemento combustible adecuado para cualquier tubo y elemento combustible del tipo de gránulos, aunque los enriquecimientos, dimensiones y material de revestido pueden variar de unos reactores a otros. Un revestimiento 1 de Zircaloy-2 rodea a la sección del núcleo de óxido de uranio, el cual tiene una región exterior enriquecida 2 y una región interior agotada 3. La región exterior enriquecida 2 tiene un grosor de 100 milésimas de pulgada y contiene uranio enriquecido al 3.14 por ciento en el isótopo uranio-235. La región agotada 2, que comprende el resto de la sección del núcleo, tiene un diámetro de 0.245 pulgadas y con

308658



tiene uranio del que se ha extraído el isótopo uranio-235 hasta dejarlo en un enriquecimiento del 0.2 por ciento.

- El término "agotado" se usa aquí para referirse al uranio o a la región contenedora de uranio con un enriquecimiento isotópico del isótopo fisiónable uranio-235 inferior al del uranio encontrado en la región enriquecida. El término incluye, pero sin quedar restringido a él, el uranio con un contenido inferior al natural del isótopo uranio-235.
5. La figura 2 ilustra, en sección transversal, un elemento combustible de óxido de uranio en forma de cilindro recto hueco, el cual resulta adecuado para su uso en el Reactor Experimental Enfriado por Gas instalado en Oak Ridge, Tennessee. Un revestimiento de acero inoxidable 1 rodea la región exterior enriquecida 2 de la sección del núcleo de óxido de uranio. Una sección hueca, anular y agotada 3 se emplea en la incorporación de la figura 2, para reducir todavía más la elevación de temperatura en el centro del núcleo del combustible por causa de la fisión del plutonio producido por el isótopo uranio-235 durante el funcionamiento del reactor, y también debida a la fisión del uranio-235 presente en la región agotada. La parte central hueca actúa también como cámara de expansión para la recogida y retención de los productos gaseosos de la fisión que escapan del combustible, evitando así que se eleve excesivamente la presión de los productos gaseosos de la fisión dentro de los elementos combustibles. En el Reactor Experimental Enfriado por Gas, cada uno de los elementos combustibles contiene 36 gránulos huecos de óxido de uranio, cada uno de los cuales tiene un diámetro exterior de 0.707 pul-
- 10.
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

3 08658



gadas, diámetro interior de 0.323 pulgadas y una longitud de 0.750.

5. El elemento combustible de la figura 3 difiere del de la figura 2 en que se le ha provisto de una segunda región 4 de combustible enriquecido y de un segundo revestimiento 5 a lo largo de la superficie interior de la región anular agotada 3. El revestimiento interior 5 y la región de combustible 4 permiten un incremento en la generación de calor permisible para un elemento combustible de unas dimensiones dadas. El elemento combustible de la figura 3 debía tener normalmente un diámetro mucho mayor que el de la figura 2 para proveer una sustancial área para la generación de calor interno y un pasaje para el flujo refrigerante. Los refrigerantes que tengan buenas propiedades moderadoras son 10. convenientes para el enfriamiento de la superficie interna de esta incorporación, para proveer un sustancial flujo de neutrones térmicos en su interior. 15.

20. La figura 4 muestra una ilustración gráfica, mediante curvas de temperatura para un elemento combustible en forma de cilindro macizo, de las ventajas aportadas por la invención. La abscisa de la figura 4 representa la distancia radial desde la línea central de los elementos combustibles cuyas curvas de temperatura se ilustran. La ordenada de la figura 4 representa el incremento de temperatura, en varias 25. posiciones radiales dentro del elemento combustible, sobre la temperatura en la superficie del mismo. La curva 4a muestra el perfil de temperatura de un cilindro macizo recto de óxido de uranio con un diámetro de 0.445 pulgadas, constituyendo un elemento combustible con una distribución uniforme en toda su masa del combustible fisionable, el cual 30.

308658



opera a 48,000 Btu/hr. pie. En ausencia de un detallado estudio físico, se ha supuesto un flujo uniforme de neutrones térmicos y, en consecuencia, una generación de potencia uniforme, del 100 por ciento, en todo el elemento combustible. Los elementos combustibles de este tipo, conteniendo UO_2 enriquecido al 2.4 por ciento con el isótopo fisible uranio-235 son usados en la primera carga del núcleo del Reactor BONUS instalado en Point Higuera, Puerto Rico. Como puede verse por la curva 4a, la temperatura de la línea central es de unos 3200 grados F mayor que la temperatura de superficie del elemento combustible. Este elevado pico de temperatura en la línea central, limita la producción de potencia en el Reactor BONUS.

La curva 4b representa un elemento combustible con el mismo diámetro que el representado por la curva 4a, pero en el primero, las 100 milésimas de pulgada de la periferia del elemento contienen UO_2 enriquecido al 3.44 por ciento con el isótopo uranio-235, y en el resto de la porción central del elemento combustible se ha supuesto un contenido de UO_2 sin la presencia del isótopo uranio-235. Esta porción central completamente agotada es, por supuesto, una situación ideal de la que solo puede lograrse una aproximación mediante el uso de colas con bajo enriquecimiento de las plantas de difusión gaseosa, o bien mediante el empleo de combustible agotado y reprocesado. Se observará que la curva 4b representa el perfil de temperatura del elemento combustible del comienzo de la operación, antes de que el isótopo uranio-238 haya generado algo de plutonio fisible dentro de la región central agotada. Durante el funcionamiento del reactor, la temperatura de la región central agotada tenderá a aumentar a medida que se vaya generando plutonio y comience a fisionarse.

3 0 8 6 5 8

28



Las curvas 4c y 4d muestran el efecto, sobre el perfil de temperatura, de la provisión de varios enriquecimientos en la región central agotada. El elemento combustible de la curva 4c tiene una forma geométrica similar al

5. de la curva 4b, pero difiere de éste en que su región central agotada contiene UO_2 enriquecido con el isótopo uranio-235 al 0.2 por ciento, mientras que las 100 miléximas de pulgada de la capa exterior contienen UO_2 enriquecido al 3.14 por ciento con el isótopo uranio-235. El elemento combustible de la curva 4d, tiene una región central agotada que contiene UO_2 enriquecido al 0.71 por ciento con el isótopo uranio-235, y una región exterior enriquecida conteniendo UO_2 enriquecido con el isótopo uranio-235 al 2.44 por ciento. Las curvas 4c y 4d indican unas temperaturas en la línea central de, aproximadamente, 1300 y 900 grados F por debajo, respectivamente, de la temperatura de la línea central del elemento combustible del arte anterior mostrada en la curva 4a.

Considerando que los elementos combustibles representados por las curvas 4a, 4b, 4c y 4d proporcionan la misma potencia y están calculados para un contenido total, igual en todos ellos, del isótopo uranio-235, el efecto de la invención sobre las temperaturas internas del combustible es evidente. Las curvas 4a y 4b definen una envuelta, dentro de la cual, los elementos combustibles fabricados de acuerdo con la invención del solicitante operarán suponiendo el mismo nivel de potencia y geometría en los elementos. Los enriquecimientos interiores más grandes y el engrosamiento de las regiones enriquecidas, crearán temperaturas interiores más elevadas como se dijo anteriormente. Porsupuesto que resultará un distinto juego de curvas para cada forma geométrica y para cada nivel de potencia que el

308658

28



diseñador pudiera seleccionar. No obstante, en todos los casos, se obtendrán los beneficios ilustrados por las curvas de la fig. 4 en los elementos combustibles fabricados de acuerdo con la invención del solicitante.

5. En algunos reactores, como en el Experimental Enfriado por Gas, instalado en Oak Ridge, Tennessee, el factor limitativo de la vida del elemento combustible es la presión permisible originada por los productos gaseosos de la fisión, la cual se incrementa conforme se va consumiendo el combustible. Los productos gaseosos de fisión se acumulan en las cavidades centrales huecas de los gránulos anulares de combustible del Reactor Experimental Enfriado por Gas. Como quiera que la presión ejercida por los productos gaseosos de la fisión depende en parte de la
10. temperatura de éstos, los elementos combustibles que funcionan a la misma potencia, pero que hayan sido fabricados de acuerdo con la presente invención, como en la incorporación de la figura 2, tendrán una mayor duración por operar con temperaturas centrales inferiores, por lo que serán
15. menores también las presiones originadas por los productos gaseosos de fisión.

- La figura 5 muestra los incrementos relativos en los picos en los elementos combustibles multi-región en función del grado en el cual es segregado el isótopo fisible en el elemento combustible y del porcentaje de la potencia total generada uniformemente en todo el elemento combustible. La abscisa de la figura 5 representa la relación entre el grosor de la región enriquecida y el grosor total del elemento combustible, y la ordenada representa la
25. relación entre la temperatura de la línea central o temperatura pico de un elemento y la temperatura de la línea
- 30.

308658



- central de un elemento que genera una potencia uniforme del 100 por ciento. La cantidad de potencia uniformemente generada en todo el elemento combustible está mayormente determinada por la abundancia de isótopos fisibles previstos originalmente en la región agotada o menos enriquecida y la cantidad de material fisible presente por conversión del material fértil. Otro factor lo constituye la protección contra los neutrones térmicos constituida por el isótopo enriquecido que rodea a la región menos enriquecida en la se
5. se contiene el material fértil. Este último factor es especialmente importante en la producción de reactores tipo, en los cuales, la consideración primaria es la producción de plutonio partiendo del isótopo uranio-238. El isótopo uranio-235 de sección-transversal-térmica-alta, tiende a e
10. crear una depresión del flujo térmico y un pico de flujo rápido en la parte central del núcleo del elemento combustible. Este medio ambiente conduce particularmente a la producción de plutonio partiendo del uranio-238 ya que para dicha producción son necesarios neutrones rápidos y la
15. parcial exclusión de neutrones lentos en la región central reducen la producción del indeseable plutonio-240 y minimiza las reacciones de fisión en el isótopo de plutonio de sección-transversal térmica-alta.

- Es así evidente que el objeto de la invención
25. proporciona beneficios tanto al sistema de reactor rápido como al térmico en los reactores de producción y es, según esto, de especial beneficio para los mismos. Como quiera que la región enriquecida de cada elemento combustible opera con neutrones térmicos, se obtienen ventajas en los reactores
30. térmicos en cuanto a los problemas de control y fuga

3 0 8 6 5 8



- de neutrones, mientras que las partes centrales menos enriquecidas de los elementos combustibles, donde tiene lugar principalmente la producción de plutonio, ven principalmente neutrones rápidos que son producidos en la región enriquecida inmediatamente adyacente, por lo que la producción de plutonio tiene lugar en un ventajoso ambiente de neutrones rápidos donde se hacen máximas las reacciones de reproducción entre el U-238 y los neutrones rápidos, y se reducen al mínimo las reacciones de fisión entre el plutonio y los neutrones térmicos.
- 5.
- 10.

- Se observará en la figura 5 que la elevación de temperatura es minimizada con valores decrecientes de la relación entre el grosor del combustible enriquecido y el grosor total del elemento combustible, y con valores decrecientes de generación uniforme de potencia. El porcentaje de generación uniforme de potencia disminuye también cuando aumenta la diferencia en los valores de enriquecimiento entre las regiones enriquecida y agotada. La multi-región del elemento combustible, integralmente unida, proporciona un alto grado de flexibilidad en el diseño de los elementos combustibles, tanto de alta potencia o de baja temperatura. El concepto puede ser aplicado a elementos enfriados por uno o ambos lados, y a los de diversas formas tales como placas planas, cilindros huecos o vástagos macizos. El asunto objeto de la invención permitirá una flexibilidad de diseño en la colocación axial del combustible dentro de un núcleo de reactor mediante el cambio del enriquecimiento del combustible, o variando simplemente el grosor de la región provisionada de los elementos segregados, en función de su colocación axial.
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.



3 08658

- El concepto de elemento multi-región puede ser aplicado tanto a los reactores de tipo térmico como a los de tipo rápido y a las varias combinaciones de compuestos combustibles de uranio fértil y fisiónable adaptados a los
5. diversos métodos de fabricación tales como la co-extrusión, co-presión, fundición centrífuga deslizante y depositación de vapor. El método de fabricación para un elemento particular varía en función de sus peculiares requerimientos de diseño.
 10. Cuando se usa el método de co-presión para fabricar el elemento combustible según su incorporación de la figura 1, por ejemplo, se prensa primeramente un casquillo anular de material enriquecido con el isótopo fisiónable uranio-235. Luego se prensa en el centro del casquillo anular un gránulo sólido comprendiendo material de menor enriquecimiento en isótopo fisiónable que el casquillo anular
 15. citado, para formar un gránulo de combustible multi-región, cilíndrico y macizo. El gránulo multi-región es después aglomerado para obtener una unión metalúrgica entre las
 20. regiones de alto y bajo enriquecimiento en uranio-235. La unión metalúrgica provee un soporte uniforme y disminuye la resistencia térmica entre las regiones.
- El elemento combustible de la figura 1 puede obtenerse también por co-extrusión empleando una extrusora de cabezal doble para que los componentes de alto y
25. bajo enriquecimiento puedan ser extruídos simultáneamente. Después de su extrusión, el elemento combustible es aglomerado para obtener unión metalúrgica entre las regiones de alto y bajo enriquecimiento.
 30. Un tercer método que puede seguirse para fabricar

3 0 8 6 5 8 2 8 E



- la incorporación de la figura 1 consiste en la fundición centrífuga por deslizamiento. Una masa pastosa conteniendo material enriquecido en el isótopo fisiónable es introducida en un tubo giratorio. El material enriquecido es depositado en una zona anular a lo largo del interior de la pared del tubo, mientras que el componente líquido de la masa enriquecida es arrastrado fuera a través del centro del tubo. El centro hueco del tubo se llena después con material de bajo enriquecimiento, y el tubo es introducido en un horno para eliminar los residuos líquidos. Después del secado, el material es compactado por vibración. No se requiere recurrir a la aglomeración ya que las altas temperaturas de funcionamiento dentro del reactor desarrollarán la unión metalúrgica entre las regiones.
5. Otros métodos de fabricación, tales como la deposición de vapor, serán evidentes para los expertos en el arte metalúrgico. También resultarán evidentes cualquiera de las variaciones que pueden seguirse para fabricar otras incorporaciones distintas de la representada en la figura 1.
10. En los elementos combustibles fabricados de acuerdo con la presente invención, son posibles una variedad infinita de disposiciones. Por ejemplo, la incorporación de la figura 1, puede hacerse con su región enriquecida de grosor que varíe desde algunas milésimas a una pulgada o más, y también con variaciones en su región agotada. Los valores de enriquecimiento de las regiones de alto y bajo enriquecimiento, pueden variar también alcanzando desde un 1 por ciento aproximadamente hasta el 90 por ciento o más. La región de bajo enriquecimiento puede tener cualquier valor de enriquecimiento siempre que sea menor que el de la
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

3 0 8 6 5 8



- región más enriquecida, proporcionando, con todo, algunos de los beneficios de la presente invención. El menor valor posible de enriquecimiento en esta región está ~~d~~eterminado por el enriquecimiento de las colas de las varias plantas de difusión gaseosa y los valores de agotamiento que pueden encontrarse en el uranio agotado tomado del combustible que ha sido irradiado en un reactor. Los elementos combustibles que reciben los beneficios máximos de esta invención, son, no obstante, aquellos que utilizan las regiones más delgadas de combustible enriquecido y regiones centrales agotadas con un enriquecimiento lo más bajo posible. Los elementos combustibles de este tipo están caracterizados por una mínima generación de calor interno por causa de la mínima cantidad de isótopos fisionables contenida en ella, y una máxima eficiencia en la transmisión del calor debida a la generación de calor en una zona lo más cercana posible a las superficies de enfriamiento del elemento combustible.
5. de difusión gaseosa y los valores de agotamiento que pueden encontrarse en el uranio agotado tomado del combustible que ha sido irradiado en un reactor. Los elementos combustibles que reciben los beneficios máximos de esta invención, son, no obstante, aquellos que utilizan las regiones más delgadas de combustible enriquecido y regiones centrales agotadas con un enriquecimiento lo más bajo posible. Los elementos combustibles de este tipo están caracterizados por una mínima generación de calor interno por causa de la mínima cantidad de isótopos fisionables contenida en ella, y una máxima eficiencia en la transmisión del calor debida a la generación de calor en una zona lo más cercana posible a las superficies de enfriamiento del elemento combustible.
10. Los elementos combustibles de este tipo están caracterizados por una mínima generación de calor interno por causa de la mínima cantidad de isótopos fisionables contenida en ella, y una máxima eficiencia en la transmisión del calor debida a la generación de calor en una zona lo más cercana posible a las superficies de enfriamiento del elemento combustible.
15. Los elementos combustibles de este tipo están caracterizados por una mínima generación de calor interno por causa de la mínima cantidad de isótopos fisionables contenida en ella, y una máxima eficiencia en la transmisión del calor debida a la generación de calor en una zona lo más cercana posible a las superficies de enfriamiento del elemento combustible.

- La descripción que antecede de las varias incorporaciones de la invención, ha sido ofrecida con fines ilustrativos solamente y no debe ser interpretada en un sentido limitativo. Se intenta que la invención quede limitada solamente por las reivindicaciones anejas.
20. La descripción que antecede de las varias incorporaciones de la invención, ha sido ofrecida con fines ilustrativos solamente y no debe ser interpretada en un sentido limitativo. Se intenta que la invención quede limitada solamente por las reivindicaciones anejas.

N O T A

- La Patente de Invención que se solicita en España, por veinte años, de acuerdo con la vigente Legislación, deberá recaer sobre: "UN ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA REACTOR NEUTRONICO", con prioridad de la demanda en U.S.A. Serial No. 343.424, de fecha 7 de Febrero de 1.964, según las características esenciales de las siguientes:
25. La Patente de Invención que se solicita en España, por veinte años, de acuerdo con la vigente Legislación, deberá recaer sobre: "UN ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA REACTOR NEUTRONICO", con prioridad de la demanda en U.S.A. Serial No. 343.424, de fecha 7 de Febrero de 1.964, según las características esenciales de las siguientes:
30. características esenciales de las siguientes:

3 08658



REIVINDICACIONES

5. 1^a.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa de material no fisionable, un núcleo portador del uranio dispuesto en el interior de dicha camisa, constando dicho núcleo de las regiones interior y exterior, conteniendo dicha región exterior uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el correspondiente al uranio natural, y conteniendo en dicha región interior un valor en el isótopo uranio-235 inferior al de dicha región exterior.
10. 2^a.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, según la reivindicación 1^a, en el que dicha región interior está unida metalúrgicamente a dicha región exterior.
15. 3^a.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa de material no fisionable, un núcleo portador del uranio dispuesto en el interior de dicha camisa, constando dicho núcleo de las regiones interior y exterior, conteniendo dicha región exterior uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el correspondiente al uranio natural, y conteniendo dicha región interior un valor en el isótopo uranio-235 inferior al de dicha región exterior, poseyendo ambas regiones interior y exterior idénticas composiciones químicas.
20. 4^a.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, según la reivindicación 3^a, en el que dicha región interior está unida metalúrgicamente a dicha región exterior.
25. 5^a.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa de material no fisionable,
- 30.

3 08658



- un núcleo portador del uranio dispuesto en el interior de dicha camisa, constando dicho núcleo de las regiones interior y exterior, conteniendo dicha región exterior uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el correspondiente al uranio natural, conteniendo dicha región interior uranio agotado en el isótopo uranio-235 hasta un valor menor que el del uranio natural, y teniendo dichas regiones interior y exterior idénticas composiciones químicas.
- 5.
10. 6ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa de material no fisiónable, un núcleo dispuesto en el interior de dicha camisa, teniendo dicho núcleo las regiones interior y exterior, conteniendo dicha región exterior un primer compuesto de uranio conteniendo uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el correspondiente al uranio natural, comprendiendo dicha región interior un segundo compuesto de uranio de idéntica composición química a la de dicho primer compuesto de uranio de dicha región exterior, conteniendo
- 15.
20. dicho segundo compuesto uranio de un contenido isotópico en uranio-235 inferior al de dicho primer compuesto.
- 7ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, según la reivindicación 6ª en el que dichos compuestos primero y segundo de uranio son compuestos cerámicos.
25. 8ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa de material no fisiónable, un núcleo dispuesto en el interior de dicha camisa, comprendiendo dicho núcleo las regiones interior y exterior, conteniendo dicha región exterior óxido de uranio con uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el
30. correspondiente al uranio natural, comprendiendo dicha re-



gión interior óxido de uranio con una abundancia isotópica en uranio-235 no mayor a la del uranio natural.

5. 9ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, según la reivindicación 8ª, en el que dicha región interior está unida metalúrgicamente a dicha región exterior;

10. 10ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa de material no fisionable, un núcleo dispuesto en el interior de dicha camisa, comprendiendo dicho núcleo las regiones interior y exterior, conteniendo dicha región exterior metal uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el correspondiente al uranio natural, comprendiendo dicha región interior metal uranio con una abundancia isotópica en uranio-235 inferior a la de dicha región exterior.

15. 11ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, según la reivindicación 10ª, en el que dicha región interior está unida metalúrgicamente a dicha región exterior.

20. 12ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa cilíndrica hueca de material no fisionable, un núcleo en forma de cilindro macizo recto dispuesto en el interior de dicha camisa, teniendo dicho núcleo una región interior cilíndrica recta maciza y una región exterior anular, comprendiendo dicha región exterior un primer compuesto de uranio conteniendo uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 a un valor mayor que el del uranio natural, comprendiendo dicha región interior un segundo compuesto de uranio de idéntica composición química a dicho primer compuesto de dicha región exterior, conteniendo dicho segundo compuesto de uranio una abundancia isotópica en uranio-235 inferior a la de dicho primer compuesto de uranio, y dicha región interior estando unida metalúrgicamente a



308658

dicha región exterior.

- 13^a.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una camisa cilíndrica hueca de material no fisiónable, un cilindro recto hueco que constituye el núcleo dispuesto en el interior de dicha camisa, comprendiendo dicho núcleo las regiones anulares concéntricas interior y exterior, comprendiendo dicha región exterior un primer compuesto de uranio conteniendo uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el del uranio natural, comprendiendo dicha región interior un segundo compuesto de uranio de idéntica composición química al de dicho primer compuesto de dicha primera región, conteniendo dicho segundo compuesto uranio con una abundancia isotópica en uranio-235 inferior a la de dicho primer compuesto, y estando dicha región interior unida metalúrgicamente a dicha región exterior.
- 5.
- 10.
- 15.

- 14^a.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, comprendiendo una primera camisa cilíndrica hueca de material no fisiónable, un núcleo constituido por un cilindro hueco recto dispuesto en el interior de dicha primera camisa, y una segunda camisa constituida por un cilindro hueco de material no fisiónable dispuesta en el interior del hueco de dicho núcleo, conteniendo dicho núcleo las regiones exterior, interior e intermedias en forma anular y concéntricas estando dispuesta dicha región exterior contigua a dicha primera camisa hueca, estando dicha región interior en disposición contigua a dicha segunda camisa hueca, y dicha región intermedia encontrándose dispuesta entre dichas regiones exterior e interior, comprendiendo dicha región interior un primer compuesto de uranio conte-
- 20.
- 25.
- 30.

- 23 3 08658



- niendo uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el del uranio natural, comprendiendo dicha región exterior un segundo compuesto de uranio conteniendo uranio enriquecido en el isótopo uranio-235 en un valor mayor que el del uranio natural, comprendiendo dicha región intermedia un tercer compuesto de uranio conteniendo uranio con una abundancia isotópica en uranio-235 no mayor que la del uranio natural, teniendo dichas regiones exterior, interior e intermedia idéntica composición química.
- 5.
10. 15ª.- Un elemento combustible para reactor neutrónico, según la reivindicación 14ª en el que dicha región intermedia está unida metalúrgicamente a dichas regiones interior y exterior.
15. 16ª.- "UN ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA REACTOR NEUTRÓNICO".
- Según queda sustancialmente descrito en la presente memoria descriptiva, que consta de veintitrés hojas escritas a máquina por una sola cara, acompañada de sus correspondientes dibujos.

Madrid, 28 de Enero de 1.965

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION
P.P.

FRANCISCO GARCIA CABRERIZO
P. P.

308058

28

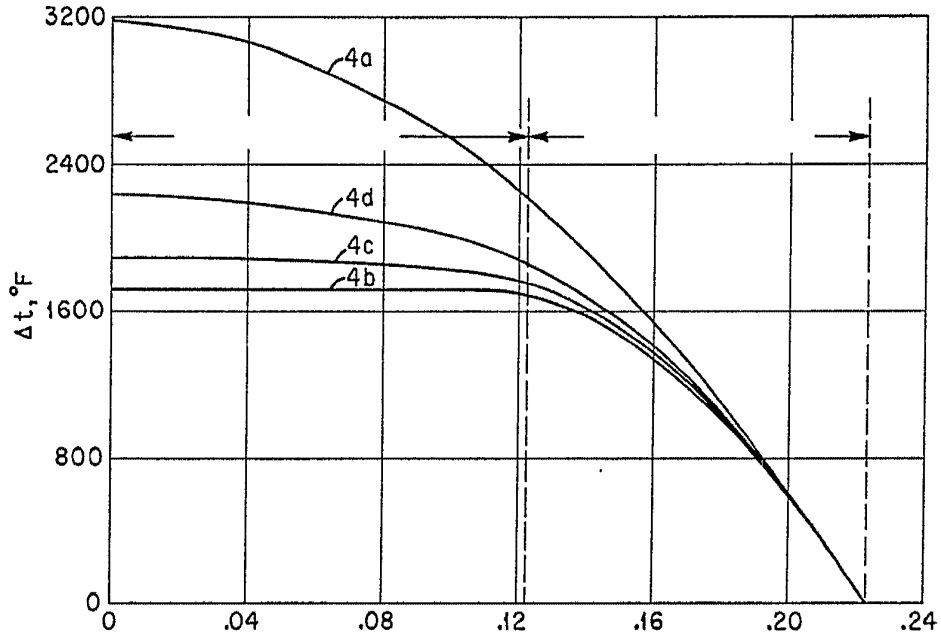


Fig. 4.

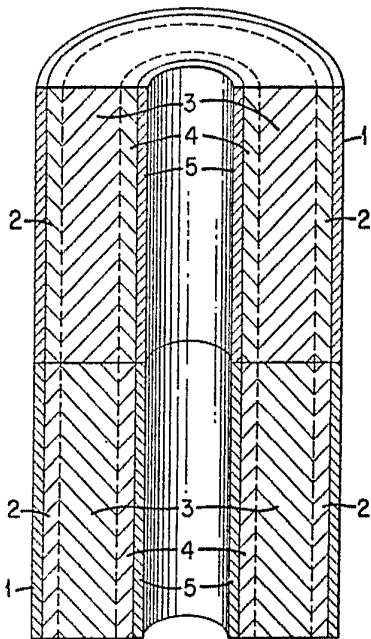


Fig. 3.

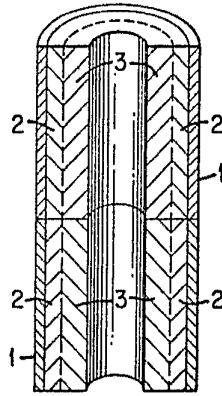


Fig. 2.

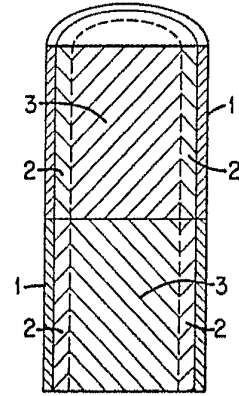


Fig. 1.

Madrid, 28 ENE. 1965

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION
P. P.

Escala variable

[Handwritten signature]

308258

28

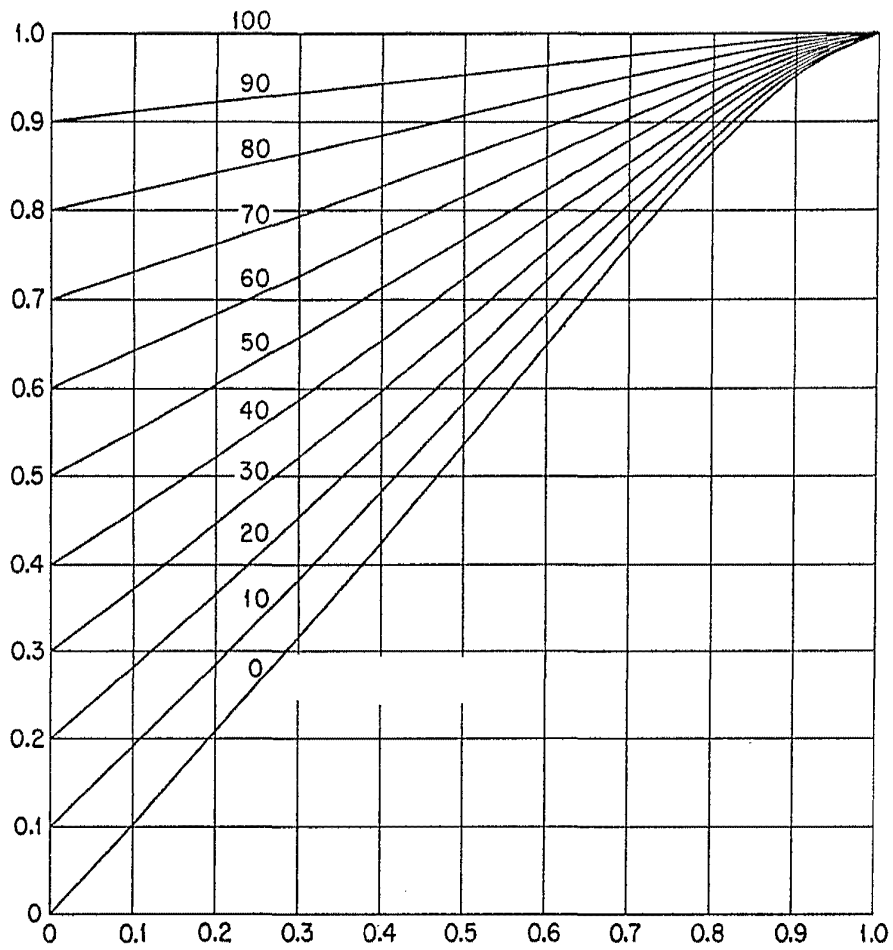


Fig. 5.

Madrid, 28.05.1956
UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION
P. P.

Escala variable