



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

ES

11) NUMERO
464.877
12) FECHA DE PRESENTACION
7-12-77

A1

5 MAR 1978

PATENTE DE INVENCION

13) PRIORIDADES: 13) NUMERO	14) FECHA	15) PAIS
748.652	8-12-76	Estados Unidos

16) FECHA DE PUBLICIDAD	17) CLASIFICACION INTERNACIONAL	18) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	G21C	

19) TITULO DE LA INVENCION

PASTILLA DE COMBUSTIBLE DESTINADA A SER UTILIZADA EN UN ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.

20) SOLICITANTE (ES)

GENERAL ELECTRIC COMPANY

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

1, River Road - SCHENECTADY, New York 12305 - ESTADOS UNIDOS

21) INVENTOR (ES)

Eric Bertil Johansson; Dale Henry Klahn y Mickey Orville Marlowe, todos de nacionalidad estadounidense.

22) TITULAR (ES)

23) REPRESENTANTE

DON BERNARDO UNGRIA GOIBURU

OF.

POOR
QUALITY

EXTRACTO DE LA DESCRIPCION

El invento se refiere a una pastilla de combustible nuclear alineable del tipo que puede apilarse extremo con extremo con otras pastillas en el interior de una vaina tubular. La experiencia ha demostrado que los fallos en las vainas de combustible pueden producirse en los emplazamientos de las superficies de separación de las pastillas debido a la interacción mecánica entre pastillas de combustible alineadas defectuosamente y la vaina. La interacción mecánica entre la vaina y las pastillas de combustible, aplica una carga a la vaina y aumenta las fuerzas a las cuales está sometida la vaina. Las pastillas de combustible nuclear construidas de acuerdo con el invento, están provistas de una estructura de extremidad que aumenta la deformación plástica de las pastillas en la superficie de separación de las mismas y por tanto se necesitan menores fuerzas de alineación para enderezar axialmente las pastillas alineadas defectuosamente. La deformación plástica de las extremidades de las pastillas da lugar a una menor interacción entre la vaina y las pastillas de combustible y reduce notablemente las fuerzas a las cuales está sometida la vaina. La geometría de las pastillas construidas de acuerdo con el invento disminuye también las fuerzas de alineación necesarias para enderezar las pastillas de combustible que están inclinadas en el interior de la vaina. La deformación plástica de las pastillas en las superficies de separación de las mismas, tanto en la dirección axial como en la dirección transversal se eleva utilizando pastillas que tienen por lo menos en una cara de extremidad una zona en relieve situada céntricamente y de forma generalmente convexa, de tal manera que la temperatura media y las fuerzas

de cizallamiento de la zona de contacto sean mucho más elevadas que en las pastillas de la técnica anterior. Las pastillas de combustible construidas de acuerdo con el invento pueden dotarse de una extremidad con una zona en relieve dispuesta 5
céntricamente, y la extremidad plana opuesta puede también dotarse de una zona en relieve dispuesta céntricamente, o la extremidad opuesta puede dotarse de una depresión dispuesta céntricamente y que tiene una profundidad inferior a la altura de la zona en relieve en una pastilla adyacente.

10 ANTECEDENTES DEL INVENTO

El invento se refiere a combustible para reactor nuclear y más particularmente a pastillas de combustible nuclear de forma cilíndrica, que pueden ser alineadas axialmente y que están destinadas a estar apiladas extremo contra extremo en el interior de una vaina tubular para combustible nuclear. 15

Se describen reactores nucleares, por ejemplo, en "Nuclear Power Engineering" por M. M. El-Wakil, publicado por la McGraw-Hill Book Co., Inc. 1963. Se representan elementos de combustible nuclear, por ejemplo en la patente de los Estados Unidos, número 3.466.226 a nombre de J.L. Lass. La patente a nombre de Lass representa un elemento de combustible nuclear constituido por una vaina tubular de forma alargada que contiene un material fisionable tal como dióxido de uranio y/o plutonio (UO_2 , PuO_2) encerrado herméticamente en ella. En el presente invento, este material de combustible tiene la forma de pastillas de combustible que están apiladas extremo contra extremo en el interior de la vaina. Estas pastillas de combustible se obtienen mediante compresión de un polvo y sinterización, de tal manera que tienen una consistencia parecida a la 20
25
30

de una cerámica antes de ser apiladas y herméticamente encerradas en el interior de la vaina tubular.

5 La experiencia ha demostrado que los fallos o las perforaciones de la vaina de combustible tienden a producirse en los emplazamientos de las superficies de separación de las pastillas en razón de la interacción mecánica (interacción pastilla-vaina) entre las pastillas y la vaina. La experiencia indica que uno de los motivos de estos fallos es la defectuosa alineación axial de las pastillas de combustible adyacentes de la pila. La expresión "alineación axial defectuosa" que se emplea aquí está destinada a designar las pastillas de combustible cuyas líneas centrales están desplazadas y/o inclinadas con respecto a la línea central de la vaina tubular.

10 La alineación axial defectuosa de las pastillas de combustible puede deberse inicialmente a una distribución estocástica o aleatoria de las pastillas de combustible en el interior de la vaina durante el montaje del elemento de combustible. Esta distribución estocástica se produce en razón de las tolerancias dimensionales y de montaje que permiten apilar pastillas de combustible en posiciones alineadas defectuosamente. Las tolerancias de fabricación impiden que las caras de extremidad de las pastillas sean perpendiculares al eje central de las pastillas. Por tanto, cuando se apilan las pastillas en la vaina, cada pastilla es inclinada por la desviación de su cara de extremidad inferior, y las desviaciones acumuladas de las caras de extremidad de las pastillas situadas por debajo. En la mayoría de los elementos de combustible para reactor nuclear, una gran parte de las pastillas de combustible están inclinadas en el grado máximo permitido por el intervalo anular normalmente previsto entre las pastillas de combustible y la vaina.

na. Esta distribución estocástica se ve todavía más agravada por los efectos cumulativos de las vibraciones de las barras de combustible, y por el hinchamiento y el agrietamiento de las pastillas durante la irradiación.

5 Durante la irradiación, las pastillas de combustible pueden llegar a bloquearse en posiciones de alineación defectuosa debido a los efectos combinados de la fricción axial (que resulta del hinchamiento de las pastillas y de un mayor coeficiente de dilatación térmica y de una mayor temperatura media de las pastillas de combustible con relación a la vaina) y de la fricción transversal en las superficies de separación de las pastillas sometidas a una carga de compresión. Cuando las pastillas se han bloqueado en posiciones alineadas defectuosamente, la dilatación radial ulterior de las pastillas a mayores niveles de potencia produce una interacción entre pastillas y vaina que da lugar a un fallo de la vaina. Las perforaciones de la vaina pueden producirse en razón de fuerzas excesivas aplicadas a la vaina o en razón de un incremento de la circulación producida en la vaina por la tensocorrosión.

15 Los fallos de vaina en los elementos de combustible que incluyen pastillas alineadas defectuosamente, se producen a niveles de potencia notablemente inferiores con relación a los elementos de combustible nuclear en los cuales las pastillas permanecen alineadas axialmente. Por tanto, la interacción pastilla/vaina debida a la alineación defectuosa de las pastillas reduce notablemente el nivel de potencia absoluta al cual puede ser utilizado el elemento de combustible nuclear sin fallo de la vaina.

25 La interacción pastilla-vaina ha obligado igualmente

30

te a los operarios de las centrales nucleares a reducir sustancialmente la velocidad a la cual pueden realizarse cambios de potencia como consecuencia de las variaciones de carga. Esto se debe al mayor coeficiente de dilatación térmica y a la

5 mayor temperatura media de la pastilla con relación a la vaina, al hinchamiento de la pastilla producido por la generación de productos de fisión, y debido a que el tiempo relativamente reducido que se necesita para que se produzca una deformación plástica aumenta sustancialmente la interacción pastilla-vaina durante un brusco incremento de la potencia. La

10 realización muy lenta de los cambios de potencia, alivia parcialmente este problema dejando que la pastilla y la vaina se deformen plásticamente, reduciendo así eficazmente las cargas aplicadas a la vaina. Sin embargo, estas limitaciones de la

15 velocidad a la cual pueden realizarse cambios de potencia para seguir las variaciones de carga, son particularmente onerosas para el operario de una central nuclear que debe satisfacer demandas que varían ampliamente.

La técnica anterior revela una disposición prevista para intentar la alineación de las pastillas de combustible nuclear durante el montaje de una barra de combustible nuclear. Véase patente canadiense, número 725.277 a nombre de Hauser y socios. Sin embargo, con esta disposición aumenta la resistencia a la deformación plástica en las superficies de separación de las pastillas utilizando pastillas dotadas de extremidades macho y hembra que se acoplan mutuamente. Típicamente,

20 en la disposición de la técnica anterior, las extremidades alternas de las pastillas de combustible están dotadas de un saliente y de un orificio destinado a recibir el saliente, teniendo el orificio destinado a recibir el saliente una profun

25

30

5 didad superior o igual a la altura del saliente. Cuando una pluralidad de dichas pastillas de combustible se apilan extremo contra extremo, los salientes situados en las extremidades de las pastillas de combustible se acoplan con los orificios destinados a recibirlos y que están formados en las pastillas de combustible adyacentes, para mantener las pastillas de combustible en la posición adecuada.

10 En las disposiciones de pastillas acoplables de la técnica anterior, las pastillas de combustible están en contacto las unas con las otras por medio de una zona anular que rodea los salientes y los orificios destinados a recibir los salientes, obteniéndose así una amplia superficie de contacto de las pastillas y una temperatura media reducida en las superficies de separación entre pastillas. Esta amplia superficie
15 de contacto de las pastillas y esta temperatura media reducida da lugar a la aplicación de fuerzas reducidas a las pastillas en las superficies de separación entre pastillas y a una deformación plástica de las pastillas de poca amplitud, lo que reduce las fuerzas aplicadas a la vaina. Las fuerzas reducidas que se producen en las superficies de separación de las pastillas
20 dan lugar a la aplicación de mayores fuerzas a la vaina y a una deformación de la misma en lugar de una deformación de las pastillas. Los diseños de las pastillas de la técnica anterior dotadas de extremidades planas o "ahuecadas" presentan los mismos inconvenientes. (Las pastillas ahuecadas están dotadas de
25 extremidades cóncavas, como se representa, por ejemplo, en la patente de los Estados Unidos, número 3.365.371). Presentan amplias superficies de contacto entre pastillas y bajas temperaturas medias en las superficies de separación de las pastillas,
30 lo que da lugar a la deformación de la vaina en lugar de la de

formación de las pastillas.

Otro problema que se plantea con la disposición de pastillas acoplables de la técnica anterior es el prohibitivo gasto de fabricación de los salientes y de los orificios destinados a recibir los salientes con tolerancias de fabricación inferiores a $+0,076$ mm ($+3$ milésimas de pulgada), y estos errores tienen efecto acumulativo sobre la falta de alineación de las pastillas. En la mayoría de los reactores de agua hirviendo, las pastillas y la vaina están separadas por un intervalo anular de aproximadamente $0,254$ mm (10 milésimas de pulgada) y por tanto puede seguir produciendo una inclinación máxima de las pastillas con la disposición de pastillas interacoplables de la técnica anterior.

El objeto principal del invento consiste en proporcionar una pastilla de combustible nuclear destinada a ser utilizada en una columna de pastillas apiladas en un elemento de combustible y que tiene una forma que aumenta la deformación plástica de las pastillas en las superficies de separación de las pastillas, de tal manera que la interacción mecánica entre la pastilla y la vaina dé lugar a la generación de fuerzas de alineación suficientemente importantes para deformar las pastillas y alinearlas de nuevo sin aplicar cargas importantes a la vaina.

Otro objeto del presente invento consiste en proporcionar una pastilla de combustible axialmente alineable que reduce la interacción pastilla-vaina.

Otro objeto del invento consiste en proporcionar una pastilla de combustible nuclear capaz de mejorar el funcionamiento de las centrales nucleares aumentando la velocidad a la cual pueden realizarse los cambios de potencia necesarios

para seguir las variaciones de carga sin someter la vaina de combustible a fuerzas excesivas debidas a la interacción pastilla-vaina.

5 Otro objeto del presente invento consiste en reducir la distribución estocástica de las pastillas durante el montaje de una barra de combustible nuclear.

Otro objeto del presente invento consiste en reducir el grado de fisuración debida a la tensocorrosión en la vaina de una barra de combustible nuclear.

10 Otro objeto del presente invento consiste en proporcionar un elemento de combustible nuclear capaz de niveles de potencia absoluta más elevados sin fallo de la vaina.

RESUMEN DEL INVENTO

15 En resumen, estos objetos del invento, así como otros, se consiguen utilizando una pastilla de combustible nuclear con una forma que aumenta la deformación plástica de las pastillas en las superficies de separación entre las pastillas de un elemento de combustible, reduciendo así las fuerzas necesarias para alinear de nuevo las pastillas. El incremento
20 de la deformación plástica en las superficies de separación de las pastillas, permiten una interacción mecánica entre la pastilla y la vaina para crear fuerzas de alineación suficientemente importantes para alinear de nuevo una pastilla alineada de manera defectuosa en el sentido axial sin aplicar una
25 carga excesiva a la vaina. La deformación plástica de las pastillas en las superficies de separación de las mismas, se aumenta gracias a una superficie de contacto pastilla-pastilla relativamente pequeña dispuesta cerca del centro de la cara de extremidad de la pastilla. Ya que la pastilla es mucho más
30 caliente en su parte central, la temperatura media de la su-

perficie de contacto es mucho más elevada. La elevación de la temperatura media de la zona de contacto disminuye la resistencia y la fuerza constante de la zona de contacto, reduciendo así las fuerzas necesarias para la alineación. La superficie de contacto más pequeña en las superficies de separación de las pastillas concentra las fuerzas de alineación en una zona más reducida. Esto aumenta la fuerza en la superficie de separación lo que reduce todavía más las fuerzas necesarias para la alineación. La geometría de las pastillas de combustible construidas de acuerdo con el presente invento, reduce también las fuerzas necesarias para enderezar una pastilla de combustible que está inclinada en el interior de la vaina.

Las pastillas de combustible nuclear construidas de acuerdo con el invento están dotadas de por lo menos una extremidad que tiene una zona en relieve dispuesta céntricamente y de forma generalmente convexa. La extremidad opuesta de la pastilla puede tener también una forma generalmente convexa, o puede ser plana, o puede estar dotada de una depresión dispuesta céntricamente. La depresión dispuesta céntricamente tiene una profundidad inferior a la altura de la zona en relieve situada céntricamente para garantizar que las pastillas estarán en contacto las unas con las otras tan solo en una pequeña zona situada céntricamente. La zona en relieve situada céntricamente puede tener una forma general hemisférica o una forma generalmente cónica. Las zonas en relieve generalmente hemisféricas o generalmente cónicas dispuestas céntricamente pueden extenderse sustancialmente sobre la totalidad de la superficie extrema de la pastilla o solamente en una porción central limitada de la misma. En un modo de realización preferido, unas zonas en relieve generalmente hemisféricas o gene-

ralmente cónicas que están dispuestas céntricamente, están dotadas de una superficie de contacto pastilla-pastilla de forma plana y dispuesta céntricamente.

5 En los modos de realización del invento en los cuales existe una zona en relieve generalmente cónica y dispuesta céntricamente con una superficie plana céntrica, una zona anular que rodea la superficie plana céntrica puede presentar una inclinación pronunciada hacia la superficie de extremidad de la pastilla o puede presentar una inclinación progresiva hasta la
10 pared lateral de la pastilla. Estas dos estructuras se mencionan bajo los nombres de botón y corona, respectivamente. Las pastillas de combustible provistas de botones o coronas pueden dotarse de botones o coronas en ambas extremidades o de un solo botón o de una sola corona prevista para cooperar con la su
15 perficie de extremidad plana de una pastilla adyacente. Con el objeto de reducir todavía más la distribución estocástica de las pastillas durante el montaje del elemento de combustible, las pastillas de combustible del tipo dotadas de un botón en una extremidad pueden proveerse de una cavidad destinada a recibir el botón en la extremidad opuesta, con una profundidad
20 inferior a la altura del botón.

DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es una vista, parcialmente en sección, de una parte de una barra de combustible nuclear que incluye pastillas de combustible apiladas con sus líneas centrales decaladas de manera aleatoria.
25

La figura 2 es una vista parcialmente en sección, de una parte de una barra de combustible nuclear que incluye pastillas de combustible que están inclinadas en el interior de su vaina.
30

La figura 3 es una vista en sección transversal, tomada a lo largo de la línea 3-3 de la figura 1.

La figura 4 es una vista lateral de una pastilla de combustible construida de acuerdo con el invento.

5 La figura 5 es una vista lateral de otro modo de realización del invento.

La figura 6 es una vista lateral de otro modo de realización del invento.

10 La figura 7 es una vista de extremidad de la pastilla de combustible de la figura 6.

La figura 8 es una vista lateral de una pastilla de combustible construida de acuerdo con el invento.

La figura 9 es una vista de extremidad de la pastilla de combustible de la figura 8.

15 La figura 10 ilustra otro modo de realización del invento.

La figura 11 ilustra otro modo de realización del invento.

20 La figura 12 es una vista de extremidad de la pastilla de la figura 11.

La figura 13 es una vista en sección transversal de una parte de un elemento de combustible nuclear que utiliza la pastilla de combustible de la figura 11.

25 La figura 14 ilustra otro modo de realización del invento.

La figura 15 es una vista de extremidad de la pastilla de combustible de la figura 14.

La figura 16 ilustra otro modo de realización del invento.

30 Las figuras 17, 19 y 21 representan cada una un modo

de realización del invento.

Las figuras 18, 20 y 22 son vistas de extremidad de las pastillas de combustible de las figuras 17, 19 y 21, respectivamente.

5 La figura 23 es una vista de una parte de una barra de combustible nuclear que ilustra las fuerzas de realineación necesarias para enderezar pastillas de combustible de tipo convencional que están inclinadas en el interior de la vaina.

10 La figura 24 es una vista de una parte de una barra de combustible nuclear utilizando pastillas construidas de acuerdo con el presente invento y que ilustra las fuerzas de realineación necesarias para enderezar las pastillas de combustible inclinadas.

15 DESCRIPCION DEL MODO DE REALIZACION PREFERIDO

En las figuras 1 y 2, se ilustran unos elementos de combustible nuclear que ilustran una pluralidad de pastillas de combustible nuclear 1, representadas aquí bajo la forma de cilindros circulares rectos, para mayor sencillez, apiladas en una columna extremo contra extremo en el interior de una vaina tubular 2. Un intervalo anular 3 está formado entre las pastillas 1 y la vaina 2. El intervalo anular 3 permite el hinchamiento de las pastillas, durante la irradiación debida a la generación de los productos de fisión, producida por el mayor coeficiente de dilatación térmica de las pastillas y la temperatura media más elevada de las pastillas con relación a la vaina. Las pastillas de combustible tienen una temperatura media superior a la de la vaina porque esta última se enfría directamente por medio del refrigerante del reactor que la rodea. El intervalo 3 facilita igualmente las tolerancias de

20

25

30

montaje necesarias. Sin embargo, el intervalo anular 3 permite igualmente que las pastillas se apilen estocásticamente o de manera aleatoria en la vaina durante el montaje. El apilamiento estocástico de las pastillas de combustible, puede dar lugar simplemente a una desalineación axial de las pastillas con una línea central aleatoria desplazada según se representa en la figura 1, o puede dar lugar a la rotación o a la inclinación de las pastillas en el interior de la vaina, como se representa en la figura 2, o puede producir ambos fenómenos. Incluso si el apilamiento estocástico se reduce en cierto grado durante el montaje de los elementos de combustible, los efectos cumulativos de las vibraciones, del hinchamiento y de la fisuración de las pastillas durante la irradiación tiende a producir un apilamiento estocástico de las pastillas de combustible.

Tanto si las pastillas de combustible toman las posiciones de línea central decaída que se ilustran por medio de las pastillas 4 y 5 en la figura 1, como si toman las posiciones inclinadas que se ilustran por medio de las pastillas 7 y 8 en la figura 2, estas pastillas con alineación axial defectuosa dan lugar a un incremento sustancial de las fuerzas aplicadas a la vaina. Esto se debe a que estas pastillas se bloquean virtualmente en posiciones de alineación axial defectuosa en razón de la fricción que se produce en sus superficies de separación 9 sometidas a una carga de compresión. La carga de compresión de las superficies de separación 9 de las pastillas resulta de la carga elástica de la columna de pastillas, del peso de las pastillas, y, lo que es más importante, de la fricción entre los lados de las pastillas y las paredes de la vaina cuando la columna de pastillas se dilata axialmente du-

5 rante la irradiación. Cuando las pastillas se han bloqueado en posiciones de alineación axial defectuosa, el hinchamiento ulterior de las pastillas de combustible cuando la potencia aumenta, produce una interacción entre pastillas y vaina que crea carga mecánicas que se aplican a la vaina, deteriorándola.

10 La aplicación de fuerzas mecánicas a la vaina, en razón de la interacción pastilla-vaina es extremadamente fuerte cuando dos pastillas de combustible adyacentes, tales como 4 y 5 en la figura 1, están en contacto con los lados opuestos de la vaina tubular 2. Haciendo ahora referencia a la figura 3, se ve que cuando las pastillas 4 y 5 se dilantan debido a un incremento de potencia, las fuerzas de alineación F se ejercen sobre las pastillas en las zonas de interacción pastilla-vaina 10 y 11. Debido a que las pastillas de combustible están mucho más calientes en el centro, las fuerzas de origen térmico aplicadas a la pastilla producen fisuras radiales 13 durante la irradiación. Las fisuras radiales que aparecen cerca de la zona de interacción pastilla-vaina 10 y 11 dan lugar a concentraciones de fuerza que amplifican todavía más las fuerzas aplicadas a la vaina en estas zonas. Finalmente, estas fuerzas dan lugar a una deformación plástica de la vaina que conduce a perforaciones en la misma y a la liberación de productos de fisión en el refrigerante del reactor.

20 Sin embargo, las fuerzas de interacción pastilla-vaina crean también fuerzas más elevadas que se aplican a la vaina en las zonas no en contacto con las pastillas, y la vaina presenta una mayor propensión a fisuración por tensocorrosión tanto en las zonas no en contacto como en las zonas en contacto.

30 El presente invento está basado sobre la observación

del hecho de que, si se reduce la fuerza necesaria para producir la deformación plástica de las pastillas en unas superficies de separación 9 de las pastillas, la interacción pastilla-vaina producirá fuerzas de alineación suficientemente importantes para alinear de nuevo las pastillas sin aplicar fuerzas importantes a la vaina.

De acuerdo con el invento, las fuerzas necesarias para producir la deformación plástica en las superficies de separación de las pastillas, se reducen formando una zona de contacto de pastillas más pequeña, situada hacia el centro de la pastilla. Ya que la pastilla está mucho más caliente hacia su centro, la temperatura media de la zona de contacto es mucho más elevada. El incremento de la temperatura media de la zona de contacto reduce la resistencia y la fuerza cortante de la zona de contacto, aumentando el grado de deformación de la pastilla en la zona de contacto y disminuyendo las fuerzas de alineación necesarias. (El nivel de fuerza por el cual un material se deforma plásticamente se conoce generalmente en tecnología de materiales bajo el nombre de fuerza cortante del material). La superficie de contacto más pequeña de las pastillas aumenta también la fuerza cortante en la superficie de separación entre pastilla y pastilla, lo que da lugar igualmente a una deformación más fácil de las pastillas.

Se obtiene una superficie de contacto más pequeña entre pastillas utilizando una pastilla de combustible provista por lo menos de una extremidad dotada de una zona en relieve dispuesta céntricamente y de forma generalmente convexa. La altura óptima y la superficie de esta porción en relieve de la pastilla resulta difícil, si no imposible, de determinar analíticamente. Sin embargo, haciendo referencia ahora a las

figuras 4 y 5, se ve que se han encontrado modos de realización prácticos del invento que tienen una zona en relieve dispuesta céntricamente con una altura, h , relacionada con la altura, H , de la pastilla de la siguiente manera:

5

$$0,01 \leq \frac{h}{H} \leq 0,2$$

Los modos de realización del invento que se representan en las figuras 4 y 5, están provistos de zonas en relieve dispuestas céntricamente 14 y 15 de forma generalmente hemisférica. La figura 4 ilustra un modo de realización del invento, en el cual la zona en relieve dispuesta céntricamente 14 cubre solamente una parte de la superficie de extremidad 16 de la pastilla 17. La figura 5 ilustra un modo de realización del invento en el cual la zona en relieve dispuesta céntricamente 15 cubre sustancialmente la totalidad de la superficie extrema de la pastilla 18. Unos modos de realización del invento provistos de una extremidad que tiene una zona en relieve dispuesta céntricamente de forma generalmente hemisférica pueden dotarse de una extremidad opuesta con una zona en relieve dispuesta céntricamente, o de una extremidad opuesta plana (según se ilustra en las figuras 4 y 5), o de una depresión dispuesta céntricamente con una profundidad inferior a la altura, h , de la zona en relieve dispuesta céntricamente.

25

30

Haciendo ahora referencia a las figuras 6 y 7, en unos modos de realización preferidos del invento, una zona en relieve dispuesta céntricamente 19, está dotada de una superficie plana 20 dispuesta céntricamente, perpendicular al eje longitudinal de la pastilla, que presenta una superficie A_r relacionada con la superficie de la sección transversal lateral, A_p , de la pastilla, de la siguiente manera:

$$0,0004 \leq \frac{A_r}{A_p} \leq 0,5$$

Un límite al valor máximo de la relación A_r/A_p es el valor más pequeño que asegura que unas pastillas adyacentes estarán todavía en contacto mutuo en una superficie plana, con desplazamiento máximo, con un intervalo anular de 0,24 mm (10 milésimas de pulgada). Otro límite al valor mínimo de esta relación de superficie es la fuerza necesaria para que la zona en relieve pueda resistir a la rotura en presencia de las cargas de compresión previstas, a la temperatura de funcionamiento prevista. Se estima que el límite superior dado para la relación A_r/A_p es la relación de superficie más importante que sigue proporcionando una ventaja valiosa cuando se utiliza el invento.

Se prefieren las pastillas dotadas de una zona en relieve dispuesta céntricamente con una superficie plana céntrica perpendicular al eje longitudinal de la pastilla, porque la superficie plana dispuesta céntricamente ayuda a reducir la inclinación y el apilamiento estocástico de las pastillas.

En un ejemplo particular de una pastilla de combustible realizada de acuerdo con el presente invento, se han utilizado las siguientes relaciones:

$$\frac{h}{H} = 0,035$$

$$\frac{A_r}{A_p} = 0,0625$$

La relación entre la altura, h , de la zona en relieve dispuesta céntricamente y la altura, H , de la pastilla, ha sido elegida de modo que sea de 0,035, ya que esta relación da lugar a una pérdida de volumen de material de combustible de aproximadamente 3% que corresponde al volumen de material com

bustible perdido en las pastillas de los diseños de la técnica anterior que están dotadas de extremidades cóncavas y, por tanto, se admite como pérdida de volumen de combustible tolerable.

5

La relación entre la superficie, A_r , de la superficie plana dispuesta céntricamente y la superficie de la sección transversal, A_p , de la pastilla, ha sido elegida para que sea de 0,0625, porque este valor representa un modo de realización práctico del invento que disminuye notablemente las cargas aplicadas a la vaina, proporcionando sin embargo una resistencia suficiente para oponerse a la rotura de la zona en relieve bajo la fuerza de compresión del muelle de la cámara de pleno y del peso de la columna de combustible a la temperatura de funcionamiento prevista.

10

15

Las pastillas de combustible nuclear que se ilustran en los demás dibujos, representan unos modos de realización del invento, provistos por lo menos de una superficie de extremidad dotada de una zona en relieve dispuesta céntricamente y de forma generalmente cónica. Pueden utilizarse modos de realización del invento dotados de una zona en relieve dispuesta céntricamente y de forma generalmente cónica, con una zona en relieve dispuesta céntricamente que cubre la totalidad o solamente una parte de la superficie de extremidad de la pastilla.

20

25

Haciendo ahora referencia a las figuras 8 y 9, se ilustra en ellas una pastilla de combustible nuclear 31 que tiene una extremidad 32 parcialmente cubierta por una zona en relieve 33 dispuesta céntricamente y de forma generalmente cónica. La zona en relieve dispuesta céntricamente 33 tiene la forma de un tronco de cono y está dotada de una superficie pla

30

na circular 34 dispuesta céntricamente, que es perpendicular el eje longitudinal de la pastilla, para estar en contacto con una pastilla de combustible adyacente en un elemento de combustible. En el modo de realización del invento que se re
5 presenta en las figuras 8 y 9, la superficie plana dispuesta céntricamente 34 está rodeada por una zona anular 35 que está inclinada a partir del borde 36 de la superficie plana circular dispuesta céntricamente 34, hasta un borde 37 situado en la extremidad 32 de la pastilla 31. El resto de la superficie de extremidad de la pastilla incluye una superficie
10 plana 38 que es perpendicular al eje longitudinal de la pastilla. En lo que sigue, se llamará esta estructura, estructura de botón. Las pastillas que utilizan un botón pueden tener una extremidad opuesta 39 de forma plana. En variante,
15 las pastillas que utilizan el botón pueden tener un botón dispuesto céntricamente en ambas extremidades como se representa en la figura 10, en la cual una pastilla 31' está provista de superficies en relieve dispuesta céntricamente en cada extremidad, bajo la forma de botones 33'. Una ventaja de las pastillas de combustible que utilizan el botón, respecto a otros modos de realización del invento, consiste en que el botón mantiene una superficie de contacto relativamente pequeña con una pastilla adyacente cuando se somete a una deformación axial.

25 Haciendo ahora referencia a las figuras 11 y 12, con el objeto de reducir todavía más el apilamiento estocástico de las pastillas de combustible durante el montaje del elemento de combustible nuclear, una pastilla 41 que utiliza un botón 42 dispuesto céntricamente en una extremidad de la
30 misma, puede incluir un alojamiento o una depresión 44 dis-

puesta céntricamente y destinada a recibir el botón, en la extremidad opuesta de la pastilla. La depresión dispuesta céntricamente 44 tiene una forma que se adapta generalmente a la forma del botón, pero con una profundidad inferior a la altura del botón.

5

Haciendo ahora referencia a la figura 13, las pastillas 45 y 46 tienen una forma que corresponde a la pastilla 41 que se representa en las figuras 11 y 12 y tienen al mismo tiempo un botón y una depresión de recepción de botón. Cuando las pastillas 45 y 46 están apiladas extremo contra extremo en el interior de una vaina tubular 47 de un elemento de combustible, un intervalo 48 impide que las superficies extremas 49 y 50 de las pastillas estén en contacto, y el contacto de aplicación de fuerza entre las pastillas está limitado a la porción de la superficie de la zona en relieve 42 que es perpendicular el eje longitudinal de la pastilla. Con el contacto entre pastillas reducido a la pequeña zona en relieve dispuesta céntricamente 42, la temperatura media y la fuerza cortante de las superficies de separación entre pastillas aumenta sustancialmente. Esto aumenta mucho la posibilidad de que la zona en relieve 52 se deforme plásticamente, permitiendo la alineación de las pastillas en la pila y reduciendo las fuerzas aplicadas a la vaina. Por tanto, las pastillas acoplables construidas de acuerdo con el presente invento, difieren de las estructuras de la técnica anterior que utilizan extremidades macho y hembra acoplables porque reducen la superficie de contacto a una pequeña zona en relieve, lo que aumenta la deformación plástica de las pastillas en las superficies de separación de las mismas, en lugar de disminuirla.

10

15

20

25

30

Haciendo ahora referencia a las figuras 14 y 15, se

ilustra en ellas una pastilla de combustible nuclear 52 que tiene una superficie de extremidad con forma de tronco de cono sustancialmente sobre la totalidad de la extremidad de la pastilla para formar una zona de extremidad en relieve 54 que incluye una superficie plana circular situada céntricamente, 55, perpendicular al eje longitudinal de la pastilla. La superficie plana 55 dispuesta céntricamente está rodeada por una zona anular 56 que está inclinada a partir del borde 57 de la superficie plana circular 55 hasta la pared lateral de la pastilla 58. Las pastillas dotadas de esta estructura de extremidad se llaman a continuación pastillas dotadas de corona. En la pastilla representada en las figuras 14 y 15, la extremidad opuesta es plana. En variante, según se representa en la figura 16, una pastilla de combustible puede dotarse de coronas 54' en ambas extremidades.

Una ventaja de la realización de pastillas de combustible con una forma hemisférica generalmente convexa o forma de corona que cubre la mayoría o la totalidad de la superficie extrema de la pastilla, consiste en una mejora de la distribución de la presión durante el proceso de compresión del polvo que se emplea para fabricar las pastillas de combustible. La forma bien conocida de pastilla de aspirina de las pastillas que tienen extremidades hemisféricas o en forma de corona, se consigue utilizando troqueles especiales de forma cóncava que eliminan los problemas de acabado de la extremidad de las pastillas que se presentan a menudo con polvos que tienen una resistencia reducida en estado no cocido. Esta configuración permite también obtener una pastilla con una densidad más uniforme debido a las fuerzas de compresión más elevadas que se ejercen en los bordes de la pastilla

y que compensan la fricción entre el polvo y las paredes de la cavidad del troquel.

Una ventaja suplementaria de las pastillas utilizando extremidades hemisféricas o en forma de corona que cubren sustancialmente la totalidad de la superficie extrema de la pastilla, consiste en que la utilización de una pastilla de combustible dotada de una extremidad de esta forma y de una extremidad opuesta plana (como la pastilla representada en la figura 14) reduce la pérdida de volumen de combustible debida a la adición de la zona en relieve dispuesta céntricamente. Esto es ventajoso ya que es a menudo conveniente llenar un elemento de combustible lo más completamente posible para obtener la máxima carga de combustible.

Puede verse en todas las ilustraciones de los varios modos de realización del invento, y más particularmente en la figura 8 que representa una pastilla provista de un solo botón, los bordes 61 y 62 de ambas extremidades de las pastillas pueden estar biselados para reducir la posibilidad de deterioración de la vaina debido al contacto puntual entre los bordes de las pastillas y la vaina.

Haciendo ahora referencia a las figuras 17 a 22, se ilustran unas pastillas que utilizan varios modos de realización del presente invento y que tienen un agujero coaxial que reduce la temperatura central de la pastilla disminuyendo así las fuerzas de origen térmico aplicadas a la pastilla. Cualquiera de los modos de realización del presente invento puede dotarse de un agujero coaxial de este tipo.

Haciendo de nuevo referencia a la figura 3, reduciendo la superficie de contacto en las zonas de separación de la pastilla a una superficie más pequeña que se representa en lí

neas de trazo interrumpido 70, las fuerzas de alineación F se concentran sobre la superficie de contacto más pequeñas. Esto aumenta el nivel de fuerza en las superficies de separación de las pastillas y sitúa también la zona de contacto cerca de la porción más caliente de la pastilla, lo que disminuye sustancialmente las fuerzas de alineación F .

Haciendo referencia ahora a la figura 2 y a las figuras 23 y 24, puede verse que la geometría de una pastilla construida de acuerdo con el presente invento, disminuye también de manera notable las fuerzas de alineación necesarias para alinear axialmente las pastillas, tales como 7 y 8 en la figura 2, que están inclinadas y bloqueadas en el interior de la vaina de combustible.

La figura 23 ilustra una pastilla de combustible convencional 80 que está inclinada y bloqueada en el interior de su vaina 81. Cuando la pastilla 80 se hincha durante la irradiación, las fuerzas de alineación F_2 se ejercen sobre la pastilla en la zona de separación entre pastilla y vaina. Estas fuerzas de alineación crean un momento antagónico que tiende a alinear de nuevo la pastilla y que puede representarse aproximadamente por el momento F_2D . Las fuerzas normales 82 y 83, debidas a la carga de compresión de las superficies de separación de las pastillas, y las fuerzas de fricción 84 y 85 situadas en las superficies de separación de las pastillas se oponen a la realineación de la pastilla 80. La suma vectorial de las fuerzas normales y de fricción puede representarse aproximadamente por las fuerzas ilustradas en F_1 . El momento que se opone a la realineación de la pastilla 80 puede representarse aproximadamente por el momento F_1A . Suponiendo que existe un equilibrio estático, los momentos pueden sumarse de tal mo-

do que:

$$F_2 D = F_1 A \quad (1)$$

$$F_2 = \frac{F_1 A}{D} \quad (2)$$

5 Por consiguiente, las fuerzas de realineación F_2 son directamente proporcionales a la dimensión A y a la suma vectorial F_1 de las fuerzas normales y de fricción en las superficies de separación de las pastillas.

10 Haciendo ahora referencia particular a la figura 24, se ilustran las fuerzas ejercidas en una pastilla 90 dotada de un botón 91 en una extremidad. Las fuerzas y las dimensiones son idénticas a las de la figura 23 y han recibido la misma designación alfanumérica. Como en la figura 23, las fuerzas de alineación F_2 son directamente proporcionales a la dimensión A y a la suma vectorial F_1 de las fuerzas normales y de fricción en las superficies de separación de las pastillas. Sin embargo, en la figura 24, la adición del botón 91 reduce notablemente tanto la suma vectorial F_1 como la dimensión A. La suma vectorial F_1 aplicada al botón de la figura 24 es inferior a la suma vectorial F_1 de la figura 23, porque el botón se deforma y reduce el valor de F_1 . Esto se debe a que la suma vectorial F_1 del botón de la figura 24 actúa sobre una región mucho más pequeña y más caliente (y por tanto más débil) de la pastilla de combustible. La dimensión A es mucho más pequeña en el caso de la pastilla de la figura 24, porque el botón 91 desplaza la zona de contacto más cerca del centro de la pastilla. De acuerdo con la ecuación (2) una reducción en F_1 ó A, da lugar a una reducción proporcional de las fuerzas de alineación F_2 .

25 Por tanto, se ve que dotando las pastillas de combustible de botones o coronas en sus extremidades, se obtiene

30

una reducción notable de las fuerzas necesarias para realinear una pastilla que está inclinada o decajada axialmente en el interior de la vaina del elemento de combustible.

5 Los peritos en la materia podrán idear otras modificaciones del invento, y se entiende que las reivindicaciones adjuntas cubren todas estas modificaciones que caen dentro del alcance del invento.

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

10

REIVINDICACIONES

15

20

25

30

1. - Pastilla de combustible destinada a ser utilizada en un elemento de combustible nuclear, que tiene una forma generalmente cilíndrica y que puede ser alineada axialmente, teniendo dicha pastilla una superficie de extremidad dada y una superficie de extremidad opuesta, y estando adaptada para que pueda efectuarse el apilamiento en una columna de una pluralidad de dichas pastillas extremo contra extremo dentro de una vaina tubular de dicho elemento combustible, estando las superficies extremas dadas de las pastillas de la pila en contacto con las superficies extremas opuestas de las pastillas adyacentes de la pila, estando dicha superficie de extremidad dada de dicha pastilla provista de una zona en relieve situada céntricamente y de forma generalmente convexa, y teniendo dicha superficie de extremidad opuesta de dicha pastilla una forma tal que el contacto de soporte de carga entre las pastillas de dicha pila, esté limitado a una parte de la superficie de dicha zona en relieve dispuesta céntricamente en dicha superficie de extremidad dada, que es perpendicular al eje longitudinal de dicha pastilla.

2. - Pastilla de combustible nuclear según la reivin-
dicación 1, caracterizada porque dicha zona en relieve dispues-
ta céntricamente es de forma generalmente hemisférica.

5 3. - Pastilla de combustible nuclear según la reivin-
dicación 1, caracterizada porque la superficie de extremidad
opuesta de dicha pastilla tiene una depresión dispuesta cén-
tricamente con una profundidad inferior a la altura de dicha
zona en relieve dispuesta céntricamente.

10 4. - Pastilla de combustible nuclear según la reivin-
dicación 1, caracterizada porque tanto dicha superficie de ex-
tremidad dada como dicha superficie de extremidad opuesta es-
tán provistas de una zona en relieve dispuesta céntricamente -
y de forma generalmente convexa con lo cual se limita el con-
tacto entre pastilla y pastilla a las zonas en relieve de las
15 pastillas adyacentes de dicha pila.

5. - Pastilla de combustible nuclear según la reivin-
dicación 4, caracterizada porque cada zona en relieve dispues-
ta céntricamente ocupa una porción limitada de las superficies
de extremidad correspondientes de dichas pastillas.

20 6. - Pastilla de combustible nuclear según la reivin-
dicación 4, caracterizada porque cada zona en relieve dispues-
ta céntricamente ocupa sustancialmente la totalidad de las -
superficies de extremidad correspondientes de dichas pastillas.

25 7. - Pastilla de combustible nuclear según las reivin-
dicaciones 1 y 4, caracterizadas porque dicha zona en relieve
dispuesta céntricamente incluye una superficie plana dispuesta
céntricamente.

30 8. - Pastilla de combustible nuclear según las reivin-
dicaciones 1 y 4, caracterizadas porque dicha zona en relieve -
dispuesta céntricamente es de forma generalmente cónica e in-

cluye una superficie plana dispuesta céntricamente.

5 9. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 y 8, caracterizadas porque cada zona en relieve - dispuesta céntricamente ocupa una parte limitada de la superficie de extremidad correspondiente de dicha pastilla.

10. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 y 8, caracterizadas porque dicha superficie plana dispuesta céntricamente es circular.

10 11. - Pastilla de combustible nuclear según la reivindicación 1, caracterizada porque una porción de extremidad de dicha pastilla, tiene la forma de un tronco de cono que está - provisto de una superficie plana dispuesta céntricamente, mientras que la superficie de extremidad opuesta de dicha pastilla es plana.

15 12. - Pastilla de combustible nuclear según la reivindicación 1, caracterizada porque cada porción de extremidad de dicha pastilla tiene la forma de un tronco de cono que incluye una superficie plana dispuesta céntricamente.

20 13. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 11 y 12, caracterizadas porque la porción de extremidad en forma de tronco de cono tiene una altura, h, que está relacionada con la altura, H, de la pastilla, de la siguiente manera:

$$0,01 < \frac{h}{H} < 0,2$$

25 14. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 11 y 13, caracterizadas porque la relación entre la altura de dicha porción de extremidad en forma de tronco de cono y la altura de la pastilla es:

$$\frac{h}{H} = 0,035$$

15. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1, 8, 11 y 12, caracterizadas además porque incluye un agujero coaxial.

5 16. - Pastilla de combustible nuclear según la reivindicación 1, caracterizada porque cada porción de extremidad de cada pastilla está provista de una zona en relieve dispuesta céntricamente y de forma hemisférica que tiene una superficie plana dispuesta céntricamente.

10 17. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 y 8, caracterizadas porque cada zona en relieve dispuesta céntricamente, tiene una altura, h , que está relacionada con la altura, H , de la pastilla, de la siguiente manera:

$$0,01 < \frac{h}{H} < 0,2$$

15 18. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1, 8 y 13, caracterizadas porque la relación entre la altura de dicha zona en relieve dispuesta céntricamente y la altura de la pastilla es:

$$\frac{h}{H} = 0,035$$

20 19. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1, 8 y 11, caracterizadas porque cada zona plana dispuesta céntricamente tiene una superficie, A_r , que está relacionada con la superficie de la sección transversal, A_p , de la pastilla de la siguiente manera:

25
$$0,0004 < \frac{A_r}{A_p} < 0,5$$

30 20. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1, 8 y 11, caracterizadas porque la relación entre la superficie de dicha zona plana dispuesta céntricamente y la superficie de la sección transversal de la pastilla es:

$$\frac{A_r}{A_p} = 0,0625$$

21. - Pastilla de combustible nuclear según la reivindicación 12, caracterizada porque incluye además un agujero axial
5 dispuesto céntricamente.

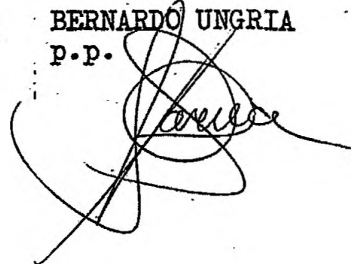
22. - Pastilla de combustible nuclear según las reivindicaciones 1,8,11 y 12, caracterizadas porque los bordes externos de ambas superficies de extremidad de dicha pastilla están achaflanados.

10 23. - Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: PASTILLA DE COMBUSTIBLE DESTINADA A SER UTILIZADA EN UN ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.

15 Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria descriptiva que consta de treinta páginas mecanografiadas y dibujos adjuntos.

Madrid, 7 Diciembre 1.977

BERNARDO UNGRIA
P.P.



20

25

30

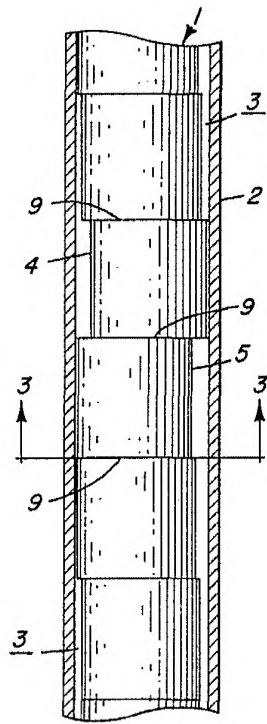


Fig. 1

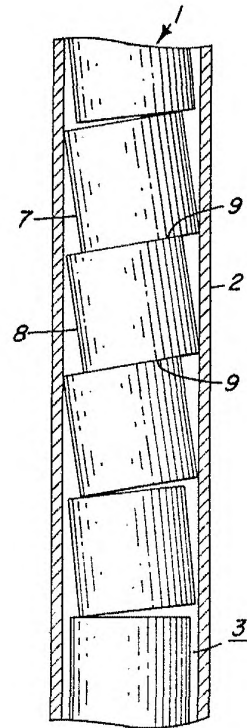
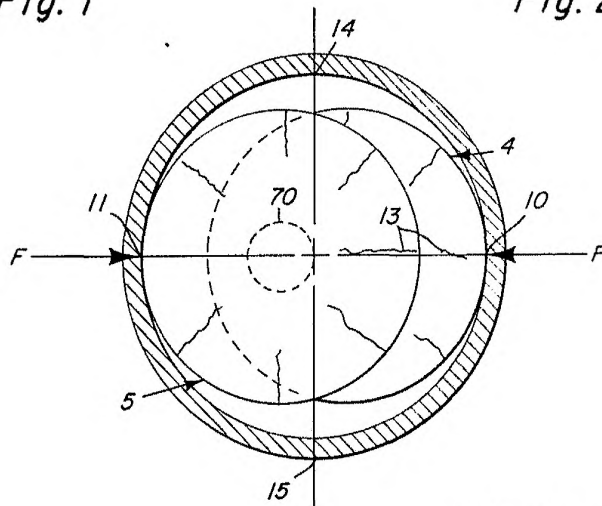


Fig. 2



ESCALA VARIABLE
Fig. 3 Madrid, 7 Diciembre 1.977
BERNARDO UNGRIA

P. P.
[Handwritten signature]

Fig. 4

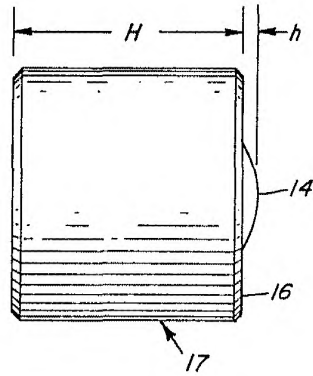


Fig. 5

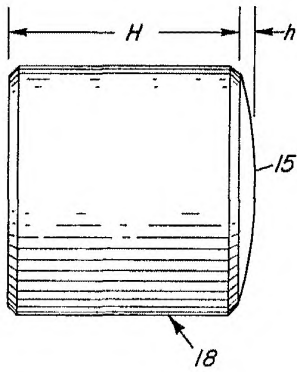


Fig. 6

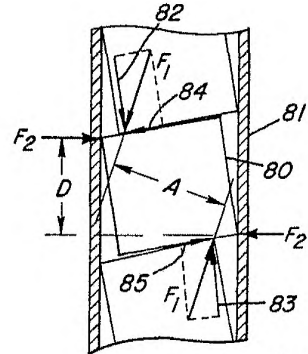
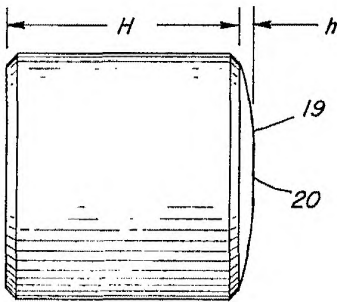


Fig. 23

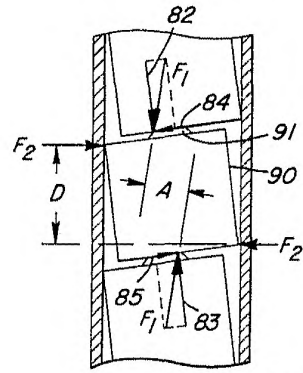


Fig. 24

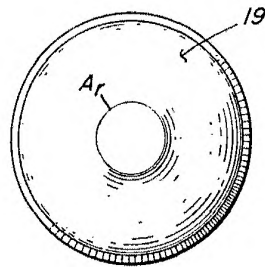


Fig. 7

ESCALA VARIABLE

Madrid, 7 Diciembre de 1.977

BERNARDO UNGER

P.P.

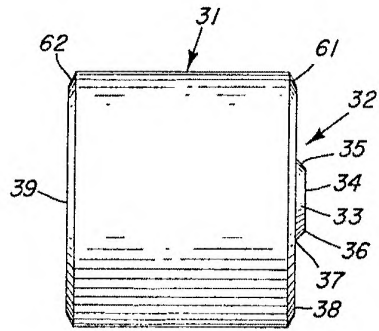


Fig. 8

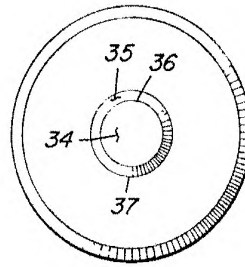


Fig. 9

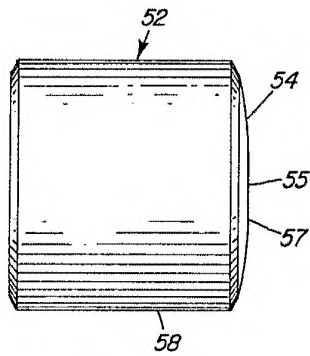


Fig. 14

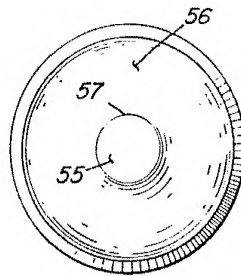


Fig. 15

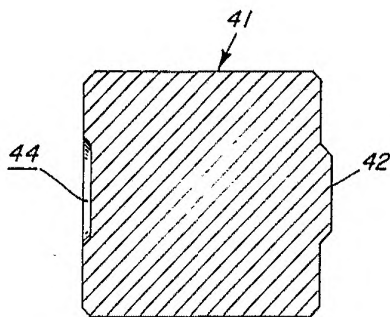


Fig. 11

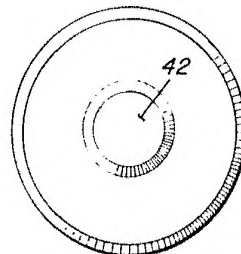


Fig. 12

ESCALA VARIABLE
Madrid, 7 de Diciembre de 1.977
BERNARDO UNGRIA
p.p.

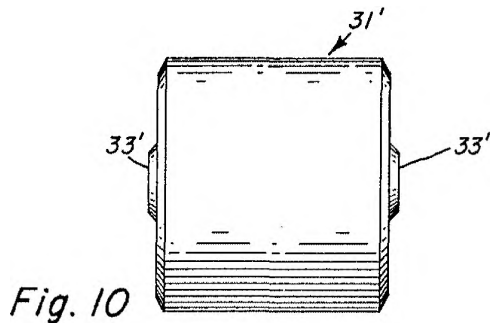


Fig. 10

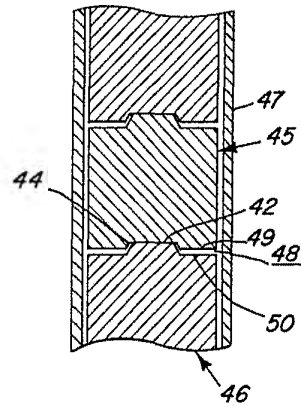


Fig. 13

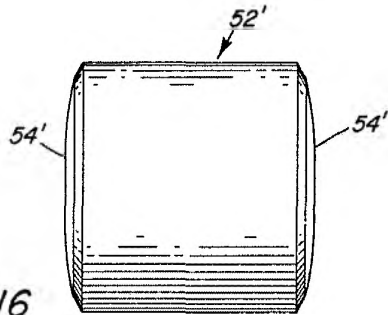


Fig. 16

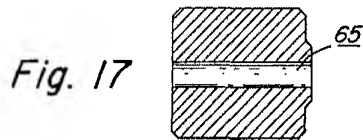


Fig. 17

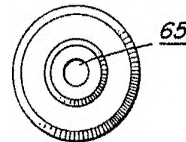


Fig. 18



Fig. 19

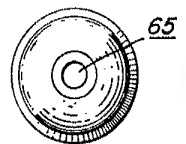


Fig. 20

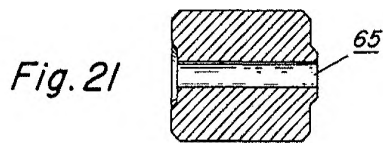


Fig. 21

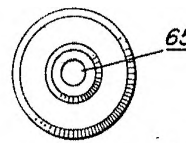


Fig. 22

ESCALA VARIABLE
Madrid, 7 de Diciembre de 1.977
BERNARDO UNGRÁ
P.P. *Ungra*