

438810

Int. Cl. <sup>2</sup> : <u>021C</u>

MEMORIA DESCRIPTIVA

correspondiente a la solicitud de una

-- PATENTE DE INVENCION --

Solicitante : GENERAL ELECTRIC COMPANY

Domicilio : 1 River Road, SCHENECTADY, New York 12305  
Estados Unidos.

Enunciado : "UN ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR"

Prioridad : de la solicitud de patente estadounidense  
Nº 482.480 del 24 de Junio de 1.974

-----

**POOR  
QUALITY**

1 El invento se refiere de manera general a una me-  
jora introducida en elementos de combustible nuclear que se uti-  
lizan en la región activa de los reactores nucleares de fisión,  
y más particularmente el invento se refiere a un elemento com-  
5 bustible nuclear mejorado que está dotado en él de una barre-  
ra de chapa dispuesta entre el encamisado y el material de com-  
bustible nuclear, y teniendo la barrera de chapa en la superfi-  
cie adyacente al material de combustible nuclear un revestimien-  
to de por lo menos un aditivo para el elemento de combustible  
10 nuclear.

Actualmente, se diseñan, construyen y hacen funcio-  
nar reactores nucleares en los cuales el combustible nuclear  
está contenido en elementos de combustible que pueden tener va-  
rias formas geométricas, tales como placas, tubos o barras. El  
15 material combustible está generalmente contenido en un recipien-  
te o encamisado resistente a la corrosión, no reactivo, y conduc-  
tor del calor. Los elementos se ensamblan conjuntamente en un  
retículo a distancias fijas los unos de los otros en un canal  
o una región de circulación de refrigerante que forma un conjun-  
to de combustible, y se combinan unos conjuntos de combustible  
20 en número suficiente para formar el conjunto nuclear de fisión  
en cadena o región activa del reactor capaz de una reacción de  
fisión autónoma. A su vez, la región activa está contenida  
en la cuba de seguridad del reactor a través de la cual se ha-  
ce pasar un refrigerante,  
25

El encamisado tiene dos objetos principales, en pri-  
mer lugar, impedir el contacto y las reacciones químicas entre  
el combustible nuclear y el refrigerante o el moderador si se  
utiliza un moderador, o ambos si se utilizan a la vez refrige-  
rante y moderador; y en segundo lugar, impedir que los produc-  
30

1        tos radioactivos de la fisión, algunos de los cuales son gases,  
pasen desde el combustible al refrigerante o al moderador o a  
ambos si se utilizan a la vez refrigerante y moderador. Los ma  
2        teriales de encamisados corrientes son el acero inoxidable, el  
5        aluminio y sus aleaciones, el circonio y sus aleaciones, el nio-  
bio (columbio) algunas aleaciones de magnesio, y otros metales.  
Un fallo en el encamisado, por ejemplo la pérdida de la estan-  
queidad del encamisado, puede producir la contaminación del re-  
frigerante o del moderador y de los sistemas asociados, con pro-  
10       ductos radiactivos de larga duración de vida en un grado capaz  
de interferir con la explotación de la planta.

Se han planteado problemas en la fabricación y la  
utilización de elementos de combustible nuclear que utilizan  
ciertos metales y ciertas aleaciones como material de encami-  
15       sado, en razón de las reacciones mecánicas o químicas de es-  
tos materiales de encamisado en ciertas circunstancias. En los  
reactores en los cuales la fisión exige neutrones de energías  
térmicas, el circonio y sus aleaciones constituyen excelentes  
materiales para el encamisado de combustible nuclear ya que es-  
20       tos materiales tienen secciones transversales de reducida absor-  
ción de neutrones y a temperaturas inferiores a  $316^{\circ}\text{C}$  aproxima-  
damente ( $600^{\circ}\text{F}$ ) son extremadamente resistentes, dúctiles, muy  
estables y no reaccionan en la presencia del agua deminerali-  
zada o del vapor que se utilizan corrientemente como refrige-  
25       rantes y moderadores en los reactores. Dentro de los límites  
de un elemento de combustible herméticamente cerrado, sin em-  
bargo, el gas hidrógeno generado por la reacción lenta entre  
el encamisado y el agua residual en el interior del encamisado  
puede alcanzar niveles, los cuales, en ciertas condiciones pue-  
30       den dar lugar a una hidruración localizada del encamisado con

1 la consiguiente deterioración localizada de las propiedades me-  
cánicas del encamisado. El encamisado se ve también perjudica-  
do por gases tales como oxígeno, nitrógeno, monóxido de carbo-  
no y dióxido de carbono en una amplia gama de temperaturas.

5 Igualmente, el rendimiento del elemento de combustible ha re-  
velado un problema relacionado con la descomposición del enca-  
misado en razón de las interacciones entre el combustible nu-  
clear, el encamisado y los productos de fisión que se produ-  
cen durante las reacciones nucleares de fisión.

10 El encamisado de circonio o de aleación de circo-  
nio de un elemento de combustible nuclear está sometido a la ac-  
ción de uno de los gases enumerados más arriba y de los produc-  
tos de fisión durante la irradiación en un reactor nuclear, y  
esto ocurre a pesar del hecho de que estos gases pueden no es-  
15 tar presentes en el refrigerante o en el moderador del reactor,  
y pueden además haber sido excluidos lo más posible de la at-  
mósfera ambiente durante la fabricación del encamisado y del ele-  
mento de combustible. Las composiciones refractarias sinteri-  
zadas y cerámicas, tales como el dióxido de uranio y otras com-  
20 posiciones utilizadas como combustible nuclear, liberan canti-  
dades medibles de los gases en cuestión al ser calentadas. Es  
sabido que las composiciones de refractarios y cerámicas en for-  
ma de partículas, tales como el polvo de dióxido de uranio y  
otros polvos empleados como combustible nuclear liberan canti-  
25 dades todavía más importantes de los gases en cuestión al ser  
calentadas durante la irradiación. Los combustibles nuclea-  
res se someten a temperaturas elevadas, y a estas temperatu-  
ras estos gases son capaces de reaccionar con el encamisado de  
circonio que contiene el combustible nuclear. Esta reacción  
30 puede dar lugar a la fragilización del encamisado que pone en

1 peligro la integridad del elemento de combustible. Aunque el  
agua y el vapor de agua no reaccionen inmediatamente para pro-  
ducir este resultado, a temperaturas elevadas, el vapor de agua  
reacciona con el circonio y las aleaciones de circonio para pro-  
5 ducir hidrógeno y este gas reacciona a su vez localmente con el  
circonio y las aleaciones del circonio para producir la fragi-  
lización. La liberación de estos gases residuales dentro del  
elemento de combustible encamisado en metal y herméticamente  
cerrado aumenta también la presión interna en el interior del  
10 elemento y da lugar a tensiones suplementarias en presencia de  
las condiciones corrosivas. Se ha descubierto solamente en fe-  
cha reciente que estos resultados indeseables son exagerados  
por tensiones mecánicas localizadas debidas a la dilatación di-  
ferencial del encamisado de combustible, que da lugar a que el  
15 combustible aplique sobre el encamisado una fuerza localizada,  
particularmente cuando se produce una grieta en el combusti-  
ble. Gases corrosivos se desprenden del combustible en parti-  
cular en el punto de formación de la grieta en el combustible  
y en el punto exacto de la fuerza localizada en la intersec-  
20 ción del combustible agrietado con el encamisado. Esta fuerza  
localizada es acentuada por la fricción elevada entre el com-  
bustible y el encamisado.

A la luz de lo que antecede, se ha comprobado que  
era conveniente reducir el ataque producido en el encamisado  
25 por el agua, el vapor de agua y otros gases, en particular el  
hidrógeno, durante el tiempo de funcionamiento del elemento de  
combustible en las centrales nucleares. A este efecto se han  
buscado materiales que reaccionen químicamente de manera rápi-  
da con el agua, el vapor de agua y otros gases para eliminar-  
30 los del interior del encamisado y estos materiales se llaman

1       absorbentes "getters".

          Otro procedimiento consiste en revestir el material  
de combustible nuclear para impedir que la humedad entre en con-  
tacto con el material de combustible nuclear y estos revesti-  
5       mientos se describen en la Patente de los Estados Unidos Nº.  
3.108.936, en la Patente de los Estados Unidos Nº. 3.085.059,  
en la Patente de los Estados Unidos Nº. 2.873.238, en la Patente  
de los Estados Unidos Nº. 2.849.387, en la publicación de  
Patente Japonesa Nº. SHO 47-46559, y en la publicación de Pa-  
10       tente Japonesa Nº. SHO 47-14200.

          El revestimiento del material de combustible nuclear  
introduce problemas de fiabilidad porque resulta difícil con-  
seguir revestimientos uniformes exentos de defectos. Además,  
la deterioración del revestimiento puede dar lugar a proble-  
15       mas con el funcionamiento de larga duración del material de com-  
bustible nuclear.

          Otro procedimiento consiste en introducir una ba-  
rreira o un forro metálico entre el material de combustible nu-  
clear y el encamisado que contiene el material de combustible  
20       nuclear, según se describe en la Patente de los Estados Unidos  
Nº, 3.230.150 (chapa de cobre), en la publicación de Patente  
Alemana DAS 1.238.115 (capa de titanio), en la Patente de los  
Estados Unidos Nº. 3.212.988 (funda de circonio, aluminio, be-  
rilio), en la Patente de los Estados Unidos Nº. 3.018.238 (ba-  
25       rreira de carbono cristalino entre el  $UO_2$  y el encamisado de  
circonio) y en la Patente de los Estados Unidos Nº. 3.086.893  
(chapa de acero inoxidable). Varias de las innovaciones de la  
técnica anterior que acaban de ser mencionadas incluyen mate-  
riales incompatibles bien con el combustible nuclear (por ejem-  
30       plo el carbono puede combinarse con el oxígeno procedente del

1 combustible nuclear) o con el encamisado (por ejemplo el cobre  
u otro metal, o el carbono, puede propagarse en el encamisado  
y alterar las propiedades del mismo) o puede ser incompatible  
con la reacción de fisión nuclear (por ejemplo actuando como  
5 agentes de absorción de neutrones). Sin embargo, unos revesti-  
mientos metálicos particularmente preferidos que dan excelen-  
tes resultados se describen en la Solicitud de Patente de los  
Estados Unidos Nº. de serie 441.131, presentada el 11 de fe-  
brero de 1.974 (recubrimiento metálico refractario de molib-  
10 deno, tungsteno, renio, niobio y aleaciones de los metales en  
cuestión) y en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos  
Nº. de Serie 441.133, presentada el 1 de febrero de 1.974 (re-  
cubrimiento metálico hecho preferentemente de circonio, de una  
aleación de circonio, de niobio, o de una aleación de niobio  
15 y de un material de alta lubricidad que forma una capa sobre la  
superficie externa del recubrimiento.

Además, es necesario introducir ciertos aditivos  
en los elementos de combustible nuclear para conseguir ciertos  
propósitos tales como aumentar las características nucleares  
20 de los combustibles, controlar las características químicas del  
combustible o alterar las propiedades mecánicas del combusti-  
ble. De manera típica, los aditivos se añaden al material de  
combustible nuclear mezclando el aditivo en forma de polvo con  
el combustible nuclear en forma de polvo después de lo cual se  
25 prensa la mezcla de polvos en una pastilla y se sinteriza es-  
ta pastilla. Otros métodos consisten en revestir el material  
de combustible nuclear con el aditivo o introducir una masa se-  
parada de aditivo en el elemento de combustible nuclear. Es-  
tos métodos presentan inconvenientes relacionados con aditivos  
30 particulares que se utilizan corrientemente o bien que han si

1 do propuestos para la utilización con combustible nuclear en los  
elementos de combustible nuclear. Para enriquecer el combusti-  
ble nuclear hasta una composición determinada de material fi-  
sionable utilizando bien el isótopo U-235 o el isótopo Pu-239,  
5 se emplea para la preparación de pastillas o polvos de combus-  
tible una cadena de fabricación de combustible separada. Esto  
constituye un inconveniente ya que exige un espacio suplemen-  
tario en la fábrica y una inversión en la máquina de fabrica-  
ción de combustible para evitar la introducción del material  
10 fisionable en otras fórmulas de combustible que no prevén este  
material fisionable. Igualmente, la introducción de cualquier  
aditivo en el combustible nuclear durante su fabricación exi-  
ge la realización de un mezclado extensivo del aditivo con el  
combustible nuclear con el fin de asegurar la homogeneidad,  
15 así como una marcación adecuada de los recipientes de combus-  
tible nuclear.

En el caso de combustibles nucleares que contienen  
plutonio tóxico, se emplea un sistema complicado y costoso de  
cajas de manipulación con guantes, que encarece la fabricación  
20 del combustible en comparación con los combustibles nucleares  
enriquecidos con isótopos U-235.

Para otros aditivos utilizados en combustible nu-  
clear, los inconvenientes son los mismos que los que acaban de  
ser descritos y son más costosos que los combustibles que no  
25 contienen dichos aditivos aunque el rendimiento sea mejorado.  
Por consiguiente, se considera conveniente desarrollar méto-  
dos nuevos para introducir eficazmente aditivos en elementos  
de combustible nuclear y para producir nuevos elementos de com-  
bustible nuclear destinados a ser utilizados en reactores nu-  
30 cleares.

1                   Un elemento de combustible nuclear particularmen-  
te eficaz para ser utilizado en la región activa de un reac-  
tor nuclear tiene (1) un forro metálico dispuesto entre el  
encamisado y el material de combustible nuclear y (2) un re-  
5                   vestimiento de por lo menos un aditivo y preferentemente una  
multiplicidad de aditivos, en la superficie del forro adyacen-  
te al material de combustible nuclear. El revestimiento puede  
tener la forma de una película sólida que cubre la superficie  
del forro adyacente al material de combustible nuclear, o el  
10                   revestimiento puede tener la forma de una o varias tiras y en  
el caso de tiras múltiples pueden existir intervalos tanto lon-  
gitudinales como transversales entre las tiras. Como aditi-  
vos representativos de los que se introducen en el elemento de  
combustible como revestimiento en el forro metálico, pueden  
14                   mencionarse los aditivos destinados a aumentar o a proporci-  
onar las características nucleares de fisión del combustible,  
los aditivos destinados a controlar las características quími-  
cas del combustible y los aditivos destinados a alterar las  
propiedades mecánicas del combustible en la periferia del mis-  
20                   mo. El forro metálico está constituido por un material con  
reducida sección transversal de captura de neutrones tal como  
la composición preferida de circonio o de aleación a base de  
circonio, y tiene preferentemente un espesor superior a la ma-  
yor distancia de retroceso de los productos de fisión. El fo-  
25                   rro metálico sirve como sumidero preferencial para la reacción  
con las impurezas y los productos de fisión volátiles y como  
soporte de los aditivos en el elemento de combustible nuclear.

                  Los peritos en la materia podrán entender el in-  
vento leyendo la siguiente Memoria y las Reivindicaciones ad-  
30                   juntas, con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

1                    La figura 1 representa una vista en sección parcial de un conjunto de combustible nuclear que contiene por lo menos un elemento de combustible nuclear construido de acuerdo con las enseñanzas del invento;

5                    La figura 2 representa una vista isométrica en sección progresiva de una porción de un elemento de combustible nuclear que incluye un forro metálico dispuesto entre el enca misado y el material de combustible nuclear con un revestimien to de un aditivo en la superficie del forro adyacente al mate-  
10                    rial de combustible nuclear; y

                    La figura 3 representa una vista isométrica en sec ción progresiva de una parte de un elemento de combustible nuclear que tiene un forro metálico dispuesto entre el encami sado y el material de combustible nuclear con un revestimien to de tiras de un número múltiple de aditivos en la super-  
15                    ficie del forro adyacente al material de combustible nu clear.

                    Haciendo ahora más particularmente referencia a la figura 1, se representa en esta una vista en sección parcial de un conjunto de combustible nuclear 10. Este conjunto de  
20                    combustible consiste en un canal de flujo tubular 11 de sección transversal generalmente cuadrada provista en su extremidad superior de un estribo de suspensión 12 y en su extremidad in-  
25                    ferior de una pieza de extremidad (no representada ya que se ha omitido en el dibujo la porción inferior del conjunto 10). La extremidad superior del canal 11 está abierta en 13 y la extremidad inferior de la pieza de extremidad está provista de orificios de circulación de refrigerante. Un conjunto de elementos de combustible (barras) 14 está contenido en el ca  
30                    nal 11 y está soportado en este por medio de una placa de ex

1       tremidad superior 15 y de una placa de extremidad inferior (no  
representada ya que la porción inferior ha sido omitida). El  
refrigerante líquido penetra generalmente por los orificios de  
5       la extremidad inferior de la pieza de extremidad, sube alrede-  
dor de los elementos de combustible 14, y sale por el orificio  
superior 13 en estado parcialmente vaporizado en el caso de  
reactores de ebullición o no vaporizado en el caso de reactores  
bajo presión.

Haciendo ahora referencia a la figura 2, además de  
10       la figura 1, se representa un elemento de combustible nuclear  
o barra 14 en vista isométrica en sección parcial. El elemen-  
to de combustible incluye el material de combustible 16, que  
se representa aquí bajo la forma de una pluralidad de pasti-  
llas de combustibles de material fisiónable y/o fértil dis-  
15       puestas dentro de un encamisado estructural o recipiente 17. En  
algunos casos, las pastillas de combustible pueden tener va-  
rias formas tales como pastillas cilíndricas o esféricas, y en  
otros casos pueden tener formas diferentes por ejemplo es po-  
sible utilizar un combustible en forma de partículas. La for-  
20       ma física del combustible no tiene nada que ver con el inven-  
to. Pueden utilizarse varios materiales de combustible nuclear  
que incluyen los compuestos de uranio, los compuestos de plu-  
tonio, los compuestos de torio y mezclas de los mismos. Un com-  
bustible preferido es el dióxido de uranio o una mezcla que in-  
25       cluye dióxido de uranio y dióxido de plutonio. El recipiente  
está herméticamente cerrado en sus extremos por medio de ob-  
turadores de extremidad 18 (figura 1) que pueden incluir unos  
pernos 19 para facilitar el montaje de las barras de combusti-  
ble en el conjunto. Un espacio vacío o cámara de pleno 20 es  
30       está previsto en una extremidad del elemento de combustible pa-

1 ra permitir la dilatación longitudinal del material del com-  
bustible y la acumulación de los gases liberados por el mate-  
rial combustible. Un elemento de forma helicoidal 21 que des-  
cansa en la placa superior 23 está dispuesto en el interior del  
5 espacio 20 y es capaz de mantener la posición del combustible  
durante la manipulación y el transporte de los elementos de com-  
bustible. El encamisado 17 está sujeto en los pernos de extre-  
midad 18 por medio de unas soldaduras circunferenciales 22.

10 El elemento de combustible está diseñado de modo  
que proporcione un excelente contacto térmico entre el encami-  
sado de combustible y el material de combustible, una mínima  
absorción parásita de neutrones y una mínima resistencia a la  
deformación y a las vibraciones producidas ocasionalmente por  
la circulación del refrigerante a gran velocidad.

15 La figura. 2 representa un modo de realización del  
invento y tiene un encamisado hueco cilíndrico 17 que encie-  
rra un volumen dado, con un forro metálico hueco 24 dispuesto  
entre el encamisado 17 y el material de combustible 16. El  
material de combustible nuclear 16 está constituido típicamen-  
20 te por una multiplicidad de pastillas cilíndricas dispuestas  
extremidad contra extremidad para formar una columna. Típi-  
camente se cierra herméticamente el encamisado por medio de  
obturadores de extremidad que pueden incluir los pernos men-  
cionados más arriba. En la superficie del forro 24, adyacen-  
25 te al combustible nuclear 16, se halla un revestimiento 25 de  
por lo menos un aditivo y en algunos elementos de combustible  
una multiplicidad de aditivos. El revestimiento está dispues-  
to en el forro de tal manera que durante la fisión nuclear en  
un reactor el revestimiento esté suficientemente cerca del com-  
30 bustible nuclear para que forme efectivamente parte del combus-

1 tible nuclear. De este modo, el aditivo o los aditivos reali  
zan su función conjuntamente con el combustible nuclear de la  
misma manera que cuando el aditivo está presente en el combus  
tible nuclear bajo la forma de revestimiento o está incorpora  
5 do verdaderamente en el combustible nuclear.

La figura 3 representa otro modo de realización del invento en vista isométrica en sección progresiva de una porción de un elemento de combustible nuclear 30. El elemento de combustible 30 tiene un encamisado hueco cilíndrico 31 que encierra un volumen dado, estando un forro metálico hueco 32 dispuesto entre el encamisado 31 y el material de combustible nuclear 33. Típicamente, el material de combustible nuclear 33 está constituido por una multiplicidad de pastillas cilíndricas dispuestas extremidad contra extremidad para formar una columna. El encamisado está típicamente cerrado de ma  
10 nera hermética en sus extremos por medio de obturadores de ex  
tremidad que pueden incluir los pernos de extremidad descritos más arriba. En la superficie del forro 32, adyacente al combustible nuclear 33, se halla un revestimiento 34 que tie  
ne la forma de una multiplicidad de tiras de por lo menos un  
aditivo y en algunos elementos de combustible una multiplici  
dad de aditivos. El revestimiento 34 está dispuesto en el fo  
20 rro de tal manera que durante la fisión nuclear en un reactor el revestimiento se sitúe suficientemente cerca del combusti  
ble nuclear para que forme eficazmente parte del combustible  
nuclear. De esta manera el aditivo o los aditivos realizan  
su función conjuntamente con el combustible nuclear de la  
misma manera que en los casos en los cuales el aditivo está  
presente en el combustible nuclear bajo la forma de un reves  
30 timiento o está verdaderamente incorporado en el combustible

1 nuclear.

El encamisado utilizado en los elementos de combustible nuclear según el invento puede hacerse de acero inoxidable, y aleaciones del mismo, circonio y aleaciones, y niobio, prefiriéndose la composición de circonio y sus aleaciones tales como aleaciones Zircaloy.

El forro metálico puede elegirse en el grupo que consiste en circonio, molibdeno, tungsteno, renio, niobio y aleaciones de los mismos. El forro podrá realizarse a partir de material en hojas soldando una chapa fina para constituir la forma cilíndrica hueca, o bien puede hacerse con material estrujado. Las superficies del forro se tratan para dar un acabado liso que evita la abrasión y el rayado del encamisado y del material del combustible nuclear durante el montaje del elemento de combustible nuclear. El forro es impermeable a los productos de fisión y a los gases emitidos por el material de combustible nuclear y aunque los extremos del forro puedan ser obturados herméticamente por una tapa, es preferible dejar abiertos los extremos del forro ya que una cantidad mínima de productos de fisión y de gases reactivos procedentes del material combustible pasará alrededor de los extremos del forro para entrar en contacto con el encamisado. Además, es muy probable que los materiales gaseosos que incluyen productos de fisión gaseosos se desplacen hasta la zona de la cámara de pleno en el elemento de combustible nuclear. El espesor del forro es suficiente para resistir a las fuerzas que se crean durante el montaje, y a las presiones de gas que existen durante el funcionamiento del reactor nuclear, y un espesor preferido para el forro está incluido entre 0,0254 y 0,300 mm (1 a 12 milésimas de pulgada ), aproximadamente. Este espesor del

1 forro puede ser previsto para dejar un intervalo entre el ma-  
terial de combustible nuclear y el forro o para que el forro  
esté en contacto con el material de combustible nuclear.

5 La superficie del forro adyacente al combustible  
nuclear (es decir la superficie interna) se reviste con un adi-  
tivo o con varios aditivos. El método particular para hacer  
este revestimiento depende del espesor deseado, de la composi-  
ción, y de las características físicas de la barrera, y pueden  
10 utilizarse varios métodos de revestimiento que incluyen el mez-  
clado del aditivo o de los aditivos con una fórmula adhesiva  
para recubrir el forro. Es posible utilizar varios adhesivos  
aunque se prefieran los adhesivos a alta temperatura. El más  
sencillo es probablemente una barrera de chapa metálica, apli-  
cándose el revestimiento bajo la forma de un barniz. Además,  
15 es posible utilizar el procedimiento de recubrimiento electro-  
lítico, el procedimiento de recubrimiento con un compuesto in-  
termetálico, la pirólisis, la pulverización por arco en plas-  
ma, la deposición de vapores o la electroforesis. De este mo-  
do la barrera cumple una función adicional ya que se utiliza  
20 para introducir aditivos en el combustible nuclear de manera  
controlada y económica. Igualmente, el aditivo se sitúa el  
primero en la proximidad del material de combustible nuclear  
en el momento del ensamblado del elemento de combustible nu-  
clear.

25 El invento es particularmente útil para introducir  
los siguientes aditivos de combustible en los elementos de com-  
bustible nuclear: (1) aquellos aditivos cuyo objeto principal  
consiste en aumentar las características nucleares del combus-  
tible, (2) aquellos aditivos cuyo objeto principal consiste  
30 en controlar las características químicas del combustible, y

1 (3) aquellos aditivos cuyo objeto principal consiste en cambiar  
las propiedades mecánicas del combustible en la periferia del  
mismo. Como se ha indicado más arriba, es posible utilizar adi-  
tivos múltiples en un revestimiento para conseguir cualquier  
5 combinación de los objetos que anteceden.

Aquellos aditivos que afectan las características nucleares del combustible nuclear incluirán generalmente tres tipos.

El primer tipo de aditivo que afecta las caracte-  
rísticas nucleares del combustible nuclear es el plutonio-239  
10 ( $\text{Pu}^{239}$ ), producto de la fisión nuclear de las barras de com-  
bustible de óxido de uranio, y el  $\text{Pu}^{239}$  puede ser tratado nue-  
vamente (regenerado) a partir de combustible de óxido de ura-  
nio gastado que se extrae de un reactor para ser utilizado nue-  
vamente (reciclado) en combustible de agua ligera. El  $\text{Pu}^{239}$   
15 proporciona un componente fisiónable para enriquecer combus-  
tible nuclear fértil tal como el isótopo  $\text{U}^{238}$ : Ya que el  $\text{Pu}^{239}$   
es tóxico para los mamíferos y que se necesitan precauciones  
para el tratamiento de un combustible nuclear que contiene  
20  $\text{Pu}^{239}$ , se considera más seguro y más práctico introducir el  
 $\text{Pu}^{239}$  en el elemento de combustible bajo la forma de un reves-  
timiento sobre una barrera. Esto elimina el mantenimiento de  
una cadena de fabricación de combustible separada para la pre-  
paración de pastillas o de polvos de combustible que contienen  
25  $\text{Pu}^{239}$ .

El segundo tipo de aditivo que afecta las caracte-  
rísticas nucleares del combustible nuclear es el uranio-235  
( $\text{U}^{235}$ ) y cuando se forma un revestimiento de uranio-235 en una  
barrera, pueden realizarse pequeños reglajes de enriquecimien-  
30 to.

1 El tercer tipo de aditivo que afecta las caracte-  
rísticas nucleares del combustible nuclear incluyen los vene-  
nos que pueden quemarse tales como gadolinio (Gd) usualmente  
introducidos en el elemento de combustible en forma de óxido  
5 o boro (B) para realizar cambios en la distribución del flujo  
de neutrones al transcurrir el tiempo. Estos segundo y tercer  
tipos de aditivos permiten utilizar el óxido de uranio como com-  
bustible nuclear con un enriquecimiento básico dado o con un  
pequeño número dado de enriquecimientos básicos para toda la  
10 región activa del reactor y a continuación se utilizan estos  
aditivos para hacer reglajes de poca importancia en el enrique-  
cimiento del  $U^{235}$ , mediante la introducción de venenos que pue-  
den quemar bajo la forma de revestimientos en la barrera dis-  
puesta en el elemento de combustible nuclear. De este modo es  
15 posible efectuar un aplanamiento del flujo utilizando barreras  
provistas de un revestimiento para producir un gradiente axial  
de  $U^{235}$  y Gd en una sola barra de combustible, y las caracterís-  
ticas nucleares de las diferentes barras pueden ser estudiadas  
con relación al emplazamiento de la barra dentro de un haz de  
20 barras de combustibles, o de acuerdo con el emplazamiento en  
el interior de la región activa del reactor de un haz de barras  
de combustible dado con características nucleares dadas. Se  
obtiene una ventaja económica importante introduciendo gradien-  
tes de enriquecimiento por medio de hojas en lugar de pasti-  
25 llas de combustible.

Los forros revestidos según el invento pueden ser  
utilizados para introducir cualquiera de los aditivos útiles  
para realizar el control de la química de los combustibles en  
los elementos de combustible nuclear. Como absorbentes del  
30 cesio producido por fisión pueden utilizarse por ejemplo va

1 rios aditivos tales como los aditivos de cerámica que incluyen  
compuestos de sílice o de sílice- alúmina. Se ha sugerido la  
utilización de otros aditivos para controlar el potencial de  
oxígeno, por ejemplo el niobio. Como se ha indicado más arri-  
5 ba para los aditivos que afectan las características nuclea-  
res del combustible, el aditivo puede ser estudiado con los  
gradientes necesarios para el combustible nuclear.

Como se ha mencionado más arriba, uno de los pro-  
pósitos del forro metálico consiste en impedir la interacción  
10 mecánica entre el combustible nuclear y el encamisado. Una  
función adicional del forro consiste en formar un revestimien-  
to adyacente al combustible nuclear, conteniendo dicho reves-  
timiento un aditivo o varios aditivos capaz de sinterizarse o  
de adherirse al combustible nuclear y de unirse con él. El  
15 aditivo o los aditivos se elegirán para impartir a la perife-  
ria del combustible una fina capa de plástico con elevados  
grados de fluencia, reduciendo así o eliminando las tensiones  
localizadas en el elemento de combustible durante el funciona-  
miento del reactor. El combustible nuclear puede tener cual-  
20 quier forma física que se utiliza en los elementos de combus-  
tible nuclear del invento, y a título ilustrativo puede indi-  
carse la utilización de pastillas cilíndricas sinterizadas y  
comprimidas así como de polvos comprimidos. El combustible  
nuclear puede incluir varias formas compuestas de uranio, plu-  
25 tonio y/o torio siendo una forma preferida el óxido de uranio,  
en particular el dióxido de uranio. Otra forma preferida del  
combustible nuclear es una mezcla que incluye óxidos de uranio  
y óxidos de plutonio.

El montaje de los elementos de combustible nuclear  
30 incluye las fases que consisten en: (a) revestir un forro metá

1       lico con uno o varios aditivos útiles para los elementos de com  
bustible nuclear, (b) introducir el forro revestido en un reci  
piente encamisado abierto en una extremidad, (c) introducir un  
material de combustible nuclear en el recipiente encamisado de  
5       jando una cavidad abierta del recipiente encamisado y estando  
el material de combustible nuclear separado del recipiente en-  
camisado por el forro metálico y estando el revestimiento si-  
tuado en el forro adyacente al material de combustible nuclear,  
(d) introducir un elemento helicoidal en la cavidad, (e) apli-  
10       car un cierre de extremidad a la extremidad abierta del reci-  
piente encamisado y (f) unir la extremidad del recipiente en-  
camisado con el cierre de extremidad para formar una junta her-  
mética entre ellos. El ensamblado de un elemento de combusti-  
ble nuclear puede también incluir la introducción de un mate-  
15       rial absorbente en la cavidad y la fase separada que consiste  
en unir los extremos de una hoja para formar el forro metáli-  
co que se introduce en el recipiente encamisado.

Una vez ensamblado, el elemento de combustible nu-  
clear incluye un recipiente encamisado de forma alargada que  
20       soporta un cuerpo de material de combustible nuclear situado  
en el recipiente y que lo llena parcialmente, y que está pro-  
visto de una cavidad interna en una extremidad y de un inter-  
valo interno entre el material combustible y el encamisado.  
Existe un forro metálico revestido en la superficie adyacente  
25       al cuerpo de combustible nuclear por lo menos con un aditivo,  
y el forro metálico está dispuesto en el intervalo entre el  
cuerpo de material combustible nuclear y el recipiente enca-  
misado. El forro metálico llena total o parcialmente el in-  
tervalo interno entre el material de combustible nuclear y el  
30       recipiente encamisado. Un recinto está sujeto de una sola pie

1 za y herméticamente unido a la extremidad del recipiente encamisado dejando una cavidad, y un elemento helicoidal está dispuesto en la cavidad interna.

5 Se entenderá que aunque el invento haya sido descrito haciendo referencia específica a unos modos de realización particulares, no se limita a estos ya que pueden realizarse cambios y modificaciones sin salirse del alcance y del espíritu del invento que se definen en las reivindicaciones adjuntas.

10 En resumen, la presente Patente de invención que se solicita deberá recaer en las siguientes

REIVINDICACIONES

15 1.) Elemento de combustible nuclear que incluye un encamisado que contiene un cuerpo de material de combustible nuclear de modo que exista un intervalo entre el cuerpo de material de combustible nuclear y el encamisado, caracterizado porque un forro metálico está situado en el intervalo entre el combustible nuclear y el encamisado, teniendo el forro metálico en él un revestimiento que contiene por lo menos un aditivo en la superficie del forro metálico adyacente al cuerpo del material de combustible nuclear.

20 2.) Elemento de combustible nuclear según la reivindicación 1, caracterizado porque el forro metálico está hecho de circonio, molibdeno, tungsteno, renio, niobio, o aleaciones de estos metales.

25 3.) Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque el forro metálico está hecho de circonio o de una aleación de circonio.

30 4.) Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque el recipiente encamisado está constituido con un metal elegido entre circonio, alea

1 ciones de circonio, acero inoxidable, aluminio o aleaciones de  
aluminio.

5 5.) Elemento de combustible nuclear según las re-  
vindicaciones 1 y 2, caracterizado porque el material de com-  
bustible nuclear está constituido por compuestos de uranio, com-  
puestos de plutonio, compuestos de torio o mezclas de estos.

10 6.) Elemento de combustible nuclear según las re-  
vindicaciones 1-5, caracterizado porque el material de combus-  
tible nuclear está constituido por dióxido de uranio o una mez-  
cla de dióxido de uranio y de dióxido de plutonio.

15 7.) Elemento de combustible nuclear según las re-  
vindicaciones 1-6, caracterizado porque el aditivo del revesti-  
miento formado en el forro metálico aumenta las característi-  
cas nucleares del material combustible nuclear durante la fi-  
sión nuclear.

8.) Elemento de combustible nuclear según la rei-  
vindicación 7, caracterizado porque el aditivo de revesti-  
miento situado en el forro metálico contiene plutonio-239, ura-  
nio-235 boro o gadolinio.

20 9.) Elemento de combustible nuclear según las rei-  
vindicaciones 1-7, caracterizado porque el aditivo en el reve-  
stimiento formado en el forro metálico controla las caracterís-  
ticas químicas del material de combustible nuclear durante la  
fisión nuclear.

25 10.) Elemento de combustible nuclear según la rei-  
vindicación 9, caracterizado porque el aditivo del revestimien-  
to situado en el forro metálico contiene sílice o un compues-  
to de sílice-alúmina.

30 11.) Elemento de combustible nuclear según las rei-  
vindicaciones 1-7, caracterizado porque el aditivo del revesti-

1 miento situado en el forro metálico cambia las propiedades me-  
cánicas del combustible nuclear en la periferia del combusti-  
ble durante la fisión nuclear.

5 12.) Elemento de combustible nuclear según la rei-  
vindicación 1, en el que dicho recipiente encamisado tiene for-  
ma alargada; dicho cuerpo de material de combustible nuclear  
dispuesto dentro del recipiente le llena parcialmente y forma  
una cavidad interna en una extremidad del recipiente; inclu-  
yendo además dicho elemento de combustible un recinto sujeto  
de una sola pieza y herméticamente unido en cada extremidad  
10 de dicho recipiente, y un elemento helicoidal dispuesto en la  
cavidad interna.

13.) Se reivindica por último como objeto sobre  
el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita:  
UN ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.

15 Todo conforme queda descrito y reivindicado en la  
presente memoria descriptiva que consta de veintidos páginas  
mecnografiadas y dibujos que se acompañan.

Madrid 23 de junio de 1975  
BERNARDO UNGRIA  
P.P.

20

25

30

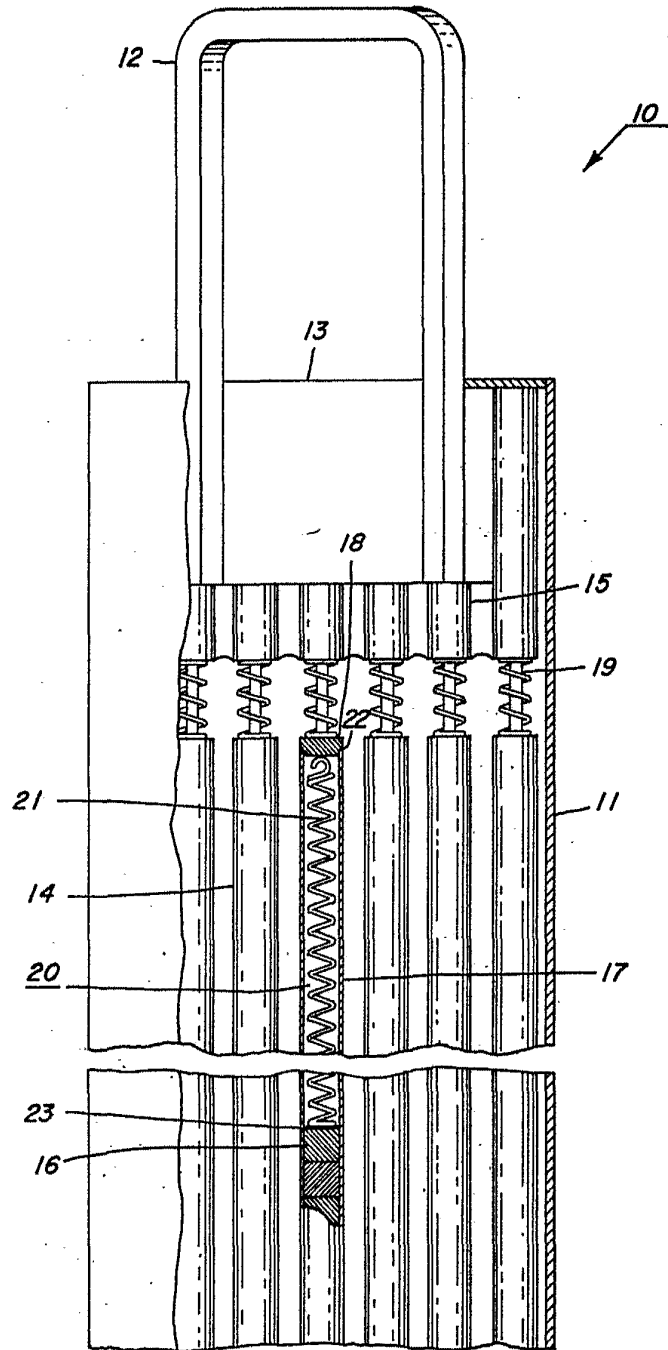


Fig. 1

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 23 de Junio de 1.975

BERNARDO LINGRIA

Fig. 2

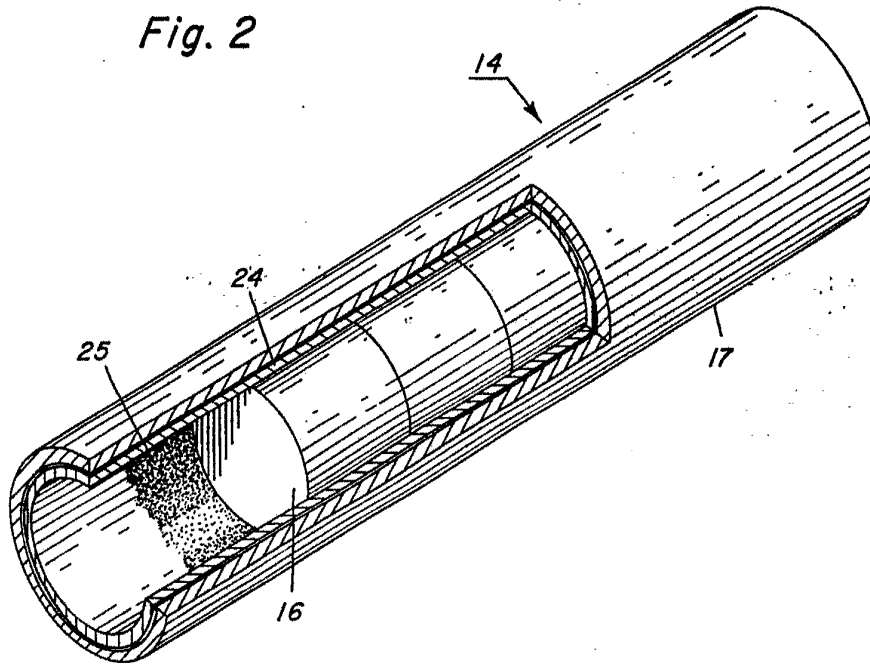
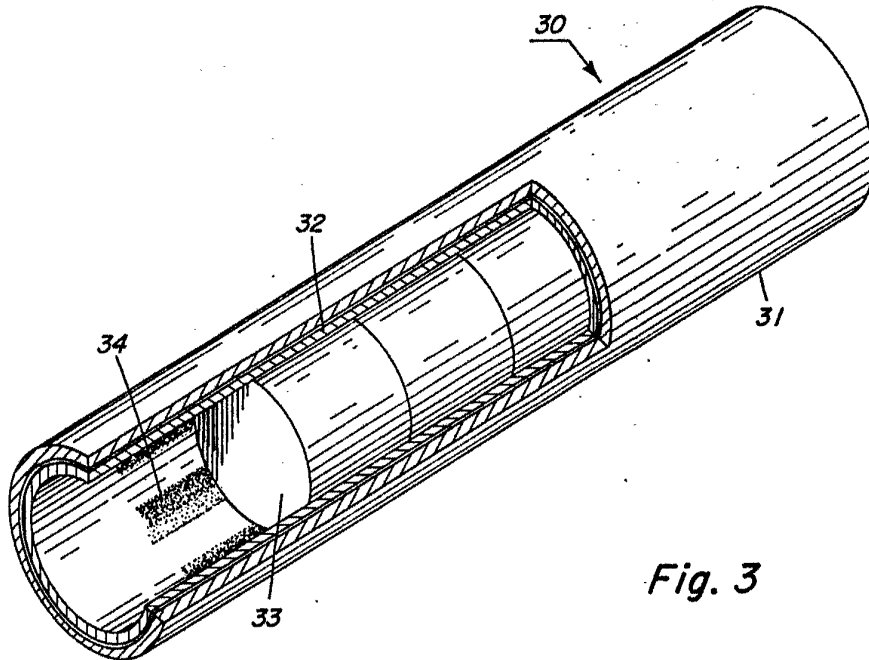


Fig. 3



ESCALA VARIABLE  
Madrid, 23 de Junio de 1.975

BERNARDO UNGRIA  
D.P.