

44200 4

Int. Cl.:	621C

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: ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.

Prioridad: de la solicitud de patente estadounidense  
Nº 522.857 del 11 noviembre 1.974.

ANULADA  
PROHIBIDA LA COPIA  
Y LA EXHIBICION DE  
COPIAS Y CERTIFICADOS

1           El invento se refiere de manera general a una mejora in-  
troducida en elementos de combustible nuclear destinados a ser em-  
pleados en el núcleo de reactores nucleares del tipo de fisión ,  
y está relacionado más particularmente con un elemento combustible  
5 nuclear mejorado dotado de un recipiente de envainado compuesto  
que incluye un substrato y una capa metálica en la superficie in-  
terna del substrato.

          Actualmente, se diseñan construyen y hacen funcionar reac-  
tores nucleares en los cuales el combustible nuclear está conteni-  
do en elementos de combustible que pueden presentar varias formas  
10 geométricas, estando constituidos por ejemplo por placas, tubos o  
barras. El material combustible está generalmente contenido en un  
recipiente o vaina conductora del calor, resistente a la corrosión  
y no reactiva. Los elementos se ensamblan conjuntamente en un retí-  
culo a distancias fijas los unos de los otros en un conducto o re-  
15 gión de circulación de refrigerante para formar un conjunto de com-  
bustible, y se combinan un número suficiente de conjuntos de com-  
bustible para formar el conjunto nuclear de reacción de fisión en  
cadena, o núcleo de reactor capaz de asegurar una reacción de fi-  
sión auto-mantenida. A su vez, el núcleo está contenido en una va-  
20 sija de reactor a través de la cual se hace pasar un refrigerante.

          La vaina tiene varios fines y dos de los principales son:  
en primer lugar impedir el contacto y las reacciones químicas en-  
tre el combustible nuclear y el refrigerante o el moderador, si se  
25 emplea este último, o ambos si se utilizan a la vez refrigerante y  
moderador; y en segundo lugar impedir que los productos de fisión  
radioactivos, algunos de los cuales son gases, pasen del combusti-  
ble al refrigerante o al moderador si se utilizan simultáneamente  
refrigerante y moderador. Los materiales corriente utilizados pa-  
30 ra la fabricación de la vaina son el acero inoxidable, el aluminio

1 y sus aleaciones, el circonio y sus aleaciones, el niobio ( colum  
bio ), algunas aleaciones de magnesio, así como otros metales. Un  
fallo en la vaina, por ejemplo una pérdida de su estanqueidad, pue  
5 de dar lugar a una contaminación del refrigerante o del moderador  
y de los sistemas asociados con los productos radioactivos de lar  
ga vida hasta el punto de perjudicar el funcionamiento de la cen-  
tral.

Se han presentado dificultades en la fabricación y en la  
explotación de los elementos de combustible nuclear que utilizan  
10 algunos metales y aleaciones como material de vaina en razón de  
las reacciones mecánicas o químicas de estos materiales constitu  
tivos de la vaina en ciertas circunstancias. En circunstancias  
normales, el circonio y sus aleaciones constituyen excelentes ma  
teriales para fabricación de vainas de combustible nuclear ya que  
15 presentan una reducida sección transversal de absorción de neutro  
nes, y a temperaturas inferiores a 398° C (750°F) son resistentes,  
ductiles, extremadamente estables y no reactivos en presencia del  
agua desmineralizada o del vapor que se emplean corrientemente co  
mo refrigerantes o moderadores en los reactores.

20 Sin embargo, la utilización de los elementos de combusti  
ble ha revelado un problema relacionado con la disociación quebra  
diza de la vaina debida a las interacciones combinadas entre el  
combustible nuclear, la vaina y los productos de fisión produci  
dos durante las reacciones nucleares de fisión. Se ha descubierto  
25 que este resultado indeseable es facilitado por las tensiones me  
cánicas localizadas debidas a la dilatación diferencial entre el  
combustible y la vaina ( las tensiones que se forman en la vaina  
están localizas en las grietas del combustible nuclear ). El com  
bustible nuclear libera productos de fisión corrosivos y estos se  
30 sitúan en la intersección de las grietas del combustible con la

1 superficie de la vaina. En el combustible nuclear se forman productos de fisión durante la reacción de fisión en cadena cuando se hace funcionar el reactor nuclear. Una elevada fricción entre combustible y vaina aumenta la intensidad de las tensiones localizadas.

5 En el interior del elemento de combustible hermeticamente cerrado, es posible que se forme gas hidrogeno debido a una lenta reacción con la vaina, y el agua residual puede acumularse en el interior de la vaina hasta niveles los cuales, en ciertas condiciones pueden producir una hidruración localizada de la vaina con la consiguiente deteriorización localizada de las propiedades mecánicas de la vaina. La vaina es igualmente perjudicada por los gases tales como oxigeno, nitrogeno, monoxido de carbono y dióxido de carbono en una amplia gama de temperaturas.

10

La vaina de circonio de un elemento de combustible nuclear está sometida a la acción de uno o varios de los gases enumerados más arriba y de los productos de fisión durante su irradiación en un reactor nuclear y ello a pesar de que estos gases y elementos de productos de fisión puedan no estar presentes en el refrigerante o en el moderador del reactor, e incluso puedan haber sido excluidos lo más posible de la atmósfera ambiente durante la fabricación de la vaina y del elemento de combustible. Las composiciones refractarias sinterizadas y ceramicas, tales como dióxido de uranio y otras composiciones empleadas como combustible nuclear liberan cantidades medibles de los gases y productos de fisión mencionados más arriba al ser calentadas, por ejemplo durante la fabricación del elemento de combustible y liberan cantidades suplementarias de productos de fisión durante su irradiación. Es bien conocido que las composiciones de partículas refractarias y ceramicas, tales como polvo de dióxido de uranio y otros polvos empleados como combustible nuclear, liberan cantidades todavía más importantes de estos

15

20

25

30

1 gases durante su irradiación. Estos gases al ser liberados son ca-  
paces de reaccionar con la vaina de circonio que contiene el combus-  
tible nuclear.

5 Por tanto, a la luz de lo que antecede, se ha comprobado  
que es conveniente reducir al mínimo el ataque de la vaina por el  
agua, el vapor de agua y otros gases, en particular el hidrogeno,  
que reaccionan con la vaina desde el interior del elemento de combus-  
tible mientras este último se utiliza en centrales nucleares. Un  
10 procedimiento empleado consiste en buscar materiales que reaccio-  
nan químicamente de manera rápida con el agua, el vapor de agua y  
otros gases para eliminar éstos del interior de la vaina y estos  
materiales se llaman "getters".

Otro procedimiento consiste en revestir el material com-  
bustible nuclear con una cerámica para impedir que la humedad entre  
15 en contacto con el material combustible nuclear según se describe  
en la patente de los Estados Unidos nº 3.108.936. En la patente de  
los Estados Unidos nº 3.085.059 se describe un elemento combustible  
que incluye un tubo metálico que contiene una o varias pastillas de  
material cerámico fisiónable y una capa de material vídrioso unida  
20 a las pastillas de cerámica de modo que la capa se sitúe entre el  
tubo y el combustible nuclear para asegurar una buena conducción  
del calor de manera uniforme entre las pastillas y el tubo. La pa-  
tente de los Estados Unidos nº 2.873.238 presenta unas barras fi-  
sionables encamisadas, hechas de uranio, contenidas en un tubo me-  
25 tállico, estando las camisas o cubiertas de protección de las barras  
constituidas por una capa de zinc-aluminio aglomerada. La patente  
de los Estados Unidos nº 2.849.387 describe un cuerpo fisiónable  
encamisado que incluye una multiplicidad de secciones de cuerpo en  
camisadas y dotadas de una extremidad abierta, hechas de combusti-  
30 ble nuclear, que han sido sumergidas en un baño fundido de un mate-

1 rial aglomerante para obtener una eficaz unión conductora del calor entre las secciones de cuerpo de uranio y el recipiente ( o vaina). Se describe este revestimiento como estando constituido por cualquier aleación metálica dotada de buenas propiedades de  
5 conducción del calor, y a título de ejemplos se indican las aleaciones de aluminio-silicio y zinc-aluminio. La publicación de patente Japonesa nº SHO 47-46559 del 24 de Noviembre de 1.972, describe como se aglomeran partículas separadas de combustible nuclear en un compuesto de combustible aglomerado que contiene carbono, formando en las partículas de combustible un revestimiento liso de alta densidad, conteniendo carbono, alrededor de las pastillas. En la publicación de patente Japonesa nº SHO 47-14200 se describe otro revestimiento en el cual un grupo de dos grupos de pastillas está provisto de una capa de carburo de silicio mientras que el otro grupo  
10 se reviste con una capa de pirocarbono o carburo metálico.

15 El revestimiento de un material combustible nuclear plantea problemas de fiabilidad ya que es difícil conseguir revestimientos uniformes exentos de defectos. Además, la deterioración del revestimiento puede dar lugar a dificultades con el funcionamiento a largo plazo del material combustible nuclear.

20 La solicitud de patente de los Estados Unidos nº de serie 330.152 del 6 de Febrero de 1.973 describe un método para impedir que la vaina del combustible nuclear sea atacada, y que consiste en añadir un método tal como niobio al combustible. El combustible puede presentarse bajo la forma de un polvo, siempre y cuando la operación de tratamiento ulterior del combustible no oxide el metal, o puede incorporarse en el elemento combustible bajo la forma de alambres, hojas o en otras formas dentro, alrededor y entre las pastillas de combustible.

30 El documento GEAP-4555 de Febrero de 1.964 describe una

1 vaina compuesta hecha de aleación de circonio con un recubrimien  
to interno de acero inoxidable unido metalúrgicamente a la alea-  
ción de circonio, y se fabrica esta vaina compuesta mediante ex-  
trusión de un lingote hueco de aleación de circonio dotado de un  
5 recubrimiento interno de acero inoxidable. Esta vaina presenta el  
inconveniente de que el acero inoxidable produce fases quebradizas,  
y la capa de acero inoxidable da lugar a una absorción de neutro-  
nes de 10 a 15 veces superior a la de una capa de aleación de cir-  
conio del mismo espesor.

10 En la patente de los Estados Unidos nº 3.502.549 se des-  
cribe un método para proteger el circonio y sus aleaciones deposi-  
tando electrolíticamente una capa de cromo para formar un material  
compuesto utilizable en reactores nucleares. En "Energía nucleare",  
volumen 11, nº 9 ( Septiembre 1.964 ) en las páginas 505-508, se  
15 describe un método para depositar electrolíticamente cobre sobre  
superficies de zircaloy-2 y para efectuar su tratamiento térmico  
ulterior con el objeto de obtener una difusión superficial del me-  
tal depositado electrolíticamente. En "Estabilidad y compatibili-  
dad de las barreras de hidrogeno aplicadas a las aleaciones de cir-  
conio", por F. Brossa y Socios ( Comunidad Europea de la Energía  
20 Atómica, Centro Conjunto de Investigación Nuclear, EUR 4098e 1969),  
se describen métodos para formar depósitos de diferentes revesti-  
mientos y su rendimiento como barreras de difusión de hidrogeno, con  
juntamente con un revestimiento de Al-Si como barrera más prometedo  
25 ra contra la difusión del hidrogeno. En "Electrorevestimiento sobre  
circonio y circonio-estaño" por W. G. Schickner y Socios ( BMI-757,  
Servicio de Información Técnica, 1.952 ), se describen unos méto-  
dos para formar electrolíticamente un revestimiento de níquel so-  
bre circonio y aleaciones de circonio-estaño y para el tratamiento  
30 térmico de estas aleaciones para obtener uniones de aleación-difu-

1 sión. En la patente de los Estados Unidos nº 3.625.821 se descri-  
be un elemento combustible para reactor nuclear dotado de un tubo  
de envainado de combustible cuya superficie interna está revesti-  
5 da con un metal de retención dotado de una reducida sección trans-  
versal de captura de neutrones, tal como el níquel, y que incluye  
en él unas partículas de un veneno combustible finamente dispersas.  
En "Informe de Progreso y Programación de Desarrollo de Reactores,"  
de Agosto de 1.973 (ANL-RDP-19), se describe un dispositivo de ge-  
tter químico constituido por una capa de protección de cromo sobre  
10 la superficie interna de una vaina de acero inoxidable.

Otro procedimiento consiste en situar una barrera entre  
el material combustible nuclear y la vaina que contiene el material  
combustible nuclear según se describe en la patente de los Estados  
Unidos nº 3.230.150 ( Hoja de cobre ), en la publicación de patente  
15 Alemana DAS 1.238.115 ( capa de titanio ), en la patente de los  
Estados Unidos nº 3.212.988 ( hoja de circonio, aluminio o berilio),  
en la patente de los Estados Unidos nº 3.018.238 ( barrera de car-  
bono cristalino entre el  $UO_2$  y la vaina de circonio ), y en la pa-  
tente de los Estados Unidos nº 3.088.893 ( hoja de acero inoxid-  
20 ble ). Aunque la idea de barrera parece prometedora, algunas de las  
referencias mencionadas más arriba incluyen materiales incompatibles  
bien con el combustible nuclear ( por ejemplo el carbono puede com-  
binarse con el oxígeno procedente del combustible nuclear ), o con  
la vaina ( por ejemplo el cobre y otros metales pueden reaccionar  
25 con la vaina, alterando las propiedades de la misma ), o con la reac-  
ción de fisión nuclear ( por ejemplo actuando como absorbente de neu-  
trones). Ninguna de las referencias en cuestión describe soluciones  
al problema recientemente descubierto de las interacciones químico-  
mecánicas localizadas entre el combustible nuclear y la vaina.

30 Otros procedimientos relacionados con el concepto de barre

1 ra se describen en la solicitud de patente de los Estados Unidos  
nº de serie 441.131, del 11 de Febrero de 1.974 ( metal refractá  
rio tal como molibdeno ,tungsteno,renio, niobio y aleaciones de es  
5 una o varias capas, o bajo la forma de un revestimiento formado  
sobre la superficie interna de la vaina ), y en la solicitud de pa  
tente de los Estados Unidos nº de serie 441.133, del 11 de Febrero  
de 1.974 ( recubrimiento de circonio, niobio o aleaciones de esos  
metales, entre el combustible nuclear y la vaina, interponiendo en  
10 tre el recubrimiento y la vaina una capa de un material con eleva  
do coeficiente de lubricidad).

Por consiguiente, sigue siendo conveniente desarrollar  
elementos de combustible nuclear capaces de reducir al mínimo los  
problemas descritos más arriba.

15 Un elemento de combustible nuclear particularmente eficaz  
para ser utilizado en el núcleo de un reactor nuclear incluye un  
recipiente de envainado compuesto que consiste en un substrato do  
tado en su superficie interna de una capa protectora de un material  
elegido en el grupo que consiste en ( 1 ) aleaciones resistentes a  
20 la oxidación que contienen cromo,tales como aleaciones de niquel  
cromo ( por ejemplo Kanthal y Nichrome ) y aceros inoxidable con  
elevado contenido de cromo y ( 2 ) un revestimiento aleado con el  
substrato que consiste en un revestimiento a base de cromo, un re  
vestimiento a base de aluminio y un revestimiento a base de silicio.  
25 La capa protectora sirve como barrera para impedir que el substrato  
subyacente sea atacado y oxidado durante una supuesta pérdida de re  
frigerante consecutiva a un accidente y de este modo sirve para man  
tener las propiedades mecánicas favorables de la vaina. Se descri  
ben también métodos de fabricación de la vaina compuesta que inclu  
30 yen los procedimientos de electrodeposición, co-estirado, electro-

1 deposición seguida de una unión por difusión, y depósito de vapor.  
El revestimiento metalizado puede aplicarse por procedimientos de  
metalización. El invento presenta la enorme ventaja que consiste  
5 en que el substrato de la vaina está protegido contra el contacto  
con los agentes corrosivos por la capa metálica, y en que la capa  
metálica introduce insignificantes pérdidas debidas a la absorción  
de neutrones.

Los peritos en la materia entenderán perfectamente el in-  
vento leyendo la siguiente descripción del mismo así como las rei-  
10 vindicaciones adjuntas, refiriendose a los dibujos adjuntos en los  
cuales:

la figura 1 representa una vista en sección parcialmente  
abierta, de un conjunto de combustible nuclear que contiene elemen-  
tos de combustible nuclear contruidos de acuerdo con el invento.

15 La figura 2 presenta una vista en sección ampliada del ele-  
mento de combustible nuclear de la figura 2 que ilustra las enseñan-  
zas del invento.

Haciendo referencia más particularmente a la figura 1, se  
ve que ésta representa una vista en sección parcialmente abierta  
20 de un conjunto de combustible nuclear 10. Este conjunto de combus-  
tible consiste en un conducto de circulación tubular 11 con sec-  
ción generalmente cuadrada, provisto en su extremidad superior de  
un gancho de elevación 12, y en su extremidad inferior de una pie-  
za de extremidad ( no representada porque se ha omitido la porción  
25 más baja del conjunto 10 ). La extremidad superior del conducto 11  
está abierta en 13 y la extremidad inferior de la pieza de extremi-  
dad está provista de unos orificios de circulación de refrigerante.  
Un conjunto de elementos de combustible o barras 14 está contenido  
en el conducto 11 y está soportado en éste por medio de una placa  
30 de extremidad superior 15 y de una placa de extremidad inferior

1 (no ilustrada ya que no se ha representado la porción inferior). Normal  
mente, el refrigerante líquido penetra a través de los orificios en la  
extremidad inferior de la pieza de extremidad, sube alrededor de los ele  
5 en estado parcialmente vaporizado si el reactor es del tipo de ebulli  
ción o en estado no vaporizado si el reactor es del tipo presurizado, a  
una temperatura elevada. Los elementos o barras de combustible nuclear  
14 están hermeticamente cerrados en sus extremidades por medio de unos  
obturadores 18 soldados en la vaina 17, y pueden incluir unos pernos  
10 19 para facilitar el montaje de la barra de combustible en el conjun  
to. Un espacio no ocupado o cámara de pleno 20 está formado en una ex  
tremidad del elemento para permitir la dilatación longitudinal del ma  
terial combustible y la acumulación de los gases liberados por el ma  
terial combustible. Un dispositivo de retención de material combus  
15 tible 24 que tiene la forma de un elemento helicoidal está dispuesto  
en el espacio 20 para mantener la columna de pastillas, impidiendo  
que se desplace axialmente, en particular durante las operaciones de  
manipulación y transporte del elemento combustible.

El elemento combustible está previsto para asegurar un  
20 excelente contacto térmico entre la vaina y el material combustible,  
una mínima absorción parasita de neutrones y la mayor resistencia a  
la flexión y a las vibraciones producidas ocasionalmente por la cir  
culación del refrigerante a gran velocidad.

En la figura 1 se representa en sección parcial un ele  
25 mento o barra 14 de combustible nuclear construida de acuerdo con las  
enseñanzas del invento. El elemento de combustible incluye un núcleo  
o porción cilíndrica central de material de combustible nuclear 16,  
representada aquí bajo la forma de una multiplicidad de pastillas de  
combustible hechas de material fisiónable y/o fértil dispuestas en  
30 el interior de una vaina o recipiente de soporte 17.

1 En algunos casos las pastillas de combustible pueden tener diferen  
tes formas tales como cilindricas o esféricas, y en otros casos  
pueden emplearse diferentes formas de combustible por ejemplo un  
combustible en forma de particulas. La forma fisica del combusti-  
5 ble no tiene relación con este invento. Pueden utilizarse diferen-  
tes materiales combustibles nucleares que incluyen compuestos de  
uranio, compuestos de plutonio, compuestos de torio y mezclas de és  
tos. Un combustible preferido es el dióxido de uranio o una mezcla  
que incluye dióxido de uranio y dióxido de plutonio.

10 Haciendo ahora referencia a la figura 2, se ve que el ma-  
terial combustible nuclear 16 que forma el núcleo central del ele-  
mento de combustible 14 está rodeado por una vaina 17 la cual se  
designará más adelante en esta descripción llamandola vaina com-  
puesta. La vaina compuesta tiene un substrato 21 elegido entre ma-  
15 teriales de recubrimiento convencionales tales como aleaciones de  
circonio, y en un modo de realización preferido del invento, el  
substrato está constituido por una aleación de circonio tal como  
el zircaloy-2. La superficie interna del substrato está provista  
de una capa protectora de modo que ésta forme una pantalla entre  
20 el substrato y el vapor a alta temperatura que está presente en  
una supuesta pérdida accidental de refrigerante. La capa protec-  
tora tiene un espesor incluido entre 0,00127 y 0,0762 mm. ( 0,00005  
y 0,003 pulgada ) y está constituida por ( 1 ) Aleaciones resis-  
25 tentes a la oxidación que contienen cromo, tales como aleaciones  
de níquel-cromo ( por ejemplo Kanthal y Nichrome ) y aceros inoxi-  
dables con elevado contenido de cromo y ( 2 ) un revestimiento  
aleado con el substrato que consiste en un revestimiento a base  
de cromo, un revestimiento a base de aluminio y un revestimiento  
a base de silicio. La capa protectora sirve como barrera para im-  
30 pedir que el substrato subyacente sea atacado y oxidado en caso

1 de pérdida accidental del refrigerante y de este modo sirve para  
conservar las propiedades mecánicas favorables de la vaina. Las  
aleaciones resistentes a la oxidación de ( 1 ) mencionadas más  
arriba incluyen las siguiente: aceros inoxidables con elevado con  
5 tenido de cromo, por ejemplo 26% de cromo estando el resto consti  
tuido sustancialmente por hierro, aleaciones de níquel-cromo, ta  
les como aleaciones de Kanthal y aleaciones de nicromio.

La pureza de la capa protectora es una propiedad importan  
te desde el punto de vista de la absorción de los neutrones. Gene  
ralmente, las impurezas tienen un equivalente total de boro infe  
rior a 40 partes por millón. Los elementos de aleación no se consi  
10 deran como impurezas en este caso.

La vaina compuesta del elemento de combustible nuclear se  
gun el invento tiene su capa protectora unida al substrato con una  
15 unión fuerte.

Además se ha descubierto que una capa protectora de por  
lo menos 0,00127 mm. ( 0,00005 pulgadas ) unida al substrato, pre  
ferentemente una aleación de circonio, impide que el ambiente ga  
seoso del elemento de combustible nuclear entre en contacto con el  
20 substrato, lo que es particularmente conveniente para impedir la  
corrosión y la oxidación a temperaturas del orden de 1.204° C  
(2.200° F) que se forman en caso de pérdida accidental del refri  
gerante. Las capas protectoras descritas aquí tienen igualmente la  
propiedad de no formar fase líquida eutectica con aleaciones de  
25 circonio a temperaturas elevadas.

La vaina compuesta utilizada en los elementos de combusti  
ble nuclear según el invento puede fabricarse utilizando cualquie  
ra de los siguientes métodos.

Las aleaciones resistentes a la oxidación que contienen  
30 cromo pueden aplicarse mediante diferentes técnicas bien conocidas

1 que incluyen operaciones de co-estirado y co-troquelado. En la técnica de co-extrusión, se introduce un elemento de inserción hecho de la aleación en cuestión, en un lingote hecho del material constitutivo del sustrato, preferentemente una aleación de circonio, 5 y se une por difusión este elemento de inserción en el lingote que ha de ser estrujado. A continuación se estira el lingote compuesto para formar una pieza en forma de tubo. Esta pieza, que es un cilindro concéntrico hecho de aleación de circonio con una capa interna de aleación de cromo unida al circonio, se transforma en un 10 tubo mediante un procedimiento convencional para formar una vaina compuesta con la geometría y el espesor de capa metálica interna deseados.

En otro método, se sitúa en una pieza estirada en forma de tubo, hecha de aleación de circonio, un manguito hueco de una 15 de las aleaciones de cromo. El manguito debe tener una pared de espesor uniforme y el espesor de la pared del manguito depende del espesor de la pared de la pieza en forma de tubo y del espesor final deseado de la capa metálica. A continuación se transforma el conjunto en un tubo para obtener la vaina compuesta. El compuesto 20 resultante incluye una capa de aleación de cromo unida metalúrgicamente al sustrato de aleación de circonio. En la operación de reducción del tubo pueden efectuarse operaciones de recocido en las varias fases del tratamiento.

Los revestimientos metalizados de cromo, aluminio y silicio pueden aplicarse mediante técnicas de pulverización por llama 25 o plasma convencionales.

El invento incluye un método para producir un elemento de combustible nuclear que consiste en preparar un recipiente de envasado compuesto que incluye un sustrato y una capa protectora 30 del tipo descrito más arriba unida a la superficie interna del sub

1       trato estando dicho recipiente abierto en una extremidad, llenar  
el recipiente de envainado compuesto con material combustible nu-  
clear dejando una cavidad en la extremidad abierta, introducir un  
5       dispositivo de retención del material combustible nuclear en la  
cavidad, aplicar un cierre en la extremidad abierta del recipien-  
te dejando la cavidad en comunicación con el combustible nuclear,  
y a continuación unir la extremidad del recipiente recubierto con  
dicho cierre para formar un cierre hermético entre ellos.

10       El invento presenta la ventaja de que el elemento de com-  
bustible que utiliza la capa protectora descrita aquí protege la  
superficie interna del substrato, preferentemente un material de  
envainado a base de aleación de circonio, contra la oxidación y  
la corrosión producidas por el vapor y el agua en caso de pérdida  
accidental del refrigerante en un reactor nuclear moderado por  
15       agua o enfriado por agua. Impidiendo cualquier reducción de las  
propiedades mecánicas que pudiera ser producida por la corrosión  
y la oxidación además de la penetración de oxígeno en la superfi-  
cie interna de la vaina, se reduce casi a cero por medio de las  
prácticas de diseño actuales el riesgo de fragmentación de la vai-  
20       na durante los peores casos supuestos de pérdida accidental del  
refrigerante.

Una propiedad importante de la vaina compuesta según el  
invento consiste en que las mejoras descritas más arriba se consi-  
guen con una insignificante absorción suplementaria de los neutro-  
25       nes. Dicha vaina es fácilmente admitida en los reactores nuclea-  
res ya que no da lugar esencialmente a ninguna combinación eutec-  
tica en caso de pérdida accidental del refrigerante o en el caso  
de caída de una barra de control nuclear. Además, la vaina com-  
puesta introduce una reducción muy pequeña de la transferencia  
30       térmica ya que no existe barrera térmica de transmisión del calor

1 tal como ocurre cuando se introduce en un elemento de combustible  
una hoja o una capa separada. Igualmente, la vaina compuesta se-  
gún el invento puede ser examinada utilizando métodos de verifi-  
cación no destructivos convencionales en las varias etapas de su  
5 fabricación.

En resumen, la presente patente de invención que se so-  
licita deberá recaer en las siguientes

REIVINDICACIONES

1.- Elemento de combustible nuclear que incluye (a) un  
10 núcleo central de un cuerpo de material combustible nuclear y (b)  
un recipiente de envainado compuesto de forma alargada dotado en  
su superficie interna de una capa de protección hecha de un mate-  
rial constituido por una aleación resistente a la oxidación que  
15 contiene cromo, un revestimiento a base de cromo aleado con el  
substrato, un revestimiento a base de aluminio aleado con el subs-  
trato, y un revestimiento a base de silicio aleado con el substra-  
to.

2.- Elemento de combustible nuclear según la reivindica-  
ción 1, caracterizado porque incluye además una cámara de pleno y  
20 un dispositivo de retención del material combustible nuclear bajo  
la forma de un elemento helicoidal dispuesto en la cámara de ple-  
no.

3.- Elemento de combustible nuclear según las reivindi-  
caciones 1 ó 2, caracterizado porque la aleación resistente a la  
25 oxidación es acero inoxidable con elevado contenido de cromo.

4.- Elemento de combustible nuclear según las reivindi-  
caciones 1-3, caracterizado porque el material combustible nu-  
clear está constituido por compuestos de uranio, compuestos de  
plutonio o mezclas de estos compuestos.

30 5.- Elemento de combustible nuclear según las reivindi-

1 caciones 1-4, caracterizado porque el material combustible nuclear está constituido por dióxido de uranio.

5 6.- Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1-4, caracterizado porque el material combustible nuclear es una mezcla que incluye dióxido de uranio y dióxido de plutonio.

10 7.- Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la presente memoria descriptiva que consta de diecisiete páginas mecanografiadas y dibujos que se acompañan.

15

Madrid, 22 octubre 1.975

BERNARDO UNGRIA

P.P.



20

25

30

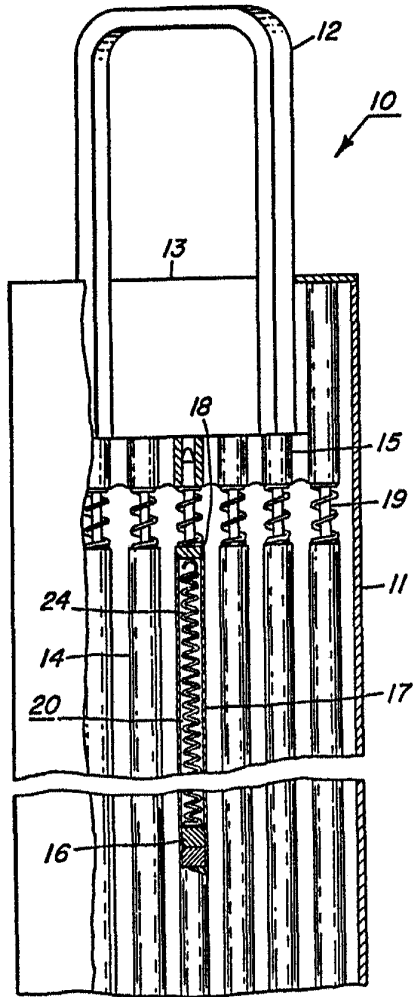


Fig. 1

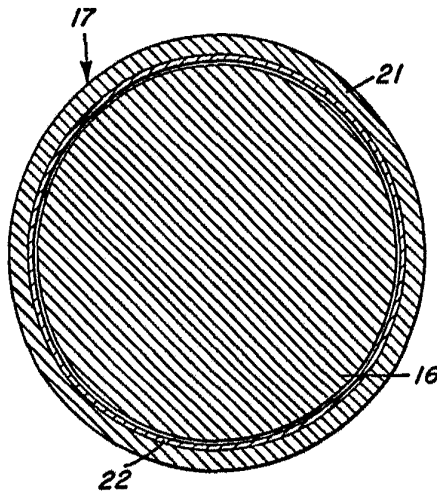


Fig. 2

ESCALA VARIABLE  
Madrid, 22 octubre 1.975  
BERNARDO UNGRIA  
P.p.