

12/20/74

Int. No. 0210

M E M O R I A   D E S C R I P T I V A

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 COMBUSTIBLE NUCLEAR.

Prioridad: de la solicitud de patente estadouni-  
dense, nº 522.771 del 11.11.74.

-----

1 El invento se refiere de manera general a una mejo-  
ra introducida en elementos de combustible nuclear destinados a  
ser empleados en el núcleo de reactores nucleares del tipo de  
fisión y, más particularmente, el invento está relacionado con un  
5 elemento de combustible nuclear mejorado que tiene un recipien-  
te de envainado compuesto dotado de un substrato y de una capa  
metálica en la superficie interna del substrato.

Actualmente, se diseñan, construyen y hacen funcio-  
nar reactores nucleares en los cuales el combustible nuclear es  
10 tá contenido en elementos de combustible que pueden presentar va-  
rias formas geométricas que pueden ser placas, tubos o barras.  
Usualmente, el material combustible está contenido en un reci-  
piente o vaina conductora del calor resistente a la corrosión  
y no reactiva. Los elementos se ensamblan conjuntamente en un  
15 retículo a distancias fijas los unos de los otros en el interior  
de un canal o región de circulación de refrigerante, formando  
así un conjunto de combustible, y se combinan conjuntos de com-  
bustible en número suficiente para formar el conjunto de reac-  
ción de cadena nuclear de fisión o núcleo del reactor capaz de  
20 auto-mantener una reacción de fisión. A su vez el núcleo está  
contenido en la cuba de seguridad del reactor a través de la cual  
se hace pasar un refrigerante.

El recipiente de envainado sirve a varios fines de  
los cuales los dos principales son los siguientes: en primer lu-  
25 gar impedir el contacto y las reacciones químicas entre el com-  
bustible nuclear y el refrigerante o el moderador si se utiliza  
este último, o ambos si se utilizan simultáneamente refrigerante  
y moderador; y en segundo lugar, impedir que los productos de fi-  
sión radioactivos, alguno de los cuales son gases, sean libera-  
30 dos por el combustible y penetren en el refrigerante o en el mo

1 derador, o en ambos si se utilizan a la vez refrigerante y mode-  
rador. Los materiales utilizados corrientemente para la fabrica-  
ción del recipiente de envainado son el acero inoxidable, el alu-  
minio y sus aleaciones, el circonio y sus aleaciones, el niobio  
5 (columbio), algunas aleaciones de magnesio, así como otros mate-  
riales. Un fallo en el recipiente de envainado, por ejemplo una  
pérdida de su estanqueidad, puede contaminar el refrigerante o  
el moderador y los sistemas asociados con los productos radioac-  
tivos de larga vida hasta un punto capaz de perjudicar el funcio-  
10 namiento de la instalación.

Se han presentado dificultades en la fabricación y  
la explotación de elementos de combustible nuclear que emplean  
ciertos metales y ciertas aleaciones para el material de la vai-  
na en razón de las reacciones mecánicas o químicas de estos ma-  
15 teriales de la vaina en ciertas circunstancias. En circunstan-  
cias normales, el circonio y sus aleaciones constituyen excelen-  
tes vainas para combustible nuclear, ya que tienen reducidas sec-  
ciones eficaces de absorción de neutrones y a temperaturas infe-  
riores a  $398^{\circ}\text{C}$  ( $750^{\circ}\text{F}$ ) son resistentes, dúctiles, extremadamen-  
20 te estables y no reactivos en presencia de agua desmineralizada  
o de vapor que se emplean corrientemente como refrigerantes y mo-  
deradores en los reactores.

Sin embargo, el funcionamiento de los elementos de  
combustible ha revelado un problema relacionado con la disocia-  
25 ción fisurante de la vaina en razón de las interacciones combi-  
nadas entre el combustible nuclear, la vaina y los productos de  
fisión que se forman durante las reacciones nucleares de fisión.  
Se ha descubierto que este resultado indeseable es facilitado  
por las tensiones mecánicas localizadas debidas a la dilatación  
30 diferencial entre el combustible y la vaina (las tensiones que

1 se forman en la vaina están localizadas en las grietas del com-  
bustible nuclear). Una cierta cantidad de productos de fisión  
corrosivos son liberados por el combustible nuclear y se encuen-  
tran en la intersección de las grietas del combustible con la  
5 superficie de la vaina. Los productos de fisión se forman en el  
combustible nuclear debido a la reacción en cadena de fisión du-  
rante el funcionamiento de un reactor nuclear. Las tensiones lo-  
calizadas son exageradas por una fricción importante entre el  
combustible y la vaina.

10 En el interior de un elemento de combustible hermé-  
ticamente cerrado, es posible que sea generado gas hidrógeno por  
la lenta reacción con la vaina, y el agua residual en el interior  
de la vaina puede acumularse y alcanzar niveles, los cuales, en  
ciertas condiciones, pueden producir una hidruración localizada  
15 de la vaina con la consiguiente deterioración localizada de las  
propiedades mecánicas de la vaina. Igualmente la vaina es per-  
judicada por gases tales como oxígeno, nitrógeno, monóxido de  
carbono y dióxido de carbono en una amplia gama de temperaturas.

La vaina de circonio de un elemento de combustible  
20 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 esto ocurre a pesar del he-  
cho de que estos gases y elementos de productos de fisión pue-  
den no estar presentes en el refrigerante o en el moderador del  
25 reactor, e incluso pueden haber sido excluidos lo más posible de  
la atmósfera ambiente durante la fabricación de la vaina y del  
elemento de combustible. Los refractarios sinterizados y las  
composiciones cerámicas, tales como el dióxido de uranio y otras  
composiciones empleadas como combustible nuclear, liberan canti-  
30 dades medibles de los gases y productos de fisión mencionados

1 más arriba al ser calentadas por ejemplo durante la fabricación  
del elemento de combustible y además liberan productos de fisión  
durante la irradiación. Es bien conocido que los refractarios  
en forma de partículas y las composiciones cerámicas, tales como  
5 el polvo de dióxido de uranio y otros polvos empleados como com-  
bustible nuclear, liberan cantidades todavía más importantes de  
los gases mencionados más arriba durante la irradiación. Estos  
gases liberados son capaces de reaccionar con la vaina de circo-  
nio que contiene el combustible nuclear.

10 Por tanto, a la luz de lo que antecede, se ha com-  
probado que es conveniente reducir al mínimo el ataque de la vai-  
na producido por el agua, el vapor de agua y otros gases, en  
particular el hidrógeno, que reaccionan con la vaina desde el in-  
terior del elemento de combustible durante todo el tiempo en el  
15 cual el elemento de combustible se utiliza para el funcionamien-  
to de las centrales nucleares. Un procedimiento empleado con-  
siste en elegir materiales que reaccionen químicamente de mane-  
ra rápida con el agua, el vapor de agua y otros gases para eli-  
minarlos del interior de la vaina, y estos materiales se llaman  
20 "getters" (adsorbente metálico). Otro procedimiento consiste en  
revestir el material del combustible nuclear con una cerámica pa-  
ra impedir que la humedad entre en contacto con el material del  
combustible nuclear según se describe en la Patente de los Esta-  
dos Unidos No. 3.108.936. La Patente de los Estados Unidos No.  
25 3.085.059 presenta un elemento de combustible que incluye una  
vainas metálica que contiene una o varias pastillas de material  
rámico fisionable y una capa de material vidrioso unida a las  
pastillas de cerámica, de modo que la capa se encuentre entre la  
vainas y el combustible nuclear para asegurar una conducción tér-  
mica uniformemente buena entre las pastillas y la vainas. La Pa-  
30

1     tente de los Estados Unidos No. 2.873.238 presenta cartuchos fi  
sionables de uranio contenidos en un tubo metálico, estando las  
camisas protectoras o recubrimientos de los cartuchos constituí  
dos por una capa aglomerada de zinc-aluminio. La Patente de los  
5     Estados Unidos No. 2.849.387 describe un cuerpo fisionable enca  
misado que incluye una pluralidad de secciones de cuerpo de com  
bustible nuclear encamisadas y con extremidad abierta que han  
sido sumergidas en un baño en fusión de un material aglomerante  
que produce una unión eficazmente conductora del calor entre las  
10    secciones del cuerpo de uranio y el recipiente (o vaina). El  
revestimiento se describe como estando constituido por cualquier  
aleación metálica dotada de buenas propiedades de conducción  
del calor, y se indican ejemplos que incluyen aleaciones de alu  
minio-silicio y zinc-aluminio. La publicación de Patente Japo  
15    nesa No. SHO 47-46559 del 24 de noviembre de 1.972, describe  
como se aglomeran partículas separadas de combustible nuclear con  
un revestimiento liso de alta densidad y que contiene carbono,  
alrededor de las pastillas. Otra descripción de un revestimien  
to está contenida en la publicación de Patente Japonesa No. SHO  
20    47-14200 en la cual el revestimiento de un grupo de dos grupos  
de pastillas se hace con una capa de carburo de silicio mientras  
que el otro grupo se reviste con una capa de pirocarbono o car  
buro metálico.

El revestimiento del material de combustible nuclear  
25    introduce problemas de fiabilidad porque resulta difícil conse  
guir revestimientos uniformes exentos de defecto. Además, la  
deterioración del revestimiento puede dar lugar a problemas rela  
cionados con el funcionamiento a largo plazo del material de  
combustible nuclear.

30                   La solicitud de Patente de los Estados Unidos No. de

1 Serie 330.152 del 6 de febrero de 1.973 describe un método para  
impedir la corrosión de la vaina de combustible nuclear que con  
siste en añadir un metal, tal como niobio, al combustible. El a-  
ditivo puede tener la forma de un polvo, siempre y cuando la ope-  
5 ración de tratamiento de combustible ulterior no oxide el metal,  
o puede ser incorporado en el elemento de combustible bajo la  
forma de alambres, chapas o en otras formas alrededor o entre las  
pastillas de combustible.

El documento GEAP-4555 de febrero de 1.964 descri-  
10 be una vaina compuesta de una aleación de circonio con un recu-  
brimiento interno de acero inoxidable unido metalúrgicamente a  
la aleación de circonio, fabricándose la vaina compuesta por ex-  
trusión de un lingote hueco de aleación de circonio provisto en  
su interior de un recubrimiento de acero inoxidable. Esta vai-  
15 na tiene el inconveniente de que el acero inoxidable puede fisu-  
rarse, y que la capa de acero inoxidable produce una adsorción  
de neutrones de 10 a 15 veces superior a la de una capa de alea-  
ción de circonio del mismo espesor.

La Patente de los Estados Unidos No. 3.502.549 des-  
20 cribe un método para proteger el circonio y sus aleaciones me-  
diante depósito electrolítico de cromo para obtener un material  
compuesto utilizable en reactores nucleares. En Energía Nucleare  
Volumen 11, número 9 (septiembre 1.964) en las páginas 505-508,  
se describe un método para efectuar un depósito electrolítico  
25 de cobre sobre superficies de Zircaloy y para efectuar un tra-  
tamiento térmico ulterior con el objeto de obtener la difusión  
superficial del metal depositado electrolíticamente. En Estabi-  
lidad y Compatibilidad de las Barreras de Hidrógeno Aplicadas a  
las Aleaciones de Circonio por F. Brossa y Socios. (Comunidad Euro-  
30 pea de la Energía Atómica, Centro Conjunto de Investigación nu-

1 clear, EUR 4098e 1.969), se describen métodos para depositar di-  
ferentes revestimientos así como su rendimiento como barrera de  
difusión de hidrógeno conjuntamente con un revestimiento de Al-  
Si, como barrera más interesantes contra la difusión del hidróge-  
5 no. Los métodos de electrodeposición de níquel sobre circonio  
y aleaciones de circonio-estaño y el tratamiento térmico de es-  
tas aleaciones, para producir uniones de aleación-difusión, se des-  
criben en Electrorevestimientos sobre circonio y circonio-estaño  
por W. C. Schickner y Socios (BM1-757, Servicio de Información  
10 Técnica, 1.952). La Patente de los Estados Unidos No. 3.625.821  
presenta un elemento de combustible para reactor nuclear que tie-  
ne un tubo de revestimiento de combustible dotado de una super-  
ficie interna revestida con un metal de retención con reducida  
sección eficaz de captura de neutrones, tal como níquel, y que in-  
15 cluye en él unas partículas finamente dispersas de un veneno com-  
bustible. El Informe de Progreso de Programa de Desarrollo de  
Reactores del Mes de Agosto de 1.973 (ANL-RDP-19) describe un  
dispositivo de getter químico constituido por una capa de protec-  
ción de cromo situada sobre la superficie interna de una vaina  
20 de acero inoxidable.

Otro procedimiento consiste en introducir una barre-  
ra entre el material del combustible nuclear y la vaina que con-  
tiene el combustible nuclear según se describe en la Patente de  
los Estados Unidos No. 3.230.150 (hoja de cobre), en la publica-  
25 ción 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 o berillio), en la Patente de los Estados Unidos No.  
3.018.238 (barrera de carbono cristalino entre el  $UO_2$  y la vai-  
na de circonio), y en la Patente de los Estados Unidos No.  
30 3.088.893 (hoja de acero inoxidable). Aunque la idea de barre-

1 ra sea prometedora, algunas de las referencias que anteceden in  
cluyen materiales incompatibles ya sea con el combustible nu-  
clear (por ejemplo el carbono puede combinarse con el oxígeno  
5 procedente del combustible nuclear), ya sea con la vaina (por  
ejemplo el cobre, y otros metales pueden reaccionar con la vaina,  
alterando las propiedades de la misma), o incluso con la reac-  
ción de fisión nuclear (por ejemplo actuando como agente de ad-  
sorción de los neutrones). Ninguna de las referencias enumera-  
das más arriba describen soluciones al problema recientemente  
10 descubierto de las interacciones químico-mecánicas localizadas  
entre el combustible nuclear y la vaina.

Otros procedimientos relacionados con la idea de ba  
rrera se describen en la solicitud de Patente de los Estados Uni  
dos No. de Serie 441.131, presentada el 11 de Febrero de 1.974  
15 (metal refractario tal como molibdeno, tungsteno, renio, niobio,  
y aleaciones de estos, bajo la forma de un tubo o de una hoja con  
capa única o varias capas, o un revestimiento situado en la su-  
perficie interna de la vaina), y en la solicitud de Patente de  
los Estados Unidos No. de Serie 441.133, presentada el 11 de fe  
20 brero de 1.974 (recubrimiento de circonio, niobio y aleaciones  
de estos metales entre el combustible nuclear y la vaina, con un  
revestimiento de elevado coeficiente de lubricación entre el re-  
vestimiento y la vaina).

Por tanto, sigue siendo conveniente desarrollar ele-  
25 mentos de combustible nuclear capaces de reducir al mínimo las  
dificultades descritas más arriba.

Un elemento de combustible nuclear particularmente  
eficaz para ser utilizado en el núcleo de un reactor nuclear in  
cluye (1) un recubrimiento metálico y (2) una barrera de difu-  
30 sión dispuesta entre la vaina y el material del combustible nu-

1 clear. La barrera de difusión tiene la forma de un revestimien  
to, estando la barrera de difusión dispuesta bajo la forma de un  
recubrimiento de la superficie interna de la vaina en un modo de  
realización, mientras que en otro modo de realización la barre-  
5 ra de difusión se forma sobre la superficie externa del recubri  
miento metálico. El recubrimiento metálico está constituido por  
un material con reducidas secciones eficaces de captura de neu-  
trones y está constituido preferentemente por un material elegi  
do entre el grupo que consiste en acero inoxidable, cobre, alea  
10 ciones de cobre, níquel o aleaciones de níquel. El recubrimien  
to sirve como pantalla para la vaina y como lugar de reacción  
preferencial para la reacción con impurezas volátiles o produc-  
tos de fisión presentes en el interior del elemento de combusti  
ble nuclear y de este modo sirve para proteger la vaina contra  
15 la exposición y el ataque de las impurezas volátiles y de los  
productos de fisión. Durante las reacciones de fisión nuclear  
en un reactor nuclear, el recubrimiento tiene una temperatura am  
biente superior a la de la vaina. La barrera de difusión está  
hecha de cromo o de aleación de cromo y la barrera de difusión  
20 puede tener la forma de un revestimiento o puede ser unida al  
substrato. La barrera de difusión impide cualquier posible reac  
ción a temperaturas elevadas entre la vaina y el recubrimiento  
metálico. La reacción que interesa es la formación de una fase  
eutectica líquida con bajo punto de fusión (inferior a  $1.204^{\circ}\text{C}$ -  
25  $2.200^{\circ}\text{F}$ ) entre la vaina del combustible hecha de aleación de  
circonio y el recubrimiento metálico, que puede producirse duran  
te una supuesta pérdida accidental de refrigerante si la barre-  
ra de difusión no está presente. El revestimiento de la barre-  
ra de difusión puede obtenerse mediante varios procedimientos  
30 que incluyen (a) electrodeposición, (b) electrodeposición seguida

1 de calentamiento para conseguir la difusión del revestimiento electrodepositado en el substrato recubierto electrolíticamente y (c) deposición de vapor.

5 Los peritos en la materia podrán entender fácilmente el invento leyendo la siguiente descripción así como las reivindicaciones adjuntas, y refiriéndose a los dibujos adjuntos en los cuales:

10 La figura 1 representa una vista en sección parcial abierta de un conjunto de combustible nuclear que contiene elementos de combustible nuclear construídos de acuerdo con las enseñanzas del invento;

La figura 2 representa una vista en sección ampliada de un modo de realización del elemento de combustible nuclear de acuerdo con las enseñanzas del invento; y

15 La figura 3 representa una vista en sección ampliada de otro modo de realización del elemento de combustible nuclear según el invento.

Haciendo ahora más particularmente referencia a la figura 1, se ve que esta representa una vista en sección parcialmente abierta de un conjunto de combustible nuclear 10. Este conjunto de combustible consiste en un conducto de circulación tubular 11 de sección transversal generalmente cuadrada provisto en su extremidad superior de una empuñadura de elevación 12, y en su extremidad inferior de una pieza de extremidad (no representada porque se ha omitido la porción inferior del conjunto 10). La extremidad superior del conducto 11 está abierta en 13 y el extremo inferior de la pieza de extremidad está provisto de orificios de circulación de refrigerante. Un conjunto de elementos o barras de combustible 14 está contenido en el conducto 11 y está soportado en este por medio de una placa de ex-

20  
25  
30

1    tremidad superior 15 y de una placa de extremidad inferior (no  
representada porque se ha omitido la porción inferior). Normalmente  
5    mente el refrigerante líquido penetra a través de los orificios  
en el extremo inferior de la pieza de extremidad, sube alredeedor  
10    de los elementos de combustible 14, y sale por el orificio  
de salida superior 13 en estado parcialmente vaporizado en el  
caso de los reactores de ebullición y no vaporizado cuando se  
trata de reactores presurizados a una temperatura elevada.

Los elementos o barras de combustible nuclear 14 esta  
15    n    tán herméticamente cerrados en sus extremidades por medio de obtu  
radores de extremidad 18 soldados en la vaina 17 y que pueden  
incluir unos pasadores 19 para facilitar el montaje de las barras  
de combustible en el conjunto. Un espacio no ocupado o cáma  
ra de pleno 20 está dispuesto en una extremidad del elemento  
15    para permitir la dilatación longitudinal del material combustible  
y la acumulación de los gases liberados por material combusti  
ble. Un dispositivo de retención de material combustible nucle  
ar 24, que tiene la forma de un elemento helicoidal, está dispu  
esto en el interior del espacio 20 para impedir el movimiento  
20    axial de la columna de pastillas, en particular durante las opera  
ciones de manipulación y transporte del elemento de combustible  
ble.

El elemento de combustible está previsto para asegura  
25    rar un contacto térmico excelente entre la vaina y el material  
combustible, una mínima absorción parásita de los neutrones y  
la máxima resistencia a la torsión y a las vibraciones producidas  
eventualmente por la circulación del refrigerante a gran vel  
ocidad.

En la figura 1 se ilustra en sección parcial un eleme  
30    mento o barra de combustible nuclear 14 construída de acuerdo

1 con las enseñanzas del invento. El elemento de combustible in-  
cluye un núcleo o parte cilíndrica central de material de com-  
bustible nuclear 16, que se ilustra en este caso bajo la forma  
de una multiplicidad de pastillas de combustible hecho de mate-  
5 rial fisionable y/o fértil dispuesto en una vaina o recipiente  
de soporte 17. En algunos casos, las pastillas de combustible  
pueden tener formas diferentes tales como formas cilíndricas o  
esféricas, y en otros casos pueden emplearse diferentes formas  
de combustible, por ejemplo combustible en forma de partículas.  
10 La forma física del combustible no tiene relación con el inven-  
to. Pueden utilizarse varios materiales combustibles nucleares  
que incluyen compuesto de uranio, compuesto de plutonio, compues-  
to de torio y mezclas de los mismos. Un combustible preferido  
es el dióxido de uranio o una mezcla constituida por dióxido de  
15 uranio y dióxido de plutonio.

Haciendo ahora referencia a la figura 2, se ve que  
el material combustible nuclear 16 que forma el núcleo central  
del elemento de combustible 14 está rodeado por un recubrimien-  
to 21 de metal con reducida sección eficaz de absorción de neu-  
trones. El recubrimiento 21 sirve como emplazamiento preferen-  
20 cial de disipación o de reacción donde se efectúa la reacción  
con impurezas volátiles o productos de fisión en el interior del  
elemento de combustible nuclear y de este modo constituye una  
de las capas que protegen la vaina 17 contra el contacto y el  
25 ataque de las impurezas volátiles o productos de fisión en el  
interior del elemento de combustible nuclear. Mientras se  
efectúan las reacciones de fisión nuclear en un reactor nuclear,  
el recubrimiento 21 presenta una temperatura ambiente superior  
a la de la vaina, y preferentemente se hace el recubrimiento  
30 con un material elegido en el grupo que consiste en acero ino-

1 xidable, cobre, aleaciones de cobre y níquel y aleaciones de níquel. El espesor del recubrimiento se elige de modo que sea superior a la mayor distancia de retroceso del producto de fisión pero inferior al intervalo que existe corrientemente en los elementos de combustible nuclear entre la vaina y el material combustible nuclear. La temperatura de funcionamiento del elemento de combustible nuclear es superior a la temperatura a la cual pueden producirse en el recubrimiento desperfectos notables debidos a la radiación de los neutrones, y el recubrimiento es dúctil, tiene un elevado coeficiente de endurecimiento-trabajo, y una fuerte resistencia a la iniciación de grietas y a la propagación de las mismas.

El revestimiento 21 recibe en su superficie externa una barrera de difusión 22 formada de modo que la barrera de difusión 22 se sitúa entre la vaina 17 y el recubrimiento metálico 21. La barrera de difusión 22 puede aplicarse sobre el recubrimiento metálico utilizando varios procedimientos en los cuales se incluyen la electrodeposición, una electrodeposición seguida por una fase de calentamiento para obtener la difusión del revestimiento electrodepositado en el recubrimiento metálico, una operación de recubrimiento con cromo y deposición de vapor.

Además, el recubrimiento 21 puede tener la forma de una hoja cilíndrica hueca o de una hoja enrollada para formar un cilindro hueco y capaz de ser introducida en el interior de la vaina. La barrera de difusión 22 puede elegirse en el grupo que consiste en cromo y aleaciones de cromo y, preferentemente, la barrera de difusión será de cromo.

La vaina 17 es un recipiente metálico que sirve para impedir el contacto y las reacciones químicas entre el com-

1     bustible nuclear y el refrigerante del reactor y/o el moderador  
del reactor y para impedir que los productos de fisión radioac-  
tivos que se forman en el combustible nuclear durante las reac-  
ciones de fisión nuclear penetren en el refrigerante y/o mode-  
5     rador del reactor. Los materiales preferidos para la fabrica-  
ción de la vaina son el circonio y las aleaciones de circonio y  
todavía de manera más preferida el Zircaloy-2.

Haciendo ahora referencia a la figura 3, se ve que  
el material combustible nuclear 16 que constituye el núcleo cen-  
10    tral del elemento combustible nuclear 14 está rodeado por un re-  
cubrimiento 21 de metal dotado de una reducida sección eficaz  
de absorción de neutrones. El recubrimiento cumple las funcio-  
nes descritas más arriba con relación a la figura 2 y está cons-  
tituido de la manera indicada en este momento. La vaina 17 tie-  
15    ne una barrera de difusión 22 en su superficie interna. Esta  
barrera de difusión se aplica sobre la superficie de la vaina  
utilizando varios procedimientos en los cuales están incluidos  
la electrodeposición, una electrodeposición seguida por una fa-  
se de calentamiento para obtener la difusión del revestimiento  
20    electrodepositado en la vaina, o mediante deposición de vapor.  
La función de la vaina 17 y de la barrera de difusión 22 se des-  
criben más arriba con relación a la figura 2.

El invento presenta varias ventajas que permiten ob-  
tener una larga vida útil del elemento combustible nuclear, y en  
25    estas ventajas se incluyen la reducción de la hidruración de la  
vainas, la reducción a un valor mínimo de las tensiones localiza-  
das, la reducción a un valor mínimo de la corrosión debida a las  
tensiones y a las deformaciones, y la reducción de la possibili-  
dad de que se produzcan disociaciones en la vaina. Además, el  
30    invento impide la dilatación (o hinchamiento) del combustible

1 nuclear en contacto directo con la vaina, lo que impide la for-  
mación de tensiones localizadas en la vaina, la iniciación o la  
aceleración de la corrosión de la vaina debida a las tensiones,  
y la soldadura del combustible nuclear con la vaina.

5 Otra ventaja extremadamente importante del invento  
consiste en la ausencia de contacto directo entre la vaina y el  
material combustible nuclear o el recubrimiento metálico, evi-  
tando así la posibilidad de que se produzca una reacción entre  
la vaina y el material combustible nuclear o entre la vaina y  
10 el recubrimiento metálico.

Las propiedades del recubrimiento pueden elegirse in-  
dependientemente, y el diseño de las propiedades de la vaina pue-  
de hacerse sin tener en cuenta ninguna otra función que no sea  
la función de contención y la función de conductividad térmica.  
15 En particular, la composición y la textura del recubrimiento me-  
tálico pueden elegirse para obtener la máxima eficacia del recu-  
brimiento a la hora de proteger la vaina contra los productos  
de fisión y las impurezas gaseosas contenidas en el elemento com-  
bustible nuclear. Igualmente, la composición del recubrimiento  
20 y la textura del mismo pueden elegirse fácilmente (independien-  
temente de la vaina) para asegurar la ductilidad del recubrimien-  
to. Igualmente el recubrimiento puede ser elegido de modo que  
tenga un coeficiente de endurecimiento al trabajo y una resisten-  
cia a la iniciación y a la propagación de las grietas superiores  
25 a los que pueden obtenerse para la vaina.

En resumen, la presente Patente de invención que se  
solicita debiera recaer en las siguientes:

#### REIVINDICACIONES

1.) Elemento de combustible nuclear que incluye (a)  
30 un núcleo central de un cuerpo de material combustible nuclear,

1 (b) un recubrimiento metálico de acero inoxidable, cobre, alea-  
ción de cobre, níquel o aleación de níquel que rodea el núcleo  
central del material combustible nuclear, (c) un revestimiento  
5 encamisado de forma alargada que rodea el recubrimiento metálico  
y (d) una barrera de difusión de cromo o aleación de cromo  
formada por revestimiento sobre la superficie interna del reci-  
piente encamisado.

2.) Elemento de combustible nuclear según la reivin-  
dicación 1, caracterizado porque incluye además una porción de  
10 cámara de pleno y porque un dispositivo de retención de elemen-  
tos de combustible nuclear, constituido por un elemento helicoi-  
dal, está situado en la porción de cámara de pleno del elemento  
de combustible.

3.) Elemento de combustible nuclear según las reivin-  
dicaciones 1 o 2 caracterizado porque el recipiente encamisado  
15 está constituido por una aleación de circonio.

4.) Elemento de combustible nuclear según las rei-  
vindicações 1-3, caracterizado porque el material combustible  
nuclear está constituido por compuestos de uranio, compuestos  
20 de plutonio, compuestos de torio o mezclas de estos.

5.) Elemento de combustible nuclear según las rei-  
vindicações 1-4, caracterizado porque el material combustible  
nuclear está constituido por dióxido de uranio.

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

7.) Elemento de combustible nuclear que incluye (a)  
un núcleo central de un cuerpo de material combustible nuclear,  
30 (b) un recubrimiento metálico de acero inoxidable, cobre, alea-

1 ciones de cobre, níquel, o aleación de níquel que rodea el núcleo  
central del material combustible nuclear, (c) estando una barre-  
ra de difusión, hecha de cromo o de aleación de cromo, formada por  
revestimiento en la superficie externa del recubrimiento metáli-  
5 co y (d) un recipiente encamisado de forma alargada que rodea el  
recubrimiento metálico.

8.) Elemento de combustible nuclear según la reivin-  
dicación 7, caracterizado porque además incluye una porción de  
cámara de pleno y un dispositivo de retención de elemento de com-  
10 bustible nuclear constituido por un elemento helicoidal situado  
en la porción de cámara de pleno del elemento de combustible.

9.) Elemento de combustible nuclear según la reivin-  
dicación 7 u 8 en el cual el recipiente encamisado está constitui-  
do por una aleación de circonio.  
15

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

Todo conforme queda descrito y reivindicado en la pre-  
20 sente memoria descriptiva que consta de dieciocho páginas mecano-  
grafiadas y dibujos que se acompañan.

Madrid, 22 octubre 1.975

BERNARDO UNGRIA

p. p.

25

30

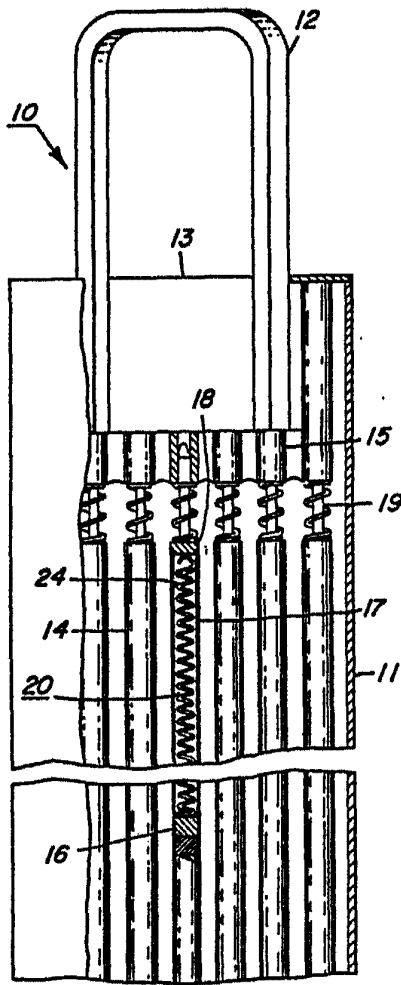


Fig. 1

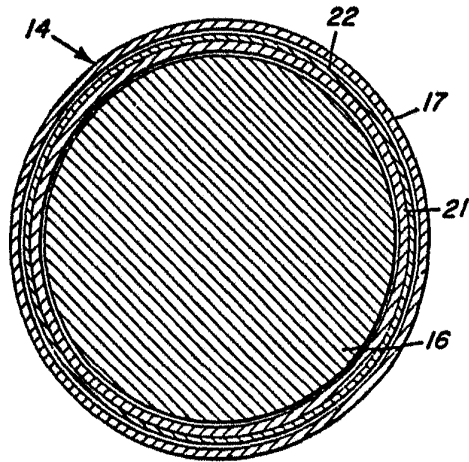


Fig. 2

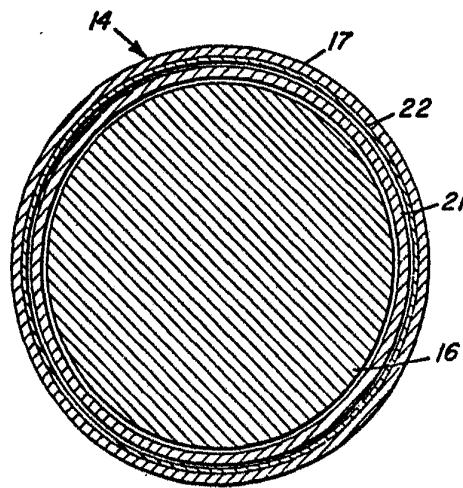


Fig. 3

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