

Nº 442.000

Ex. 100	6210
Ex. 100	
Ex. 100	

MEMORIA DESCRIPTIVA

correspondiente a la solicitud de una

PATENTE DE INVENCION

Solicitante: GENERAL ELECTRIC COMPANY.

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

Enunciado: ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.

Prioridad: de la solicitud de patente estadou-
nidense nº 522.766 del 11.11.74

**POOR
QUALITY**

1 El invento se refiere de manera general a una mejo-
ra introducida en elementos de combustible nuclear, destina-
dos a ser utilizados en el núcleo de reactores nucleares del
tipo de fisión, y más particularmente a un elemento de com-
5 bustible nuclear mejorado dotado de un recipiente de envai-
nado compuesto que incluye un substrato, una barrera metáli-
ca unida metalúrgicamente a la superficie interna del subs-
trato y una capa interna unida metalúrgicamente a la barrera
metálica.

10 Actualmente, se diseñan, construyen y explotan reac-
tores nucleares en los cuales el combustible nuclear está
contenido en elementos de combustible que pueden tener va-
rias formas geométricas, por ejemplo la forma de placas, tu-
bos o barras. El material combustible está generalmente con-
15 tenido en un recipiente o vaina conductora del calor, resis-
tente a la corrosión y no reactiva. Los elementos se ensam-
blan conjuntamente en un retículo a distancias fijas los
unos de los otros en un conducto o una región de circula-
ción de refrigerante para formar un conjunto de combustible,
20 y se combinan un número suficiente de conjuntos de combusti-
ble para formar el conjunto de reacción de fisión nuclear en
cadena o núcleo de reactor capaz de una reacción de fisión
automantenida. A su vez, el núcleo está contenido en una va-
sija de reactor a través del cual se hace pasar el refrige-
25 rante.

La vaina tiene varias finalidades y las dos princi-
pales son: en primer lugar, impedir el contacto y las reac-
ciones químicas entre el combustible nuclear y el refrige-
rante o el moderador si se emplea un moderador, o con ambos
30 si se utilizan simultáneamente refrigerante y moderador; y

1 en segundo lugar, impedir que los productos de fisión radioac-
tivos, algunos de los cuales son gaseosos, sean liberados por
el combustible y penetren en el refrigerante o en el modera-
dor o en ambos si se utilizan simultáneamente refrigerante y
5 moderador. Los materiales utilizados corrientemente para la
vaina son el acero inoxidable, el aluminio y sus aleaciones,
el circonio y sus aleaciones, el niobio (columbio), ciertas
aleaciones de magnesio, así como otros metales. Un fallo de
la vaina, por ejemplo una pérdida de su estanqueidad, puede
10 contaminar el refrigerante o el moderador así como los siste-
mas asociados con los productos radioactivos de larga dura-
ción de vida en un grado capaz de perturbar el funcionamien-
to de la central.

Se han presentado dificultades para fabricar y uti-
15 lizar los elementos de combustible nuclear que emplean cier-
tos metales y aleaciones como material de vaina en razón de
las reacciones mecánicas o químicas de estos materiales de
la vaina en ciertas circunstancias. En circunstancias norma-
les, el circonio y sus aleaciones son excelentes metales pa-
20 ra fabricación de vainas de combustible nuclear ya que pre-
sentan unas reducidas secciones transversales de absorción
de neutrones y a temperaturas inferiores a 398°C. aproxima-
damente (750°F.) son resistentes, dúctiles, extremadamente
estables y no reactivos en presencia del agua desmineraliza-
25 da o del vapor que se emplean corrientemente como refrige-
rantes y moderadores en los reactores.

Sin embargo, el funcionamiento del elemento de com-
bustible ha revelado un problema relacionado con la disocia-
ción quebradiza de la vaina debido a las interacciones combi-
30 nadas entre el combustible nuclear, la vaina y los productos

1 de fisión que se producen durante las reacciones de fisión
nuclear. Se ha descubierto que este resultado indeseable es
facilitado por las tensiones mecánicas localizadas debidas
a la dilatación diferencial entre el combustible y la vaina
5 (en la vaina las tensiones se localizan en las grietas del
combustible nuclear). Los productos de fisión corrosivos son
liberados por el combustible nuclear y se sitúan en la inter
sección de las grietas del combustible con la superficie de
la vaina. Se forman productos de fisión en el combustible nu-
10 clear durante la reacción de fisión en cadena resultante del
funcionamiento del reactor nuclear. La fricción elevada en-
tre el combustible y la vaina aumenta mucho las tensiones
localizadas.

En el interior del elemento de combustible hermética-
15 mente cerrado, es posible que se genere gas hidrógeno en ra-
zón de la lenta reacción entre la vaina y el agua residual
situada en la vaina, y este gas hidrógeno puede acumularse
hasta niveles los cuales, en ciertas condiciones, pueden dar
lugar a una hidruración localizada de la vaina con la consi-
20 guiente deterioración local de las propiedades mecánicas de
la vaina. La vaina se ve también perjudicada por gases tales
como oxígeno, nitrógeno, monóxido de carbono y dióxido de car-
bono en una amplia gama de temperaturas.

La vaina de circonio de un elemento de combustible
25 nuclear está expuesta a uno o varios de los gases enumera-
dos más arriba y a los productos de fisión durante la irra-
diación en un reactor nuclear y esto ocurre a pesar del he-
cho de que estos gases pueden no estar presentes en el refri-
gerante o en el moderador del reactor, e incluso pueden haber
30 sido excluidos lo más posible de la atmósfera ambiente duran-

1 te la fabricación de la vaina y del elemento combustible.

Las composiciones refractarias sinterizadas y cerámicas, ta-

les como dióxido de uranio y otras composiciones empleadas

como combustible nuclear, liberan cantidades medibles de

5 los gases en cuestión al ser calentadas, por ejemplo durante

la fabricación del elemento combustible y liberan además pro-

ductos de fisión durante su irradiación. Es conocido que las

composiciones refractarias y cerámicas constituídas por par-

tículas finas, tales como polvos de dióxido de uranio y otros

10 polvos empleados como combustible nuclear, liberan cantida-

des todavía más importantes de los gases en cuestión durante

su irradiación. Estos gases así liberados son capaces de reac-

cionar con la vaina de circonio que contiene el combustible

nuclear.

15 Por tanto, a la luz de lo que antecede, se ha comproba-

do que era conveniente reducir al mínimo el ataque producido

en la vaina por el agua, el vapor de agua y otros gases, en

particular el hidrógeno, que reaccionan con la vaina desde

el interior del elemento de combustible durante todo el tiem-

20 po en el que el elemento de combustible se emplea en las cen-

trales nucleares. Un procedimiento empleado consiste en bus-

car materiales capaces de reaccionar químicamente de manera

rápida con el agua, el vapor de agua y otros gases con el

fin de eliminarlos del interior de la vaina, y estos materia-

25 les se llaman "getters".

Otro procedimiento consiste en revestir el material

combustible nuclear con una cerámica para impedir que la hu-

medad entre en contacto con el material de combustible nu-

clear según se describe en la patente de los Estados Unidos

30 número 3.108.936. En la patente de los Estados Unidos número

1 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 vidrioso unida a
5 las pastillas cerámicas de modo que la capa se sitúa entre
el tubo y el combustible nuclear para asegurar una conducción
térmica uniformemente eficaz entre las pastillas y el tubo.
En la patente de los Estados Unidos número 2.873.238, se des-
cribe unos cartuchos de uranio fisiónables encamisados que
están contenidos en un tubo metálico, estando las camisas o
10 recubrimientos protectores de los cartuchos constituidos por
una capa aglomerada de zinc-aluminio. En la patente de los
Estados Unidos número 2.849.387 se describe un cuerpo fisio-
nable encamisado constituido por una multiplicidad de seccio-
nes de cuerpo encamisadas, con extremidad abierta, hechas
15 de un combustible nuclear que ha sido sumergido en un baño
fundido de material aglomerante para asegurar una unión efi-
cazmente conductora del calor entre las secciones de cuerpo
de uranio y el recipiente (o vaina). Se describe el reve-
stimiento como estando constituido por cualquier aleación me-
20 tálica dotada de buenas propiedades de conducción del calor
y a título de ejemplo se indican aleaciones de aluminio-sili-
cio y zinc-aluminio. En la publicación de patente japonesa
número SHO 47-46559 del 24 de Noviembre de 1.972, se descri-
ben partículas de combustible nuclear separadas aglomeradas
25 en un compuesto de combustible que contiene carbono revis-
tiendo las partículas de combustible con una capa que con-
tiene carbono, lisa y de alta densidad, que se sitúa alrede-
dor de las pastillas. En la publicación de patente japonesa
número SHO 47-14200 se describe otro procedimiento de recu-
30 brimiento en el cual se recubre un grupo de dos grupos de

1 pastillas con una capa de carburo de silicio mientras que se
reviste el otro grupo con una capa de pirocarbono o carburo
metálico.

5 El recubrimiento del material combustible nuclear
plantea problemas de fiabilidad ya que resulta difícil com-
seguir revestimientos uniformes exentos de defectos. Además,
la deterioración del revestimiento puede dar lugar a proble-
mas relacionados con el funcionamiento a largo plazo del ma-
terial combustible nuclear.

10 En la solicitud de patente de los Estados Unidos nú-
mero de serie 330.152 del 6 de Febrero de 1.973, se descri-
be un método para impedir la corrosión de la vaina del com-
bustible nuclear, que consiste en añadir un metal tal como
el niobio al combustible. El aditivo puede tener la forma de
15 un polvo, siempre y cuando la operación de tratamiento ulte-
rior 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, o entre las pastillas
de combustible.

20 El documento GEAP-4555 de Febrero de 1.964 describe
una vaina compuesta hecha de aleación de circonio con un re-
cubrimiento interno de acero inoxidable metalúrgicamente uni-
do a la aleación de circonio, y la vaina compuesta se fabri-
ca estirando un lingote hueco de aleación de circonio pro-
25 visto de un recubrimiento interno de acero inoxidable. Esta
vaina tiene el inconveniente de que el acero inoxidable pro-
duce fases quebradizas, y que la capa de acero inoxidable
produce una absorción de neutrones de 10 a 15 veces superior
a la absorción de una capa de aleación de circonio del mismo
30 espesor.

1 En la patente de los Estados Unidos número 3.502.549
se describe un método para proteger el circonio y sus alea-
ciones por medio de un depósito electrolítico de cromo con
el objeto de obtener un material compuesto utilizable en
5 reactores nucleares. Un método para depositar electrolítica-
mente cobre sobre superficies de Zircaloy-2 y para efectuar
el tratamiento térmico ulterior con el objeto de obtener una
difusión superficial del metal depositado electrolíticamente,
se describe en Energía Nucleare Volumen 11, número 9 (Sep-
10 tiembre 1.964) en las páginas 505-508. En Estabilidad y Com-
patibilidad de las Barreras de Hidrógeno Aplicadas a las Alea-
ciones de Circonio por F. Brossa y Socios (Comunidad Europea
de la Energía Atómica, Centro Conjunto de Investigación Nu-
clear, EUR 4098a1.969), se describen métodos de deposición de
15 diferentes revestimientos y su rendimiento como barreras
de difusión de hidrógeno, conjuntamente con un revestimiento
de Al-Si como barrera más prometedora contra la difusión de
hidrógeno. Se describen unos métodos para formar un revesti-
miento electrolítico de níquel sobre circonio y aleaciones de
20 circonio-estaño y para el tratamiento térmico de estas alea-
ciones con el fin de obtener uniones de aleación-difusión, en
Electrorevestimiento en Circonio y Circonio-Estaño por W. C.
Schickner y Socios (BM1-757, Servicio de Información Técnica,
1.952). En la patente de los Estados Unidos número 3.625.821
25 se describe un elemento combustible para reactor nuclear que
tiene un tubo de envainado de combustible cuya superficie in-
terna está revestida con un metal de retención con reducida
sección transversal de captura de neutrones, por ejemplo ní-
quel, y que incluye unas partículas finamente dispersas de
30 un veneno combustible. En Informe de Progreso y Programa de

1 Desarrollo de Reactores de Agosto de 1.973 (ANL-RDP-19) se describe un sistema de getter químico con una capa de protección de cromo en la superficie interna de una vaina de acero inoxidable.

5 Otro procedimiento utilizado consiste en introducir 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 número 3.230.150 (hoja de cobre), en la publicación de patente alemana DAS 1.238.115 (capa de titanio), en la patente de los Estados Unidos número 3.212.988 (hoja de circonio, aluminio o berilio), en la patente de los Estados Unidos número 3.018.238 (barrera de carbono cristalino entre el UO_2 y la vaina de circonio), y en la patente de los Estados Unidos número 3.088.893 (hoja de acero inoxidable. Aunque la idea de barrera ha demostrado ser prometedora, algunas de las referencias mencionadas más arriba incluyen materiales incompatibles bien con el combustible nuclear (por ejemplo el carbono puede combinarse con el oxígeno procedente del combustible nuclear), o 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 reacción nuclear de fisión (por ejemplo actuando como absorbentes de los neutrones). Ninguna de las referencias enumeradas más arriba describe soluciones al problema recientemente descubierto que está relacionado con las interacciones químico-mecánicas localizadas entre el combustible nuclear y la vaina.

20 Otros procedimientos relacionados con el concepto de barrera se describen en la solicitud de patente de los Estados Unidos número de serie 441.131, del 11 de Febrero de 1.974

1 (metal refractario tal como molibdeno, tungsteno, renio, nio
bio y aleaciones de éstos, en forma de tubo u hoja con una
o varias capas, o en forma de revestimiento en la superficie
interna de la vaina), y en la solicitud de patente de los Es-
5 tados Unidos número de serie 441.133, del 11 de Febrero de
1.974 (capa de circonio, niobio, o aleaciones de estos meta-
les, entre el combustible nuclear y la vaina, interponiendo
una capa de un material con elevado coeficiente de lubrici-
dad, entre el recubrimiento y la vaina).

10 Por consiguiente, sigue siendo conveniente desarro-
llar elementos de combustible nuclear que reduzcan al mínimo
los problemas descritos más arriba.

15 Un elemento de combustible nuclear particularmente
eficaz para ser empleado en el núcleo de un reactor nuclear
tiene una vaina compuesta que incluye un substrato, una ba-
rrera metálica unida metalúrgicamente a la superficie inter-
na del substrato y una capa metálica unida metalúrgicamente
a la superficie interna de la barrera metálica. El substrato
de la vaina no presenta ningún cambio de diseño y de funcio-
20 namiento con relación a los substratos de la técnica ante-
rior utilizados en reactores nucleares y se elige entre ma-
teriales de vaina convencionales tales como aleaciones de
circonio. La barrera metálica y la capa interna forman una
pantalla entre el substrato y el material combustible nu-
25 clear contenido en la vaina. Preferentemente, la barrera me-
tálica representa de 1 a 4% aproximadamente, del espesor de
la pared de la vaina y está constituida por un metal de re-
ducido coeficiente de absorción de neutrones elegido en el
grupo que consiste en niobio, aluminio, cobre, níquel, acero
30 inoxidable y hierro. La capa interna y la barrera metálica

1 constituyen un lugar de reacción preferencial para la reac-
 ción con impurezas volátiles o productos de fisión presentes
 en el interior del elemento combustible nuclear y de este mo-
5 do sirven para proteger la vaina contra el contacto y el ata-
 que de las impurezas volátiles o de los productos de fisión.
 Se describen igualmente métodos de fabricación de la vaina
 compuesta que consisten en (1) adaptar un tubo del metal cons-
 titutivo de la barrera en el interior de un lingote hueco del
 material del substrato y un tubo del metal de la capa interna
10 en el interior del tubo metálico constitutivo de la barrera,
 unir por explosión los tubos con el lingote y estirar el com-
 puesto después de lo cual se efectúa una reducción para ob-
 tener el tubo, (2) adaptar un tubo del metal constitutivo de
 la barrera en el interior de un lingote hueco del metal cons-
15 titutivo del substrato y un tubo del metal constitutivo de
 la capa interna en el interior del tubo del metal constituti-
 vo de la barrera, calentar los tubos y el lingote sometiéndos-
 les a una fuerza de compresión para obtener una unión por di-
 fusión entre los tubos y el lingote y estirar el compuesto
20 después de lo cual se efectúa una reducción para formar el
 tubo, y (3) adaptar un tubo del metal constitutivo de la ba-
 rreira en el interior de un lingote hueco del metal constitu-
 tivo del substrato, y un tubo del metal constitutivo de la
 capa interna en el interior del tubo metálico constitutivo
25 de la barrera, y estirar el compuesto después de lo cual se
 efectúa una reducción en tubo. El invento presenta la enorme
 ventaja que consiste en que el substrato de la vaina está
 protegido contra el contacto con los productos de fisión, los
 gases corrosivos, etc., por medio de la capa interna y de la x
30 barrera metálica y en que la barrera metálica no da lugar a

1 ninguna captura de neutrones notable, ninguna reducción de
la capacidad de transmisión del calor ni tampoco ningún pro-
blema de incompatibilidad combustible-barrera.

5 Los peritos en la materia entenderán fácilmente el
invento leyendo la siguiente descripción y las reivindicacio-
nes adjuntas, refiriéndose a los dibujos adjuntos en los cua-
les:

10 La figura 1 representa una vista en sección parcial-
mente abierta de un conjunto de combustible nuclear que con-
tiene elementos de combustible nuclear contruidos de acuer-
do con el invento.

La figura 2 representa una vista en sección transver-
sal ampliada del elemento de combustible nuclear de la figura
1.

15 Haciendo ahora referencia más particular a la figura
1, se ve en ésta una vista en sección parcialmente abierta
de un conjunto de combustible nuclear 10. Este conjunto de
combustible 10 consiste en un conducto de circulación tubular
11 de sección transversal generalmente cuadrada, provisto en
20 su extremidad superior de un gancho de elevación 12 y en su
extremidad inferior de una pieza de extremidad (no ilustrada
porque se ha omitido la porción inferior del conjunto 10).
La extremidad superior del conjunto 11 está abierta en 13 y
la extremidad inferior de la pieza de extremidad está provista
25 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 él por medio de una placa de
extremidad superior 15 y de una placa de extremidad inferior
(no representada porque la porción inferior ha sido omitida).
30 Normalmente, el refrigerante líquido penetra a través de

1 los orificios formados en el extremo inferior de la pieza
de extremidad, sube alrededor de los elementos de combusti-
ble 14, y sale por el orificio superior 13 en estado parcial-
mente vaporizado cuando el reactor es del tipo de ebullición,
5 o no vaporizado en el caso de reactores presurizados a tem-
peratura elevada.

Los elementos o las barras de combustible nuclear 14
se cierran herméticamente en sus extremidades por medio de
obturadores de extremidad 18 soldados en la vaina 17, y que
10 pueden incluir unos pernos 19 para facilitar el montaje de
la barra combustible en el conjunto. Un espacio no ocupado
o cámara de pleno 20 está formado en una extremidad del ele-
mento para permitir la dilatación longitudinal del material
combustible y la acumulación de los gases liberados por el
15 material combustible. Un dispositivo de retención 24 del ma-
terial combustible nuclear que tiene la forma de un elemento
helicoidal está dispuesto en el espacio 20 para impedir el
movimiento axial de la columna de pastillas, en particular
durante las operaciones de manipulación y transporte del ele-
20 mento combustible.

El elemento combustible está diseñado para asegurar
un excelente contacto térmico entre la vaina y el material
combustible, una mínima absorción parásita de los neutrones
y la máxima resistencia a la flexión y a las vibraciones pro-
25 ducidas ocasionalmente por la circulación del refrigerante
a gran velocidad.

En la figura 1 se representa en sección parcial un
elemento o barra de combustible nuclear 14 construida de acuer-
do con las enseñanzas del invento. El elemento de combustible
30 incluye un núcleo o porción cilíndrica central de material

1 combustible nuclear 16, que se representan aquí bajo la forma de una multiplicidad de pastillas de combustible de material fisionable y/o fértil, dispuestas en una vaina o recipiente de soporte 17. En algunos casos, las pastillas de combustible pueden tener formas diferentes, por ejemplo pueden ser pastillas cilíndricas o esféricas, y en otros casos pueden emplearse formas de combustible diferentes, por ejemplo un combustible en forma de partículas. La forma física del combustible no tiene relación con el invento. Pueden utilizarse varios materiales de combustible nuclear en los cuales se incluyen los compuestos de uranio, los compuestos de plutonio, los compuestos de torio y mezclas de éstos. Un combustible preferido es el dióxido de uranio o una mezcla constituida por dióxido de uranio y dióxido de plutonio.

5
10
15
20
25
30
Examinando ahora la figura 2, se ve que el material combustible nuclear 16 que forma el núcleo central del elemento combustible 14 está rodeado por una vaina 17 la cual en este invento se llama también vaina compuesta. La vaina compuesta tiene un substrato 21 elegido entre los materiales convencionales de fabricación de vainas, tales como acero inoxidable y aleaciones de circonio, y en un modo de realización preferida del invento, el substrato es una aleación de circonio tal como el Zircaloy-2. El substrato 21 lleva unida metalúrgicamente en su diámetro interno una barrera metálica 22 de tal manera que esta barrera metálica forme una pantalla entre el substrato y el material combustible nuclear en el interior de la vaina compuesta. Preferentemente, la barrera metálica representa de 1 a 4% aproximadamente del espesor de la vaina y está constituida por un metal elegido en el grupo que consiste en niobio, aluminio, cobre, níquel, ace

1 ro inoxidable y hierro. La barrera metálica 22 lleva unida
metalúrgicamente en su diámetro interno una capa interior 23
de tal manera que esta capa constituya la parte de la vaina
compuesta más próxima al material combustible nuclear 16. La
5 capa interna representa preferentemente de 5 a 15% aproxima-
damente del espesor de la vaina y está constituida por mate-
riales convencionales de formación de vaina, tales como ace-
ro inoxidable y aleaciones de circonio, y en un modo de rea-
lización preferido del invento, el substrato es una aleación
10 de circonio tal como el Zircaloy-2. La barrera metálica sir-
ve como emplazamiento preferencial de reacción para las impu-
rezas gaseosas y los productos de fisión que bien han difusa-
do a través de la capa interna 23 o bien que la han perfora-
do por corrosión, y protege la vaina contra el contacto y la
15 reacción con dichas impurezas y productos de fisión. En otro
modo de realización preferido del invento, el substrato y la
capa interna están constituidos por el mismo material, y un
material preferido es una aleación de circonio tal como el
Zircaloy-2. La vaina compuesta del elemento combustible nu-
20 clear según el invento tiene una barrera metálica unida me-
talúrgicamente al substrato y una capa interna unida metalúr-
gicamente a la barrera metálica. Un examen metalográfico in-
dica que existe una difusión transversal suficiente entre el
substrato y la barrera metálica, y entre la barrera metálica
25 y la capa interna, para formar uniones metalúrgicas, siendo
sin embargo insuficiente la difusión transversal para formar
una aleación con la barrera metálica propiamente dicha. Igual-
mente, se ve en la figura 2 que la barrera metálica podría lla-
marse barrera metálica "enterrada".

30

Se ha descubierto que una barrera metálica preferen-

1 temente del orden de 1 a 4% por lo menos del espesor de la
pared de la vaina, unida metalúrgicamente al substrato y a
la capa interna asegura una resistencia química suficiente
5 para impedir la propagación de los fallos desde la capa in-
terna hasta el substrato de la vaina. La barrera metálica
proporciona una resistencia química notable a los productos
de fisión y a los gases que pueden estar presentes en el ele-
mento de combustible nuclear e impide que estos productos de
fisión y estos gases entren en contacto con el substrato de
10 la vaina compuesta protegida por la barrera metálica.

 En un elemento de combustible típico, el substrato
de la vaina compuesta tiene un espesor que puede variar entre
0,6 y 0,75 mm. (24 a 30 mil/pulg), el espesor de la barrera
metálica varía de 0,0125 a 0,025 mm. (0,5 a 1 mil/pulg) y el
15 espesor de la capa interna es aproximadamente de 0,075 mm.
(3 mil/pulg). En otros modos de realización, la barrera me-
tálica se sitúa más cerca de la superficie externa de la vai-
na compuesta que en el ejemplo anterior.

 La vaina compuesta utilizada en los elementos de com-
20 bustible nuclear según el invento puede fabricarse utilizan-
do uno cualquiera de los siguientes métodos.

 En un método, se introduce un tubo del metal elegi-
do para ser el metal constitutivo de la barrera, en un lingote
hueco del material elegido para ser el substrato, a con-
25 tinuacion se introduce un tubo del material elegido para cons-
tituir la capa interna en el tubo de metal constitutivo de
la barrera, y finalmente se somete el conjunto a una explo-
sión para unir los tubos con el lingote. Se estira el compues-
to utilizando técnica convencional de extrusión a temperatu-
30 ras elevadas de aproximadamente 538 a 760°C. (1.000 a 1.400°F.)

1 A continuación se somete el compuesto estirado a una operación convencional de reducción del diámetro del tubo hasta obtener una vaina del tamaño deseado.

5 En otro método se introduce un tubo del metal elegido para constituir la barrera metálica en un lingote hueco de material elegido para constituir el substrato, a continuación se introduce un tubo del material elegido para constituir la capa interna en el tubo de metal constitutivo de la barrera y finalmente se somete el conjunto a una fase de calentamiento (por ejemplo 750°C. durante 8 horas) para obtener una unión por difusión entre los tubos y el lingote. El compuesto se estira utilizando un procedimiento convencional de extrusión de tubo tal como el que se describe más arriba en el párrafo inmediatamente anterior. Finalmente se somete el compuesto estirado a una operación de reducción de diámetro de tubo convencional hasta obtener la vaina de la dimensión deseada.

15 En otro método, se introduce un tubo del metal elegido para constituir la barrera metálica en un lingote hueco de la aleación elegida para constituir el substrato, se introduce un tubo del material elegido para constituir la capa interna en el tubo metálico constitutivo de la barrera y finalmente se estruja el conjunto utilizando un procedimiento de estirado convencional del tipo descrito más arriba. A continuación se somete el compuesto estirado a una operación de reducción convencional del diámetro del tubo hasta obtener la vaina del tamaño deseado.

20 Las operaciones anteriores de fabricación de la vaina compuesta según el invento permiten efectuar economías respecto a los demás procedimientos empleados en la fabricación

25

30

1 de la vaina tales como las operaciones de recubrimiento elec-
trolítico o con vapor.

5 El invento incluye un método para producir un elemen-
to de combustible nuclear que consiste en preparar un recipien-
te de envainado compuesto abierto en una extremidad, incluyen-
do el recipiente de envainado un substrato, una barrera me-
tálica unida metalúrgicamente a la superficie interna del subs-
trato y una capa interna unida metalúrgicamente a la super-
ficie interior del substrato metálico, llenar el recipiente
10 de envainado compuesto con material combustible nuclear dejan-
do una cavidad en la extremidad abierta, introducir un dispo-
sitivo de retención de material combustible nuclear en la ca-
vidad, aplicar un cierre en la extremidad abierta del recipien-
te dejando la cavidad en comunicación con el combustible nu-
clear, y finalmente unir la extremidad del recipiente de en-
vainado con dicho cierre para formar una junta hermética en-
tre estos elementos.

15 El invento presenta diversas ventajas que permiten
obtener una larga vida útil del elemento de combustible nu-
clear, que incluyen la reducción de la hidruración del
20 substrato de la vaina, la reducción a un valor mínimo de las
tensiones localizadas en el substrato de la vaina, la reduc-
ción al mínimo de la corrosión debida a tensiones y fuerzas
aplicadas al substrato de la vaina, la reducción y la proba-
25 bilidad de un fallo debido a disociación del substrato de la
vaina y la prevención de la propagación de las grietas debi-
das a corrosión producida por tensiones a través de la vaina
compuesta. El invento impide además la dilatación (o hincha-
miento) del combustible nuclear en contacto directo con el
30 substrato de la vaina, impidiendo así que se formen fuerzas

1 localizadas en el substrato de la vaina, la iniciación o
la aceleración de la corrosión producida por fuerzas en el
substrato de la vaina y la unión del combustible nuclear
con el substrato de la vaina.

5 Una propiedad importante de la vaina compuesta según
el invento consiste en que las mejoras descritas más arriba
se consiguen con una absorción suplementaria de neutrones
insignificante o moderada (según la elección del material cons-
titutivo de la barrera). Dicha vaina se acepta fácilmente en
10 los reactores nucleares, ya que la vaina da lugar a combina-
ciones eutécticas mínimas (según el material elegido para
la barrera) en la porción de substrato de la vaina en caso
de pérdida accidental de refrigerante o en caso de caída de
la barra de control nuclear. Además, la vaina compuesta re-
duce muy poco la transferencia del calor ya que no existe
15 barrera térmica capaz de oponerse a la transmisión del ca-
lor como en el caso en el que se utiliza en un elemento de
combustible una hoja o un recubrimiento separado. Igualmen-
te, la vaina compuesta según el invento, puede ser inspec-
cionada utilizando métodos de verificación no destructivos
20 convencionales en las varias fases de su fabricación.

Además de lo que antecede, cuando se elige una alea-
ción de circonio para constituir el substrato y la capa in-
terna, las superficies internas y externas de la vaina com-
25 puesta son compatibles con los procedimientos de fabricación
de la vaina para reactor nuclear de agua ligera lo que per-
mite emplear procedimientos de fabricación, lubricantes, agen-
tes de ataque químico, etc. convencionales.

Los peritos en la materia entenderán más completamen-
30 te el invento leyendo los siguientes ejemplos del invento que

1 se dan a título ilustrativo y sin caracter limitativo.

EJEMPLOS 1 - 4

5 Se mecanizaron, limpiaron y ensamblaron lingotes y elementos de inserción utilizando procedimientos normalizados de estirado, y se eligieron todas las dimensiones de modo que los lingotes compuestos puedan ser estirados en una prensa de extrusión en caliente.

10 Los lingotes estaban hechos de Zircaloy-2 normal de acuerdo con la norma ASTM B353 calidad RA-1 y los elementos de inserción se hicieron con niobio de alta pureza y acero inoxidable 304L (ASTM-A312). Los orificios del lingote y de los elementos de inserción presentaban todos una conicidad de 0,08 mm/cm (8 mil. pulg./pulg.) y se sometieron conjuntamente a la acción de una prensa para obtener un buen contacto entre las superficies correspondientes. Las dimensiones de las piezas mecanizadas fueron las siguientes:

	Lingote		Barr. enterr.		Barr.int.	
	Long.xDiam.ext.	Diam.int.	Diam.ext.	Diam.int.	Diam.ext.	Diam.int.
	cm.	(pulgadas)	cm.(pulg.)	cm.(pulg.)	cm.(pulg.)	cm.(pulg.)
20						
1.	Barrera enterrada de Nb	24,13 x 14,57 x 6,57 (9,5 x 5,74 x 2,59)	6,57 - 6,19 (2,59 - 2,44)	6,19 - 4,21 (2,44 - 1,66)		
25	2.	Barrera enterrada de Nb	24,13 x 14,57 x 6,57 (9,5 x 5,74 x 2,59)	6,57 - 6,19 (2,59 - 2,44)	6,19 - 4,21 (2,44 - 1,66)	
	3.	Barrera enterrada acero inox.	24,13 x 14,57 x 6,70 (9,5 x 5,74 x 2,64)	6,70 - 6,19 (2,64 - 2,44)	6,19 - 4,21 (2,44 - 1,66)	
30	4.	Barrera enterrada acero inox.	24,13 x 14,57 x 6,50 (9,5 x 5,74 x 2,56)	6,50 - 6,19 (2,56 - 2,44)	6,19 - 4,21 (2,44 - 1,66)	

1 Antes de ensamblar los lingotes y los elementos de
inserción, se sometieron las superficies destinadas a estar
en contacto a un ligero ataque químico para eliminar los ras-
tros de impurezas. El agente de ataque químico empleado para
5 el Zircaloy-2 era una solución constituida por 70 ml H₂O, 30
ml de HNO₃ y 5 ml de HF;

 y para el niobio una solución de 7,5 ml de HCL, 7,5
ml de H₂SO₄, 4 ml de HNO₃, 31 ml de H₂O, y 2 ml de HF.

10 El acero inoxidable se sometió a una operación de pu-
limentación con papel esmeril fino y se limpió con acetona y
agua desionizada.

 Para obtener las posibilidades de obtener una unión
satisfactoria entre los elementos de inserción y los lingotes
durante la extrusión, se decidió unir los conjuntos. Esto se
15 hizo prensando los elementos de inserción cónicos en el agujero
cónico de los lingotes en una atmósfera de vacío igual o
inferior a 20 μ m, manteniendo la temperatura del lingote en
760°C. (1.400°F.) durante 8 horas. Las fuerzas aplicadas a
los elementos de inserción durante la operación inicial de
20 prensado variaban entre 13.590 y 20.385 Kg (30-45.000 Lbs.)
Para reducir las pérdidas de extremidad durante la extrusión,
se soldó una pieza de 50,8 mm. de lingote de Zircaloy-2 en
cada extremo de los lingotes compuestos y se mecanizaron al
ras del lingote.

25 La extrusión de los lingotes en piezas destinadas a
formar tubo se hizo utilizando los siguientes parámetros: ve-
locidad de extrusión: 152,4 mm/min. (6 pulg./min.)

 Relación de reducción: 6:1

 Temperatura: 593,3°C. (1.100°F.), y

30 Fuerza de extrusión: 3.500 Tm.

1 Todas las superficies del lingote salvo el agujero y
 también el mandril flotante se lubricaron con un lubricante
 soluble al agua que se sometió a la acción de un horno a
 704,6°C. (1.300°F.) durante 1 hora. Se cortaron limpiamente
 5 ambos extremos de las piezas destinadas a formar el tubo y se
 rectificó el diámetro interior para eliminar posibles ondula-
 ciones superficiales y mejorar el acabado. Las dimensiones fi-
 nales de las piezas destinadas a formar tubo eran las siguien-
 tes: diámetro exterior: 6,35 cm (2,5 pulg.),

10 Diámetro interior: 4,16 cm (1,64 pulg.), y
 Longitud: 1,524 m (5 piés)

 La reducción final de las piezas destinadas a formar
 los tubos en vainas para combustible se hizo de acuerdo con
 el procedimiento normalizado que incluye cuatro reducciones
 15 con operaciones de limpieza y de recocido entre cada opera-
 ción. Los parámetros de este procedimiento se indican en la
 tabla 1.

TABLA 1

PARAMENTOS DE ESTIRADO DE REDUCCION DEL TUBO

<u>Fase</u>	<u>Diam. ext.</u>	<u>Espesor del compuesto</u>	<u>Diam. int. del tubo de inserc. de la barr.met.</u>	<u>% de reducción</u>	<u>Qe³</u>
Empezar con pieza para formar tubo	6,35 cm (2,5")	1,09 cm (0,430")	4,19 cm (1,65")	--	--
Limpiar para recocido (desengrasar - jabón de base caústica)					
Recocer - 677°C. (1.250°F.) - 1 hora					
1ª pasada	4,28 cm (1,687")	0,68 cm (0,270")	2,91 cm (1,147")	57	1,2
Limpiar para recocido					
Recocer - 621°C. (1.150°F.) - 1 hora					

Fase	Diam. ext.	Espesor del compuesto	Diam. int. del tubo de inserc. de la barr.met.	% de reducción	Qe [⊠]
2ª pasada	2,85 cm (1,125")	0,40 cm (0,160")	2,04 cm (0,805")	60	1,4
Limpiar para recocer					
Recocer - 621°C. (1.150°F.) - 1 hora					
3ª pasada	1,90 cm (0,750")	0,21 cm (0,085")	1,47 cm (0,580")	64	1,7
Limpiar para recocer					
Recocer - 621°C. (1.150°F.) - 1 hora					
4ª pasada	1,25 cm (0,495")	0,07 cm (0,028")	1,11 cm (0,439")	70	2,3
Limpiar para recocer					
Recocer - 577°C. (1.070°F.) - 2,5 horas a 4 horas					
Ataque químico a					
	1,25 cm (0,494")	0,07 cm (0,028")	1,11 cm (0,438")		

Qe[⊠] se define como siendo la relación entre el porcentaje de cambio de espesor de la pared y el porcentaje de cambio del diámetro medio.

Las dimensiones de los productos finales se indican en la tabla 2.

TABLA 2

	Diam.int. cm (pulg)	Diam.ext. cm (pulg)	Dimensiones en mm (mil. pulg.) Barrera metálica - Capa interna	
Ejemplo 1	1,11 (0,438)	1,25 (0,494)	0,025 ± 0,005 (1,0 ± 0,2)	0,078 ± 0,015 (3,1 ± 0,6)
Ejemplo 2	1,11 (0,438)	1,25 (0,494)	0,025 ± 0,005 (1,0 ± 0,2)	0,078 ± 0,012 (3,2 ± 0,5)

	<u>Diam.int.</u> <u>cm (pulg)</u>	<u>Diam.ext.</u> <u>cm (pulg)</u>	<u>Dimensiones en mm (mil. pulg.)</u> <u>Barrera metálica - Capa interna</u>	
1 Ejemplo 3	1,11 (0,438)	1,25 (0,494)	0,035 ± 0,005 (1,4 ± 0,2)	0,091 ± 0,005 (3,6 ± 0,2)
5 Ejemplo 4	1,11 (0,438)	1,25 (0,494)	0,025 ± 0,0025 (1,0 ± 0,1)	0,076 ± 0,015 (3,0 ± 0,2)

En resumen, la presente patente de invención que se solicita deberá recaer en las siguientes.

REIVINDICACIONES

10 1. Elemento de combustible nuclear que incluye (a) un núcleo central de un cuerpo de material combustible nuclear y (b) un recipiente de envainado compuesto de forma alargada que incluye un substrato, una barrera metálica unida metalúrgicamente a la superficie interna del substrato y una capa interna unida metalúrgicamente a la superficie interior de la barrera metálica.

15 2. Elemento de combustible nuclear según la reivindicación 1, caracterizado porque incluye además una cavidad en el interior del elemento de combustible y un dispositivo de retención de material combustible nuclear que está constituido por un elemento helicoidal dispuesto en la cavidad.

20 3. Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque la barrera metálica está hecha de aluminio, cobre, niobio, níquel, acero inoxidable o hierro.

25 4. Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 - 3, caracterizado porque el substrato es una aleación de circonio.

30 5. Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 - 4, caracterizado porque la capa interna es una

1 aleación de circonio.

6. Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 - 5, caracterizado porque el material combustible nuclear está constituido por compuestos de uranio, compuestos de plutonio o mezclas de éstos.

5 7. Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 - 6, caracterizado porque el material combustible nuclear está constituido por dióxido de uranio.

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

10 9. Elemento de combustible nuclear según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho núcleo central de un cuerpo de material combustible nuclear está dispuesto en dicho recipiente, llenándolo parcialmente, y un cierre está sujeto y herméticamente adaptado en cada extremidad de dicho recipiente.

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

20 **ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR.**

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

25

Madrid, 22 octubre 1.975

BERNARDO UNGRTA

D.P.



30

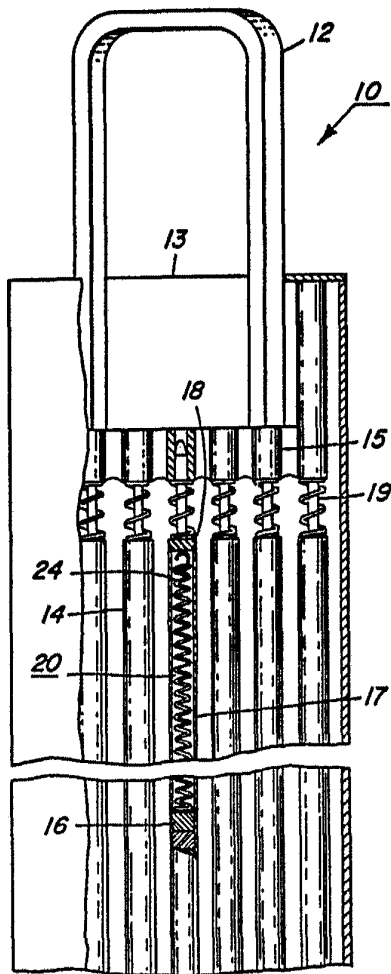


Fig. 1

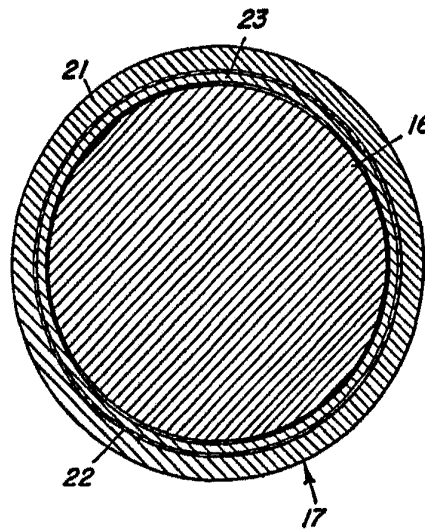


Fig. 2

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