

442003



Int. Cl.²: G21C

CONCEDIDA

20 SET. 1977

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 522.856 del 1 Noviembre 1.974.

BAD ORIGINAL



1 El invento se refiere de manera general a una mejora
introducida en elementos de combustible nuclear destinados a ser
empleados en el núcleo de reactores nucleares del tipo de fisión,
y más particularmente a un elemento de combustible nuclear mejo-
5 rado dotado de una vaina compuesta que incluye un substrato y
una barrera metálica unida metalúrgicamente a la superficie in-
terna del substrato.

Actualmente se diseñan, construyen y hacen funcionar
reactores nucleares en los cuales el combustible nuclear está
10 contenido en elementos de combustible que pueden tener varias
formas geométricas, por ejemplo la forma de placas, tubos o ba-
rras. Usualmente, el material combustible está contenido en un
recipiente o vaina conductora del calor resistente a la corro-
sión y no reactiva. Los elementos se ensamblan conjuntamente en
15 un retículo a distancias fijas los unos de los otros en el inte-
rior de un conducto o región de circulación de refrigerante que
forma un conjunto de combustible, y se combinan conjuntos de
combustible en número suficiente para formar el conjunto de reac-
ción nuclear de fisión en cadena, o núcleo de reactor, capaz de
20 efectuar una reacción de fisión automantenida. A su vez, el nú-
cleo está contenido en el interior de la vasija del reactor a
través de la cual se hace pasar un refrigerante.

La vaina tiene varias finalidades y dos de las prin-
cipales son: en primer lugar impedir el contacto y las reaccio-
25 nes químicas entre el combustible nuclear y el refrigerante o el
moderador si se emplea un moderador, o con ambos si se utilizan
a la vez refrigerante y moderador; y en segundo lugar, impedir
que los productos radioactivos de la fisión, algunos de los cua-
les son gaseosos, se desprendan del combustible y entren en con-
30 tacto con el refrigerante o el moderador si se utilizan simultá-



1 neamente refrigerante y moderador. Los materiales de envainado
corrientes son, el acero inoxidable, el aluminio y sus aleacio-
nes, el circonio y sus aleaciones, el niobio (columbio), algu-
5 la vaina, por ejemplo la pérdida de su estanquidad, puede pro-
ducir una contaminación del refrigerante o del moderador y de
los sistemas asociados con productos radioactivos de larga vida
en un grado capaz de perjudicar el funcionamiento de la central.

Se han presentado problemas en la fabricación y en la
10 utilización de los elementos de combustible nuclear que emplean
algunos metales y aleaciones para constituir el material de la
vainas para combustible nuclear ya que presentan una reducida
15 sección transversal de absorción de neutrones a temperaturas in-
feriores a 398°C. aproximadamente (750°F.) son resistentes, dúc-
tiles, extremadamente estables y no reactivos en presencia del
agua desmineralizada o del vapor que se utiliza corrientemente
20 como refrigerantes o moderadores en los reactores.

Sin embargo, el funcionamiento de los elementos de
combustible ha revelado una dificultad relacionada con la diso-
ciación quebradiza de la vaina debido a interacciones combinadas
entre el combustible nuclear, la vaina y los productos de fisión,
25 que se forman durante las reacciones nucleares de fisión. Se ha
descubierto que este resultado indeseable es facilitado por las
fuerzas mecánicas localizadas debidas a la dilatación diferencial
entre combustible y vaina (las fuerzas que se aplican a la vaina
están localizadas en las grietas del combustible nuclear). El
30 combustible nuclear libera productos de fisión y estos productos



1 están presentes en la intersección de las grietas del combustible
con la superficie de la vaina. Se forman productos de fisión en
el combustible nuclear, durante la reacción de fisión en cadena
mientras el reactor nuclear funciona. Un frotamiento elevado en-
5 tre el combustible y la vaina exagera las fuerzas localizadas.

En el interior del elemento de combustible hermética-
mente cerrado, es posible que se genere gas hidrógeno debido a
la lenta reacción entre la vaina y el agua residual contenida
en la vaina, y este gas hidrógeno puede acumularse hasta niveles
10 los cuales, en ciertas condiciones son capaces de producir una
hidruración localizada de la vaina con la resultante deteriora-
ción localizada de las propiedades mecánicas de la vaina. La vai-
na es también perjudicada por gases tales como oxígeno, nitróge-
no, monóxido de carbono y dióxido de carbono en una amplia gama
15 de temperaturas.

La vaina de circonio de un elemento de combustible nu-
clear está sometida a la acción de uno o varios de los gases enu-
merados más arriba y de los productos de fisión, durante la irra-
diación en un reactor nuclear, y ésto se produce a pesar del he-
20 cho de que estos gases pueden no estar presentes en el refrige-
rante o en el moderador del reactor, incluso pueden haber sido
excluidos de la atmósfera ambiente lo más posible durante la fa-
bricación de la vaina y del elemento de combustible. Las compo-
siciones refractarias y cerámicas sinterizadas, tales como el
25 dióxido de uranio y otras composiciones utilizadas como combusti-
ble nuclear, desprenden cantidades medibles de los gases mencio-
nados más arriba al ser calentadas, por ejemplo durante la fabri-
cación del elemento de combustible y además liberan productos de
fisión durante su irradiación. Las composiciones refractarias y
30 cerámicas, a base de partículas finas, tales como polvo de dióxido



1 de uranio y otros polvos empleados como combustible nuclear, tie
nen la propiedad bien conocida de liberar cantidades todavía más
importantes de los gases en cuestión durante la irradiación. Es-
tos gases, al ser liberados, son capaces de reaccionar con la vai
5 na de circonio que contiene el combustible nuclear.

Por tanto, a la luz de lo que antecede, se ha comproba
do que es conveniente reducir al mínimo el ataque de la vaina
producido por el agua, el vapor de agua y otros gases en parti-
cular el hidrógeno, que reaccionan con la vaina desde el interior
10 del elemento de combustible durante todo el tiempo en el que se
emplea el elemento de combustible para hacer funcionar centrales
de energía nuclear. Un procedimiento empleado consiste en buscar
materiales capaces de reaccionar químicamente de manera rápida
con el agua, el vapor de agua y otros gases, con el fin de eli-
15 minarlos del interior de la vaina, y estos materiales se llaman
"getters".

Otro procedimiento consiste en revestir el material
combustible nuclear con una cerámica para impedir que la humedad
entre en contacto con el material combustible nuclear según se
20 describe en la patente de los Estados Unidos número 3.108.396.
En la patente de los Estados Unidos número 3.085.059 se describe
un elemento combustible que incluye un tubo metálico que contie-
ne una o varias pastillas de material cerámico fisionable y una
capa de material vidrioso unida a las pastillas de cerámica de
25 modo que la capa se sitúe entre el tubo y el combustible nuclear
para asegurar una conducción del calor uniformemente eficaz en-
tre las pastillas y el tubo. La patente de los Estados Unidos
número 2.873.238 presenta unos cartuchos de uranio fisionables
y encamisados, dispuestos en un tubo metálico, estando las cami-
30 sas o recubrimientos protectores de los cartuchos constituidos



1 por una capa aglomerada de zinc-aluminio. En la patente de los
Estados Unidos número 2.849.387 se describe un cuerpo fisiona-
ble encamisado que incluye una multiplicidad de secciones de
cuerpo encamisadas y con extremidad abierta hechos de un com-
5 bustible nuclear y que han sido sumergidas en un baño fundido
de un material aglomerante para obtener una unión eficazmente
conductora del calor entre las secciones del cuerpo de uranio
y el recipiente (o vaina). El revestimiento descrito está cons-
tituido por cualquier aleación metálica dotada de buenas propie-
10 dades de conducción del calor y a título de ejemplo se indican
aleaciones de aluminio-silicio y zinc-aluminio. En la publica-
ción de patente japonesa número SHO 47-46559 del 24 de Noviembre
de 1.972, se describe un procedimiento de aglomeración de partí-
culas de combustible nuclear separadas en un compuesto aglomera-
15 do de combustible que contiene carbono revistiendo las partícu-
las de combustible con una capa lisa que contiene carbono, de
alta densidad, situada alrededor de las pastillas. Otro revesti-
miento se describe en la publicación de patente japonesa número
SHO 47-14200 y en este revestimiento uno de dos grupos de pasti-
20 llas está revestido con una capa de carburo de silicio mientras
que el otro grupo está revestido con una capa de pirocarbono o
carburo metálico.

El revestimiento del material combustible nuclear plantea
problemas de fiabilidad porque resulta difícil obtener revestimien-
25 tos uniformes exentos de defectos. Además, la deterioración del
revestimiento puede dar lugar a dificultades relacionadas con el
funcionamiento a largo plazo del material combustible nuclear.

En la solicitud de patente de los Estados Unidos número
de serie 330.152 del 6 de Febrero de 1.973, se describe un méto-
30 do para impedir la corrosión de la vaina de combustible nuclear



1 que consiste en añadir un metal tal como niobio al combustible.
El aditivo puede tener la forma de un polvo, siempre y cuando
las siguientes operaciones del tratamiento del combustible no
oxiden el metal, o puede incorporarse en el elemento combusti-
5 ble bajo la forma de alambres, hojas o en otras formas, dentro,
alrededor, o entre las pastillas de combustible.

El documento GEAP-4555 de Febrero de 1.964 describe una vaina compuesta hecha de aleación de circonio con una capa interna de acero inoxidable unida metalúrgicamente a la aleación
10 de circonio, y se fabrica la vaina compuesta mediante estirado de un lingote hueco de la aleación de circonio provisto de un recubrimiento interno de acero inoxidable. Esta vaina presenta el inconveniente que consiste en que el acero inoxidable desar-
rolla fases quebradizas, y la capa de acero inoxidable presen-
15 ta una absorción de neutrones igual a 10 ó 15 veces la absorción de una capa de aleación de circonio del mismo espesor.

En la patente de los Estados Unidos número 3,502.549 se describe un método para proteger el circonio y sus aleaciones mediante un depósito electrolítico de cromo para obtener un ma-
20 terial compuesto utilizable en reactores nucleares. Un método pa-
ra efectuar un depósito electrolítico de cobre sobre superficies de Zircaloy-2 y el tratamiento térmico ulterior con el objeto de obtener la difusión superficial del metal depositado electrolíti-
camente, se describe en Energía Nucleare, volumen 11, número 9,
25 (Septiembre 1.964), páginas 505-508. En Estabilidad y Compatibili-
dad de las Barreras de Hidrógeno Aplicadas a Aleaciones de Cir-
conio por F. Brossa y Socios (Comunidad Europea de la Energía
Atómica, Centro Conjunto de Investigación Nuclear, EUR 4098e 1969),
se describen unos métodos para depositar diferentes revestimien-
30 tos y su rendimiento como barreras de difusión de hidrógeno, con-



1 juntamente con un revestimiento de Al-Si como barrera más inte-
resante contra la difusión del hidrógeno. En Electrorecubrimien-
to sobre Zirconio y Zirconio-Estano, por W. C. Schickner y So-
cios (BM1-757, Servicio de Información Técnica, 1.952) se descri-
5 ben unos métodos para depositar electrolíticamente níquel sobre
circonio y aleaciones de circonio-estaño así como el tratamien-
to térmico de estas aleaciones para producir uniones de alea-
ción-difusión. En la patente de los Estados Unidos número
3.625.821 se describe un elemento de combustible para reactor
10 nuclear que tiene un tubo de envainado de combustible cuya super-
ficie interna está revestida con un metal de retención dotado
de una reducida sección de captura de neutrones tal como el ní-
quel y que incluye en su interior unas partículas finamente dis-
persas de un veneno combustible. En Informe de Progreso del Pro-
15 grama de Desarrollo de Reactores de Agosto de 1.973 (ANL-RDP-19)
se describe un dispositivo de getter químico constituido por una
capa de protección de cromo sobre la superficie interna de una
vainas de acero inoxidable.

Otro procedimiento utilizado consiste en emplear una
20 barrera entre el material combustible nuclear y la vaina que con-
tiene 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 ti-
tanio), en la patente de los Estados Unidos número 3.212.988 (vai-
25 na de circonio, aluminio o berilio), en la patente de los Esta-
dos Unidos número 3.018.238 (barrera de carbono cristalino entre el
UO₂ y la vaina de circonio), y en la patente de los Estados Uni-
dos número 3.088.893 (hoja de acero inoxidable). Aunque la idea
de barrera parece interesante, algunas de las referencias que an-
30 teceden incluyen materiales incompatibles bien con el combustible



1 nuclear (por ejemplo el carbono puede combinarse con el oxígeno
procedente del combustible nuclear), o la vaina (por ejemplo el
cobre y otros metales pueden reaccionar con la vaina, alterando
las propiedades de la misma), o con la reacción de fisión nu-
5 clear (por ejemplo actuando como absorbentes de neutrones). Min-
guna de las referencias mencionadas describe soluciones al pro-
blema recientemente descubierto que está relacionado con las
interacciones químico-mecánicas localizadas entre el combusti-
ble nuclear y la vaina.

10 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 (me-
tal refractario tal como molibdeno, tungsteno, renio, niobio y
aleaciones de éstos, en forma de tubo u hoja con una o varias
15 capas, o un revestimiento sobre la superficie interna de la vai-
na), y en la solicitud de patente de los Estados Unidos número
de serie 441.133, del 11 de Febrero de 1.974 (recubrimiento de
circonio, niobio, o aleaciones de estos metales entre el combus-
tible nuclear y la vaina, con una capa de material de alto coe-
20 ficiente de lubricidad entre el revestimiento y la vaina).

Por tanto, sigue siendo conveniente desarrollar ele-
mentos de combustible nuclear en los cuales se reduzcan al míni-
mo los problemas descritos más arriba.

25 Un elemento de combustible nuclear particularmente
eficaz para ser utilizado en el núcleo de un reactor nuclear in-
cluye una vaina compuesta que tiene un substrato y una barrera
metálica unida metalúrgicamente en la superficie interna del
substrato de modo que la barrera metálica protega el substrato
contra el material combustible nuclear contenido en la vaina.
30 La barrera metálica constituye aproximadamente 1 a 30% del espe



1 sor de la vaina, y está constituida por circonio sustancialmente
puro dotado de un reducido coeficiente de absorción de neutrones.
La barrera metálica sirve como emplazamiento preferencial para
la reacción con las impurezas volátiles o los productos de fi-
5 sión presentes en el interior del elemento de combustible nuclear,
y de esta manera sirve para proteger el substrato contra la ac-
ción y el ataque de las impurezas volátiles o de los productos
de fisión. La porción de substrato de la vaina no presenta nin-
gún cambio de diseño y funcionamiento con relación a la técnica
10 anterior de los reactores nucleares y se eligen los materia-
les convencionales que se utilizan para formar la vaina, tales
como aleaciones de circonio. Se describen igualmente unos méto-
dos de fabricación de la vaina compuesta que consisten en (1)
adaptar un tubo hueco del metal destinado a constituir la barre-
15 ra en el interior de un lingote hueco del substrato, unir explo-
sivamente el tubo con el lingote y estirar el elemento compues-
to después de lo cual se efectúa la reducción en tubo, (2) adap-
tar un tubo hueco del metal destinado a constituir la barrera en
el interior de un lingote hueco en el substrato, calentar el tu-
20 bo y el lingote bajo presión para producir una unión por difu-
sión entre el tubo y el lingote, y estirar el elemento compuesto
después de lo cual se efectúa la reducción en tubo, y (3) adap-
tar un tubo del metal destinado a constituir la barrera en el in-
terior de un lingote hueco del substrato y estirar el elemento
25 compuesto después de lo cual se efectúa la reducción en tubo. El
invento tiene la ventaja marcada que consiste en que el substrato
de la vaina está protegido contra el contacto con los produc-
tos de fisión, los gases corrosivos etc., por la barrera metáli-
ca unida metalúrgicamente y porque la barrera metálica no intro-
duce ninguna absorción de neutrones notable, no reduce la trans-
30



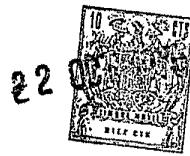
1 misión del calor ni plantea problemas de incompatibilidad de ma-
teriales. Igualmente, la barrera metálica protege el substrato
contra las fuerzas localizadas que se producen en la superficie
de separación entre el combustible y la barrera metálica.

5 Los peritos en la materia entenderán fácilmente el
invento leyendo la siguiente descripción y las reivindicaciones
adjuntas, con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

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

La figura 2 representa una vista en sección transver-
sal ampliada del elemento de combustible nuclear de la figura 2,
de acuerdo con el invento.

15 Haciendo más particularmente referencia a la figura
1, se ve en ella 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 forma gene-
ralmente cuadrada provisto en su extremidad superior de un gan-
cho de elevación 12 y en su extremidad inferior de una pieza de
20 extremidad (no representada porque se ha omitido la porción in-
ferior del conjunto 10). La extremidad superior del conducto 11
está abierta en 13 y la extremidad inferior de la pieza de ex-
tremidad está provista de orificios de circulación de refrige-
rante. Un conjunto de elementos o barras de combustible 14 está
25 contenido en el conducto 11 y está soportado en éste por medio
de una placa de extremidad superior 15 y de una placa de extre-
midad inferior (no ilustrada porque se ha omitido la porción in-
ferior). Normalmente, el refrigerante líquido penetra a través
30 de los orificios formados en la extremidad inferior de la pieza

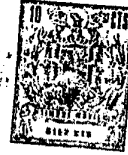


1 de extremidad, sube alrededor de los elementos de combustible 14,
y sale por el orificio superior 13 en estado parcialmente vaporiza-
do en el caso de reactores de ebullición o sin estar vaporiza-
do en el caso de reactores bajo presión a temperatura elevada.

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

El elemento combustible está previsto para proporci-
onar un excelente contacto térmico entre la vaina y el material
20 combustible, una mínima absorción parásita de los neutrones, y
una buena resistencia a la flexión y a las vibraciones ocasio-
nalmente producidas por la circulación del refrigerante a gran
velocidad.

En la figura 1 se representa en sección parcial un
25 elemento o una barra de combustible nuclear 14 construida de
acuerdo con las enseñanzas del invento. El elemento combustible
incluye un núcleo o porción cilíndrica central de material com-
bustible nuclear 16, que se representa aquí bajo la forma de
una multiplicidad de pastillas de combustible hechas de mate-
30 rial fisiónable y/o fértil dispuestas en una vaina o recipiente



1 de soporte 17. En algunos casos, las pastillas de combustible
pueden tener formas diferentes tales como pastillas cilíndricas
o esféricas, y en otros casos pueden emplearse diferentes for-
5 mas de combustible, por ejemplo un combustible en forma de par-
tículas. La forma física del combustible no tiene relación con
el invento. Pueden utilizarse varios materiales combustibles nu-
cleares en los cuales se incluyen los compuestos de uranio, los
compuestos de plutonio, los compuestos de torio, y las mezclas
de éstos. Un combustible preferido es el dióxido de uranio o una
10 mezcla que incluye dióxido de uranio y dióxido de plutonio.

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 esta
descripción, se llamará también vaina compuesta. La vaina com-
15 puesta tiene un substrato 21 elegido entre los materiales con-
vencionales utilizados para vainas, tales como el acero inoxida-
ble y las aleaciones de circonio y en un modo de realización
preferido del invento, el substrato está constituido por una alea-
ción de circonio tal como el Zircaloy-2. El substrato tiene,
20 unida metalúrgicamente en su diámetro interno, una barrera metá-
lica 22 de tal manera que ésta forme una pantalla entre el subs-
trato y el material combustible nuclear contenido en la vaina.
La barrera metálica constituye de 1 a 30% aproximadamente del es-
pesor de la vaina y está constituido por circonio sustancialmente
25 puro que presenta una reducida absorción de neutrones. La barre-
ra metálica 22 sirve como emplazamiento de reacción preferencial
para las impurezas gaseosas y los productos de fisión, y protege
la porción de substrato de la vaina contra el contacto y la
reacción con dichas impurezas y productos de fisión.

30 La pureza del metal que constituye la barrera metálica



1 es una cualidad importante y sirve para impartir propiedades es-
peciales a la barrera metálica. De manera general la cantidad de
impurezas contenidas en el metal de la barrera metálica es infe-
rior a 1.000 partes por millón aproximadamente, y preferentemen-
5 te inferior a 500 partes por millón. Entre estas impurezas, el
oxígeno se mantiene a un nivel inferior a 200 partes por millón.

La vaina compuesta del elemento combustible nuclear
según el invento tiene su barrera metálica unida metalúrgicamen-
te con el substrato de manera firme. Un exámen metalográfico in-
10 dica que existe una difusión transversal suficiente entre el sub-
strato y la barrera metálica para formar una unión, pero que la
difusión transversal es insuficiente para contaminar la barrera
propiamente dicho en cualquier grado a partir de la zona de la
unión.

15 Se ha descubierto que el circonio metálico sustancial-
mente puro que constituye la barrera metálica en la vaina com-
puesta es altamente resistente al endurecimiento producido por
las radiaciones y esto permite que la barrera metálica mantenga
después de una irradiación prolongada sus propiedades estructura-
20 les tales como el límite de elasticidad y la dureza al mismo ni-
vel que las aleaciones de circonio convencionales antes de la
irradiación. En efecto, la barrera metálica presenta un endure-
cimiento debido a irradiaciones muy reducido, y esto, conjunta-
mente con su límite de elasticidad inicialmente bajo, permite
25 que la barrera metálica se deforme plásticamente y reduzca las
fuerzas producidas por las pastillas en el elemento de combusti-
ble durante los cambios de nivel de energía. Las fuerzas produ-
cidas por las pastillas en el elemento combustible pueden produ-
cirse por ejemplo debido al hinchamiento de las pastillas de
30 combustible nuclear a las temperaturas de funcionamiento del



1 reactor (300 a 350°C.), haciendo que las pastillas entren en
contacto con la vaina.

Además se ha descubierto que una barrera metálica de
circonio cuyo espesor es preferentemente del orden de 5 a 15%
5 del espesor de la vaina con un espesor particularmente preferido
de 10% del espesor de la vaina, unida metalúrgicamente con
el substrato de una aleación de circonio, proporciona una re-
ducción de las fuerzas y un efecto de barrera suficiente para
impedir los fallos en el substrato de la vaina.

10 La vaina compuesta utilizada en los elementos de com-
bustible nuclear según el invento puede fabricarse de acuerdo
con uno cualquiera de los siguientes métodos.

En un método, se introduce un tubo hueco del metal
seleccionado para constituir la barrera metálica, en un lingote
15 hueco de la aleación seleccionada para constituir el substrato,
y a continuación se une el tubo con el lingote por explosión. Se
estira el compuesto a temperatura elevada aproximadamente de 538
a 750°C. (1.000 a 1.400°F.) utilizando técnicas de estirado de
tubo convencionales. A continuación se somete el compuesto esti-
20 rado a una operación convencional de reducción en tubo hasta ob-
tener el tamaño deseado de la vaina.

En otro método, un tubo hueco del metal elegido para
constituir la barrera metálica se introduce en un lingote hueco
de la aleación elegida para constituir el substrato y se somete
25 el conjunto a una fase de calentamiento (por ejemplo 750°C.-
-1.400°F., durante 8 horas) para producir una unión por difusión
entre el tubo y el lingote. A continuación se estira el elemen-
to compuesto utilizando técnicas de estirado de tubo convencio-
nales y se somete el compuesto estirado a una operación de re-
30 ducción en tubo convencional hasta obtener el tamaño deseado de



1 la vaina.

En otro método, un tubo hueco del metal elegido para constituir la barrera metálica se introduce en un lingote hueco de la aleación elegida para constituir el substrato y se estira el conjunto utilizando técnicas de estirado de tubo convenciona-
5 el conjunto utilizando técnicas de estirado de tubo convenciona-
les. A continuación se somete el compuesto estirado a una operación convencional de reducción en tubo hasta obtener el tamaño deseado de la vaina.

Los procedimientos de fabricación de la vaina compues-
10 ta del invento, que se describen más arriba, dan lugar a economías con relación a otros procedimientos empleados para fabricar vainas, por ejemplo el procedimiento de electrodeposición o de depósito de vapor.

Las dimensiones de los materiales iniciales se deter-
15 minan por medio de las relaciones entre las superficies de sección transversal de la barrera metálica y del substrato de la vaina compuesta. Por ejemplo, la superficie total de la sección transversal de la vaina final viene dada por

$$A_{TF} = \pi/4 (OD_{TF}^2 - ID_{TF}^2)$$

20 siendo A_{TF} la superficie del producto final, OD_{TF} el diámetro externo del producto final, y ID_{TF} el diámetro interno del producto final. La superficie de la sección transversal de la barrera deseada viene dada por la siguiente fórmula:

$$A_{BF} = \pi/4 (OD_{BF}^2 - ID_{BF}^2)$$

25 en la cual A_{BF} es la superficie de la sección transversal de la barrera metálica, OD_{BF} es el diámetro externo de la barrera metálica, y ID_{BF} es el diámetro interno de la barrera metálica. La sección transversal total del lingote inicial del substrato viene dada por la siguiente fórmula:

30

$$A_{TI} = \pi/4 (OD_{TI}^2 - ID_{TI}^2)$$



1 en la cual A_{TI} es la superficie total de la sección transversal
del lingote inicial que incluye la barrera metálica, OD_{TI} es el
diámetro externo del lingote inicial, y ID_{TI} es el diámetro in-
terno del lingote inicial. La superficie de sección transversal
5 deseada de la barrera inicial se determina por medio de la si-
guiente ecuación:

$$A_{BI} = A_{TI} \left(\frac{A_{BF}}{A_{TF}} \right)$$

El invento incluye un método para producir un elemen-
to de combustible nuclear que consiste en realizar un recipien-
te de envainado compuesto que incluye un substrato y una barre-
ra metálica unida metalúrgicamente a la superficie interna del
substrato, estando dicho recipiente abierto en una extremidad,
llenar el recipiente de envainado compuesto con el material com
bustible nuclear dejando una cavidad en la extremidad abierta,
15 introducir un dispositivo de retención de material combustible
nuclear en la cavidad, aplicar un cierre a la extremidad abier-
ta del recipiente dejando la cavidad en comunicación con el com
bustible nuclear, y a continuación unir la extremidad del reci-
piente de envainado con dicho cierre para formar una junta her-
mética entre ellos.
20

El invento presenta varias ventajas que permiten ob-
tener una larga vida útil del elemento de combustible nuclear,
que incluye la reducción del ataque químico del substrato de la
vaina, la reducción a un valor mínimo de las fuerzas localizadas
25 en el substrato de la vaina, la reducción al mínimo de la corro-
sión producida por tensiones y fuerzas aplicadas al substrato de
la vaina, y la reducción de la posibilidad de un fallo por diso-
ciación en el substrato de la vaina. El invento impide además la
dilatación (o hinchamiento) del combustible nuclear en contacto
30



1 directo con el substrato de la vaina, impidiendo así que se apli
 quen fuerzas localizadas al substrato de la vaina, que se produz
 ca un comienzo o una aceleración de corrosión debida a tensio-
 nes en el substrato de la vaina y la unión del combustible nuclear
5 con el substrato de la vaina.

 Una propiedad importante de la vaina compuesta según
 el invento consiste en que las mejoras en cuestión se obtienen
 con una absorción suplementaria de neutrones insignificante. Es-
 ta vaina es fácilmente aceptada en los reactores nucleares ya
10 que no da lugar a formaciones eutécticas en caso de pérdida ac-
 cidental de refrigerante o en caso de accidente dando lugar a
 la caída de una barra de control nuclear. Además la vaina com-
 puesta da lugar a una reducción muy pequeña de la transferencia
 del calor ya que no existe barrera térmica para transmitir el ca-
15 lor como cuando se introduce en un elemento combustible una ho-
 ja o un revestimiento separado. Igualmente, la vaina compuesta
 según el invento puede ser inspeccionada por métodos de verifi-
 cación convencionales no destructivos durante varias fases de
 su fabricación.

20 Los peritos en la materia entenderán más claramente
 el invento leyendo los siguientes ejemplos del mismo que se dan
 a título ilustrativo y sin caracter limitativo.

EJEMPLOS 1 y 2

 Se mecanizaron, limpiaron y ensamblaron lingotes y
25 tubos de inserción utilizando procedimientos normalizados de es-
 tirado, y todas las dimensiones se eligieron de tal manera que
 los lingotes compuestos puedan ser estirados en una prensa de
 extrusión en caliente. Los lingotes estaban constituidos por Zir-
 caloy-2 normal de acuerdo con ASTM B353, calidad RA-1, y los
30 elementos de inserción estaban hechos de circonio de alta pureza



1 (barra cristal). Todos los agujeros realizados en los lingotes
 y todos los elementos de inserción presentaban una conicidad de
 0,08 mm/cm (8 mil por pulg.) y se apretaron conjuntamente para
 asegurar un buen contacto entre las superficies correspondientes.

5 Las dimensiones de las piezas mecanizadas eran las siguientes:

| | Lingote | | Barrera metálica | |
|--------------|--|--|--------------------------------|--|
| | <u>Long. x Diam. ext. x Diam. int.</u> | | <u>Diam. ext. x Diam. int.</u> | |
| | cm (pulg.) | | cm (pulg.) | |
| 10 Ejemplo 1 | 22,86 x 14,57 x 6,19 | | 6,19 x 4,21 | |
| | (9,00 x 5,74 x 2,44) | | (2,44 x 1,66) | |
| Ejemplo 2 | 22,86 x 14,57 x 6,19 | | 6,19 x 4,21 | |
| | (9,00 x 5,74 x 2,44) | | (2,44 x 1,66) | |

15 Antes de ensamblar los lingotes y los elementos de in-
 sersión, se atacan ligeramente las superficies correspondientes
 para eliminar toda huella de impurezas. El agente de ataque quí-
 mico utilizado para el Zircaloy-2 y para el circonio en barra
 cristalina está constituido por una solución de 70 ml de H₂O, 30
 ml de HNO₃ y 5 ml de HF.

20 Para mejorar las posibilidades de obtener una unión sa-
 tisfactoria entre los elementos de inserción y los lingotes du-
 rante la operación de estirado, se ha decidido pre-unir los con-
 juntos. Esto se hizo aplicando a presión los elementos de inser-
 ción cónicos en el agujero cónico de los lingotes bajo vacío
 igual o inferior a 20 µm, mientras se mantiene la temperatura del
 25 lingote a 750°C. (1.400°F.) durante 8 horas. Las fuerzas aplica-
 das a los elementos de inserción durante el prensado inicial va-
 rían entre 13.607 y 20.411 Kg (30-45.000 Lib.).

30 Después del tratamiento térmico se comprobó con ultra-
 sonidos la unión en dos lingotes. Los resultados indicaron que la
 unión entre el tubo de inserción y el lingote era del orden de

22 OCT 1954



1 20 a 25% de la superficie de separación entre las piezas.

Para reducir las pérdidas de extremidad durante el estirado, se soldo un trozo de 50,8 mm (2 pulg.) de lingote de Zircaloy-2, en cada extremidad de los lingotes compuestos y se mecanizaron al ras.

El estirado de los lingotes para formar piezas destinadas a constituir tubos se hizo utilizando los siguientes parámetros: velocidad de extrusión: 15,24 cm/min. (6 pulg./min.)

relación de reducción: 6:1

10 temperatura: 593°C. (1.100°F), y

fuerza de extrusión: 3.500 Tm

Todas las superficies de los lingotes, salvo el agujero y el mandril flotante se lubricaron con un lubricante soluble en agua que se sometió a un tratamiento en horno durante 1 hora

15 a 704°C (1.300°F). Ambas extremidades de las piezas destinadas

a formar los tubos se cortaron límpidamente, y el diámetro interior se rectificó para eliminar posibles grietas superficiales y mejorar el acabado. Las dimensiones finales de las piezas destinadas a formar los tubos eran las siguientes: diámetro externo:

20 6,35 cm (2,5 pulg.)

Diámetro interno: 4,165 cm (1,64 pulg.), y

longitud: 1,524 m (5 piés)

La reducción final de las piezas destinadas a formar los tubos en tubos de envainado de combustible se hizo de acuerdo con el procedimiento normalizado que consiste en efectuar cuatro reducciones con limpieza y recocido entre operaciones sucesivas. En la tabla 1 que sigue indican los parámetros de este tratamiento.



1

TABLA 1

PARAMENTOS DE CO-ESTIRADO PARA REDUCCION DE TUBO

| | <u>Operación</u> | <u>Diam. ext.</u> cm(pulg.) | <u>Espesor del compuesto</u> cm(pulg.) | <u>Diam. int. del tubo de inserc.</u> cm (pulg.) | <u>Reducción</u> % | <u>Qe*</u> |
|----|--|--------------------------------|---|---|-----------------------|------------|
| 5 | Empezar con pieza tubular | 6,35 (2,50) | 1,092 (0,43) | 4,191 (1,65) | - - | - - |
| | Limpiar para recocido (desengrasar - jabón de base caústica) | | | | | |
| | Recocido - 677°C (1.250°F) - 1 hora | | | | | |
| 10 | 1ª pasada | 4,284 (2,857) | 0,685 (0,270) | 2,913 (1,147) | 57 | 1,2 |
| | Limpiar para recocido | | | | | |
| | Recocido - 621°C (1.150°F) - 1 hora | | | | | |
| 15 | 2ª pasada | 2,857 (1,125) | 0,406 (0,160) | 2,044 (0,805) | 60 | 1,4 |
| | Limpiar para recocido | | | | | |
| | Recocido - 621°C (1.150°F) - 1 hora | | | | | |
| | 3ª pasada | 1,905 (0,750) | 0,215 (0,805) | 0,947 (0,580) | 64 | 1,7 |
| 20 | Limpiar para recocido | | | | | |
| | Recocido - 621°C (1.150°F) - 1 hora | | | | | |
| | 4ª pasada | 1,257 | 0,071 | 1,115 | 70 | 2,3 |
| | Limpiar para recocido | | | | | |
| | Recocido - 577°C (1.070°F) - 2,5 a 4 horas | | | | | |
| 25 | Ataque químico hasta | | | | | |
| | | 1,254 (0,494) | 0,071 (0,028) | 1,112 (0,438) | | |

* Qe es la relación entre el porcentaje de cambio del espesor de la pared y el porcentaje de cambio del diámetro medio. Las dimensiones del producto final se indican en la tabla 2.

30

1

TABLA 2

| | <u>Diam.int.</u> <u>cm(pulg.)</u> | <u>Diam.ext.</u> <u>cm(pulg.)</u> | <u>Dimensiones en mm (milésimas</u> <u>de pulg.)del recubrimiento int.</u> |
|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Ejemplo 1 | 1,112 (0,438) | 1,254 (0,494) | 0,0863 ± 0,007 (3,4 ± 0,3) |
| 5 Ejemplo 2 | 1,112 (0,438) | 1,254 (0,494) | 0,0838 ± 0,007 (3,3 ± 0,3) |

Cada tubo permite obtener más de 106,68 m (350 pies) de tubo de alta calidad con todas las superficies en contacto perfectamente unidas..

10

En resumen, la presente patente de invención que se solicita deberá recaer sobre las siguientes:

REIVINDICACIONES

15

1. Elemento de combustible nuclear que incluye (a) un núcleo central de un cuerpo de material combustible nuclear formado por compuestos de uranio, plutonio, torio ó mezclas de los mismos, y (b) un recipiente de envainado compuesto de forma alargada que incluye una porción exterior formada por una aleación de circonio que contiene otros componentes en cantidad mayor a 1000 partes por millón y que forma un sustrato y una barrera metálica de circonio de alta pureza de grosor constante e indeformable, que posee un bajo límite de elasticidad, y es resistente al aumento de radiación, y que esta unida metalúrgicamente a la superficie interna del sustrato, la cantidad de impureza en el metal de dicha barrera metálica es menor a 1000 partes por millón, y dicho recipiente de envainado envuelve dicho núcleo a fin de dejar una cavidad entre dicho núcleo y dicha vaina durante su empleo en un reactor nuclear; tiene un sustrato y una barrera metálica de circonio unida metalúrgicamente a la superficie interna del sustrato.

20

25

30

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

5 3. Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque el circonio metálico que constituye la barrera tiene una cantidad de impurezas menor a 500 partes por millón.

10 4. Elemento de combustible nuclear según las reivindicaciones 1 - 3, caracterizado porque dicha barrera metálica comprende de 5 a 15% del grosor del envainado compuesto.

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

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

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

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

Madrid, 22 octubre 1.971

BERNARDO UJERÍA

P. UJERÍA

10 U.S. 675
22 OCT 1975
PATENT OFFICE
WASHINGTON, D.C. 20540

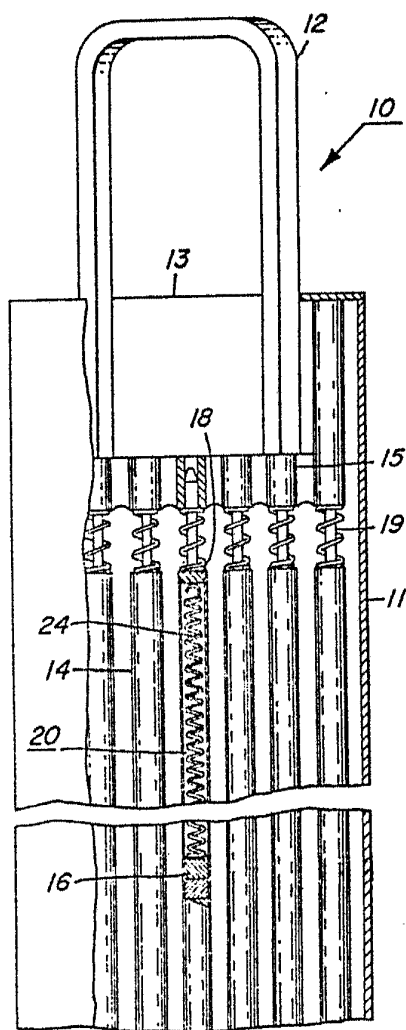


Fig. 1

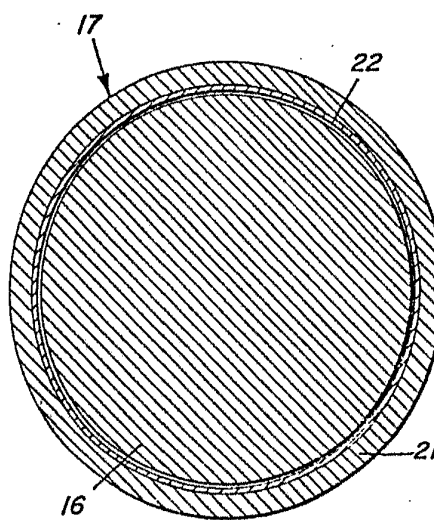


Fig. 2

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