



PATENTE DE INVENCION

| | | |
|---------|---------------------------------------|---------|
| (19) ES | (11) NUMERO 447296 | (10) A1 |
| | (21) FECHA DE PRESENTACION 23.4.76 | |

P.- 60.894
74.713/MT/al
(method)
Div.

| | | |
|----------------------------------|------------|-----------|
| (30) PRIORIDADES: (31) NUMERO | (32) FECHA | (33) PAIS |
|----------------------------------|------------|-----------|

| | | |
|--------------------------|---|---|
| (47) FECHA DE PUBLICIDAD | (51) CLASIFICACION INTERNACIONAL G21C | (62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA 432.534 |
|--------------------------|---|---|

| |
|--|
| (54) TITULO DE LA INVENCION "UN METODO DE FORMAR UNA CONFIGURACION DE CONDUCTOR DE LITIO CLEAR PARA USO EN UN PROCEDIMIENTO DE LITIO" PROHIBIDA: LA CONSULTA Y LA EXPEDICION DE COPIAS Y CERTIFICACIONES |
|--|

| |
|---|
| (71) SOLICITANTE (S) KMS FUSION, INC. |
|---|

| |
|--|
| DOMICILIO DEL SOLICITANTE 3941 Research Park Drive, Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos de América |
|--|

| |
|---|
| (72) INVENTOR (ES) Robert Jerrell Teitel y David Eugene Solomon |
|---|

| |
|-------------------|
| (73) TITULAR (ES) |
|-------------------|

| |
|--|
| (74) REPRESENTANTE D. FERNANDO DE ELZABURU MARQUEZ |
|--|

1 La presente invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de pastillas de combustible termonuclear, y al producto obtenido por el mismo.

5 Mucha labor se está haciendo en la actualidad en relación con el empleo de energía de radiación "laser" para crear una condición de fusión termonuclear, con una configuración singular de combustible en una dimensión muy pequeña. Esta configuración de combustible, que se puede denominar de pastilla, tiene unas dimensiones que pueden
10 variar en todo el intervalo desde 1/16 de milímetro (mm) de diámetro hasta aproximadamente 2 mm o más; pero las dimensiones preferidas son de 1/8 a 1 mm. Es posible fabricar estas pastillas de combustible termonuclear, tal como de deuterio-tritio, utilizando condiciones criogénicas. En la
15 actualidad, se vienen usando isótopos de hidrógeno solidificados, en los experimentos de fusión, en forma de plaquetas o pastillas aplanadas, cubos o gotitas. Estas formas geométricas sencillas vienen resultando adecuadas para ensayos experimentales, pero es conveniente habilitar un método
20 para fabricar configuraciones especiales de combustible en gran cantidad, con propósitos de uso extensivo en las operaciones comerciales de fusión en reactor.

25 El problema planteado a la técnica del ramo es el de realizar unas pastillas de combustible cuyas dimensiones puedan ser reguladas con precisión y que, por tanto, puedan ser más eficaces en el proceso final de fusión, y también el de realizar pastillas de combustible de una configuración especial que se preste a una implosión de fusión eficaz por efecto de la entrada de energía de laser aplicada.

30 Por todo ello, un objeto de la presente invención

1 es revelar una configuración de pastilla de combustible
termonuclear que se adapte a los requisitos prescritos por
la física nuclear en relación con la misma, y también un
5 método para fabricar estas pastillas de combustible, que
pueda regularse fácilmente y que permita fabricar a poco
costo y con resultados uniformes, en circunstancias condu-
centes a la comercialización y producción.

Otros objetos y rasgos característicos de la in-
vención, relativos a detalles del procedimiento, los mate-
10 riales usados y la forma de construcción, se irán despren-
diendo de la descripción que sigue y de las reivindicacio-
nes finales, en las cuales se revelan los principios de
funcionamiento y operación, en unión del mejor modo que en
la actualidad se prevé para la realización del invento.

15 Los dibujos que acompañan a esta exposición, y
las diversas vistas de los mismos, pueden describirse bre-
vemente así:

- la figura 1 es una vista esquemática de una
pastilla de combustible termonuclear;

20 - la figura 2 es una vista esquemática que re-
presenta una pastilla de combustible con un forro esféri-
co interior sólido de combustible termonuclear;

- la figura 3 es un diagrama de funciones que
ilustra las diversas etapas del procedimiento; y

25 - la figura 4 es una vista de un calentador de
recipiente de presión utilizado en el procedimiento.

En términos resumidos, la invención prevé el em-
pleo de unas envolturas huecas y pequeñas, de un material
tal como vidrio, que tienen las dimensiones deseadas para
30 el producto final. Estas envolturas son expuestas a los

1 isótopos de hidrógeno en la forma de gas, tales como deu-
terio-tritio, en condiciones de presión y calor tales que
el gas penetrará a través de la paredes de las microesfe-
ras o envolturas huecas y quede encerrado en su interior.
5 Las microesferas puestas a presión pueden usarse entonces,
sea con el combustible en forma gaseosa, sea con el gas
posiblemente depositado en las paredes interiores de la
esfera por efecto de someter la esfera a una temperatura
criogénica.

10 Las envolturas huecas a utilizar para la confi-
guración de combustible y en el procedimiento serán aquí
denominadas microesferas, y pueden estar hechas de vidrio,
material cerámico, carbono, plástico o metal, como estruc-
tura inicial básica. Estas esferas huecas pueden obtenerse
15 comercialmente, identificadas a veces por las marcas comer-
ciales MICROBALLOON, ECCO-SPHERES y CARBO-SPHERES. Pueden
obtenerse en diámetros comprendidos entre 10 micras y 1000
a 2000 micras. Estas esferas se usan en la actualidad co-
mercialmente en espumas sintéticas, materiales estructura-
20 les de poca densidad, dieléctricos y aislamiento térmico.
En la tabla I que sigue se relacionan las correspondientes
patentes de EE.UU. que describen los procedimiento y el pro-
ducto de realizar microesferas de vidrio y otras clases:

25

30

TABLA I

| | <u>Patente nº.</u> | <u>Concedida el:</u> | <u>Inventores y título:</u> |
|----|--------------------|----------------------|---|
| 1 | | | |
| 5 | 2.797.201 | 25 Jun. 1957 | Veatch y col.: Un procedimiento de fabricar partículas huecas, y el producto resultante. |
| 10 | 3.138.444 | 23 Jun. 1964 | Searight y col.: Un método y aparato para fabricar glóbulos de vidrio. |
| 15 | 3.161.468 | 15 Dic. 1964 | Walsh: Un procedimiento para fabricar esferas huecas de sílice. |
| 20 | 3.365.315 | 23 Ene. 1968 | Beck y col.: Burbujas de vidrio preparadas por recalentamiento de partículas sólidas o macizas de vidrio. |
| 25 | 3.441.396 | 29 Abr. 1969 | D'Eustachio y col.: Un procedimiento para fabricar materiales celulares. |
| 30 | 3.615.972 | 26 Oct. 1971 | Morehouse y col.: Partículas expansibles de polímeros termoplásticos. |

1 La invención se describirá en lo que sigue en
relación con las microesferas de vidrio, aun cuando, co-
mo se apreciará, podrían utilizarse otros materiales.

5 Fundamentalmente, las microesferas de vidrio
(que es el principal material propuesto) se forman me-
diante pulverización de compuestos volátiles que contie-
nen vidrio, e inyección del vidrio pulverizado en una co-
rriente de gas que recorre o atraviesa una zona caliente
10 tal como la formada por un soplete. Mientras están en la
zona caliente, los compuestos volátiles se vaporizan y
expanden, lo cual, unido o combinado con la tensión super-
ficial inherente al vidrio, hace que el vidrio fundido
adopte la forma de esferas huecas. El procedimiento viene
controlado por la selección de la composición del vidrio,
15 la temperatura de la zona caliente, la velocidad a la cual
se hacen pasar los gases por la zona caliente, y la refri-
geración proporcionada después. Las microesferas de que
se dispone en el mercado vienen estando proyectadas para
dar una densidad relativamente baja y, por lo tanto, vie-
nen teniendo un espesor de pared de aproximadamente 1 a 2
20 micras. Los procedimientos pueden usarse para producir
microesferas de paredes mucho más gruesas, si ello se desea.
La tabla II que sigue da como ejemplo las propiedades de
las microesferas de vidrio comercialmente obtenibles, fa-
25 bricadas por Emerson y Cuming, Inc.

TABLA II

PROPIEDADES DE UNOS MICROGLOBULOS DE VIDRIO OBTENIBLES
EN EL MERCADO:

| Propiedades | Calidad | | |
|---|--------------------------|-------------|------------------|
| | IG 101 | SI | FTL 200 |
| Composición | Borosilicato de sodio | Sílice >95% | SiO ₂ |
| Distribución de tamaños de partículas, micras (% en peso): | | | |
| Mayores de 175 | 5 | 0 | 2 |
| De 149 a 175 | 10 | 14 | 8 |
| De 125 a 149 | 12 | 10 | 12 |
| De 100 a 125 | 12 | 12 | 13 |
| De 62 a 100 | 44 | 40 | 5 |
| De 44 a 62 | 10 | 15 | 11 |
| Menores de 44 | 7 | 9 | 2 |
| Diámetro medio de partículas, micras | 80 | 80 | 90 |
| Espesor medio de pared, micras | 2 | 1,5 | 1,5 |
| Temperatura de ablandamiento o temperatura de fusión (°C) | 482 | 982 | 1093 |
| Resistencia a la compresión, en % en volumen de supervivientes a la presión (Kg/cm ²) indicada: | | | |
| 35 Kg/cm ² | | | 96,3 |
| 70 Kg/cm ² | | | 66,4 |
| 105 Kg/cm ² | | | 46,2 |

1 Como se verá por lo que antecede, está dentro de
la técnica ya conocida la facultad de regular independien-
temente no sólo el tamaño de la microesfera sino el espe-
sor de la pared y, por supuesto, la composición química del
5 vidrio. Existen dos diseños de pastilla termonuclear que
son de inmediato interés con respecto a la presente expo-
sición. Son éstos los representados en las figuras 1 y 2 ,
respectivamente.

10 En la figura 1 se representa la envoltura estruc-
tural 20 en forma de sección recta de una esfera que con-
tiene un combustible termonuclear 22 gaseoso el cual, na-
turalmente, es invisible en el dibujo. La envoltura sólida
hueca puede estar hecha de vidrio, como se ha dicho más
arriba, o de material cerámico, metal, plástico o carbono,
15 y contendrá una mezcla gaseosa de isótopos de hidrógeno,
tal como deuterio o mezcla de deuterio y tritio.

20 En la figura 2 se representa la envoltura estruc-
tural 20, pero en este caso lleva en su interior superpues-
ta una capa sólida de combustible termonuclear 24, que de-
ja un vacío en la región central de la esfera. En la for-
ma de los diseños de pastilla arriba indicados, hay ciertas
etapas de procedimiento que se ilustran en la figura 3 en
forma de esquema o diagrama de funciones.

25 La etapa primeramente indicada del procedimiento
lleve consigo la obtención y selección de las microesferas.
Como se ha indicado más arriba, estas microesferas son ob-
tenibles comercialmente y la selección implica una consi-
deración de la composición química, el tamaño, el espesor
de pared, la resistencia mecánica de la pared y el conteni-
do residual de gas. El material estructural preferido para
30

1 las envolturas es el vidrio, a causa de su resistencia mecánica inherente, su disponibilidad en los tamaños deseados a un costo módico en grandes cantidades, y su esfericidad y grosor de pared relativamente uniformes.

5 La selección de una composición de vidrio concreta y específica se basa en su permeabilidad para con los isótopos de hidrógeno (incluidos, como se vera más adelante, todos los isótopos de hidrógeno individualmente o en mezclas y en los estados "orto" o "para" de espín o rotación
10 corpuscular) y su temperatura de ablandamiento. Los elevados contenidos de sílice favorecen las altas permeabilidades y las elevadas temperaturas de ablandamiento. La dilución de sílice con otros formantes de vidrio (B_2O_3 , Na_2O , K_2O , Li_2O , Al_2O_3 , PbO y otros) reduce tanto la permeabilidad como la temperatura de ablandamiento.
15

Las microesferas de vidrio pueden clasificarse a cualquier tamaño deseado por métodos ya conocidos, de cribado en húmedo o en seco, separación en ciclón, elutriación o levigación hidráulica, clasificación manual al microscopio o microrradiografía, por citar unos cuantos. La esfericidad de las microesferas puede ser valorada por métodos microrradiográficos.
20

Las dimensiones y uniformidad del espesor de pared pueden valorarse por métodos cuantitativos, microrradiografía, y empleando procedimientos de separación de masas (tal como la suspensión de gases en microesferas cuidadosamente dimensionadas).
25

La resistencia de la pared a la compresión y a la tracción puede determinarse aplicando primero para ello una presión hidráulica compresiva. La separación se efectúa
30

1 introduciendo las microesferas en un baño fluido. Las micro-
esferas que están herméticamente cerradas flotan, y las par-
tes rotas o las microesferas no del todo cerradas se hunden
y de ese modo se separan. A continuación puede aplicarse
5 la carga de tracción a las paredes de las microesferas por
penetración o infiltración, llenando las microesferas por
el procedimiento que más adelante se describe, hasta alcan-
zar una presión superior a la que finalmente se desee. Las
supervivientes pueden recuperarse por el procedimiento de.
10 flotación arriba mencionado.

Dentro de las microesferas seleccionadas hay unos
gases residuales que se derivan de los agentes hinchantes o
expansores usados en la manufactura. Pueden ser CO_2 , H_2O o
 SO_2 , o mezclas de los mismos. En algunos casos, puede ser
15 deseable evacuar estos gases por un procedimiento de pene-
tración; pero el presente procedimiento prevé una lamina-
ción selectiva de estos gases para reducir el efecto en el
proceso de fusión.

La primera etapa del procedimiento trae consigo
también la acción de limpiar adecuadamente las microesfe-
20 ras para quitar la materia subdividida en partículas que
pueda haber presente en la superficie exterior. En un pro-
cedimiento típico de limpieza se utiliza tricloretileno
caliente para la eliminación del material orgánico, y un
lavado con solución acuosa detergente en un baño agitado
25 por ultrasonidos para la eliminación de sales y otras mate-
rias solubles en agua. Estas etapas pueden ir seguidas de
un aclarado en agua pura, un tratamiento de ataque químico
en solución de ácido fluorhídrico al 10 % para reforzar la
microesfera, un nuevo aclarado en agua pura para eliminar
30

1 los residuos de ácido, y una etapa de secado en metanol.

La segunda etapa fundamental del procedimiento es el llenado de las microesferas por penetración. Esto trae consigo la acción de cargar o introducir las microesferas
5 seleccionadas en un recipiente de presión obtenible comercialmente, tal como el que se ilustra en la figura 4 y someter a presión el recipiente con gas deuterio-tritio mientras se calienta el recipiente de presión a unas temperaturas comprendidas entre 150° C y 800° C, limitada por la
10 temperatura de sinterización del vidrio concretamente usado, con el fin de impedir la adherencia de las partículas entre sí. El recipiente de presión de la figura 4 tiene una cámara interior adecuada rodeada por unos serpentines de calefacción conectados a una alimentación de energía.
15 Se prevén termopares e indicadores de temperatura adecuados. Hay una tapa inmovilizable que tiene una entrada de gas a presión y un manómetro. La presión de llenado de gas viene prefijada para suministrar la cantidad deseada de deuterio-tritio al interior de la esfera. Ante todo, es
20 preciso tener en cuenta que las velocidades de penetración del hidrógeno o de los isótopos de hidrógeno, tales como el deuterio-tritio, y materiales similares a través del vidrio son ya conocidas, disponiéndose de datos en un libro titulado "Vacuum Technique" ("La técnica del vacío"),
25 de Saul Dushman, editado por John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1.949. La tabla III que sigue indica unos datos de difusión tomados de dicha publicación.

30

1

TABLA IIICOMPILACION DE DATOS DE DIFUSION

| | <u>Sistema</u> | <u>Datos de permeabilidad</u> |
|----|--|--|
| 5 | SiO ₂ -H ₂ | $\log_{10}(2,08 \times 10^8 K) = 1,735 - \frac{1888}{T}$ |
| | SiO ₂ -H ₂ a 700° C | K = 2,1 x 10 ⁻⁹ |
| | SiO ₂ -D ₂ a 700° C | K = 1,7 x 10 ⁻⁹ |
| 10 | SiO ₂ -H ₂ a 900° C | K = 6,4 x 10 ⁻⁹ |
| | Pyrex-H ₂ a 520° C | K = 2,0 x 10 ⁻¹¹ * |
| 15 | K = permeabilidad (cm ³ de gas a presión y temp. normales, por segundo, por cm ² de área, por mm de espesor y por cm.Hg de presión hidrostática) | |
| | T = temperatura (°K) | |
| 20 | * N.W. Taylor y W. Rast, "The Diffusion of Helium and of Hydrogen Through Chemically Resistant Glass", ("La difusión del helio y del hidrógeno a través de vidrio químicamente resistente") <u>Journal of Chemical Physics</u> , <u>6</u> , Octubre 1.938, p. 619. | |
| 25 | | |
| 30 | | |

1 De la ecuación indicada en la tabla III que antecede se ha deducido que, con respecto a H_2 , la sílice tiene un factor K de permeabilidad de 3×10^{-7} a $750^\circ C$, en tanto que el borosilicato de sodio tiene un factor K de 2×10^{-11} a $520^\circ C$. La sílice tiene un factor K de 2×10^{-11} a $25^\circ C$.

5 Usando la información publicada se verá que la penetración del hidrógeno a través de la sílice (SiO_2) demuestra que a $520^\circ C$ la permeabilidad es de $1,1 \times 10^{-9}$.

10 La permeabilidad para el Pyrex (como tipo, del código 7740 de Corning) a la misma temperatura es de $1,97 \times 10^{-11}$. Integrando la conocida ecuación de la ley de Fick para la difusión en condiciones adecuadas para llenar las esferas huecas, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$15 \quad t_{0,99} = 5,50 (xr/KT), \quad (1)$$

donde

$t_{0,99}$ = tiempo para que la presión interior de hidrógeno alcance el 99 % de la presión exterior de hidrógeno (en segundos)

20 x = espesor de la pared de vidrio (mm)

r = radio de la pequeña esfera hueca (cm)

T = temperatura de llenado ($^\circ K$)

25 K = permeabilidad, en centímetros cúbicos de gas (a presión y temperatura normales) por segundo, por cm^2 de área, por mm de espesor, por cm de columna de mercurio de presión.

30 Usando la ecuación (1) y las permeabilidades de gas dadas más arriba, el tiempo específico requerido para

1 elevar la presión interior del hidrógeno al 99 % de la presión exterior está comprendido entre 50 y 2600 segundos, para una temperatura de 520° C. La presión exterior del hidrógeno y, por lo tanto, la presión interior de hidrógeno
5 no alcanzada, no vienen limitadas por los requisitos de penetración. La resistencia mecánica de la pared de vidrio limita el gradiente de presión a través de la pared de vidrio durante el llenado, y más tarde durante el almacenaje cuando la presión exterior se reduce a 1 atmósfera.

10 La presión final contenida en una microesfera hueca de vidrio está limitada por la resistencia mecánica de la envoltura al reventón. Usando la conocida fórmula de la tensión circunferencial (ecuación 1), la presión a través de la pared (ΔP) puede relacionarse con la resistencia a
15 la tracción (T. S.) de la pared de la microesfera:

$$\Delta P = (T.S.)t/r \quad (2)$$

20 La resistencia a la tracción de los vidrios viene recibiendo mucha atención en la bibliografía técnica. Según se ha establecido, las imperfecciones de la superficie afectan grandemente a la resistencia a la tracción. Normalmente, se usa un valor de resistencia de 70 kg/cm² para los cálculos o proyectos estructurales. Ahora bien, también se sabe que las fibras de vidrio de un diámetro de 1 a 2
25 micras presentan resistencias a la tracción comprendidas entre 49.000 y 140.000 kilogramos por centímetro cuadrado. Por lo que se deduce de todos los datos publicados, es muy probable que la resistencia mecánica del vidrio usado para las microesferas de vidrio sea elevada. Usando la ecuación
30 2 se ha calculado que en las microesferas de vidrio podrían

1 contenerse unas presiones interiores de 1060 kg/cm^2 , o sea
de 1000 atmósferas sobre poco más o menos. Los requisitos
actuales para las pastillas de combustible termonuclear in-
dicar como adecuada la presión de 100 atmósferas.

5 La presión y la temperatura del gas deuterio-tri-
tio que rodea las microesferas se mantiene durante un perio-
do suficiente para hacer que la presión en el interior de
la microesfera ascienda al 99 % de la presión exterior. Es-
te período se ha establecido con precisión por medio de una
10 serie de experimentos en los cuales las microesferas parti-
culares son tratadas a diversas temperaturas durante dife-
rentes períodos. Tras estas pruebas, y para confirmar la
presión de isótopo de hidrógeno contenida en el interior
de la carga de difusión, se rompen las microesferas y se
15 miden las cantidades de gases liberados, por dos procedi-
mientos: 1º, por análisis de gases en espectrómetro de ma-
sas; y 2º por el tamaño real de la burbuja de gas en un
fluido. Como ejemplo, un lote de microesferas fue sometido
a tratamiento a 300°C y bajo una presión de 100 atmósferas
20 durante un período de 36 horas hasta obtener una presión
interior de aproximadamente 99 atmósferas y una cantidad
de contenido de gas de 10^{-2} gramos por centímetro cúbico.

Tras de mantenerse la temperatura y la presión
durante el período o intervalo de tiempo deseado, la tempe-
ratura del recipiente de presión se hace bajar a la tempe-
25 ratura ambiente, y finalmente se quita la presión exterior
a la microesfera. Como la velocidad de penetración del gas
a las temperaturas de ambiente es, como tipo, 10^4 veces me-
nor que a temperaturas elevadas, los gases contenidos per-
manecerán encerrados en las microesferas durante las opera-
30

1 ciones sucesivas de manipulación.

Usando la ecuación del $\text{SiO}_2\text{-H}_2$ (tabla III) para hallar la permeabilidad, la permeabilidad se reduce a $1,41 \times 10^{-13}$ a la temperatura ambiente, y la del Pyrex, por lo menos, a un orden de magnitud más inferior. La velocidad de fuga puede predecirse por las mismas fórmulas (ecuación 1) desarrolladas para la predicción de la carga o llenado. Usando la ecuación 1, el tiempo requerido para reducir la presión interior de hidrógeno al 1% de la primitiva en una microesfera de cuarzo es superior a 100 horas, y en una microesfera de Pyrex excede de 1000 horas. Es posible obtener reducciones aún mayores en la permeabilidad y en la presión diferencial de los gases, mediante el almacenaje de las esferas a temperaturas inferiores (temperaturas del hielo seco o del nitrógeno líquido).

Tras de la etapa de llenado a presión, puede ser conveniente separar las microesferas que se hayan roto en el tratamiento o por manipulación mecánica, respecto de aquellas que estén intactas tras la operación de llenado. Esto puede efectuarse también con facilidad utilizando un procedimiento de flotación.

La terminación de la etapa segunda, es decir, la de llenar o cargar de isótopo de hidrógeno, dará como resultado una pastilla de combustible termonuclear que puede utilizarse, en ciertas circunstancias, en un determinado procedimiento de fusión. Una tercera etapa del procedimiento, que en algunos casos puede ser discrecional, lleva consigo la acción de recubrir las microesferas rellenas. Para disponer este recubrimiento pueden existir varias razones. En primer lugar, el recubrimiento puede servir para dar un mejor cie-

1 rre hermético para la microesfera, como barrera de difusión
para mejorar el almacenaje. Por ejemplo, un recubrimiento
de vidrio de plomo o bismuto, de vidrio de sosa y cal, de
cobre o de aluminio puede desempeñar esta función. En segun-
5 do lugar, puede aplicarse un recubrimiento para mejorar las
propiedades de la superficie con respecto a un aumento de
la absorción de la luz de laser. En tercer lugar, un recu-
brimiento puede engruesar la pared de la estructura, mejo-
rando las propiedades de implosión de la pastilla; y en
10 cuarto lugar, un recubrimiento puede servir como canal de
energía para dar una iluminación más uniforme de las pasti-
llas de combustible. Estas capas de recubrimiento pueden
aplicarse por deposición de vapores al vacío, bombardeo ió-
nico, deposición química de vapores, galvanotecnica con o sin
15 electrólito o deposición física de vapores.

La cuarta etapa y final del tratamiento de las
pastillas de combustible trae consigo la acción de someter
las pastillas a una temperatura criogénica. Para este tra-
tamiento existen dos razones o propósitos. En primer lugar,
20 los gases de impureza cualesquiera que haya en el interior
de la pastilla se congelarán selectivamente, separándose y
depositándose en la superficie interior de la envoltura es-
tructural, mediante la elección de una temperatura interme-
dia entre la de separación por congelación del gas de impu-
reza y la temperatura de separación por congelación de los
25 isótopos de hidrógeno. Por ejemplo, a las temperaturas del
nitrógeno líquido se separarán por congelación CO_2 y H_2O ,
quedando en el núcleo de la pastilla el gas isótopo de hi-
drógeno purificado. Esta etapa por sí sola proporcionará
30 unas pastillas que pueden utilizarse en operaciones de fu-

1 sión, si se dispone de una entrada adecuada de energía de
laser.

5 La segunda razón para el uso de las temperaturas
criogénicas sería la de separar por congelación el gas isó-
tipo de hidrógeno como capa sólida en el interior de la
microesfera. Existen razones importantes y fundamentales,
desde el punto de vista del procedimiento de fusión, para
hacer que el combustible nuclear tenga esta particular con-
figuración.

10 La congelación de los gases dentro de las micro-
esferas puede efectuarse de cierto número de maneras distin-
tas. Sabido es que el hidrógeno, el deuterio y el tritio lá-
quidos mojarán una superficie de vidrio, lo que asegura que
la condensación en el vidrio formará una capa continua uni-
15 forma al descender la temperatura. La velocidad de descenso
de la temperatura es importante también para asegurar una
capa uniforme de combustible. La velocidad de congelación
puede ser tal que ningún depósito líquido pueda conglomerar-
se desigualmente en la esfera, o bien que sea también posi-
20 ble mantener las microesferas en suspensión mientras se las
voltea durante la operación de refrigeración, obteniéndose
así un enfriamiento uniforme por todos lados, de manera que
se consigue una distribución uniforme del gas que se conge-
la en su interior. En la bibliografía técnica relativa a
25 la congelación de los isótopos de hidrógeno existe una infor-
mación considerable sobre este tema. La tabla IV que sigue
resume los puntos críticos concernientes a la licuefacción y
solidificación de los isótopos de hidrógeno y sus mezclas.

TABLA IV

CONSTANTES CRÍTICAS, DE PUNTO DE EBULLICIÓN Y DE PUNTO TRIPLE, PREDICHAS GRAFICAMENTE PARA LOS ISOPOPOS DE HIDROGENO

Comparación de los valores de predicción con los valores experimentales disponibles

| Punto de ebullición | T _b (°K) | | P _c (atmós.) | | V _c (cc/mol) | | T _c (°K) | | P _t (atmós) | | | |
|---------------------|---------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|---------------------|---------|------------------------|---------|-------|--------------------|
| | exptal. | gráfica | exptal. | gráfica | exptal. | gráfica | exptal. | gráfica | exptal. | gráfica | | |
| H ₂ | 20,39 | 20,4 | 33,24 | 33,2 | 12,797 ^o | 12,8 | 66,95 | 67,0 | 13,96 | 14,0 | 0,071 | 0,071 ^o |
| HD | 22,13 | 22,4 | 35,91 | 36,4 | 14,64 | 15,1 | 62,8 | 62,8 | 16,60 | 16,8 | 0,122 | 0,130 ^o |
| D ₂ | 23,57 | 23,6 | 38,35 | | 16,432 ^o | | 60,3 | 60,3 | 18,72 | 18,5 | 0,169 | 0,164 |
| HT | | 23,6 | 38,26 | 41,1 | 16,28 | 18,9 | 56,7 | 56,7 | | 18,5 | | 0,164 |
| DT | | 24,3 | | 39,5 | | 17,3 | 58,5 | 58,5 | | 19,7 | | 0,188 |
| T ₂ | 24,92 | 24,9 | 40,6 | 40,6 | 18,1 | 18,1 | 57,1 | 57,1 | 20,27 | 20,5 | 0,207 | 0,207 |
| | | | 43,7 | 43,7 | 20,8 | 20,8 | 53,7 | 53,7 | | 21,65 | | 0,248 |

1 Esta tabla está tomada de un artículo de A.S.
Friedman, D. White, y H. L. Johnson titulado "Critical
Constants, Boiling Points, Triple Point Constants and Vapor
Pressure on Fixed Isotopic Hydrogen Molecules Based on Sim-
5 ple Mass Relationship" ("Constantes críticas, puntos de ebu-
llición, constantes de punto triple y presión de vapor en mo-
lecules fijas de hidrógeno isotópico, basadas en relaciones
simples de masas"), Journal of Chemical Physics, vol. 19,
nº 1, enero de 1951. Como se verá por esta tabla, si bien
10 los diversos isótopos de hidrógeno varían en detalle de uno
a otro, en general sus constantes críticas y de punto tri-
ple son aproximadamente las mismas y, por lo tanto, el es-
tudio de uno de los isótopos se aproximará al de los demás
isótopos.

15 Sobre las características del deuterio se presen-
ta una información adicional en un artículo de R. Frydz,
K. D. Timmerhaus y R. B. Stewart titulado "The Thermal Dy-
namic Properties of Deuterium" (Las propiedades térmicas
y dinámicas del deuterio") publicado en Cryogenic Enginee-
20 ring, vol. 13 (1968), págs. 384 a 396. Este artículo incluye
diagramas de temperatura-entalpía. Estos diagramas se usan
para predecir el comportamiento del deuterio durante el
enfriamiento. Indican que enfriando en condiciones de equili-
brio y partiendo de presiones de D₂ gaseoso comprendidas en-
25 tre 10 y 100 atmósferas en una microesfera hermética cerra-
da, el gas se condensará formando deuterio líquido, y luego
formará hielo sólido. Los cálculos normales con líquidos de
condensación indican que serían necesarias más de 3 décimas
de segundo para que apareciese un flujo o paso apreciable.
30 Los mejores resultados se obtienen congelando el isótopo

1 de hidrógeno hasta formar hielo sólido en una fracción de
segundo, para impedir el flujo o paso de líquido dentro de
la microesfera. Esto se consigue colocando el microglóbulo
en un charco de helio líquido, de manera que el enfriamien-
5 to es resultado de la conductividad térmica a través de la
sílice. Los cálculos normales de transmisión de calor indi-
can que se invierten 8×10^5 segundos en recorrer el pro-
ceso de congelación. Este tiempo de congelación es muy favo-
rable desde el punto de vista de la retención de una capa
10 uniforme de líquido en el interior de la microesfera duran-
te el período de enfriamiento. Es muy probable que unos me-
canismos intermedios de enfriamiento o refrigeración que
diesen un tipo de congelación ligeramente más lento podrían
resultar del todo adecuados para retener el hidrógeno lí-
15 quido en su sitio mientras se completase la solidificación.
La presencia del gas tritio en la microesfera contribuirá
con una insignificante cantidad de energía por calentamien-
to radioisotópico

20 Se ha efectuado una carga o llenado de los micro-
glóbulos con H_2 , D_2 y T_2 por penetración, bajo las condi-
ciones arriba sugeridas de calor y presión. Los microgló-
bulos limpiados y clasificados por tamaño se colocaron en
un recipiente de presión como el ilustrado en la figura 4,
lleno de hidrógeno a la presión de 100 atmósferas, se ca-
25 lentaron a $300^\circ C$ y se mantuvieron así durante 96 horas. La
presión a esa temperatura era de 200 kg/cm^2 . Tras la pue-
ta a presión, uno de los métodos empleados para medir la
presión en las microesferas individuales supervivientes fue
el de romper una microesfera llena, estando sumergida en
30 aceite mineral, y observar con un microscopio el tamaño de

1 la burbuja de gas resultante. Los resultados indicaron 90
atmósferas de gas incluido, dependiendo ello del espesor
de pared de la microesfera, en contraste con el valor de
1/3 de atmósfera anterior a la puesta a presión. Al cabo
5 de 18 meses a las temperaturas de ambiente, no hubo cambio
alguno apreciable en la presión interior determinada.

Como se verá, pues, el procedimiento expuesto
puede utilizarse para producir unas cantidades minúsculas
y prefijadas de combustible de fusión encerradas en forma
10 gaseosa, y también el mismo combustible puede obtenerse
en forma de envoltura esférica hueca de material sólido den-
tro de la microesfera de vidrio mantenida a temperaturas
criogénicas.

Con respecto a los detalles de selección, se re-
15 comienda en particular el uso de borosilicato de sodio co-
mo material para las esferas de vidrio, con un diámetro ade-
tado al del haz de laser. Este es preferiblemente de 50 a
500 micras, con un espesor de pared de 0,6 a 3 micras. Las
variaciones en la uniformidad de la pared deben ser menores
20 del 10% del espesor de la pared.

La presión en las esferas ha de estar compendi-
da entre 10 y 100 atmósferas. Se prefiere una temperatura
de penetración de 300°C durante un período de 96 horas.

Se puede señalar que la razón para el grosor de
25 pared arriba indicado reside en la supervivencia del "blan-
co". En un sistema de laser efectivo hay un impulso previo
que precede al impulso principal de laser. El "blanco" de-
be estar construido de modo que sobreviva a este previo im-
pulso y así retenga la configuración apropiada y el com-
30 bustible para el impulsor principal de laser.

REIVINDICACIONES

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sea objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

1ª.- Un método de formar una configuración de combustible termonuclear para uso en un procedimiento de fusión por laser, que comprende las etapas de: (a) seleccionar una microesfera hueca de vidrio que tenga un diámetro comprendido en el intervalo de 60 a 500 micras y un espesor de pared de 0,6 a 3 micras; (b) calentar las microesferas a una temperatura del orden de los 300°C; (c) someter el exterior de las esferas de vidrio a una atmósfera de combustible termonuclear gaseoso durante aproximadamente 96 horas, con el fin de producir la penetración del combustible gaseoso en el interior de la microesfera; y (d) enfriar las microesferas a la temperatura ambiente, para su almacenaje.

2ª.- El método de la reivindicación 1ª, que incluye además la etapa de someter la microesfera rellena a una temperatura criogénica, con el fin de condensar el combustible gaseoso en las paredes interiores de la esfera y solidificar el gas condensado, hasta formar una envoltura esférica hueca de combustible dentro de la esfera.

3ª.- El método de la reivindicación 1ª, en el que la pastilla de combustible termonuclear rellena se somete a temperaturas progresivamente decrecientes, con el fin de separar por congelación las impurezas gaseosas depo-

1 sitándolas en las paredes de la microesfera y dejar el
combustible termonuclear gaseoso en forma purificada den-
tro de la microesfera.

5 4ª.- El método de la reivindicación 3ª, en el
que la pastilla de combustible termonuclear se somete a
nuevas temperaturas decrecientes con el fin de separar
por congelación el combustible termonuclear en forma sólida
de esfera hueca sobre las paredes interiores de la mi-
croesfera de vidrio, por el interior de la capa de impure-
za congelada.

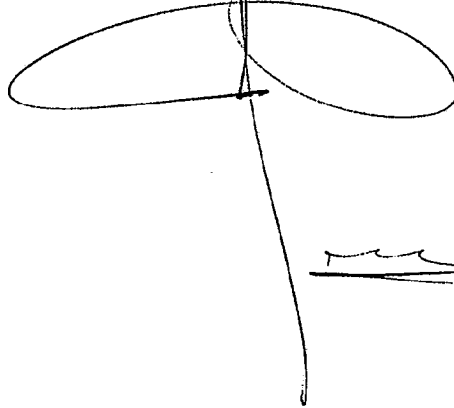
10 5ª.- Un método de formar una configuración de
combustible termonuclear para uso en un procedimiento de
fusión por laser.

15 Tal y como se ha descrito en la Memoria que an-
tecede, representado en los dibujos que se acompañan y
para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de veinticuatro hojas escri-
tas a máquina por una sola cara.

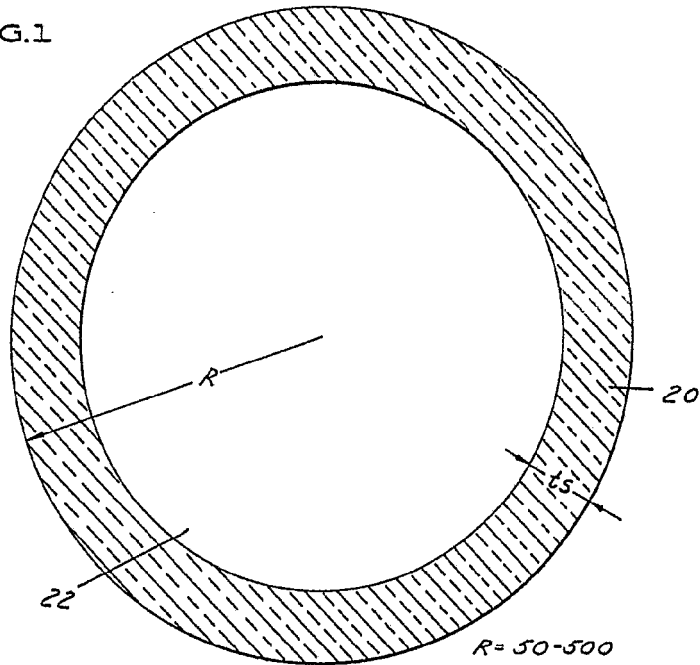
Madrid, 23. Abr. 1976

20 **Fernando de Elizaburu**
Por Poder.



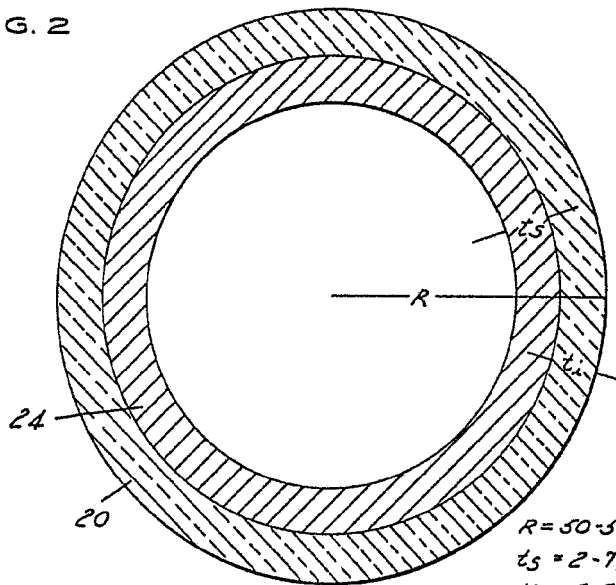
25

FIG. 1



$R = 50-500$
 $t_s = 2-7\%$ R
 $P = 1-100$

FIG. 2



$R = 50-500$
 $t_s = 2-7\%$ R
 $t_i = 0.5-6$

[Handwritten signature]

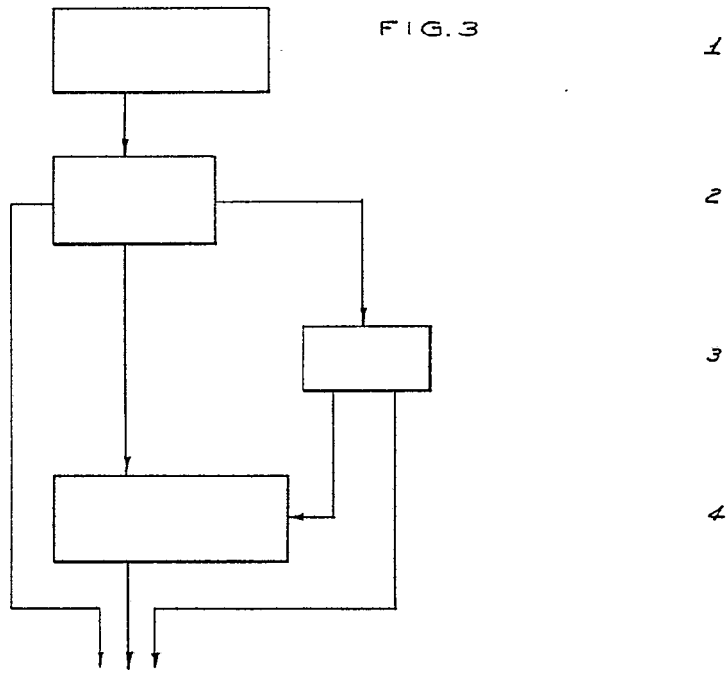
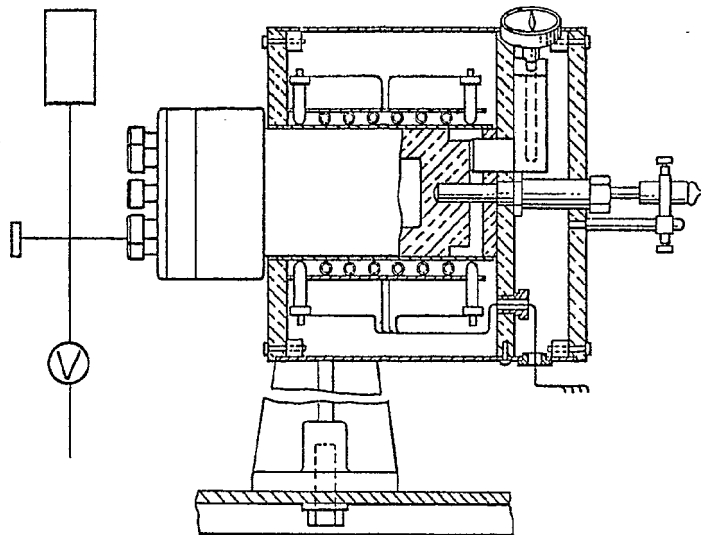


FIG. 4



[Handwritten signature]