

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



19 ES	11 NUMERO	10 AT
	432.534	
	22 FECHA DE PRESENTACION	
	3-12-74	

PATENTE DE INVENCION

P.- 59.183

74713/GBH/dmc

30 PRIORIDADES:		
31 NUMERO	32 FECHA	33 PAIS
47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
64 TITULO DE LA INVENCION		
"PERFECCIONAMIENTOS INTRODUCIDOS EN UNA CONFIGURACION DE COMBUSTIBLE TERMONUCLEAR PARA USO EN UN PROCEDIMIENTO DE FUSION POR LASER"		
71 SOLICITANTE (S)		
KMS FUSION, INC.		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
3941 Research Park Drive, Ann Arbor, Michigan, Estados Unidos de America		
72 INVENTOR (ES)		
Robert Jerrel Teitel y David Eugene Solomon		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		
D. FERNANDO DE ELZABURU MARQUEZ		

COLECCIÓN DE PATENTES DE INVENCION



La presente invención se refiere a la fabricación de pastillas de combustible termonuclear.

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 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 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 para fabricar configuraciones especiales de combustible en gran cantidad, con propósitos de uso extensivo en las operaciones comerciales de fusión en reactor.

El problema planteado a la técnica del ramo es el de realizar unas pastillas de combustible cuyas dimen



siones puedan ser reguladas con precisión y que, por tan-  
to, puedan ser más eficaces en el proceso final de fu-  
sión, y también el de realizar pastillas de combustible  
de una configuración especial que se preste a una implo-  
sión de fusión eficaz por efecto de la entrada de energía  
5 de laser aplicada.

Por todo ello, un objeto de la presente inven-  
ción es revelar una configuración de pastilla de combus-  
tible termonuclear que se adapte a los requisitos pres-  
critos por la física nuclear en relación con la misma, y  
10 también un método para fabricar estas pastillas de com-  
bustible, que pueda regularse fácilmente y que permita  
fabricar a poco costo y con resultados uniformes, en cir-  
cunstancias conducentes a la comercialización y produc-  
ción.  
15

Otros objetos y rasgos característicos de la in-  
vención, relativos a detalles del procedimiento, los ma-  
teriales usados y la forma de construcción, se irán des-  
prendiendo de la descripción que sigue y de las reivindi-  
caciones finales, en las cuales se revelan los princi-  
20 pios de funcionamiento y operación, en unión del mejor  
modo que en la actualidad se prevé para la realización  
del invento.

Los dibujos que acompañan a esta exposición,  
25 y las diversas vistas de los mismos, pueden describirse



brevemente así:

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

5 - la figura 2 es una vista esquemática que representa una pastilla de combustible con un forro esférico interior sólido de combustible termonuclear;

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

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

En términos resumidos, la invención prevé el empleo de unas envolturas huecas y pequeñas, de un material tal como vidrio, que tienen las dimensiones deseadas para el producto final. Estas envolturas son expuestas a los isótopos de hidrógeno en la forma de gas, tales como deuterio-tritio, en condiciones de presión y calor tales que el gas penetrará a través de las paredes de las microesferas o envolturas huecas y quede encerrado en su interior. 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.

25 Las envolturas huecas a utilizar para la configuración de combustible y en el procedimiento serán aquí

20 MAR 1975

denominadas microesferas, y pueden estar hechas de vidrio, material cerámico, carbono, plástico o metal, como estructura inicial básica. Estas esferas huecas pueden obtenerse comercialmente, identificadas a veces por las marcas comerciales 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 comercialmente en espumas sintéticas, materiales estructurales de poca densidad, dieléctricos y aislamiento térmico. En la tabla I que sigue se relacionan las correspondientes patentes de EE.UU. que describen los procedimientos y el producto de realizar microesferas de vidrio y otras clases:

15

20

25

13.3.75

20 MAR 1975

TABLA I

<u>Patente n<sup>o</sup>.</u>	<u>Concedida el:</u>	<u>Inventores y título:</u>	
5	2.797.201	25 Jun. 1957	Veatch y col.: Un procedimien to de fabricar partículas hue cas, y el producto resultan- te.
	3.138.444	23 Jun. 1964	Searight y col.: Un método y aparato para fabricar glóbulos de vidrio.
10	3.161.468	15 Dic. 1964	Walsh: Un procedimiento para fabricar esferas huecas de sílice.
15	3.365.315	23 Ene. 1968	Beck y col.: Burbujas de vidrio preparadas por recalentamien to de partículas sólidas o ma cizas de vidrio.
	3.441.396	29 Abr. 1969	D'Eustachio y col.: Un proce dimiento para fabricar mate- riales celulares.
20	3.615.972	26 Oct. 1971	Morehouse y col.: Partículas expansibles de polímeros ter moplásticos.

25

13.3.75



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

5 Fundamentalmente, las microesferas de vidrio (que es el principal material propuesto) se forman mediante pulverización de compuestos volátiles que contienen vidrio, e inyección del vidrio pulverizado en una corriente de gas que recorre o atraviesa una zona caliente tal como la formada por un soplete. Mientras están en 10 la zona caliente, los compuestos volátiles se vaporizan y expanden, lo cual, unido o combinado con la tensión superficial 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 15 vidrio, la temperatura de la zona caliente, la velocidad a la cual se hacen pasar los gases por la zona caliente, y la refrigeración proporcionada después. Las microesferas de que se dispone en el mercado vienen estando proyectadas para dar una densidad relativamente baja y, por 20 lo tanto, vienen teniendo un espesor de pared de aproximadamente 1 a 2 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 25 obtenibles, fabricadas por Emerson y Cuming, Inc.



20 MAR 1975

TABLA II

PROPIEDADES DE UNOS MICROGLOBULOS DE VIDRIO OBTENIBLES  
EN EL MERCADO:

Propiedades	Calidad			
	IG 101	SI	FTL 200	
5 Composición	Borosilicato Sílice. >99% SiO <sub>2</sub> de sodio			
Distribución de tamaños de partículas, micras (% en peso):				
	Mayores de 175	5	0	2
10	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	52
	De 44 a 62	10	15	11
15	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)				
20		482	982	1093
Resistencia a la compresión, en % en volumen de supervivientes a la presión (Kg/cm <sup>2</sup> ) indicada:				
	35 Kg/cm <sup>2</sup>			96,3
	70 Kg/cm <sup>2</sup>			66,4
25	105 Kg/cm <sup>2</sup>			46,2

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

10 En la fig. 1 se representa la envoltura estructural 20 en forma de sección recta de una esfera que contiene un combustible termonuclear 22 gaseoso el cual, naturalmente, 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  
15 o carbono, y contendrá una mezcla gaseosa de isótopos de hidrógeno, tal como deuterio o mezcla de deuterio y tritio.

20 En la fig. 2 se representa la envoltura estructural 20, pero en este caso lleva en su interior superpuesta una capa sólida de combustible termonuclear 24, que deja un vacío en la región central de la esfera. En la forma de los diseños de pastilla arriba indicados, hay ciertas etapas de procedimiento que se ilustran en la fig. 3 en forma de esquema o diagrama de funciones.

25 La etapa primeramente indicada del procedimiento

10 111  
20 MAR 1975

5 lleva consigo la obtención y selección de las microesfe-  
ras. Como se ha indicado más arriba, estas microesferas  
son obtenibles comercialmente y la selección implica una  
consideración de la composición química, el tamaño, el  
10 espesor de pared, la resistencia mecánica de la pared y  
el contenido residual de gas. El material estructural  
preferido para las envolturas es el vidrio, a causa de  
su resistencia mecánica inherente, su disponibilidad en  
los tamaños deseados a un costo módico en grandes canti-  
dades, y su esfericidad y grosor de pared relativamente  
uniformes.

15 La selección de una composición de vidrio con-  
creta y específica se basa en su permeabilidad para con  
los isótopos de hidrógeno (incluidos, como se verá más  
adelante, todos los isótopos de hidrógeno individualmen-  
te o en mezclas y en los estados "orto" o "para" de espín  
o rotación corpuscular) y su temperatura de ablandamien-  
to. Los elevados contenidos de sílice favorecen las al-  
tas permeabilidades y las elevadas temperaturas de ablan-  
20 damiento. 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 ablandamien-  
to.

25 Las microesferas de vidrio pueden clasificarse  
a cualquier tamaño deseado por métodos ya conocidos, de



20 MAR. 1975

5 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.

10 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).

15 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 introduciendo las microesferas en un baño fluido. Las microesferas que están herméticamente cerradas flotan, y las partes rotas o las microesferas no del todo cerradas se hunden y de ese modo se separan. A continuación puede aplicarse la carga de tracción a las paredes de las microesferas por penetración o infiltración, llevando las microesferas por el procedimiento que más adelante se describe, hasta alcanzar una presión superior a la que finalmente se desee. Las supervivientes pueden recuperarse por el procedimiento de flotación arriba mencionado.

25 Dentro de las microesferas seleccionadas hay

13.3.75



20 MAR. 1975

unos gases residuales que se derivan de los agentes hin-  
chantes o expansores usados en la manufactura. Pueden  
ser  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  o  $\text{SO}_2$ , o mezclas de los mismos. En algunos  
casos, puede ser deseable evacuar estos gases por un  
5 procedimiento de penetración; pero el presente procedi-  
miento prevé una laminación selectiva de estos gases pa-  
ra reducir el efecto en el proceso de fusión.

La primera etapa del procedimiento trae consigo  
también la acción de limpiar adecuadamente las microesfe-  
ras para quitar la materia subdividida en partículas que  
10 pueda haber presente en la superficie exterior. En un  
procedimiento típico de limpieza se utiliza tricloretilo  
no caliente para la eliminación del material orgánico, y  
un lavado con solución acuosa detergente en un baño agi-  
15 tado por ultrasonidos para la eliminación de sales y  
otras materias 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  
20 pura para eliminar 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 micro-  
25 esferas seleccionadas en un recipiente de presión obteni-

20 MAR 1975

ble 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 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 fig. 4 tiene una cámara interior adecuada rodeada por unos serpentines de calefacción conectados a una alimentación de energía. 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 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"), de Saul Dushman, editado por John Wiley & Sons, Inc., Nueva York, 1949. La tabla III que sigue indica unos datos de difusión tomados de dicha publicación.

25

13.3.75





20 MAR 1975

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  $3 \times 10^{-7}$  a  $750^\circ C$ , en tanto que el borosilicato de sodio tiene un factor K de  $2 \times 10^{-11}$  a  $520^\circ C$ . La sílice tiene un factor K de  $2 \times 10^{-11}$  a  $25^\circ C$ .

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  $1,1 \times 10^{-9}$ . 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:

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

donde

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

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

$r$  = radio de la pequeña esfera hueca (cm)

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

$K$  = permeabilidad, en centímetros cúbicos de gas (a presión y temperatura normales) por segundo, por  $cm^2$  de área, por

20 MAR 1975

mm de espesor, por cm de columna de mercurio de presión.

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

15 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 ( $\Delta P$ ) puede relacionarse con la resistencia a 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 super-



20 MAR 1975

ficie afectan grandemente a la resistencia a la tracción. Normalmente, se usa un valor de resistencia de  $70 \text{ kg/cm}^2$  para los cálculos o proyectos estructurales. Ahora bien, también se sabe que las fibras de vidrio de un diámetro

5 de 1 a 2 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.

10 Usando la ecuación 2 se ha calculado que en las microesferas de vidrio podrían contenerse unas presiones interiores de  $1060 \text{ kg/cm}^2$ , o sea de 1000 atmósferas sobre poco más o menos. Los requisitos actuales para las pastillas de combustible termonuclear indican como adecuada la presión de 100 atmósferas.

15

La presión y la temperatura del gas deuterio-tritio que rodea las microesferas se mantiene durante un período suficiente para hacer que la presión en el interior de la microesfera ascienda al 99% de la presión exterior. Este período se ha establecido con precisión por medio de una serie de experimentos en los

20 cuales las microesferas particulares son tratadas a diversas temperaturas durante diferentes períodos. Tras estas pruebas, y para confirmar la presión de isótopo de hidrógeno contenida en el interior de la carga de

25



20 MAR. 1975

difusión, se rompen las microesferas y se miden las cantidades de gases liberados, por dos procedimientos: 1º, por análisis de gases en espectrómetro de masas; y 2º por el tamaño real de la burbuja de gas en un fluido.

5 Como ejemplo, un lote de microesferas fue sometido a tratamiento a 300°C y bajo una presión de 100 atmósferas 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  
10 cúbico.

Tras de mantenerse la temperatura y la presión durante el período o intervalo de tiempo deseado, la temperatura del recipiente de presión se hace bajar a la temperatura 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,  
15  $10^4$  veces menor que a temperaturas elevadas, los gases contenidos permanecerán encerrados en las microesferas durante las operaciones sucesivas de manipulación.

20 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  
25 (ecuación 1) desarrolladas para la predicción de la

13.3.75



20 MAR. 1975

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).

5

10

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.

15

20

25

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 cierre hermético para

13.3.75



20 MAR 1975

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 segundo 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 recubrimiento puede engruesar la pared de la estructura, mejorando las propiedades de implosión de la pastilla; y en cuarto lugar, un recubrimiento puede servir como canal de energía para dar una iluminación más uniforme de las pastillas de combustible. Estas capas de recubrimiento pueden aplicarse por deposición de vapores al vacío, bombardeo iónico, deposición química de vapores, galvanotecnia con o sin electrolito 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 tratamiento existen dos razones o propósitos. En primer lugar, 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 estructural, mediante la elección de una temperatura intermedia entre la de separación por congelación del gas de impureza y la temperatura de separación por



20 MAR. 1975

congelación de los isótopos de hidrógeno. Por ejemplo, a las temperaturas del nitrógeno líquido se separarán por congelación  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , quedando en el núcleo de la pastilla el gas isótopo de hidrógeno purificado. Esta  
5 etapa por sí sola proporcionará unas pastillas que pueden utilizarse en operaciones de fusión, si se dispone de una entrada adecuada de energía de laser.

La segunda razón para el uso de las temperaturas criogénicas sería la de separar por congelación el  
10 gas isótopo 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 configuración.

15 La congelación de los gases dentro de las microesferas puede efectuarse de cierto número de maneras distintas. Sabido es que el hidrógeno, el deuterio y el tritio líquidos mojarán una superficie de vidrio, lo que asegura que la condensación en el vidrio formará una  
20 capa continua uniforme 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 conglomerarse desigualmente en la  
25 esfera, o bien que sea también posible mantener las mi-



20 MAR 1975

croesferas 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 congela en su interior. En la bibliografía técnica relativa a la congelación de los isótopos de hidrógeno existe una información 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.

10

15

20

25

13.3.75

TABLA IV

CONSTANTES CRITICAS, DE PUNTO DE EBULLICION Y DE PUNTO TRIPLE, PREDICHAS GRAFICAMENTE PARA LOS ISOTOPOS DE  
 HIDROGENO

Punto de ebullición		Constantes críticas				Punto triple					
$T_b$ (°K)		$T_c$ (°K)	$P_c$ (atmós.)	$V_c$ (cc/mol)	$T_c$ (°K)	$P_t$ (atmós)					
exptal.	gráfica	exptal.	gráfica	exptal.	gráfica	exptal.					
H <sub>2</sub>	20,39	20,4	33,2	12,8	66,95	67,0	13,96	14,0	0,071	0,071	
HD	22,13	22,4	35,91	36,4	14,64	15,1	62,8	16,60	16,8	0,122	0,130
			38,35		16,432 <sup>o</sup>						
D <sub>2</sub>	23,57	23,6	38,3	38,3	16,4	60,3	60,3	18,72	18,5	0,169	0,164
HT		23,6	41,1	38,3	18,9	56,7	56,7		18,5		0,164
DT		24,3	39,5	39,5	17,3	58,5	58,5		19,7		0,188
T <sub>2</sub>	24,92	24,9	40,6	40,6	18,1	57,1	57,1	20,27	20,5	0,207	0,207
			43,7	43,7	20,8	53,7	53,7		21,65		0,248



20 MAR 1973

5 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 Simple Mass Relationship" ("Constantes críticas, puntos de ebullición, constantes de punto triple y presión de vapor en moléculas 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 los diversos isótopos de hidrógeno varían en detalle de uno a otro, en general sus constantes críticas y de punto triple son aproximadamente las mismas y, por lo tanto, el estudio de uno de los isótopos se aproximará al de los demás isótopos.

15 Sobre las características del deuterio se presenta una información adicional en un artículo de R. Prydz, K. D. Timmerhaus y R. B. Stewart titulado "The Thermal Dynamic Properties of Deuterium" ("Las propiedades térmicas y dinámicas del deuterio") publicado en Cryogenic Engineering, 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 equilibrio y partiendo de presiones de D<sub>2</sub> gaseoso comprendidas entre 10 y 100 atmósferas

20 MAR 1975

en una microesfera herméticamente cerrada, el gas se con  
densará formando deuterio líquido, y luego formará hielo  
sólido. Los cálculos normales con líquidos de condensa-  
ción indican que serían necesarias más de 3 décimas de  
5 segundo para que apareciese un flujo o paso apreciable.  
Los mejores resultados se obtienen congelando el isótopo  
de hidrógeno hasta formar hielo sólido en una fracción  
de segundo, para impedir el flujo o paso de líquido den-  
tro de la microesfera. Esto se consigue colocando el mi-  
croglóbulo en un charco de helio líquido, de manera que  
10 el enfriamiento es resultado de la conductividad térmica  
a través de la sílice. Los cálculos normales de transmi-  
sión de calor indican que se invierten  $8 \times 10^{-5}$  segundos  
en recorrer el proceso de congelación. Este tiempo de con  
15 gelación es muy favorable desde el punto de vista de la  
retención de una capa uniforme de líquido en el interior  
de la microesfera durante el período de enfriamiento.  
Es muy probable que unos mecanismos intermedios de enfria  
miento o refrigeración que diesen un tipo de congela-  
20 ción ligeramente más lento podrían resultar del todo ade  
cuados para retener el hidrógeno líquido en su sitio  
mientras se completase la solidificación. La presencia  
del gas tritio en la microesfera contribuirá con una in-  
significante cantidad de energía por calentamiento radio  
25 isotópico.

13.3.75

20 MAR 1975

Se ha efectuado una carga o llenado de los microglóbulos con  $H_2$ ,  $D_2$  y  $T_2$  por penetración, bajo las condiciones arriba sugeridas de calor y presión. Los microglóbulos limpiados y clasificados por tamaño se colocaron en un recipiente de presión como el ilustrado en la fig. 4, lleno de hidrógeno a la presión de 100 atmósferas, se calentaron a  $300^{\circ}C$  y se mantuvieron así durante 96 horas. La presión a esa temperatura era de  $200 \text{ kg/cm}^2$ . Tras la puesta 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 aceite mineral, y observar con un microscopio el tamaño de 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 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 gaseosa, y también el mismo combustible puede obtenerse en forma de envoltura esférica hueca de material sólido dentro de la microesfera de vidrio mantenida a



temperaturas criogénicas.

5 Con respecto a los detalles de selección, se recomienda en particular el uso de borosilicato de sodio como material para las esferas de vidrio, con un diámetro adaptado 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 del 10% del espesor de la pared.

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

15 Se puede señalar que la razón para el grosor de pared arriba indicado reside en la supervivencia del "blanco". En un sistema de laser efectivo hay un impulso previo, que precede al impulso principal de laser. El "blanco" debe estar construido de modo que sobreviva a este previo impulso y así retenga la configuración apropiada y el combustible para el impulsor principal de laser.

20

25

13.3.75



### REIVINDICACIONES

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

10                    1ª.- Perfeccionamientos introducidos en una configuración de combustible termo-nuclear para uso en un procedimiento de fusión por laser según los cuales dicha configuración comprende; (a) una microesfera hueca de vidrio formada de borosilicato de sodio, que tiene un diámetro adaptado a un haz de laser, comprendido en el intervalo de  
15                    60 a 500 micras, y un espesor de pared de 0,6 a 3 micras; y (b) una carga de combustible nuclear compuesta de uno o más isótopos de hidrógeno, dentro de dicha microesfera, bajo una presión de 10 a 100 atmósferas a la temperatura ambiente.

20                    2ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, según los cuales la variación del espesor de pared de la microesfera es menor del 10% del espesor de pared.

25                    3ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 1ª, según los cuales a temperaturas criogénicas,



el combustible de fusión está dispuesto a modo de capa sólida, formando una envoltura hueca sobre la superficie interior de la microesfera de vidrio.

5 4ª.- Perfeccionamientos de acuerdo con la reivindicación 3ª, según los cuales hay una capa de gases de impureza solidificados dispuesta sobre la superficie interior de dicha microesfera de vidrio, y en la cual el combustible está dispuesto dentro de la esfera de gases de impureza sólida.

10 5ª.- Perfeccionamientos introducidos en 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 antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de veintinueve hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 23.ABR.1976

P.A.

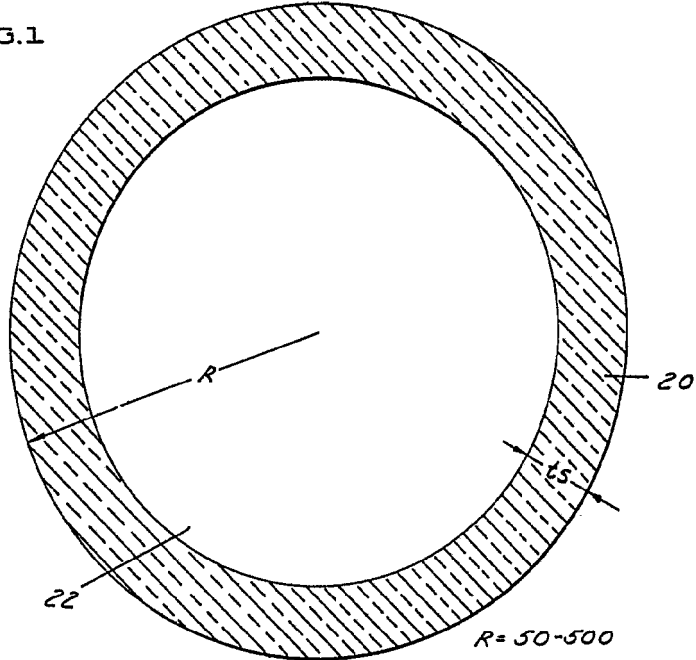
Fernando de Elizaburu  
Por Poder.

20

12.4.76  
ACM.

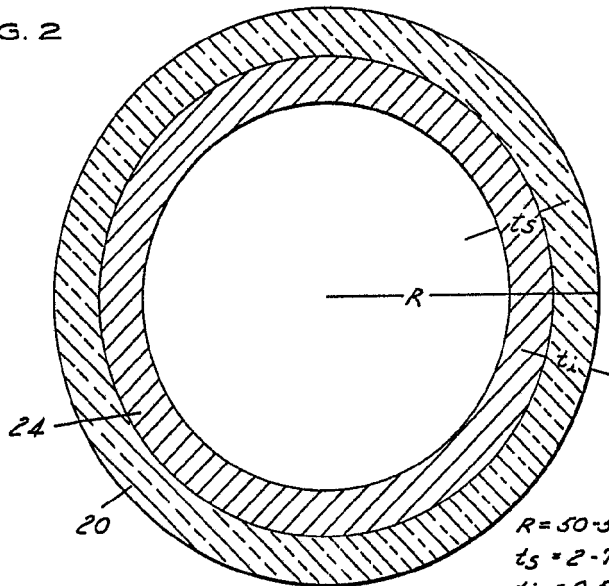
20 MAR 1975

FIG. 1



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

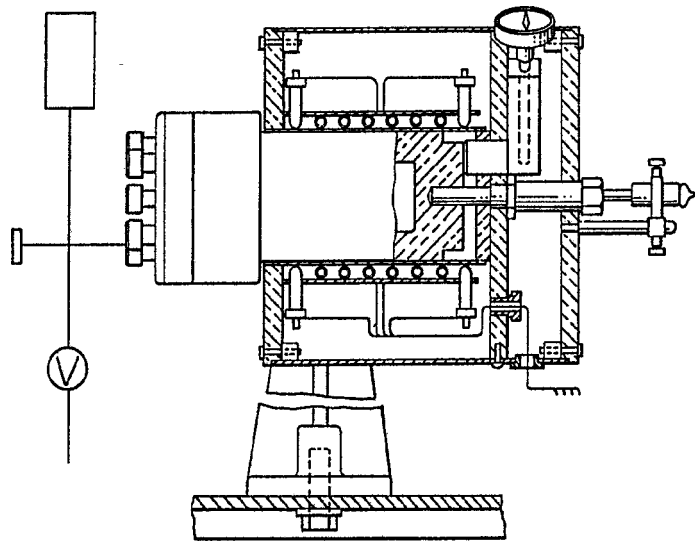
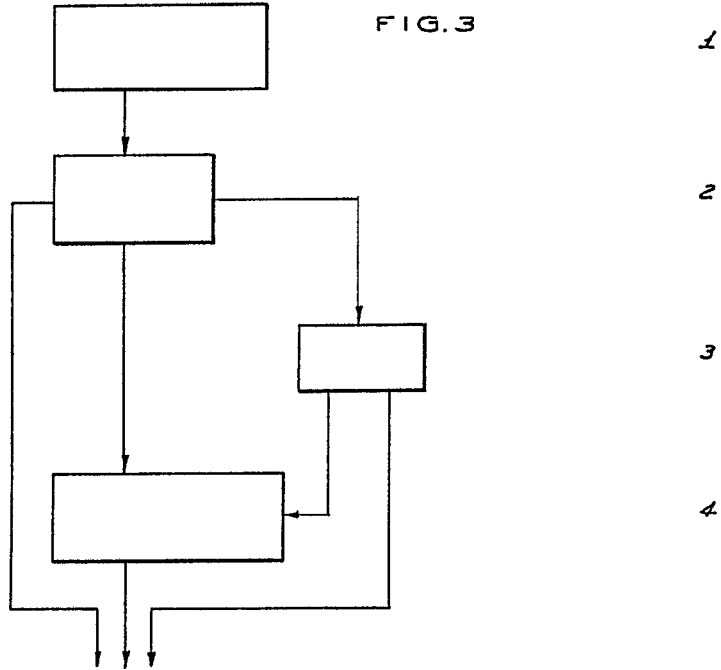
FIG. 2



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

Fernando de Elizaburu  
Por Poder.

*Page 2*  
20 MAR 1975  
U.S. PATENT OFFICE  
MAIL ROOM



Fernando de Elizaburu  
Por Poder.