



10	ES	11	NUMERO	10	A1
		21	<b>452622</b>		
		22	FECHA DE PRESENTACION		
			92 OCT. 1976		

**PATENTE DE INVENCION**

20 PRIORIDADES:		
21 NUMERO	22 FECHA	23 PAIS
EN 75 32643	24 Octubre 1.975	Francia.
EN 76 19593	28 Junio 1.976	Francia.
24 FECHA DE PUBLICACION	25 CLASIFICACION INTERNACIONAL	26 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	B01D	
27 TITULO DE LA INVENCION		
PERFECCIONAMIENTOS EN DISPOSITIVOS PARA SEPARAR LOS CONSTITUYENTES DE UNA MEZCLA GASEOSA.		
28 SOLICITANTE (ES)		
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE.		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
29, rue de la Fédération, 75752, PARIS, Francia.		
29 INVENTOR (ES)		
Alex ROSENGARD, Ing.		
30 TITULAR (ES)		
31 REPRESENTANTE		
GOMEZ - ACEBO.		

La presente invención se refiere a unos perfeccionamientos en dispositivos de separación de los constituyentes de una mezcla gaseosa, y en particular la separación de las variedades isotópicas de masas diferentes de un cuerpo en estado gaseoso.

Este dispositivo según la invención se aplica en la separación de las variedades isotópicas de masas diferentes de una mezcla gaseosa como por ejemplo las variedades isotópicas  $^{235}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$  del uranio en forma de hexafluoruro gaseoso. Sin embargo, el dispositivo según la invención puede igualmente aplicarse para la separación de cuerpos cualesquiera cuyas masas son muy diferentes como por ejemplo la separación del hidrógeno y del hexafluoruro de uranio, en una mezcla de estos dos cuerpos.

Se sabe que la separación isotópica de las dos variedades isotópicas del uranio  $^{235}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$  es un problema fundamental para la fabricación del combustible enriquecido utilizado en la mayoría de los reactores nucleares: en efecto, a partir de una mezcla que contiene una pequeña proporción de uranio  $^{235}$  (uranio natural), es preciso, para poder utilizar ésta, enriquecer la mezcla de uranio  $^{235}$ .

Para lograr esto, numerosos dispositivos han sido utilizados en el arte anterior, en particular la difusión gaseosa, la ultracentrifugación, etc; la presente invención tiene como objeto un dispositivo que permite obtener una separación mas eficaz con costos de inversión, por ende de amortización, mas pequeños y una instalación mas simple a la que se suma un consumo de energía menor.

La presente invención se refiere a un dispositivo para separar los constituyentes de una mezcla gaseosa en el que

la mezcla atraviesa un recipiente que tiene un eje de revolución en el que engendra un vortex o torbellino cuyo eje coincide con el eje del recipiente, caracterizado porque una pluralidad de orificios de admisión de la mezcla se reparten sobre toda la superficie del recipiente, y porque unos medios de evacuación de las fracciones diversamente enriquecidas en uno de los constituyentes de la mezcla son centrados en el eje del recipiente.

En una forma de realización preferente de la invención, el dispositivo comprende al menos:

- un recipiente fijo hueco de forma sensiblemente cilíndrica, siendo la directriz del cilindro un círculo de radio  $a$ , estando provisto el recipiente cilíndrico en su superficie lateral de una red de aberturas de inyección que ponen en comunicación el interior del recipiente cilíndrico con una fuente de mezcla gaseosa a presión, formando la proyección sobre una sección recta del cilindro del eje A de cada abertura de inyección, sensiblemente un ángulo generalmente constante con el plano tangente al recipiente que pasa por la abertura de inyección, formando igualmente el eje A un ángulo  $\beta$  generalmente sensiblemente constante con una sección recta del recipiente cilíndrico, estando cerrado el recipiente cilíndrico en sus dos porciones extremas por dos tapas,

- primeros medios para recoger una primera fracción de la mezcla gaseosa que se escapa a través de una primera abertura de extracción al menos de una tapa, abertura dispuesta cerca del eje del recipiente cilíndrico y,

- segundos medios para recoger los gases que se escapan a través de una segunda abertura de extracción al menos situada entre la primera abertura y la periferia de una tapa.

Este dispositivo hace que la mezcla gaseosa sea enviada a sobrepresión al recipiente cilíndrico a una velocidad inicial  $V$  dirigida hacia el interior del recipiente cilíndrico; la proyección de la velocidad  $V$ , sobre una sección recta del cilindro (velocidad  $V$  de conjunto cuya dirección coincide con el eje  $A$  de las aberturas) forma un ángulo  $\alpha$  constante con el plano tangente  $\pi$  al recipiente cilíndrico, lo que hace que las velocidades desarrollen un cilindro de eje confundido con el eje del recipiente cilíndrico y de radio  $a \cos \alpha$ . El ángulo  $\beta$  entre el eje  $A$  de las aberturas laterales y las secciones rectas del cilindro puede valer cero: en ese caso, las velocidades  $V$  de introducción de la mezcla gaseosa se sitúan en planos de sección recta. Esta inserción de gas en el recipiente cilíndrico tiene como finalidad engendrar un torbellino gaseoso en el interior del cilindro, torbellino gaseoso que permite por efecto de la centrifugación en fase gaseosa separar radialmente los compuestos isotópicos de masa diferente tal como uranio 235 y uranio 238. Merced a los primeros medios se escapa la fracción de la mezcla gaseosa de masa menor, es decir en el caso de una mezcla isotópica de uranio, una mezcla "enriquecida", más concentrada en uranio 235. En el caso de una mezcla gaseosa introducida que comprende a la vez uranio en estado hexafluoruro e hidrógeno, la fracción de la mezcla gaseosa que se escapa a través de los primeros medios está enriquecida a la vez de uranio 235 y de hidrógeno. Por el contrario, en la segunda abertura de extracción, de la  $e$  de las tapas, que rodea la primera abertura de extracción se escapan mezclas concentradas en la variedad isotópica de la masa mayor, uranio 238 por ejemplo y enriquecida en uranio 235 y en hidrógeno. Medios para aspirar los dos fracciones gaseosas a través de las aberturas pueden incluir

bombas aspirantes. La mezcla gaseosa es enviada a través de las aberturas de las paredes laterales después haber sido preferentemente puesta a presión por uno o varios compresores.

5 Como se verá a continuación, la red de aberturas de inyección en la superficie lateral del recipiente cilíndrico es una red cuya malla es un paralelogramo curvilíneo compuesto, por una parte, de dos arcos de directrices circulares de longitud  $\frac{2\pi a}{n}$  (siendo n entero y que puede ser igual a 1) y, por otra parte, ya sea, de segmentos de generatrices de longitud b, 10 o bien de fragmentos de una o mas hélices paralelas de longitud c trazadas en la superficie y que alcanzan las porciones extremas de los arcos. La mezcla a separar, constituida, ya sea de hexafluoruro de uranio, por ejemplo, o bien de hexafluoruro asociado a un gas portador ligero tal como hidrógeno o helio, se 15 envía, a través de las aberturas de inyección de la superficie cilíndrica, al recipiente cilíndrico para ocasionar una velocidad de rotación periférica constante de la mezcla. Las aberturas de inyección de la superficie cilíndrica pueden igualmente estar constituidas por ranuras helicoidales o rectilíneas según 20 generatrices; las aberturas de inyección pueden igualmente en una variante de realización de la invención, unirse a tubos de aprovisionamiento de mezcla gaseosa de igual eje que el eje A de las aberturas.

25 El recipiente utilizado es preferentemente un cilindro recto de directriz circular. Va sin decir que cualquier otro tipo de recipiente de forma alargada y de sección circular, y por el que se introduzca en la superficie lateral la mezcla a separar para extraer en las porciones extremas fracciones diversamente enriquecidas, se incluye en el marco de la invención.

30 Para que la separación radial en isótopo ligero y en

isótopo pesado sea buena, no es preciso que la turbulencia de la mezcla gaseosa en el interior del cilindro degrade la eficacia. Para lograr esto y para evitar la turbulencia, el número de Reynolds relativo a la rotación del fluido:

5

$$R_0 = \frac{2a \cdot V \cdot \rho}{\mu}$$

10

donde V designa la velocidad de rotación de fluido en la periferia del torbellino (fuera de la capa límite), a el radio del tubo cilíndrico,  $\rho$  la masa específica del fluido,  $\mu$  su viscosidad, debe ser inferior a un valor límite que corresponde a la aparición de la turbulencia en la corriente o deslizamiento gaseoso.

15

De forma inesperada, ha sido calculado que este valor límite podía ser mas elevado que lo inicialmente previsto y que se podía ir hasta valores del orden de 30.000 sin perturbar el deslizamiento por una turbulencia nociva para una buena separación isotópica.

20

La adición mayoritaria de un gas portador ligero a la mezcla isotópica de hexafluoruro de uranio permite, para una presión, una temperatura, y una velocidad dada, disminuir el valor  $\rho$  con respecto al hexafluoruro de uranio puro, por ende aumentar el diámetro 2a del tubo cilíndrico utilizado. Además, la velocidad del sonido al ser mas elevada en una mezcla ligera, la obtención de una velocidad de inyección mas elevada es mas fácil. Para evitar las pérdidas de energía y las turbulencias ligadas a un deslizamiento supersónico, se opera siempre a una velocidad de inyección V subsónica.

25

30

Merced a la introducción de un gas portador ligero, se puede obtener elementos separadores, es decir dispositivos según la invención, de recipientes cilíndricos y de intro-

ción repartidos sobre la superficie lateral, cuyas dimensiones precisadas mas tarde permiten una realización industrial fácil.

5 En el caso en que no se utilice gas portador sino únicamente la mezcla isotópica pesada de hexafluoruro de uranio por ejemplo, es necesario reducir fuertemente la dimensión del recipiente cilíndrico.

10 Un dispositivo preferente de realización de la invención para la separación isotópica de una mezcla que comprende un isótopo ligero y un isótopo pesado, comprende sobre una al menos de las dos tapas en las porciones extremas del recipiente cilíndrico, tres zonas sensiblemente concéntricas; la primera de estas tres zonas contada a partir del centro de la tapa es una zona perforada por una abertura de extracción central  $P$  en el eje del recipiente cilíndrico, abertura de radio  $r_1$  por la  
15 que se escapa una mezcla gaseosa enriquecida en isótopo ligero; la segunda zona anular  $S_1$  está perforada por una abertura anular de anchura  $r_2$  que rodea a la primera abertura; la zona  $S_1$  es generalmente adyacente a la zona  $P$  y por la abertura anular de esta zona se escapa una mezcla gaseosa enriquecida en isótopo  
20 pesado; y por último, la tercera zona  $S_2$  está perforada por al menos una abertura por la que se escapa una mezcla gaseosa de composición sensiblemente idéntica a la composición de la mezcla gaseosa inyectada en el cilindro por las aberturas de inyección laterales.

25 Los estudios experimentales y teóricos han permitido medir perfiles de separación isotópica determinando la concentración de un isótopo dado de la mezcla gaseosa en función de la distancia radial medida a partir del eje del recipiente cilíndrico y han puesto de manifiesto la existencia de un pico  
30 estrecho de concentración en componente pesado; la concentración

de este pico se pondrá mas claramente de manifiesto en las figuras anexas. La curva que establece el perfil de separación isotópica en función de la distancia radial en el recipiente cilíndrico, permite determinar con precisión los valores ideales de los radios  $r_1$  y  $r_2$ . Además, como en una parte importante de la superficie de las tapas, la concentración isotópica y química de la mezcla gaseosa es muy próxima de la concentración de inyección, el dispositivo según la invención comprende según una forma de realización ventajosa, medios para reciclar en los orificios de inyección de la superficie lateral del o de los recipientes cilíndricos, la mezcla que se escapa por uno o varios orificios situados en las zonas  $S_2$  de los recipientes cilíndricos asociados a estas mismas zonas. Esto disminuye el trabajo de recompresión puesto que el flujo que es reciclado corresponde a la parte del fluido situada lejos del eje del recipiente cilíndrico, que está menos deprimida y, por otra parte, la relación de los flujos que se escapan por las zonas  $S_1$  y P es disminuida, lo que a los ojos del experto es muy ventajoso. Por último, la separación de los flujos en tres partes aumenta la potencia de separación.

Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto a continuación con el transcurso de la descripción que sigue de varios ejemplos de realización dados a título explicativo pero en modo alguno limitativo y con referencia a las figuras anexas, en la que:

La figura 1 es un ejemplo de realización del dispositivo según la invención que comprende una red de aberturas tal que las aberturas de inyección estén alineadas según generatrices del recipiente cilíndrico.

La figura 2 muestra a mayor escala una sección del re-

recipiente cilíndrico.

La figura 3 es un ejemplo de recipiente cilíndrico cuyas aberturas de inyección están alineadas en hélices paralelas trazadas sobre la superficie del recipiente cilíndrico.

5

La figura 4, muestra un esquema que indica los ángulos que definen la velocidad de entrada de la mezcla gaseosa en el recipiente cilíndrico.

La figura 5, es un ejemplo de realización de las aberturas de extracción en las tapas del recipiente cilíndrico.

10

La figura 6 muestra una forma de realización según la invención donde las aberturas de inyección son ranuras laterales según generatrices del cilindro que constituye el recipiente.

15

La figura 7 es un ejemplo de realización donde las aberturas son ranuras helicoidales paralelas trazadas sobre la superficie cilíndrica del recipiente.

20

La figura 8 es un ejemplo de realización según la invención donde las aberturas de inyección están dispuestas según hélices trazadas en la superficie, comprendiendo una primera parte de red, hélices con un paso a derechas y una segunda parte de red constituida por hélices con un paso a izquierdas.

25

Las figuras 9, 10 y 11 son tres formas de realización diferentes de dos tapas que cierran el cilindro y que permiten separar fracciones enriquecidas y empobrecidas en uranio 235.

La figura 12 es una vista en sección de la configuración de extracción de una tapa según una forma de realización preferente de la invención.

30

Las figuras 13a y 13b, son una vista de perfil de dos formas de realización preferentes de las aberturas que co-

responden a las diferentes zonas de la o de las tapas del recipiente cilíndrico donde se efectúa la separación isotópica, tales como se representan en sección en la figura 12.

5 Las figuras 14 y 15 son perfiles de concentración isotópica representados en función de la distancia radial con respecto al eje del recipiente cilíndrico.

La figura 16, es un esquema explicativo del reciclado de los gases que salen por la zona  $S_2$  de la tapa del recipiente cilíndrico.

10 En la figura 1 se ha representado un dispositivo según la invención, que comprende un recipiente cilíndrico 2 cerrado en sus dos porciones extremas por tapas planas idénticas 4 y 6. Las tapas pueden tener configuraciones diferentes de la representada, siendo preferentemente la estructura, plana. El recipiente cilíndrico 2 está rodeado por una cámara 8 alimentada  
15 de gas a alta presión por un compresor 10 por ejemplo. Las tapas tales como 4 y 6 están horadadas por una primera abertura de extracción axial 20 concéntrica al eje 22 del recipiente cilíndrico por la que se escapa la fracción P enriquecida (en uranio 235 por ejemplo si la mezcla gaseosa enviada por el compresor 10 es una mezcla que contiene uranio natural en estado gaseoso). Por las aberturas de extracción situadas en la segunda zona 24 que rodea a la abertura 20, se escapa la fracción W empobrecida en uranio 235. Los volúmenes que corresponden al  
20 deslizamiento de las fracciones diferentemente enriquecidas son separados geoméricamente por la pared 26. Los compresores que envían el gas no están representados. Además, las tuberías tales como se representan por la pared 26 por ejemplo, pueden ser de forma abocardada, en "tulipa" para que la presión existente  
25 en el interior del cilindro pueda ser recuperada a la salida.  
30

Estas formas de tulipas pueden asociarse a las aberturas cortadas en las tapas de los cilindros cuando estas son de dimensiones razonables.

5 Así pues, en esta forma de realización de la invención, el gas es enviado por mediación de las aberturas de inyección tales como 9, 11, 12, 14 al interior del recipiente cilíndrico 2 a una velocidad  $V$  que, en el caso de la figura 1 se sitúa en un plano perpendicular al eje del cilindro 22 (sección recta), formando el vector velocidad  $V$  un ángulo  $\alpha$  con el plano 10  $\pi$  tangente al cilindro y que pasa por la abertura asociada. Este ángulo  $\alpha$  se representa en la figura y puede variar entre 5 y 30°.

En una forma de realización preferente de la invención, la zona 24 por la que se escapa la fracción empobrecida 15  $W$  está perforada de aberturas circulares por ejemplo. Esta zona es de radio inferior al del círculo-envolvente de las velocidades  $V$ , ver figura 2, círculo que es la traza del cilindro envolvente de los vectores velocidad  $V$ . Este círculo envolvente 20 30 es de radio  $a \cos \alpha$ , donde  $a$  es el radio de la directriz circular del recipiente cilíndrico. De forma preferente, a fin de favorecer al máximo el establecimiento del vortex o torbellino, se limitará la extensión radial de las zonas cortadas en la tapa al tercio del radio de la tapa. Esta limitación de 25 los radios de las zonas de extracción tiene como finalidad evitar que una parte en exceso grande del gas se escape por las aberturas de extracción antes de que se mezcle al torbellino en el interior del recipiente cilíndrico. Los orificios de extracción pueden ser normales o no a la tapa.

30 Así pues, merced al movimiento turbilionario de la mezcla gaseosa en el interior del recipiente cilíndrico, la

fracción P es la fracción enriquecida de masa débil ( $^{235}\text{U}$  por ejemplo) y la fracción W es la fracción empobrecida en  $^{235}\text{U}$ . Las aberturas laterales de inyección están perforadas en un ángulo  $\alpha$  con respecto a un radio del círculo director como se verá mejor en la figura 2. La red de estas aberturas es una red de mallas A, B, C, D, siendo A B y D C segmentos de generatrices de longitud B y siendo AD y BC arcos de círculo de longitud  $\frac{2\pi a}{n}$ , siendo n un número entero igual a 6 en el caso de la figura 1. Este número n debe ser suficientemente pequeño para que, dado el radio de los cilindros de diámetro de las aberturas, los diferentes chorros se integren al grueso turbillonario sin perturbarse directamente entre sí. Las distancias a y b son determinadas empíricamente en función de las posibilidades de realización mecánica, de la estructura hidrodinámica del deslizamiento y en función igualmente de la mezcla gaseosa considerada.

En la figura 2, se ha representado una vista en sección del cilindro 2 representada en la figura 1 según un plano perpendicular al eje 22 (figura 1) del recipiente cilíndrico, es decir un plano de sección recta. La velocidad V de introducción de los gases en el interior del recipiente cilíndrico 2 forma un ángulo  $\alpha$  con la traza 14 del plano tangente al cilindro que pasa por la abertura 8, abertura cortada en la pared 16 del cilindro de modo que sus bordes formen un ángulo  $\alpha$  con el plano 14.

Quede bien entendido que el recipiente cilíndrico 2 en el que están perforadas las aberturas de inyección, debe tener un espesor suficiente para que la longitud de estas aberturas de inyección sea igual a varias veces su diámetro.

En la figura 3, se ha representado una forma de rea-

lización de la invención para la que la malla de la red de las aberturas A', B', C' y D' está constituida por dos arcos de directrices A' B' y D' C' unidos por dos porciones de hélice paralelas A' B' y D' C'. La inclinación de las hélices es tal que la generatriz que pasa por el punto B' sea aproximadamente mediatriz del arco A' D'; esto hace que las aberturas B' C', etc. estén decaladas con respecto a las aberturas A' D', etc. una cantidad óptima.

A título de ejemplo, se ha representado, asociado a este tipo de realización, tubos de introducción tales como 13 insertados en las aberturas tales como 9 y los aprisionamientos. La mezcla se envía a estos tubos por una fuente 5 de gas a presión.

En la figura 4 se ha representado en detalle el plano P tangente al recipiente cilíndrico 2 en el caso de una abertura tal que el ángulo entre el vector velocidad V y un plano de sección recta sea igual a  $\beta$ . Según la invención, la proyección de este vector velocidad V sobre el plano de sección recta forma un ángulo  $\alpha$  con el plano  $\Pi$ . La velocidad V de introducción de los gases a la entrada del tubo cilíndrico es ventajosamente situada fuera del plano de sección recta e inclinada un ángulo  $\beta$  tal como se representa en la figura 4 en el caso, como se verá más tarde, en que la mezcla gaseosa sea enviada a través de las dos tapas simétricas 4 y 6; puede ser entonces deseable ayudar el movimiento de deslizamiento longitudinal inclinando los vectores velocidad V con respecto al eje para una primera mitad del tubo y en la dirección inversa para la segunda mitad del tubo a una y otra parte del plano mediador P' del recipiente cilíndrico.

En la figura 5, se ha representado una tapa vista en

perfil, escapándose la fracción enriquecida P por una primera  
abertura circular 20 cerca del centro de la tapa circular 4 y  
escapándose la fracción empobrecida W por aberturas múltiples  
tales como 50 situadas en la zona anular 24. La superficie to-  
5 tal de los orificios se calcula de tal modo que haga desprecia-  
ble la pérdida de presión debida a la extracción de la fracción  
empobrecida.

En la figura 6, se ha representado una forma de rea-  
lización del recipiente cilíndrico 2 de la figura 1, en la que  
10 las aberturas laterales de inyección 62 son ranuras paralelas  
a las generatrices, cuyos bordes forman un ángulo  $\alpha$  con el  
plano tangente al cilindro según estas mismas generatrices. En  
este caso de la figura, se ha representado tres ranuras cuya  
amplitud de abertura es del orden de algunas centésimas de mi-  
15 límetros.

En la figura 7, se ha representado otra forma de rea-  
lización de la invención según la cual las ranuras están situa-  
das en hélices trazadas en la superficie del recipiente cilín-  
drico 2, hélice tal como 64 y 66. La amplitud de las aberturas  
20 correspondientes a las hélices es del mismo orden que la de las  
aberturas asociadas a las ranuras de las generatrices.

En la figura 8, se ha representado una forma de rea-  
lización de la invención según la cual la red de aberturas la-  
terales se compone de dos partes separadas por el plano media-  
25 dor P': una parte izquierda que comprende hélices que giran a  
izquierdas tales como 68 y en la parte derecha hélices que giran  
a derechas tales como 70. En esta forma de realización, los  
ejes de las aberturas tales como 11 forman un ángulo  $\beta$  con un  
plano de sección recta, apuntando estos vectores V de un lado  
30 del plano mediador P' para las hélices de paso a izquierdas de

tal modo que el gas tenga tendencia a escaparse por las aberturas de la tapa 4 y siendo el ángulo  $\beta$  tal que las velocidades  $V$  del otro lado del plano mediador  $P'$  sean anti-paralelas al vector  $V$  correspondiente al otro lado del plano mediador  $P'$ .

5            En la figura 9 se ha representado una forma de realización según la invención para extraer, por las aberturas de extracción de las tapas en las porciones extremas del recipiente cilíndrico, las mezclas enriquecidas y empobrecidas; en la figura 9, la fracción enriquecida  $P$  es eliminada por mediación  
10 de una cánula 100 que penetra en el interior del recipiente cilíndrico 2; una primera fracción empobrecida  $W_1$  que corresponde a una primera zona  $S_1$  es extraída por una abertura anular 102 perforada en la tapa 4 mientras que una segunda fracción empobrecida  $W_2$  que corresponde a una segunda zona  $S_2$  se escapa por  
15 las aberturas tales como 104 de la tapa 4.

En la figura 10, se ha representado una forma de realización de la invención según la cual la zona  $S_1$  por la que se escapa la fracción empobrecida  $W_1$  está igualmente perforada de aberturas de extracción por las que se escapa una primera mezcla empobrecida, aberturas diferentes si se desea de las aberturas  
20  $W_2$  (de la zona  $S_2$ ) por las que se escapa una segunda mezcla empobrecida. Solo las cánulas que corresponden a la mezcla enriquecida, es decir las cánulas de pequeño diámetro cerca del eje del cilindro penetran en el interior de éste. Igualmente es posible dejar la superficie  $S_1$  anular que rodea a la zona 20 por la  
25 que se escapa la mezcla empobrecida  $W_1$  sólida y sin abertura.

En el caso en que la zona  $S_1$  sea una zona abierta como en el caso de la figura 9, se puede asociar a esta zona un recuperador de presión dando a la pared 103 que limita las zonas por  
30 las que se escapan las mezclas empobrecidas  $W_1$  y  $W_2$ , una forma

en tulipa tal como se representa en la figura 10.

En la figura 11, se ha considerado como en la figura 9, una zona  $S_1$  abierta a la que se asocia una zona  $S_2$  estanca y desprovista de aberturas.

5 En la figura 12, se ha representado una vista esquemática en sección del dispositivo de extracción preferente según la invención. Este dispositivo comprende un recipiente cilíndrico 102 cerrado en sus dos porciones extremas por tapas planas idénticas tales como 104. En esta forma de realización, los orificios de inyección no representados forman un ángulo de 25° con la normal a la pared lateral del tubo cilíndrico. La tapa 104 está perforada de diferentes aberturas, una primera  
10 abertura P por la que se evacúa la fracción enriquecida en isótopo ligero (uranio 235 por ejemplo) por la abertura anular de la zona  $S_1$  se escapa la fracción isotópica  $W_1$  enriquecida en isótopo pesado y empobrecida en isótopo ligero, y por la abertura de la zona  $S_2$  se escapa una mezcla cuya constitución es como se verá a continuación, muy próxima de la de la mezcla introducida por los tubos de inyección sobre las paredes laterales del reci-  
15 piente cilíndrico 102. La extracción de la mezcla por la abertura P se realiza con ayuda de un cilindro hueco que penetra ligeramente en el interior del recipiente cilíndrico. Por la abertura P se escapan gases a baja presión BP mientras que por la abertura anular de la zona  $S_1$  los gases se escapan a una presión media  $MP_1$  y por la o las aberturas de la zona  $S_2$  los gases se escapan a media presión  $MP_2$ . Los ángulos  $\omega$  y  $\eta$  definen la abertura de las tuberías de extracción que corresponden a la abertura P y a la abertura anular de la zona  $S_1$ .

20 En la figura 13a, se ha representado según una vista de perfil, una tapa 104 con las diferentes zonas que corresponden  
30

a las aberturas representadas en la figura 1; por la abertura P de radio  $r_1$  se escapa la fracción enriquecida en elemento ligero, por la abertura anular de la zona  $S_1$  se escapa la fracción  $W_1$  enriquecida en elemento pesado. En la figura 13b, se ha representado otra forma de realización de la tapa 104 según la invención donde la zona  $S_1$  es igualmente una zona anular de amplitud  $r_2$ , teniendo la zona P un radio  $r_1$ , y estando perforada la zona  $S_2$  de aberturas tales como 6.

En la figura 14, se ha representado la curva 110 del perfil de concentración del hexafluoruro de uranio  $UF_6$  en la mezcla en función de la relación  $r/R_0$ , siendo  $t$  la distancia radial en el recipiente cilíndrico y  $R_0$  el radio del círculo director del recipiente cilíndrico. En ordenadas se ha representado la relación  $N_2(r)/N_{2F}$ , siendo  $N_2(r)$  la concentración local en isótopo  $^{238}U$  a la distancia  $r$  del eje del recipiente cilíndrico y  $N_{2F}$  la concentración en  $^{238}U$  de la alimentación. En esta curva 110, se ve que, cerca del centro del recipiente cilíndrico, es decir para pequeñas distancias radiales, la mezcla está empobrecida en  $^{238}U$  mientras que la zona sombreada que corresponde al pico de concentración en uranio 238 se extiende aproximadamente del punto M al punto N. La recta 112 de ordenada unidad corta la curva 110 en un punto M. Según esta curva se ve que es ventajoso pero no indispensable elegir la relación  $r_1/R_0$  determinando el radio  $r$  de la abertura P de extracción de la mezcla enriquecida en elemento ligero aproximadamente igual a la abscisa radial del punto M, mientras que la relación  $r_2/R_0$  determinando la amplitud  $r_2$  de la abertura de la zona anular  $S_2$  debe elegirse aproximadamente igual a la distancia MN; el punto N es por ejemplo determinado por la distancia radial donde la concentración en  $^{238}U$  no es superior a la concen-

tración de la mezcla de inyección mas que en un 10% de la diferencia entre ésta y la concentración de la fracción que pasa por la zona  $S_1$ .

5 Este criterio no es incompatible con un criterio anterior que limita la extensión radial de la zona cortada de las tapas a  $1/3$  del radio de las tapas. Se elegirá en función de los diferentes parámetros geométricos y físicos el criterio mas apropiado.

10 La forma particular de la curva 110 (perfil de concentración) del isótopo  $^{238}\text{U}$  al igual que la curva 111 de la figura 15 detallada mas tarde se comprende en función de las consideraciones siguientes:

15 - relativamente cerca del eje, la velocidad de rotación del torbellino es elevada, variando esta velocidad de rotación sensiblemente en  $1/r$  por la conservación del momento cinético, despreciando los fenómenos de viscosidad. Sobre el eje mismo del cilindro, la velocidad de rotación se vuelve nula por estos fenómenos de viscosidad. La fuerza de centrifugación proporcional a  $V^2/r$  es muy elevada y varía sensiblemente en  $1/r^3$  lo que hace que la concentración isotópica en elementos mas pesados aumente cuando se aleja del eje, fenómeno que ocasiona un enriquecimiento en elemento ligero cerca del eje ( $r/R_0 < r_1/R_0$ ).

20 - desde el momento mismo que se aleja suficientemente del eje del recipiente cilíndrico, los fenómenos de transporte debido al flujo de inyección por las paredes laterales del recipiente cilíndrico se vuelven preponderantes, resultando las fuerzas de centrifugación relativamente muy débiles. Mas allá del punto N, la concentración en elemento pesado del fluido es próxima de la alimentación.

30 El aspecto puntiagudo del pico sombreado en la figura

14 hace que mas allá del punto N, la toma de fluido se realice a una concentración muy próxima de la de la alimentación, lo que permite un reciclado fácil y eficaz. En efecto, la zona S<sub>2</sub> se elige de modo a situarse entre el punto N y el punto F correspondiente al radio R<sub>0</sub>. Los perfiles de concentración  
5 presentan un carácter abrupto mas que en una distancia igual a 0,2 veces el radio del recipiente cilíndrico. En la figura 15, se ha representado un perfil de separación isotópica en la curva 114 con, en ordenadas, la relación:

10

$$\alpha (r) = \frac{\frac{N_1 (r)}{N_2 (r)}}{\frac{N_{1F}}{N_{2F}}}$$

15

siendo N<sub>1</sub> la concentración en <sup>235</sup>U en hexafluoruro de uranio y N<sub>2</sub> la concentración en isótopo <sup>238</sup>U en hexafluoruro de uranio; el índice F corresponde a las concentraciones en la alimentación. Al igual que en la figura 14, la relación resulta sensiblemente igual a la unidad (que corresponde a la alimentación) para r/R<sub>0</sub> > 0,2.

20

De forma general, se tiene interés en tomar por las diferentes aberturas lo mas cerca posible (a igualdad de condiciones) del centro para dejar al torbellino la distancia suficiente para establecerse sin perturbación ocasionada por las diferentes extracciones o tomas que se efectúan por los orificios de las tapas.

25

30

En la figura 16, se ha representado un esquema explicativo del reciclado según una forma de realización de la invención. La fracción W<sub>2</sub> que se escapa del recipiente cilíndrico 102 donde se efectúa el torbellino separador, es reciclada después de la recompresión por el compresor 119, por el conducto

116 hacia la alimentación 118 de los orificios de inyección que envían la mezcla gaseosa sobre las paredes laterales del recipiente cilíndrico 102. Una parte de la alimentación del recipiente cilíndrico 102 es igualmente proporcionada por la tubuladura 120 conectada a una fuente no representada de mezcla gaseosa que comprende las diferentes variedades isotópicas. La fracción  $W_1$  se escapa por una tubuladura representada por la flecha 122 y la fracción evacuada por la abertura P según la dirección de la flecha 124.

#### EJEMPLOS DE REALIZACION

La inyección es realizada por 112 orificios de 2/10 de milímetro de diámetro repartidos en una hélice de paso 2 cm (20 orificios por vuelta; 5,6 vueltas). El ángulo de inyección es de  $25^\circ$ , la longitud del recipiente cilíndrico 12 cm, el diámetro del recipiente cilíndrico 1,5 cm y el espesor de las paredes 1 mm.

El dispositivo de extracción comprende la abertura P que está constituida por una cánula de radio interno  $r$  (diámetro interno 6/10mm, diámetro externo 7/10 mm, longitud de penetración en el recipiente 5 mm) que lo abocarda según un cunfo de ángulo en el vértice  $15^\circ$  al exterior del recipiente cilíndrico (ángulo  $w$  de la figura 12). El ángulo  $\eta$  de la figura 12 vale  $30^\circ$ .

#### PRIMERA SERIE DE EJEMPLOS

En estos ejemplos la zona  $S_1$  es una abertura anular de radio interno 7/10 mm y de radio externo 16/10 mm ( $r_2 = 4,5/10$  mm). No existen aberturas en la zona  $S_2$ .

Temperatura 20°C.

Composición del gas a la entrada: argón 10,5%

Hélio 89,5%

Presión de alimentación HP = 2,7 bares

Presión de salida enriquecida BP = 1,1 bares.

En esta primera serie se separan los dos isótopos del argón, cumpliendo el helio la misión de gas portador.

5 El primer caso corresponde a la separación máxima obtenida en los ensayos y el segundo caso la relación óptima consumo de energía/potencia de separación.

	1er. caso	2º caso
10 Presión de salida empobrecida MP (bares)	1,55	1,85
Caudal real en l/s HP	0,613	0,540
Caudal real en l/s MP	1,000	0,703
Caudal real en l/s BP	0,058	0,105
15 $N_{AMP}$	11,1 %	10,85 %
$N_{ABP}$	4,2 %	4,8 %
$\alpha$	1,121	1,100

donde  $N_{ABP}$  es la fracción molar de argón de la fracción enriquecida (ligera) BP,

20 y  $N_{AMP}$  es la fracción molar de argón de la fracción empobrecida (pesada) MP,

y  $\alpha$  el factor de separación isotópica (fracción enriquecida BP con respecto a la alimentación HP).

25 Los ensayos reales han confirmado los resultados de los cálculos. Para la separación de los isótopos de uranio en forma de hexafluoruro la optimización de los cálculos indica una concentración óptima 1,7%  $UF_6$ , 98,3%  $H_2$  y las presiones ventajosas son HP : 2,4 bares, MP : 2 bares y BP : 1,3 bares.

SEGUNDA SERIE DE EJEMPLOS

30 En esta segunda serie de ejemplos, la zona  $S_1$  es una abertura anular de radio interno 7/10 mm y de radio externo

13/10 mm ( $r_2 = 3/10$  mm) y la zona  $S_2$  está perforada por ocho aberturas a 45° de 5/10 mm de diámetro, estando situado el centro de estas aberturas a 1,45mm del centro de la tapa.

Temperatura 20°C

Composición del gas a la entrada: argón 13,8 %

helio 86,2 %

El primero y el segundo casos corresponden a las mismas optimizaciones que en la primera serie de ejemplos.

	1er. caso	2º caso
HP	2,7	2,7
BP	1,1	1,1
MP <sub>2</sub> (presión de salida de $W_2$ )	2,27	2,36
MP <sub>1</sub> (presión de salida de $W_1$ )	1,65	1,85
Caudal real en l/s HP	0,522	0,470
Caudal real en l/s MP <sub>2</sub>	0,327	0,275
Caudal real en l/s MP <sub>1</sub>	0,325	0,250
Caudal real en l/s BP	0,093	0,125
$N_{AMP_2}$	13,9 %	14 %
$N_{AMP_1}$	14,4 %	14,8 %
$N_{ABP}$	6,85 %	8,6 %
$\alpha$	1,083	1,056

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental.

REIVINDICACIONES

1.- Perfeccionamientos en dispositivos para separar los constituyentes de una mezcla gaseosa, en los que la mezcla atraviesa un recipiente que tiene un eje de revolución, en el que engendra un vortex o torbellino cuyo eje coincide con el eje del recipiente, caracterizados porque una pluralidad de orificios de admisión de la mezcla están repartidos sobre toda la superficie del recipiente, y porque unos medios de evacuación de las fracciones diversamente enriquecidas en uno de los constituyentes de la mezcla, están centrados sobre el eje del recipiente.

2.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque comprenden al menos un recipiente fijo hueco de forma sensiblemente cilíndrica, siendo la directriz del cilindro recto un círculo de radio  $a$ , estando provisto el recipiente cilíndrico en su superficie lateral de una red de aberturas de inyección que ponen en comunicación el interior del recipiente cilíndrico con una fuente de mezcla gaseosa a presión, formando la proyección, sobre una sección recta del cilindro, del eje  $A$  de cada abertura, sensiblemente un ángulo  $\alpha$  constante con el plano tangente al recipiente y que pasa por la abertura, formando el eje  $A$  un ángulo  $\beta$  sensiblemente constante con una sección recta, estando cerrado el recipiente cilíndrico en sus dos porciones extremas por dos tapas; primeros medios para recoger una primera fracción de la mezcla gaseosa que se escapa a través de una primera abertura de extracción al menos de una tapa, abertura de extracción que está dispuesta cerca del eje del recipiente cilíndrico; y segundos medios para recoger los gases que se escapan a través de una segunda abertura de extracción al menos situada entre la primera abertura de extracción y

ME

la periferia de una tapa.

3.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 y 2, caracterizados porque la mezcla gaseosa introducida en el recipiente comprende una mezcla de variedades isotópicas de un mismo compuesto de uranio y un gas portador ligero.

4.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizados porque la malla elemental de la red de aberturas de inyección sobre la superficie lateral del recipiente cilíndrico es un paralelogramo curvilíneo compuesto por dos arcos de directriz circular de longitud  $\frac{2 \cdot n^a}{n}$  y dos segmentos de generatriz de longitud b.

5.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizados porque la malla elemental de la red de aberturas de inyección es un paralelogramo curvilíneo compuesto por dos arcos de directriz circular de longitud  $\frac{2 \cdot n^a}{n}$  y por dos fragmentos de hélice paralelos de longitud c que alcanzan las porciones extremas de los arcos.

6.- Perfeccionamientos según la reivindicación 5, caracterizados porque la red de aberturas de inyección está constituida por dos partes separadas por un plano mediador perpendicular al eje del recipiente cilíndrico, y porque en una primera parte los fragmentos de hélices corresponden a hélices que giran en un primer sentido y porque, en la segunda parte, los fragmentos de hélices corresponden a hélices que giran en el sentido opuesto al primer sentido.

7.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizados porque los ejes de las aberturas de inyección están situados en planos perpendiculares al eje del recipiente cilíndrico, lo que corresponde a  $\beta = 0$ .

M/E

8.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizados porque en la primera parte, de un lado del plano mediador perpendicular al eje del recipiente cilíndrico, el ángulo es tal que las partes de los ejes de las aberturas de inyección interiores al cilindro se sitúan en el volumen comprendido entre el plano mediador y la tapa asociada a esta primera parte, y porque en la segunda parte, del otro lado del plano mediador, los ejes de las aberturas de inyección son antiparalelos a los anteriores ejes con respecto al plano mediador.

9.- Perfeccionamientos según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizados porque la red de aberturas de inyección está constituida por una serie de ranuras paralelas a las generatrices del cilindro.

10.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizados porque la red de aberturas de inyección está constituida por una serie de ranuras helicoidales paralelas entre sí.

11.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizados porque a cada abertura de inyección se asocia un tubo de eje A de llegada de la mezcla gaseosa.

12.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizados porque la primera abertura de extracción de cada tapa del recipiente cilíndrico comprende una cánula anular hueca que penetra en el interior del recipiente y cuyo eje es sensiblemente confundido con el eje del recipiente cilíndrico.

13.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizados porque la superficie de la tapa que rodea a la abertura circular central de la tapa está

MFE

da en dos zonas anulares concéntricas  $S_1$  y  $S_2$  separadas.

5 14.- Perfeccionamientos según la reivindicación 13, caracterizados porque la zona  $S_1$  adyacente a la abertura circular central de la tapa está perforada por pequeñas aberturas de extracción separadas.

15.- Perfeccionamientos según la reivindicación 13, caracterizados porque la zona  $S_1$ , adyacente a la abertura circular de extracción central de la tapa es una abertura anular.

10 16.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 11 y 14, caracterizados porque la zona anular  $S_2$  está desprovista de aberturas de extracción.

17.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 14 y 15, caracterizados porque la zona anular  $S_2$  está perforada por pequeñas aberturas.

15 18.- Perfeccionamientos según la reivindicación 13, caracterizados porque una al menos de las dos tapas dispuestas en las porciones extremas del recipiente cilíndrico, está constituida por tres zonas sensiblemente concéntricas, una primera zona perforada por una abertura de extracción central P en el eje del recipiente cilíndrico por la que se escapa una mezcla gaseosa enriquecida de isótopo ligero, siendo la abertura de radio  $r_1$ , una segunda zona  $S_1$  perforada por una abertura anular de amplitud  $r_2$  que rodea a la primera abertura P y por la que se escapa una mezcla gaseosa enriquecida en isótopo pesado, y  
20 una tercera zona  $S_2$  perforada por al menos una abertura por la que se escapa una mezcla gaseosa de composición sensiblemente idéntica a la composición de la mezcla gaseosa inyectada en el cilindro por las aberturas de inyección laterales.

25 19.- Perfeccionamientos según una de las reivindicaciones 13, 14, 15, 17 y 18, caracterizados porque comprende  
30

ME

además medioa para reciclar en la o las redes de aberturas de inyección de la pared de uno o de varios recipientes cilíndricos, la mezcla gaseosa que se escapa por una o varias aberturas situadas en una o mas zonas  $S_2$  del o de los recipientes cilíndricos.

5

20.- Perfeccionamientos en dispositivos para separar los constituyentes de una mezcla gaseosa, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los dibujos adjuntos.

10

Esta Memoria consta de 26 hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 2.º ENE 1977

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE.

GONZALEZ ACEBO Y RUBEN  
Ingeniero L. Goeta Fernández

mfe

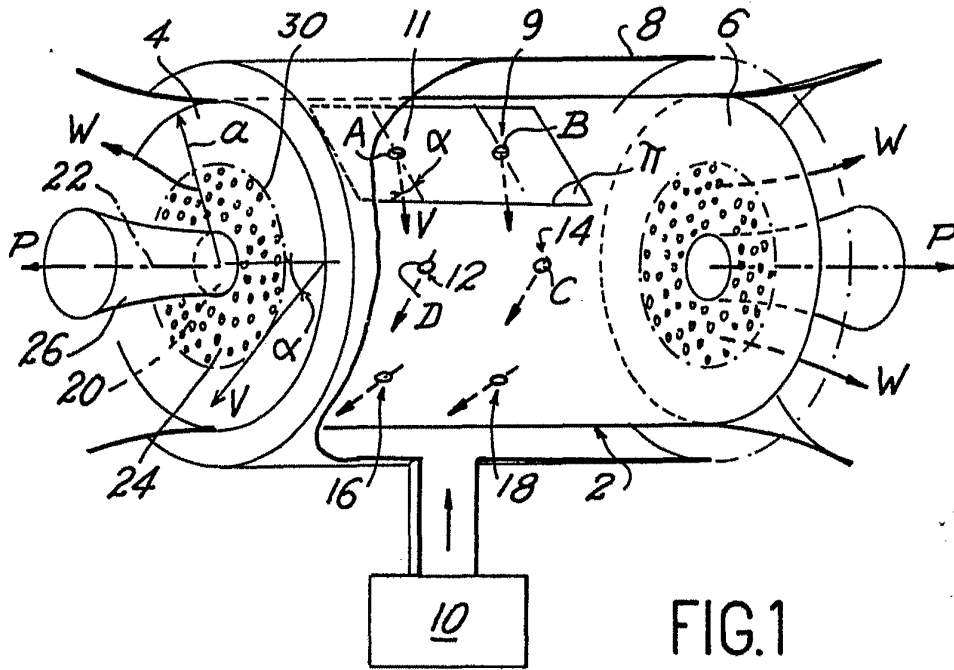


FIG. 1

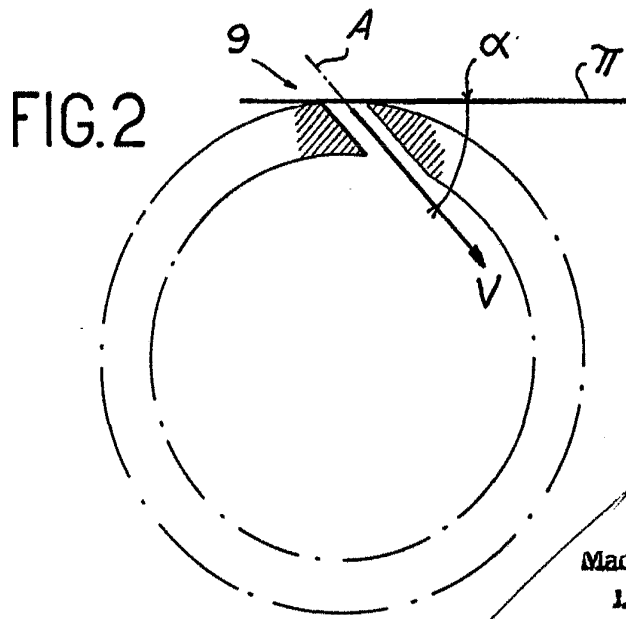


FIG. 2

ESCALA  
VARIABLE

Madrid 26 F. ENE 1977

J. GOMEZ ACEBO Y MODEJ

p. p. Firmador L. Gasin Fernandez

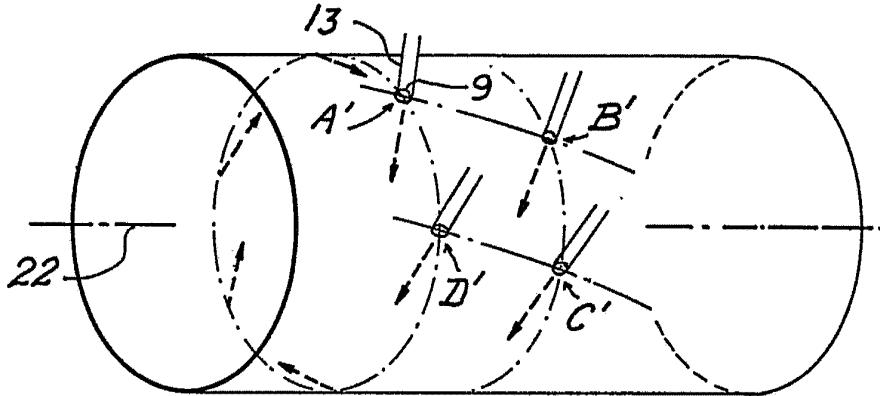


FIG. 3

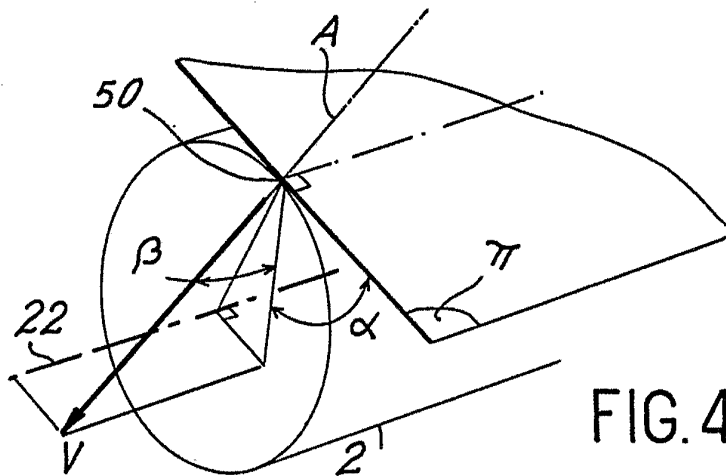


FIG. 4

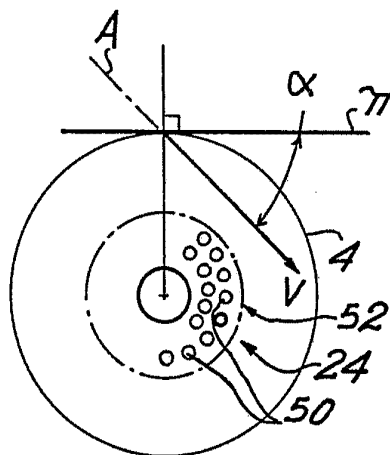


FIG. 5

ESCALA  
VARIABLE

Madrid 26 ENE. 1977

*[Handwritten signature]*

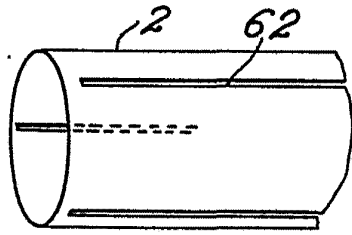


FIG. 6

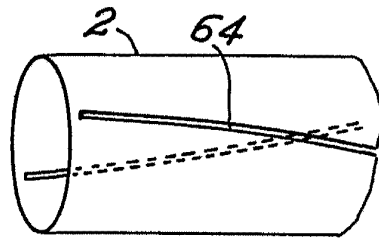


FIG. 7

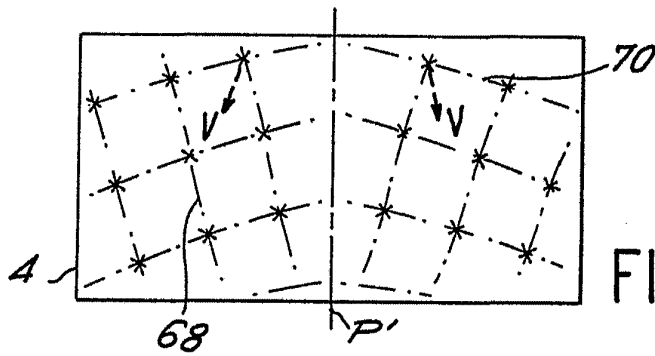


FIG. 8

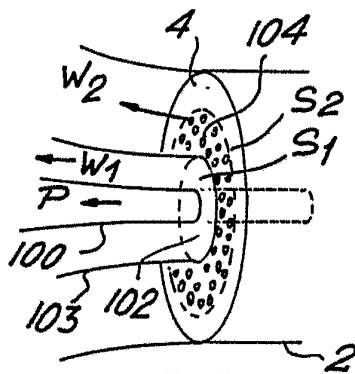


FIG. 10

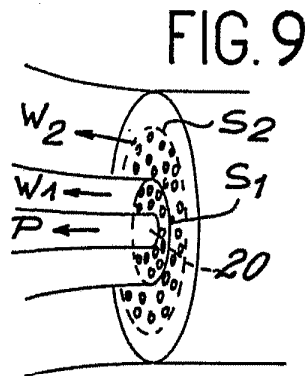


FIG. 9

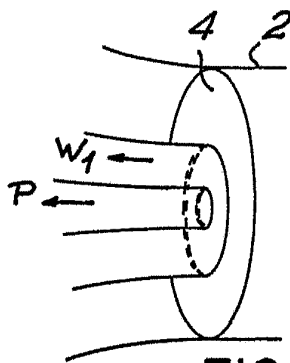


FIG. 11

ESCALA  
VARIABLES  
20 ENE 1977

Madrid

SECRETARIA DE ESTADO DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
Instituto Nacional de Investigaciones Científicas

FIG. 12

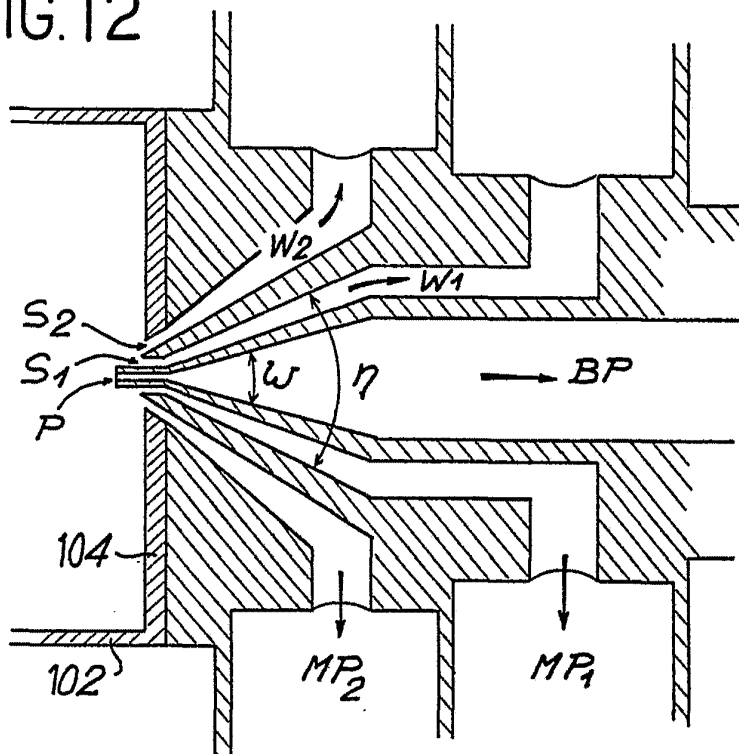


FIG. 13<sub>a</sub>

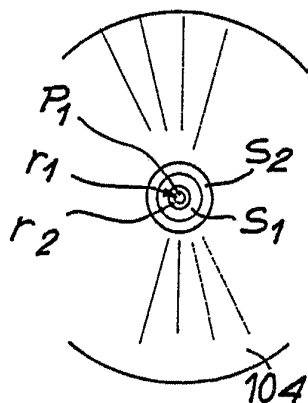
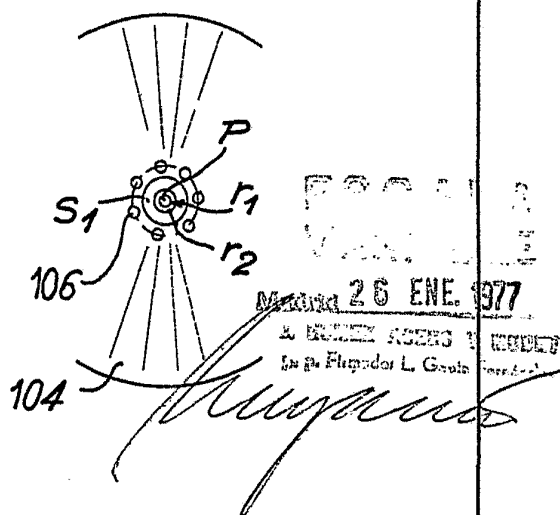


FIG. 13<sub>b</sub>



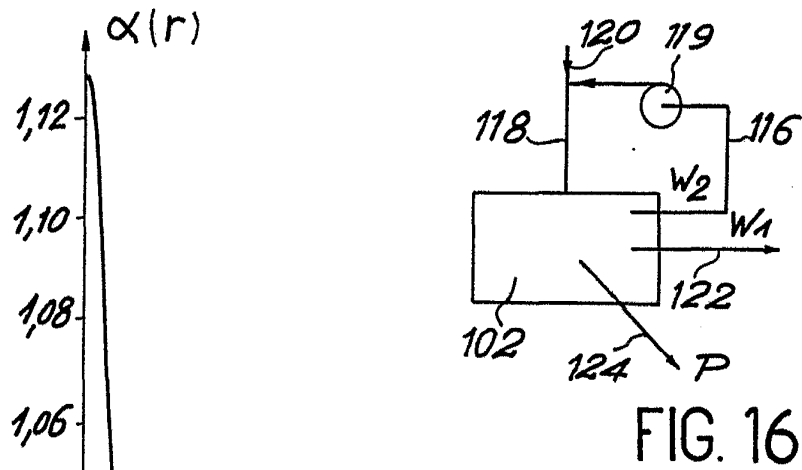
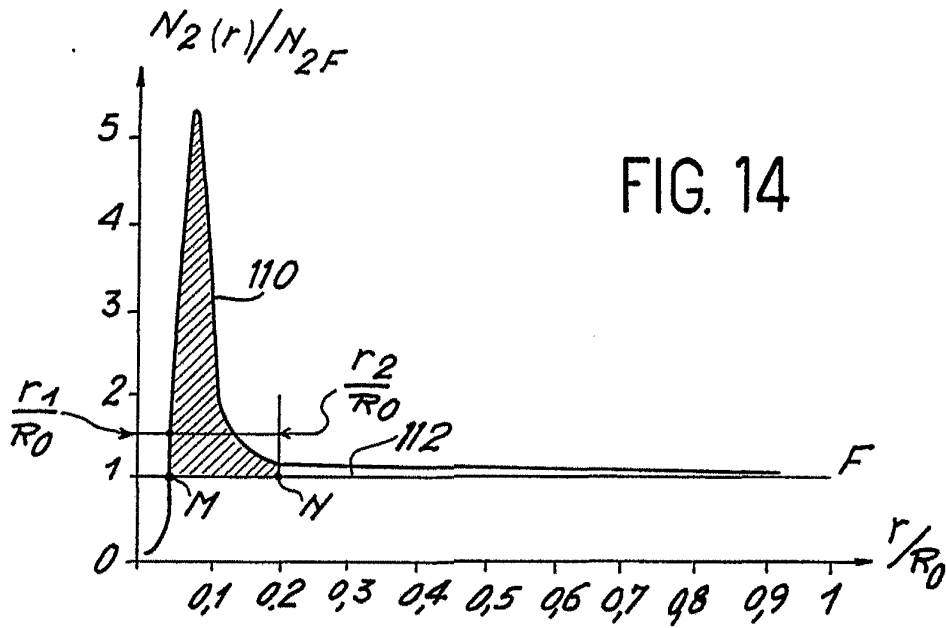


FIG. 15

26 ENE. 1977

ALBONIEZ ACEBO Y CIA

Firmado: L. Costa

*[Handwritten signature]*