

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

Registro de la Propiedad Industrial



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

ES

11

21

22

NUMERO	464.006
FECHA DE PRESENTACION	10-11-77

A1

PATENTE DE INVENCION

30 PRIORIDADES:	32 FECHA	33 PAIS
31 NUMERO		
741.153	11-11-76	EE.UU.

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	B01D, G21C	

54 TITULO DE LA INVENCION
"UN METODO DE SEPARAR UN MATERIAL DE ALIMENTACION DE MEZCLA GASEOSA"

71 SOLICITANTE (S)	File: S2047.54 132-em
EXXON NUCLEAR COMPANY, INC.	

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
777-106 Avenue NE, Bellevue, Washington, Estados Unidos de América

72 INVENTOR (ES)
Thomas Marshall Stark

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE	(P.- 67.389)
D. FERNANDO DE ELZABURU MARQUEZ	

MCG.

CAMPO DEL INVENTO

5 El presente invento se refiere en general al campo de la separación isotópica por centrifugación de gas. Pueden usarse realizaciones preferidas del presente invento para enriquecer la concentración de uranio-235 en hexafluoruro de uranio gaseoso.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

10 La separación de dos isótopos nucleares que difieren ligeramente en masa, tales como el uranio-235 y el uranio-238, requiere en general un equipo costoso y grandes cantidades de energía. Aunque los procedimientos de centrifugación de gas para producir hexafluoruro de uranio ( $UF_6$ ) enriquecido en uranio-235 para combustibles de reactor nuclear prometen requerir sustancialmente me-  
15 nos energía que los procedimientos de difusión gaseosa en uso actual, las exigencias de energía para una instala-  
20 ción de enriquecimiento de uranio por centrífugas de gas comercial son sin embargo enormes. Las instalaciones de enriquecimiento isotópico de centrífugas de gas están por tanto diseñadas para funcionar con la máxima eficacia posible a fin de reducir al mínimo el coste del consumo de  
25 energía. Un segundo factor económico significativo es el coste de la propia instalación. Las instalaciones de centrífugas de gas están pues diseñadas para requerir tan poco equipo como sea práctico, compatible con la necesidad de un funcionamiento seguro.

30 Una centrífuga de gas para enriquecer uranio

tiene en general una entrada en la cual se introduce hexafluoruro de uranio gaseoso, una salida de fracción ligera de la cual se extrae una fracción ligera enriquecida en  $^{235}\text{UF}_6$ , y una salida de fracción pesada de la cual se extrae una fracción pesada empobrecida en  $^{235}\text{UF}_6$ . Un aspecto de la actuación de tal centrífuga de gas se mide mediante el factor de separación  $\alpha$ , el cual viene definido por la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{X_L}{1-X_L} \frac{1-X_H}{X_H}$$

donde  $X_L$  es la fracción molar de  $^{235}\text{UF}_6$  en la fracción ligera y  $X_H$  es la fracción molar de  $^{235}\text{UF}_6$  en la fracción pesada. Cuando las fracciones molares  $X_L$  y  $X_H$  son mucho menores que uno, como ocurre en el caso en que se esté produciendo hexafluoruro de uranio que contenga 3 moles por ciento, o un valor aproximado a éste, de  $^{235}\text{UF}_6$  para reactores de uranio enriquecido para generación de energía eléctrica,  $\alpha$  es aproximadamente igual a la relación de la fracción molar de  $^{235}\text{UF}_6$  en la fracción ligera a la fracción molar de  $^{235}\text{UF}_6$  en la fracción pesada. El valor de  $\alpha$  para una centrífuga de gas particular depende tanto del diseño de la centrífuga como de las condiciones en las cuales se haga ésta funcionar.

Típicamente, los factores de separación de las centrífugas de gas actuales en condiciones de funcionamiento ordinarias son demasiado bajos para permitir que el hexafluoruro de uranio de abundancia (o contenido isotópico) natural sea enriquecido en uranio-235 en una sola

pasada a través de una centrífuga de gas lo suficiente como para uso como combustible en un reactor de uranio enriquecido. No obstante, si se conectan en serie un cierto número de centrífugas de gas, de modo que una salida de una centrífuga alimente a una entrada de otra, es posible enriquecer el hexafluoruro de uranio gradualmente hasta las concentraciones de uranio-235 requeridas por tales reactores. Así, las centrífugas de gas para uso en la producción de uranio enriquecido están de ordinario interconectadas para formar lo que se denominan cascadas. Una cascada incluye una o más etapas de centrífugas de gas, designándose por el término etapa un grupo de centrífugas de gas conectadas en paralelo. Se usan reguladores de presión y de flujo para controlar el flujo de hexafluoruro de uranio entre las etapas y las centrífugas de gas. Los diseños de cascadas para instalaciones de enriquecimiento en uranio comerciales incorporan frecuentemente centenares e incluso millares de centrífugas de gas. En general, las etapas de una cascada están interconectadas de tal modo que cada entrada de una etapa es alimentada con hexafluoruro de uranio procedente de salidas de fracción pesada de etapas por encima de ella y de salidas de fracción ligera de etapas por debajo de ella. Así, el hexafluoruro de uranio que pasa "hacia arriba" a través de una cascada se va enriqueciendo gradualmente en uranio-235, mientras que el hexafluoruro de uranio que pasa "hacia abajo" se va empobreciendo gradualmente en uranio-235. Las etapas de una cascada están divididas en general en dos grupos, denominados etapas de enriquecimiento y etapas de agotamiento, siendo una etapa de enriquecimiento una dentro

de la cual se introduce un material de alimentación o bien situada más alta en la cascada. Tal como aquí se usa, el término "cascada" puede referirse a una sola etapa. La etapa de una cascada de una sola etapa se denominaría una etapa de enriquecimiento según la anterior definición, ya que se introduce en ella material de alimentación.

Puesto que es costoso enriquecer la concentración de uranio-235 en hexafluoruro de uranio, la mezcla de dos corrientes de hexafluoruro de uranio que tengan diferentes grados de enriquecimiento representa un gasto. Las cascadas se diseñan por tanto, de ordinario, para reducir al mínimo cualquiera de tales pérdidas por mezcla en el funcionamiento de la cascada. Son bien conocidos en la técnica diseños específicos de tales cascadas anti-mezcla para interconectar diversos tipos de centrífugas de gas, y que en honor a la brevedad no se describirán aquí. Véase, por ejemplo, la obra de H. R. Prætt, "Procedimientos de Separación a Contracorriente" (Counter-current Separation Processes), Elsevier Publishing Co., Nueva York (1967). Se observará, sin embargo, que consideraciones relativas a la economía de funcionamiento de una cascada implican que las cascadas para enriquecer uranio de abundancia natural incluyen preferiblemente varias etapas de agotamiento. Así, además de producir una fracción de producto enriquecida en uranio-235 hasta el grado necesario para combustible para reactor, las cascadas de centrífugas de gas para enriquecer hexafluoruro de uranio de abundancia natural producen también en general una fracción de desecho empobrecida en  $^{235}\text{UF}_6$  hasta una concentración predeterminada, típicamente de aproximadamente 0,2-

0,35 moles por ciento.

Una instalación de enriquecimiento de uranio comercial debe proporcionar uranio enriquecido en uranio-235 en diversos grados, dado que los diferentes reactores requieren combustibles que tengan concentraciones considerablemente diferentes de uranio-235. Así, una instalación de centrífugas de gas incluiría normalmente un cierto número de cascadas, teniendo las cascadas diferentes números de etapas de enriquecimiento, de modo que se producen productos de diferentes concentraciones cuando se suministra a las cascadas hexafluoruro de uranio de abundancia natural.

En la Fig. 1 se representa un gráfico de flujo esquemático de una unidad 100 de enriquecimiento isotópico de la técnica anterior para enriquecer hexafluoruro de uranio de abundancia natural. La unidad 100 de enriquecimiento isotópico se describirá con detalle para ilustrar el gráfico del flujo de la Fig. 1, dado que este tipo de gráfico de flujo se emplea en relación con varias realizaciones preferidas del presente invento que se describen en lo que sigue. Las líneas verticales de trazo grueso de la Fig. 1 representan cascadas de centrífugas de gas, en las que los rombos sombreados representan entradas a las cascadas y los cuadrados sombreados representan salidas. Así, una cascada 112A tiene una entrada 114A, una salida de fracción pesada 116A y una salida de fracción ligera 118A. La entrada 114A de la cascada 112A está conectada a una conducción 140 de suministro de material de alimentación. La salida 116A de fracción pesada está conectada a una conducción 142 de descarga de fracción de desecho

y la salida 118A de fracción ligera está conectada a una primera conducción de descarga 144 de fracción de producto. Conectadas en paralelo con la cascada 112A hay otras cascadas equivalentes en cuanto a funcionamiento, tales como las cascadas 112J, y 112K, para formar una primera unidad secundaria 110. Una entrada 114J de la cascada 112J está conectada a la conducción 140 de suministro de material de alimentación. Las salidas 116J y 118J de fracción pesada y de fracción ligera están conectadas respectivamente a las conducciones de descarga 142 y 144 de la fracción de desecho y de la primera fracción de producto. La cascada 112K y las demás cascadas incluidas en el grupo 110, pero no ilustradas en la Fig. 1, están conectadas a la conducción de suministro 140 y a las conducciones de descarga 142 y 144, de la misma manera que las cascadas 112A y 112J.

El eje vertical del gráfico de flujo de la Fig. 1 representa la concentración de  $^{235}\text{UF}_6$  con relación a la concentración de  $^{235}\text{UF}_6$  en el material de alimentación en una escala logarítmica con respecto a una base igual al factor de separación.  $\alpha$  Los dibujos de esta solicitud están basados en centrífugas de gas que tienen un factor de separación de 1,5. Aunque el factor de separación de una centrífuga de gas varía típicamente algo con su posición dentro de una cascada, tales variaciones son de ordinario lo suficientemente pequeñas como para ser despreciables en cuanto a la comprensión del presente invento. Con referencia a la coordenada vertical de las salidas 118A-118K de fracción ligera y de la conducción de descarga 144 de fracción ligera en la Fig. 1, puede verse

en ésta que las cascadas de la primera unidad secundaria 110 producen una fracción de producto enriquecida en uranio-235 con relación al material de alimentación idealmente por un factor de  $\alpha^3$ . Para un factor de separación  $\alpha$  de 1,5, ésto corresponde a una concentración de  $^{235}\text{UF}_6$  de aproximadamente 2,40 moles por ciento. Las cascadas de la primera unidad secundaria 110 producen también una fracción de desecho empobrecida en uranio-235, idealmente por un factor de  $\alpha^{-3}$ , tal como puede leerse en el eje vertical de la Fig. 1, el cual corresponde a una concentración de  $^{235}\text{UF}_6$  de aproximadamente 0,21 moles por ciento. Un diseño de cascada que se denomina en la técnica anterior de cascada de contracorriente uno arriba/uno abajo, puede efectuar el enriquecimiento y el empobrecimiento isotópicos por estos factores con seis etapas de centrifugas de gas, con factores de separación iguales a  $\alpha$  en la sección de enriquecimiento y cinco de tales etapas en la sección de agotamiento. Otros diseños de cascadas pueden requerir diferentes números de etapas en las dos secciones.

La unidad 100 de enriquecimiento isotópico incluye además una segunda unidad secundaria de cascada 120 y una tercera unidad secundaria 130. En la segunda unidad secundaria 120 hay incluidas cascadas 122A-122M las cuales tienen respectivamente entradas 124A-124M, salidas de fracción pesada 126A-126M, y salidas de fracción ligera 128A-128M. Las entradas 124A-124M están conectadas a la conducción 140 de suministro de material de alimentación, y las salidas de fracción de desecho 126A-126M están conectadas a la conducción de descarga 142 de frac-

ción de desecho. Las salidas de fracción ligera 128A-128M están conectadas a una segunda conducción 146 de descarga de producto. Las cascadas del segundo grupo 120 producen idealmente una fracción de producto enriquecida en uranio-235 por un factor de  $\alpha^{3,5}$ , y una fracción de desecho empobrecida en ese isótopo por  $\alpha^{-3}$ . Análogamente, la unidad secundaria tercera 130 produce una fracción de producto enriquecida en uranio-235 por un factor de  $\alpha^4$  y una fracción de desecho que tiene sustancialmente la misma concentración que las fracciones de desecho producidas por las unidades secundarias primera y segunda 110 y 120. Las cascadas 132A-132N de la tercera unidad secundaria tienen entradas 134A-134N conectadas a la conducción 140 de suministro de material de alimentación, las salidas de fracción pesada 136A-136N están conectadas a la conducción 142 de descarga de desecho y las salidas 138A-138N de fracción ligera están conectadas a una tercera conducción 148 de descarga de producto.

Las cascadas de las tres unidades secundarias tienen el mismo número de etapas de agotamiento y por consiguiente producen todas idealmente una fracción pesada de la misma concentración de uranio-235. Combinando las fracciones de desecho producidas por las tres unidades secundarias no se da por tanto lugar a pérdida alguna significativa por mezcla. Los tres grupos de cascadas difieren, sin embargo, en el número de etapas de enriquecimiento. Para el diseño de cascada a contracorriente de uno arriba/uno abajo, a que se ha hecho referencia en lo que antecede, las cascadas de las unidades secundarias primera, segunda y tercera tendrían todas cinco etapas de agota-

miento, pero tendrían respectivamente seis, siete y ocho etapas de enriquecimiento. Así, la unidad 100 de enriquecimiento isotópico, al ser alimentada con hexafluoruro de uranio de abundancia natural por la conducción 140 de suministro de material de alimentación, produce una fracción de desecho que es extraída por la conducción 142 de descarga de desecho y tres fracciones de producto de uranio enriquecido que son extraídas por las conducciones de descarga de producto primera, segunda y tercera 144, 146 y 148. El régimen al cual es producida la fracción de producto dada por la unidad 100 de enriquecimiento isotópico depende del número y de la capacidad individual de las cascadas en la unidad secundaria correspondiente.

No solamente se requieren en cualquier momento dado combustibles de reactor de diferentes concentraciones de uranio-235, sino que con el transcurso del tiempo el perfil o curva de la demanda para combustibles enriquecidos en diferentes grados es probable que varíe. El perfil de demanda variable para combustibles de reactor resulta en parte del hecho de que los reactores nucleares requieren en general combustibles de más altas concentraciones de uranio-235 para la recarga que para la puesta en funcionamiento. Por consiguiente, si los clientes de una nueva instalación de enriquecimiento de uranio, como es probable que sea el caso, son principalmente instalaciones de energía nuclear nuevas, entonces el perfil de demanda se desplazará en el tiempo hacia concentraciones medias más altas de uranio-235. Además, puede esperarse que los diseños de reactor continúen evolucionando, lo que conduce a variaciones en el perfil o curva de la de-

manda a medida que se construyan reactores nuevos.

El perfil de demanda variable para uranio enriquecido presenta un grave problema en el diseño de una instalación de enriquecimiento de uranio. Un modo de proporcionar capacidad para hacer frente a las variaciones en el perfil de la demanda, consiste en hacer que la instalación produzca un amplio espectro de fracciones de producto de diferentes concentraciones de uranio-235 por tener numerosas unidades secundarias de cascadas con diversos números de etapas de enriquecimiento. Podría obtenerse hexafluoruro de uranio de concentraciones particulares mezclando para ello fracciones de producto, y se podría hacer frente a las variaciones en el perfil de la demanda ajustando para ello las mezclas de productos. No obstante, como se ha indicado anteriormente, tal mezcla supone un desperdicio, al ser la separación isotópica un procedimiento tan costoso. Además, la concentración media de uranio-235 en los productos de uranio enriquecidos de tal instalación solamente puede ser disminuida por mezcla, y además solamente por mezcla de una o más fracciones de producto con uranio de abundancia natural o con la fracción de desecho, lo cual en uno y otro caso da por resultado pérdidas extremadamente elevadas por mezcla.

Un segundo modo de variar las concentraciones de productos de una instalación de enriquecimiento de uranio, que puede reducir los problemas de las pérdidas por mezcla inherentes a la mezcla, consiste en redistribuir las cascadas entre las diversas unidades secundarias de la instalación por "redistribución de las tuberías de conexión en algunas de las cascadas, para variar el número de etapas

en sus secciones de enriquecimiento. Para aumentar la concentración media de  $^{235}\text{UF}_6$  en el producto enriquecido, por ejemplo, podrían redistribuirse las tuberías de conexión de una serie de las cascadas de una unidad secundaria que tuviese pocas etapas de enriquecimiento, para transformarlas en cascadas con más etapas de enriquecimiento. El cambio siquiera sea en solamente una del número de etapas de enriquecimiento para la mayoría de los diseños de cascada, sin embargo, exige variar el número de centrífugas de gas en cada etapa y alterar los caudales de flujo de hexafluoruro de uranio entre todas las etapas. Por consiguiente, la redistribución de las tuberías de conexión de una gran cascada es una tarea importante que supone un dilatado período de tiempo de inactividad y gastos considerables. Las dificultades inherentes a la redistribución de las tuberías de conexión de una cascada se complican todavía más cuando la cascada ha estado manipulando material radioactivo. Además, si una instalación de centrífuga de gas comercial tiene como fin hacer frente, mediante la redistribución de las cascadas entre unidades secundarias, a una variación en el perfil de la demanda del producto, la cual surge del suministro de un grupo de reactores de los cuales solamente el 40% requieren a un tiempo el combustible para la recarga, pero de los cuales el 90% requieren combustible para recargar tres años después, entonces aproximadamente el 27% de las cascadas de la instalación deben ser redistribuidas en cuanto a sus tuberías de conexión. La redistribución de las tuberías de conexión en más de una cuarta parte de las cascadas en una instalación de centrífugas de gas, después de que en ellas se haya manipulado hexa-

fluoruro de uranio radioactivo, es una tarea comparable en cuanto a escala a la interconexión de todas las centrífugas de gas de la instalación inicialmente.

5

### RESUMEN DEL INVENTO

Hemos inventado una unidad de enriquecimiento isotópico de centrífugas de gas que puede ser hecha funcionar sin pérdida alguna considerable por mezcla y cuya distribución de productos puede ser variada rápidamente y con relativa economía para hacer frente a los cambios en el perfil de la demanda.

Más en particular, el presente invento se refiere a una unidad de enriquecimiento isotópico para separar un material de alimentación de mezcla gaseosa que incluye un compuesto de un isótopo nuclear ligero con una concentración predeterminada y un compuesto de un isótopo nuclear pesado con una concentración predeterminada, en al menos dos fracciones de salida de la unidad. Una de las fracciones de salida de la unidad es una fracción de desecho empobrecida en el isótopo ligero hasta una concentración predeterminada y otra es una fracción de producto enriquecida en el isótopo ligero hasta una concentración predeterminada. La unidad de enriquecimiento isotópico incluye un primer grupo de cascadas de centrífugas de gas. Cada cascada del primer grupo tiene al menos una etapa de enriquecimiento y al menos una etapa de agotamiento, así como una entrada, una salida de fracción ligera y una salida de fracción pesada. Estas cascadas son capaces de separar material de alimentación de mezcla gaseosa en frac-

15

20

25

30

ciones de mezcla gaseosa ligera y pesada. La unidad de enriquecimiento isotópico incluye además medios para introducir el material de alimentación de mezcla gaseosa en cada entrada del primer grupo de cascadas. Incluye además

5 medios para extraer al menos una parte de una fracción de producto y de una fracción de desecho, respectivamente, de las salidas de fracción ligera y de fracción pesada del primer grupo de cascadas. La unidad de enriquecimiento isotópico comprende además una cascada auxiliar que tiene una

10 entrada, una salida de fracción ligera y una salida de fracción pesada. La cascada auxiliar puede tener una pluralidad de etapas de enriquecimiento y agotamiento, o bien puede ser una cascada de una sola etapa. Para que al menos una parte de una fracción de mezcla gaseosa producida por

15 el primer grupo de cascadas pueda ser separada adicionalmente en una fracción ligera y una fracción pesada por la cascada auxiliar, la unidad de enriquecimiento isotópico incluye además medios para conducir una fracción de mezcla gaseosa desde una salida de una primera cascada incluida

20 en el primer grupo a la entrada de la cascada auxiliar. Los medios para conducir la fracción de mezcla gaseosa pueden ser, por ejemplo, simplemente un conducto y un regulador de flujo conectados entre la salida de la primera cascada y la entrada de la cascada auxiliar. Para ciertas

25 aplicaciones de procedimiento por lotes, puede preferirse emplear un recipiente que sea conectable de modo soltable a la salida de la primera cascada para condensar la fracción de mezcla gaseosa en el recipiente, y también conectable de modo soltable a la entrada de la cascada auxiliar

30 para evaporar la fracción de mezcla gaseosa del recipiente.

La unidad de enriquecimiento isotópico incluye además medios para extraer al menos una parte de una fracción de salida de la unidad desde una salida de la cascada auxiliar.

5 En una realización preferida del presente invento, una fracción ligera o pesada producida por la cascada auxiliar tiene idealmente la misma concentración de isótopo ligero que la del material de alimentación de mezcla gaseosa. Denominamos aquí una salida de fracción ligera de una primera cascada y una salida de fracción pesada de una segunda cascada como salidas recíprocas si los números de etapas de enriquecimiento y agotamiento en las dos cascadas son tales que cuando se suministra fracción ligera desde la salida de la primera cascada a la segunda cascada como una alimentación, la fracción pesada de la salida de la segunda cascada tiene sustancialmente la misma fracción molar de isótopo ligero que la alimentación suministrada a la primera cascada. Para dos cascadas usuales del tipo uno arriba/uno abajo, la salida de fracción ligera de una cascada y la salida de fracción pesada de la otra son salidas recíprocas si el número de etapas de agotamiento de la última cascada es igual al número de etapas de enriquecimiento menos uno de la primera. Así, en una realización preferida del presente invento, la salida de fracción pesada de la cascada auxiliar y al menos una salida de fracción ligera de una o más primeras cascadas incluidas en el primer grupo de cascadas son salidas recíprocas, y la cascada auxiliar es suministrada con alimentación procedente de tales salidas de fracción ligera. La fracción pesada producida por la cascada auxiliar puede así ser combinada con el material de alimentación de

mezcla gaseosa y devuelta o recirculada al primer grupo de cascadas, sin que sufra pérdida alguna considerable por mezcla. La concentración media del isótopo ligero en las fracciones de producto producidas por esta realización es significativamente mayor que la concentración media del isótopo ligero en las fracciones de producto de una unidad de enriquecimiento isotópico usual correspondiente, que tenga un primer grupo de cascadas idéntico al primer grupo de la realización preferida y que tenga una cascada adicional que esté conectada en paralelo con una cascada del primer grupo, teniendo la cascada adicional el mismo número de centrífugas de gas que el de la cascada auxiliar de la realización preferida. Las unidades de enriquecimiento isotópico usuales pueden así ser convertidas a esta realización preferida, con el fin de hacer frente a una variación en el perfil de la demanda de producto hacia una concentración media de isótopo ligero considerablemente aumentada.

Una característica del presente invento es que pueden efectuarse cambios en la distribución de productos desde una unidad de enriquecimiento isotópico sin que ello afecte de modo significativo a las pérdidas por mezcla de la unidad y sin redistribuir una gran fracción de cascadas entre las unidades secundarias. Por ejemplo, efectuando la redistribución de tuberías de redistribución de solamente un pequeño tanto por ciento de las cascadas de una unidad de enriquecimiento isotópico usual para convertirla en una unidad de enriquecimiento isotópico. del presente invento, se puede variar la distribución de las fracciones de producto en aproximadamente la misma medida

que si se efectúa la redistribución de tuberías de conexión en el veinticinco por ciento de las cascadas de la unidad usual para redistribuirlas entre sus unidades secundarias. La redistribución de las tuberías de conexión de relativamente pocas cascadas para construir una unidad de enriquecimiento isotópico del presente invento, puede por tanto representar una estrategia económicamente atrayente para hacer frente a los cambios en el perfil de la demanda de producto, en particular a los cambios no previstos.

Si se pueden prever de antemano variaciones en el perfil o curva de la demanda de producto, puede entonces ser preferible usar realizaciones del presente invento que incluyan válvulas para hacer posible que una o más cascadas sean "giradas" entre dos o más modos alternativos de funcionamiento para variar la distribución del producto económicamente sin tener que redistribuir las tuberías de conexión en ninguna cascada. Así, en una realización preferida del presente invento, hay incluidos medios valvulares y conductos para conectar alternativamente la entrada de la cascada auxiliar a una de dos fuentes de alimentación de mezcla gaseosa. Por ejemplo, una fuente pudieran ser los medios para introducir el material de alimentación de mezcla gaseosa en las entradas del primer grupo de cascadas y la otra fuente una conducción de descarga de fracción ligera de una unidad secundaria del primer grupo. Alternativamente, la entrada de la cascada auxiliar podría ser girada entre las conducciones de descarga de la fracción ligera de dos unidades secundarias diferentes que produzcan fracciones ligeras de composiciones diferentes. En una u otra realización, la cascada auxiliar puede

ser hecha funcionar en uno de dos modos, siendo diferentes las concentraciones del isótopo ligero en las fracciones ligera y pesada producidas por la cascada auxiliar en los dos modos. De este modo se puede variar convenientemente la concentración de las fracciones de producto para hacer frente a los cambios en el perfil de la demanda del producto, simplemente mediante válvulas giratorias, evitándose con ello la dificultad que entraña redistribuir las tuberías de conexión en cualquier cascada que haya manipulado materiales radioactivos.

Una característica adicional del presente invento es que se pueden usar una gran variedad de diseños de cascadas y centrífugas de gas para construir la presente unidad de enriquecimiento isotópico. Así, además del diseño de cascada usual del tipo de uno arriba/uno abajo, a que se ha hecho referencia en lo que antecede, la presente unidad de enriquecimiento isotópico puede emplear otros diseños de cascada menos usuales, tales como, por ejemplo, el de la cascada del tipo de dos arriba/uno abajo descrita por D.R.Olander en "Nuclear Technology" (Tecnología Nuclear) volumen 29, páginas 108-112 (Abril, 1976). Se preferirá en general, por supuesto, usar diseños de cascada que reduzcan al mínimo los costes, por funcionar de un modo más eficaz y por requerir el mínimo de centrífugas de gas para tratar material de alimentación según un régimen dado. Análogamente, se preferirá de ordinario usar centrífugas de gas del diseño más económico para el presente invento. Los detalles de ingeniería de los diseños de cascadas y centrífugas de gas no son necesarios para comprender o apreciar el presente invento y, por brevedad, no se con-

sideran aquí.

### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

5 El presente invento puede apreciarse mejor si se hace referencia a los dibujos que siguen.

La Fig. 1 es un gráfico de flujo de una unidad de enriquecimiento isotópico representativa de la técnica anterior, descrita en lo que antecede.

10 La Fig. 2 es un gráfico de flujo de una primera realización de la unidad de enriquecimiento isotópico del presente invento, para producir tres fracciones de producto de diferentes composiciones. Esta realización incluye una cascada auxiliar de una sola etapa.

15 La Fig. 3 es un gráfico de flujo de una segunda realización del presente invento para producir cuatro fracciones de producto.

La Fig. 4 es un gráfico de flujo de una tercera realización del presente invento para producir tres fracciones de producto.

20 Las Figs. 5A y 5B son gráficos de flujo de una cuarta realización del presente invento representada en modos alternativos de funcionamiento. Si se hace funcionar en el modo representado en la Fig. 5A, esta realización produce tres fracciones de producto diferentes. Si se hace funcionar en el modo de la Fig. 5B, produce cuatro fracciones de producto.

25 Las Figs. 6A y 6B representan realizaciones alternativas de medios valvulares empleados en la realización de las Figs. 5A y 5B.

30

La Fig. 7 es un gráfico de flujo de una quinta realización del presente invento. Como en la realización de las Figs. 5A y 5B, esta realización tiene dos modos de funcionamiento. Por brevedad solamente se ha ilustrado en la Fig. 7 un modo de funcionamiento.

La Fig. 8 es un gráfico de flujo de una sexta realización del presente invento. Esta realización tiene también dos modos de funcionamiento, de los cuales solamente se ha representado uno.

La Fig. 9 es un gráfico de flujo de una séptima realización que tiene dos modos de funcionamiento, de los cuales solamente se ha representado uno.

La Fig. 10 es un gráfico de flujo y un dibujo esquemático de una octava realización del presente invento en la que se emplean unos medios alternativos para conducir una fracción de mezcla gaseosa desde una unidad secundaria de cascadas a una cascada auxiliar.

#### DESCRIPCION DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERIDAS

Con referencia ahora a la Fig. 2, se ha representado en un gráfico de flujo esquemático una primera unidad 200 de enriquecimiento isotópico. La primera unidad 200 de enriquecimiento isotópico incluye una primera unidad secundaria 210, una segunda unidad secundaria 220 y una tercera unidad secundaria 230. La primera unidad secundaria 210 incluye cascadas 212A-212J. Análogamente, la segunda unidad secundaria 220 incluye cascadas 222A-222M y la tercera unidad secundaria 230 incluye cascadas 232A-232N. Cada una de las cascadas incluidas en las tres

unidades secundarias 210, 220 y 230 tiene una pluralidad de etapas de enriquecimiento y una pluralidad de etapas de agotamiento. El número de cascadas en cada unidad secundaria no se ha especificado, ya que no es necesario para comprender el presente invento y habida cuenta de que variará de una aplicación a otra, dependiendo, como admitirán los expertos en la técnica, del régimen al cual se desee producir la fracción ligera de la unidad secundaria y de la capacidad de las cascadas incluidas en la unidad secundaria.

Las cascadas 212A-212J de la primera unidad secundaria 210 tienen entradas 214A-214J, salidas de fracción pesada 216A-216J y salidas de fracción ligera 218A-218J. Las salidas de fracción ligera 218A-218J están conectadas a una primera conducción de descarga de la fracción de producto 244 a través de la cual puede ser extraída la fracción ligera de hexafluoruro de uranio producida por la primera unidad secundaria 210. Las entradas 214A-214J están conectadas a una conducción de suministro de material de alimentación 240, como lo están las entradas 224A-224M de las cascadas 222A-222M de la segunda unidad secundaria 220 y las entradas 234A-234N de las cascadas 232A-232N de la tercera unidad secundaria 230. La conducción de suministro de material de alimentación 240 es un conducto a través del cual puede ser dirigido hexafluoruro de uranio a las entradas de las cascadas de las tres unidades secundarias. Para simplificar, los reguladores de presión y de flujo usuales para dosificar el material de alimentación de hexafluoruro de uranio desde la conducción 240 de suministro de material de alimentación a las casca-

das 212, 222 y 232, no se han ilustrado en la Fig. 2 ni se han representado dispositivos de control usuales similares para conducciones de descarga y otras conducciones de suministro, en ésta ni en las demás figuras. Las salidas de fracción pesada 216A-216J, 226A-226M y 236A-236N de las unidades secundaria primera, segunda y tercera, respectivamente, están conectadas a una conducción 242 de descarga de la fracción de desecho. Las salidas 228A-228M de fracción ligera de la segunda unidad secundaria 220 están conectadas a una segunda conducción 246 de descarga de la fracción de producto, y las salidas 238A-238N de la fracción ligera están conectadas a una tercera conducción 248 de descarga de la fracción de producto.

Desde el eje vertical del gráfico de flujo de la Fig. 2 puede verse que las cascadas de la primera unidad secundaria producen idealmente una fracción ligera enriquecida en  $^{235}\text{UF}_6$  por un factor de  $\alpha^3$  con relación al material de alimentación de hexafluoruro de uranio. Las cascadas 222A-222M de la segunda unidad secundaria producen una fracción ligera enriquecida idealmente por el factor de  $\alpha^{3,5}$  y las cascadas 232A-232N de la tercera unidad secundaria 230 producen una fracción ligera enriquecida idealmente por el factor de  $\alpha^4$ . Para un factor de separación  $\alpha$  igual a 1,5 y un material de alimentación de abundancia natural  $\text{UF}_6$ , corresponden los factores de enriquecimiento  $\alpha^3$ ,  $\alpha^{3,5}$  y  $\alpha^4$ , respectivamente, a las fracciones de producto que tengan concentraciones de  $^{235}\text{UF}_6$  de aproximadamente 2,40, 2,93 y 3,59 moles por ciento. Las cascadas de las tres unidades secundarias producen una fracción pesada empobrecida en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente

por un factor de  $\alpha^{-3}$ , el cual para un valor de  $\alpha$  igual a 1,5 corresponde a una fracción de desecho que tiene una concentración de  $^{235}\text{UF}_6$  de aproximadamente 0,21 moles por ciento.

5 Una primera cascada auxiliar 252 tiene una entrada 254, una salida 256 de fracción pesada y una salida 258 de fracción ligera. Un primer conducto 260 de suministro de la cascada auxiliar conecta la entrada 254 a la segunda conducción de descarga 246 de la fracción de producto, la cual está a su vez conectada a las salidas de fracción ligera 228A-228M de las cascadas de la segunda unidad secundaria 220. La segunda unidad secundaria 220 tiene una capacidad suficiente como para producir al menos suficiente fracción ligera como para suministrar a

10 la primera cascada auxiliar 252. La salida 256 de fracción pesada de la primera cascada auxiliar 252 está conectada a la primera conducción de descarga 244 de la fracción de producto por un primer conducto 262 de descarga de la fracción pesada de la cascada auxiliar y la salida 258 de fracción ligera está conectada a la tercera conducción de descarga 248 de la fracción de producto por un primer conducto 264 de descarga de la fracción ligera de la cascada auxiliar.

25 La primera cascada auxiliar 252 es una cascada de una sola etapa que tiene un factor de separación de aproximadamente  $\alpha$ , la cual puede separar hexafluoruro de uranio en una fracción ligera enriquecida en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente por un factor de  $\alpha^{0,5}$ , y una fracción pesada empobrecida en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente por un factor de  $\alpha^{-0,5}$ . Así, cuando se suministra hexafluoruro de uranio proceden-

30

te de la segunda conducción 246 de descarga de la fracción de producto, la cual lleva hexafluoruro de uranio enriquecido idealmente por un factor de  $\alpha^{3,5}$  con relación al uranio de abundancia natural, la primera cascada auxiliar 252 produce una fracción ligera enriquecida por un factor de aproximadamente  $\alpha^4$  y una fracción pesada enriquecida por un factor de aproximadamente  $\alpha^3$  con relación al uranio de abundancia natural. Así, la fracción ligera producida por la primera cascada auxiliar 252 puede ser combinada con la fracción ligera producida por las cascadas de la tercera unidad secundaria 230, y la fracción pesada producida por la primera cascada auxiliar 252 puede ser combinada con la fracción ligera producida por las cascadas de la primera unidad secundaria 210, sin que se experimente pérdida alguna considerable por mezcla.

La unidad 100 de enriquecimiento isotópico de la técnica anterior de la Fig. 1 puede ser reconstruida en una unidad de enriquecimiento isotópico de la realización ilustrada en la Fig. 2. Por ejemplo, la cascada 112K de la unidad 100 de la técnica anterior de la Fig. 1 podría ser redistribuida en sus tuberías de conexión para formar una cascada de una sola etapa que tuviese el mismo número de centrífugas de gas y conectada a las conducciones de descarga de la fracción de producto 144, 146, 148 en el modo en que la primera cascada auxiliar 252 de la Fig. 2 está conectada a las conducciones de descarga 244, 246, 248 de la fracción de producto. Los caudales o regímenes con los cuales son producidas las tres fracciones de producto de tal unidad de enriquecimiento isotópico reconstruida difieren significativamente de los corres-

pondientes a la unidad de enriquecimiento isotópico usual a partir de la cual fue reconstruida; el caudal de fracción de producto producida por la segunda unidad secundaria es reducido mientras que los caudales de las fracciones de producto procedentes de las unidades secundarias primera y tercera son aumentados. Es así posible modificar la distribución de las fracciones de producto de una unidad de enriquecimiento isotópico usual, tal como la ilustrada en la Fig. 1, por redistribución de las tuberías de conexión para formar una unidad de enriquecimiento isotópico del presente invento.

Con referencia ahora a la Fig. 3, una segunda unidad 300 de enriquecimiento isotópico incluye una primera unidad secundaria 310, una segunda unidad secundaria 320 y una tercera unidad secundaria 330. La primera unidad secundaria incluye cascadas 312A-312J que tienen entradas 314A-314J, salidas de fracción pesada 316A-316J y salidas de fracción ligera 318A-318J; la segunda unidad secundaria incluye cascadas 322A-322M que tienen entradas 324A-324M, salidas de fracción pesada 326A-326M y salidas de fracción ligera 328A-328M; y la tercera unidad secundaria 330 incluye cascadas 332A-332N que tienen entradas 334A-334N, salidas de fracción pesada 336A-336N y salidas de fracción ligera 338A-338N. Las entradas 314, 324 y 334 están conectadas a una conducción 340 de suministro de material de alimentación y las salidas 316, 326 y 336 de fracción pesada están conectadas a una conducción 342 de descarga de fracción de desecho. Las salidas 318 de fracción ligera de la primera unidad secundaria 310 están conectadas a una primera conducción de descarga 344 de la

fracción de producto; las salidas 328 de la fracción ligera de la segunda unidad secundaria 320 están conectadas a una segunda conducción de descarga 346 de la fracción de producto; y las salidas 338 de fracción ligera de la tercera unidad secundaria 330 están conectadas a una tercera conducción de descarga 348 de la fracción de producto. Las tres unidades secundarias 310, 320 y 330 producen fracciones de producto y de desecho de la misma composición que las fracciones producidas por las correspondientes unidades secundarias de la realización ilustrada en la Fig. 2.

Una segunda cascada auxiliar 352 tiene una entrada 354, una salida 356 de fracción pesada y una salida 358 de fracción ligera. La entrada 354 de la segunda cascada auxiliar 352 está conectada a la tercera conducción de descarga 348 de fracción de producto por un segundo conducto 360 de suministro de la cascada auxiliar. Un conducto 362 de descarga de la fracción pesada de la cascada auxiliar conecta la salida 356 de fracción pesada de la segunda cascada auxiliar 352 con la primera conducción de descarga 344 de la fracción de producto. La fracción ligera producida por la segunda cascada auxiliar 352 puede ser extraída por una segunda conducción de descarga 334 de fracción ligera de la cascada auxiliar.

Como puede verse con referencia al eje vertical del gráfico de flujo de la Fig. 3, la segunda cascada auxiliar 352 puede separar hexafluoruro de uranio en una fracción ligera enriquecida en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente por un factor de  $\alpha$ , y en una fracción pesada empobrecida en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente por un factor de  $\alpha^{-1}$ . La segunda

5 cascada auxiliar puede ser, por ejemplo, una cascada de  
contracorriente del tipo de uno arriba/uno abajo que ten-  
ga dos etapas de enriquecimiento y una etapa de agotamien-  
to. Cuando se suministra a la segunda cascada auxiliar  
352 hexafluoruro de uranio procedente de las salidas 338  
de fracción ligera de la tercera unidad secundaria 330,  
la cual está enriquecida por un factor de aproximadamente  
 $\alpha^4$  con relación al uranio de abundancia natural, la  
misma produce una fracción ligera enriquecida por un fac-  
10 tor de aproximadamente  $\alpha^5$  y una fracción pesada enrique-  
cida por un factor de aproximadamente  $\alpha^3$  con relación  
al uranio de abundancia natural. La fracción pesada así  
producida por la segunda cascada auxiliar 352 puede ser  
combinada, sin pérdida alguna considerable por mezcla, con  
15 la fracción ligera producida por las cascadas de la prime-  
ra unidad secundaria 310. La fracción ligera de hexafluor-  
uro de uranio así producida por la segunda cascada auxi-  
liar 352 tiene una concentración de  $^{235}\text{U}_6$  de aproximada-  
mente 5,39 moles por ciento, la cual es enriquecida en  
20 mayor grado que cualquiera de las fracciones ligeras pro-  
ducidas por las tres unidades secundarias 310, 320 ó 330.

En la Fig. 4 se ha ilustrado una tercera rea-  
lización preferida del presente invento. Una tercera uni-  
dad 400 de enriquecimiento isotópico incluye una primera  
25 unidad secundaria 410, una segunda unidad secundaria 420  
y una tercera unidad secundaria 430. La primera unidad  
secundaria incluye cascadas 412A-412J que incluyen entra-  
das 414A-414J, salidas de fracción pesada 416A-416J y sa-  
lidas de fracción ligera 418A-418J; la segunda unidad se-  
30 cundaria incluye cascadas 422A-422M que incluyen entradas

424A-424M, salidas de fracción pesada 426A-426M y salidas de fracción ligera 428A-428M; y la tercera unidad secundaria 430 incluye cascadas 432A-432N las cuales incluyen entradas 434A-434N, salidas de fracción pesada 436A-436N y salidas de fracción ligera 438A-438N. Las entradas 414, 424 y 434 están conectadas a una conducción 440 de suministro de material de alimentación y las salidas 416, 426 y 436 de fracción pesada están conectadas a una conducción de descarga 442 de la fracción de desecho. Las salidas 418 de fracción ligera de la primera unidad secundaria 410 están conectadas a una primera conducción de descarga 444 de fracción de producto; las salidas 428 de fracción ligera de la segunda unidad secundaria 420 están conectadas a una segunda conducción de descarga 446 de fracción de producto; y las salidas 438 de fracción ligera de la tercera unidad secundaria 430 están conectadas a una tercera conducción de descarga 448 de fracción de producto. Las tres unidades secundarias 410, 420 y 430 producen fracciones de producto y de desecho de la misma composición que las fracciones producidas por las correspondientes unidades secundarias de las realizaciones ilustradas en las Figs. 2 y 3.

Una tercera cascada auxiliar 452 tiene una entrada 454, una salida de fracción pesada 456 y una salida de fracción ligera 458. La entrada 454 de la tercera cascada auxiliar 452 está conectada a la primera conducción de descarga 444 de fracción de producto por un tercer conducto 460 de suministro de la cascada auxiliar. Un tercer conducto 464 de descarga de la fracción ligera de la cascada auxiliar conecta la salida 458 de fracción

ligera de la tercera cascada auxiliar 452 con la tercera conducción de descarga 448 de la fracción de producto.

La salida 456 de la fracción pesada de la tercera cascada auxiliar 452 está conectada por un tercer conducto 462 de descarga de la fracción pesada de la cascada auxiliar a la conducción 440 de suministro de material de alimentación para devolución de la fracción pesada de hexafluoruro de uranio producida por la tercera cascada auxiliar 452 a las entradas de las otras cascadas de la tercera unidad 400 de enriquecimiento isotópico.

Como puede verse en la Fig. 3, la salida 456 de fracción pesada de la tercera cascada auxiliar 452 y las salidas 418 de fracción ligera de las cascadas 412 de la primera unidad secundaria 410 son salidas recíprocas. La tercera cascada auxiliar 452 puede separar hexafluoruro de uranio en una fracción ligera enriquecida en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente por un factor de  $\alpha$  y una fracción pesada empobrecida en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente por un factor de  $\alpha^{-3}$ . Una elección preferida para la tercera cascada auxiliar 452 es una cascada de contracorriente del tipo de uno arriba/uno abajo que tiene dos etapas de enriquecimiento y cinco etapas de agotamiento. Las cascadas de la primera unidad secundaria 410, si son del mismo diseño de contracorriente del tipo uno arriba/uno abajo, tienen cada una seis etapas de enriquecimiento. Así, el número de etapas de agotamiento de la tercera cascada auxiliar 452 es igual al número de etapas de enriquecimiento menos uno de las cascadas 412 de la primera unidad secundaria 410 que suministra a la tercera cascada auxiliar 452 alimentación de hexafluoruro de uranio enriquecido. Cuando es

alimentada con el hexafluoruro de uranio enriquecido por un factor de aproximadamente de  $\alpha^3$  sobre el material de alimentación de hexafluoruro de uranio de abundancia natural procedente de la primera unidad secundaria 410, la tercera cascada auxiliar 452 lo separa en una fracción ligera enriquecida por un factor de  $\alpha^4$  y una fracción pesada, la cual tiene sustancialmente la misma composición que el material de alimentación. Puesto que la concentración de  $^{235}\text{UF}_6$  en la fracción pesada producida por la tercera cascada auxiliar 452 es sustancialmente la misma que la del hexafluoruro de uranio de abundancia natural, puede mezclarse con el material de alimentación sin pérdida alguna considerable por mezcla .

La reconstrucción de la unidad 100 de enriquecimiento isotópico de la técnica anterior de la Fig. 1 para formar una unidad de enriquecimiento isotópico según la realización de la Fig. 4, puede variar sustancialmente los regímenes a los cuales son producidas las tres fracciones de producto. En particular, puede aumentarse en una medida relativamente grande la concentración media de  $^{235}\text{UF}_6$  en las fracciones de producto. Si se desea aumentar el enriquecimiento medio de las fracciones de producto hasta el grado máximo, reconstruyendo para ello la unidad 100 de enriquecimiento isotópico de la técnica anterior para formar una unidad de enriquecimiento isotópico de esta realización, es generalmente preferible que la cascada auxiliar tenga pocas etapas de enriquecimiento. En el aumento del enriquecimiento medio intervienen dos factores que se contraponen: (1) cuanto mayor sea el número de etapas de enriquecimiento de una cascada auxiliar,

tanto más enriquecida es la fracción ligera que la misma produce, pero (2) cuanto mayor sea el número de etapas de enriquecimiento tanto menor es el caudal al cual producen fracción ligera las cascadas de la mayoría de los diseños.

5 El segundo factor predomina de ordinario para la mayoría de las cascadas de diseño usual si se mantiene fijo el número de centrífugas, en el sentido de que el producto del caudal al cual es producida la fracción ligera por la concentración de  $^{235}\text{UF}_6$  en la fracción ligera es mayor  
10 cuanto menor sea el número de etapas de enriquecimiento, puesto que un menor número de etapas de enriquecimiento conduce a más centrífugas en la sección de agotamiento y por consiguiente a un mayor aumento del enriquecimiento medio.

15 En las Figs. 5A y 5B se representa una cuarta realización del presente invento en modos alternativos de funcionamiento. Con referencia ahora a las Figs. 5A y 5B, una cuarta unidad 500 de enriquecimiento isotópico incluye una primera unidad secundaria 510, una segunda  
20 unidad secundaria 520 y una tercera unidad secundaria 530. La primera unidad secundaria incluye cascadas 512A-512J que tienen entradas 514A-514J, salidas de fracción pesada 516A-516J y salidas de fracción ligera 518A-518J; la segunda unidad secundaria incluye cascadas 522A-522M que  
25 tienen entradas 524A-524M, salidas de fracción pesada 526A-526M y salidas de fracción ligera 528A-528M; y la tercera unidad secundaria 530 incluye cascadas 532A-532N que tienen entradas 534A-534N, salidas de fracción pesadas 536A-536N y salidas de fracción ligera 538A-538N. Las  
30 entradas 514, 524 y 534 están conectadas a una conducción

540 de suministro de material de alimentación, y las salidas de fracción pesada 516, 526 y 536 están conectadas a una conducción 542 de descarga de la fracción de desecho. Las salidas 518 de fracción ligera de la primera unidad secundaria 510 están conectadas a una primera conducción de descarga 544 de fracción de producto; las salidas 528 de fracción ligera de la segunda unidad secundaria 520 están conectadas a una segunda conducción de descarga 546 de fracción de producto; y las salidas 538 de fracción ligera de la tercera unidad secundaria 530 están conectadas a una tercera conducción de descarga 548 de fracción de producto. Las tres unidades secundarias 510, 520 y 530 producen fracciones de producto y de desecho de las mismas composiciones que las fracciones producidas por las correspondientes unidades secundarias de las realizaciones anteriores.

Una primera cascada auxiliar giratoria 552 tiene una entrada 554, una salida de fracción pesada 556 y una salida de fracción ligera 558. Conectada a la entrada 554 hay una lumbrera de enlace de una válvula 570 de suministro de alimentación de dos vías o direcciones. Una primera lumbrera de ramificación de la válvula de suministro 570 está conectada a un extremo de un conducto 560 de suministro de alimentación pobre, y una segunda lumbrera de ramificación de la válvula de suministro 570 a un extremo de un conducto 561 de suministro de alimentación rica. El otro extremo del conducto 560 de suministro de alimentación pobre está conectado a la conducción 540 de suministro de material de alimentación y el otro extremo del conducto 561 de suministro de alimentación rica está conectado a la pri-

mera conducción de descarga 544 de la fracción de producto. Análogamente, la salida 558 de fracción ligera está conectada a una válvula de descarga 572 de fracción ligera de dos direcciones, la cual está conectada a un conducto 564 de descarga de fracción ligera pobre y a un conducto 565 de descarga de fracción ligera rica. El conducto 564 de descarga de fracción ligera pobre está además conectado a la primera conducción de descarga 544 de fracción de producto. Puede extraerse fracción ligera rica de la unidad 500 de enriquecimiento isotópico por la conducción 565 de descarga de fracción ligera rica. La salida 556 de fracción pesada de la primera cascada auxiliar giratoria 552 está conectada a una válvula 574 de descarga de fracción pesada de dos direcciones, la cual está conectada a un conducto 562 de descarga de fracción pesada pobre y a un conducto 563 de descarga de fracción pesada rica. El conducto 562 de descarga de fracción pesada pobre está además conectado a la conducción 542 de descarga de fracción de desecho. El conducto 563 de descarga de fracción pesada rica está conectado a la conducción 540 de suministro de material de alimentación.

Las válvulas de suministro y descarga de dos direcciones 570, 572 y 574 se han ilustrado esquemáticamente como triángulos sombreados en las Figs. 5A y 5B. En la Fig. 6A se ha representado con mayor detalle una válvula 576 de dos direcciones, de tres lumbreras, preferida para esta aplicación. Un conducto de enlace 578 para conectar la válvula a una entrada o a una salida de la cascada auxiliar giratoria 552 está conectado a un mecanismo valvular 580 a través de una lumbrera de enlace 581. El mecanismo valvu-

lar 580 está además conectado a un conducto de ramificación principal 582 y a un conducto de ramificación alternativo 584 a través de una lumbrera de ramificación principal 583 y de una lumbrera de ramificación alternativa 585, respectivamente. La lumbrera de enlace 581 está en comunicación más estrecha con la entrada o la salida de la cascada auxiliar 552 que cualquiera de las dos lumbreras de ramificación 583 y 585. Como se ha ilustrado en la Fig. 6A, el conducto de enlace 578 está en comunicación con el conducto 584 de ramificación alternativo a través de un canal 586. Si se hace girar el mecanismo valvular 580 a izquierdas noventa grados, el conducto de enlace 578 comunica con el conducto de ramificación principal 582. Solamente uno de los dos conductos de ramificación 582 y 584 está en comunicación con el conducto de enlace 578 en cualquier momento dado.

Un segundo ejemplo de una válvula de dos direcciones o vías es un conducto de unión en "T" con una válvula de conexión-desconexión en cada brazo de la "T" representado en la Fig. 6B. El conducto de enlace 578 puede ser conectado alternativamente al conducto de ramificación principal 582 ó al conducto de ramificación alternativa 584, abriendo y cerrando apropiadamente una primera válvula de conexión-desconexión 590 y una segunda válvula de conexión-desconexión 592, las cuales están conectadas en serie respectivamente con los conductos de ramificación principal y alternativo 582 y 584.

Con referencia de nuevo a la Fig. 5A, puede verse en ella que la primera cascada auxiliar giratoria 552 produce fracciones ligera y pesada respectivamente enri-

quecidas en  $^{235}\text{UF}_6$  idealmente por los mismos factores que las cascadas 512 para la primera unidad secundaria 510. Así, cuando las válvulas de suministro y descarga de dos direcciones 570, 572 y 574 conectan respectivamente la entrada 554 al conducto 560 de suministro de alimentación pobre, la salida 558 de fracción ligera al conducto de descarga 564 de fracción ligera pobre, y la salida 556 de fracción pesada al conducto de descarga 562 de fracción pesada pobre, la cascada auxiliar giratoria 552 funciona en paralelo con las cascadas 512 de la primera unidad secundaria 510. Este "modo pobre" de funcionamiento de la cuarta unidad 500 de enriquecimiento isotópico se ha ilustrado en la Fig. 5A. En este modo, las fracciones ligera y pesada producidas por la cascada auxiliar giratoria 552 pueden ser combinadas con las fracciones ligera y pesada producidas por la primera unidad secundaria 510 sin pérdida alguna considerable por mezcla.

Por otra parte, si se giran las válvulas de descarga y de suministro de dos direcciones o vías 570, 572 y 574 de modo que la entrada 554 de la cascada auxiliar giratoria 552 esté conectada al conducto 561 de suministro de alimentación rica, la salida 558 de fracción ligera esté conectada al conducto de descarga 565 de fracción ligera rica y la salida 556 de fracción pesada esté conectada al conducto de descarga 563 de fracción pesada rica, la cuarta unidad 500 de enriquecimiento isotópico funciona en el "modo rico" ilustrado en la Fig. 5B. Obsérvese que en el gráfico de flujo de la Fig. 5B se ha representado la cascada auxiliar giratoria 552 en una posición vertical más alta que en la Fig. 5A, para indicar que las

mezclas gaseosas en su entrada y sus salidas son más ricas en el sentido de que tienen más altas concentraciones de  $^{235}\text{UF}_6$ . Así, por ejemplo, cuando se hace funcionar en el modo rico la primera cascada auxiliar giratoria 552 es alimentada con hexafluoruro de uranio enriquecido en  $^{235}\text{UF}_6$  por un factor idealmente de  $\alpha^3$ , mientras que cuando se hace funcionar en el modo pobre es alimentada con hexafluoruro de uranio de abundancia natural.

La salida 556 de fracción pesada de la primera cascada auxiliar giratoria 552 y las salidas 518 de fracción ligera de las cascadas 512 de la primera unidad secundaria 510 son salidas recíprocas. Así, la fracción pesada producida por la cascada en el modo rico de funcionamiento de la Fig. 5B tiene idealmente la misma composición que el material de alimentación de abundancia natural. La fracción ligera producida por la cascada auxiliar giratoria 552 en este modo es enriquecida en  $^{235}\text{UF}_6$  por un factor de sustancialmente  $\alpha^6$ . Dependiendo de su modo de funcionamiento, la cuarta unidad 500 de enriquecimiento isotópico produce tres o cuatro fracciones de producto. La concentración media de  $^{235}\text{UF}_6$  en las cuatro fracciones de producto del modo rico es considerablemente mayor que la concentración media en las tres fracciones de producto del modo pobre. Las pérdidas por mezcla para los dos modos de funcionamiento son sustancialmente las mismas y puede hacerse que sean muy bajas.

En la Fig. 7 se ha representado una unidad de enriquecimiento isotópico del presente invento que incluye una cascada auxiliar giratoria y produce el mismo número de fracciones de producto en ambos modos de funcio-

namiento, el rico y el pobre. Con referencia ahora a la Fig. 7, una quinta unidad 600 de enriquecimiento isotópico incluye unidades secundarias primera, segunda y tercera 610, 620 y 630. La primera unidad secundaria 610 puede enriquecer hexafluoruro de uranio idealmente por un factor de  $\alpha^3$ , la segunda unidad secundaria 620 por un factor de  $\alpha^{4,5}$  y la tercera unidad secundaria 630 por un factor de  $\alpha^6$ . Las cascadas de estas tres unidades secundarias y sus entradas y salidas se han designado en la Fig. 7 de una manera exactamente análoga a la empleada para las tres unidades secundarias de las realizaciones anteriores. Por brevedad, no se enumerarán las designaciones en el texto.

Una segunda cascada auxiliar giratoria 652 tiene una entrada 654, una salida 656 de fracción pesada y una salida 658 de fracción ligera. Conectada a la entrada 654 hay una lumbrera de enlace de una válvula 670 de suministro de dos direcciones, para conectar la entrada 654 a través de una de dos lumbreras de ramificación ya sea a un conducto 660 de suministro de alimentación pobre ya sea a un conducto 661 de suministro de alimentación rica. El conducto 660 de suministro de alimentación pobre está además conectado a una conducción 640 de suministro de material de alimentación y el conducto 661 de suministro de alimentación rica está conectado a una primera conducción de descarga 644 de fracción de producto, la cual está a su vez conectada a las salidas de fracción ligera de las cascadas de la primera unidad secundaria 610. La salida 658 de fracción ligera de la segunda cascada auxiliar giratoria 652 está conectada a una válvula 672 de

descarga de fracción ligera para conectarla ya sea a un conducto 664 de descarga de fracción ligera pobre ya sea a un conducto 665 de descarga de fracción ligera rica. El conducto de descarga 664 de fracción ligera pobre está además conectado a la primera conducción de descarga 664 de fracción de producto. El conducto de descarga 665 de fracción ligera rica está conectado a un tercer conducto de descarga 648 de fracción de producto, el cual está a su vez conectado a las salidas de fracción ligera de las cascadas de la tercera unidad secundaria 630. La salida 656 de fracción pesada de la segunda cascada auxiliar giratoria 652 está conectada a una válvula 674 de descarga de fracción pesada de dos direcciones para conectar la salida 656 de fracción pesada ya sea a un conducto 662 de descarga de fracción pesada pobre ya sea a un conducto 663 de descarga de fracción pesada rica. El conducto 662 de descarga de fracción pesada pobre está además conectado a una conducción de descarga 642 de fracción de desecho, a la cual están también conectadas las salidas de fracción pesada de las cascadas de las tres unidades secundarias 610, 620 y 630. El conducto de descarga 663 de fracción pesada rica está conectado a la conducción 640 de suministro de material de alimentación. Las válvulas de suministro y descarga de dos direcciones 670, 672 y 674 pueden ser válvulas del tipo ilustrado en las Figs. 6A y 6B.

La segunda cascada auxiliar giratoria 652 produce una fracción ligera enriquecida en  $^{235}\text{UF}_6$  por un factor de sustancialmente  $\alpha^3$  y una fracción pesada empobrecida por un factor de sustancialmente  $\alpha^{-3}$ . Los factores

de enriquecimiento y empobrecimiento de la cascada auxiliar giratoria 652 son idealmente los mismos que los de las cascadas de la primera unidad secundaria 610. Así, en el modo pobre de funcionamiento, no ilustrado en la Fig. 7, la segunda cascada auxiliar giratoria 652 es hecha funcionar en paralelo con las cascadas de la primera unidad secundaria 610, de una manera análoga a la del modo pobre de funcionamiento de la primera cascada auxiliar giratoria 552 ilustrada en la Fig. 5A. En el modo rico de funcionamiento que se ha ilustrado en la Fig. 7, las válvulas de suministro y descarga de dos direcciones están reguladas para suministrar a la entrada 654 de la segunda cascada auxiliar giratoria 652 hexafluoruro de uranio enriquecido procedente de la fracción ligera producida por la primera unidad secundaria 610, y para combinar las fracciones ligera y pesada producidas por la cascada auxiliar giratoria 652 respectivamente con la fracción ligera producida por la tercera unidad secundaria 630 y conducida en la tercera conducción de descarga 648 de fracción de producto y el material de alimentación de hexafluoruro de uranio conducido en la conducción de suministro 640 de material de alimentación. La salida 656 de fracción pesada de la segunda cascada auxiliar giratoria 652 y las salidas 618 de fracción ligera de las cascadas 612 de la primera unidad secundaria 610 son salidas recíprocas. Así, la combinación de la fracción pesada producida por la segunda cascada auxiliar giratoria 652 con el material de alimentación de hexafluoruro de uranio no da lugar a pérdida alguna considerable por mezcla. Análogamente, la combinación de la fracción ligera producida por la segunda

5 cascada auxiliar giratoria 652 con la fracción ligera  
producida por la tercera unidad secundaria 630 no da lu-  
gar a pérdida alguna sustancial por mezcla, debido a que  
la cascada auxiliar enriquece el hexafluoruro de uranio  
previamente enriquecido por un factor de idealmente  $\alpha^3$   
por un factor adicional de idealmente  $\alpha^3$ , lo que con-  
duce a un factor de enriquecimiento total de sustancial-  
mente  $\alpha^6$ , el cual es sustancialmente el mismo factor  
de enriquecimiento que el proporcionado por las cascadas  
10 de la tercera unidad secundaria 630.

15 En la Fig. 8 se ha ilustrado una sexta unidad  
700 de enriquecimiento isotópico que incluye unidades se-  
cundarias primera, segunda y tercera 710, 720 y 730, las  
cuales pueden enriquecer respectivamente hexafluoruro de  
uranio por los mismos factores que las correspondientes  
unidades secundarias de la quinta unidad 600 de enrique-  
cimiento isotópico descrita en lo que antecede. Como en  
el caso de la Fig. 7, por brevedad no se enumerarán en el  
texto los números de referencia para las cascadas de las  
20 tres unidades secundarias y sus entradas y salidas.

Una tercera cascada auxiliar giratoria 752 tie-  
ne una entrada 754, una salida 756 de fracción pesada y  
una salida 758 de fracción ligera. La entrada 754 puede  
ser conectada alternativamente a una conducción 740 de  
25 suministro de material de alimentación o a una tercera  
conducción de descarga 748 de fracción de producto median-  
te una válvula de suministro de dos direcciones o vías  
770 y conductos de suministro de alimentación pobre y ri-  
ca 760 y 761. Una válvula de descarga 772 de fracción li-  
30 gera de dos direcciones conecta la salida de fracción li-

gera ya sea a una primera conducción de descarga 744 de fracción de producto, por medio de un conducto 764 de descarga de fracción ligera pobre, ya sea a un conducto 765 de descarga de fracción ligera rica, a través del cual la fracción ligera producida por la tercera cascada auxiliar giratoria 752 puede ser extraída en el modo rico de funcionamiento. La salida 756 de fracción pesada puede ser conectada alternativamente, por una válvula 774 de descarga de fracción pesada de dos direcciones y conductos de descarga de fracción pesada pobre y rica 762 y 763, a una conducción de descarga 742 de fracción de desecho y a la primera conducción de descarga 744 de la fracción de producto. En el modo rico de funcionamiento ilustrado en la Fig. 8, la sexta unidad 700 de enriquecimiento isotópico puede producir cuatro fracciones de producto, siendo una de las fracciones de producto la fracción ligera producida por la tercera cascada auxiliar giratoria 752. En el modo pobre de funcionamiento, no ilustrado, la tercera cascada auxiliar giratoria 752 funciona en paralelo con las cascadas de la primera unidad secundaria 710. En este modo de funcionamiento solamente son producidas tres fracciones de producto. Puesto que la fracción pesada producida por la tercera cascada auxiliar giratoria 752 no es combinada con el material de alimentación de mezcla gaseosa y devuelta a las cascadas de las tres unidades secundarias 710, 720 y 730 en el modo rico de funcionamiento, el aumento en la concentración media de  $^{235}\text{UF}_6$  en las fracciones de producto al conmutar del modo pobre al modo rico es relativamente pequeño en comparación con el cambio correspondiente para las unidades de enriquecimiento isotó-

pica cuarta y quinta 600 y 700 descritas en lo que antecede. Aunque la variación en la concentración media de  $^{235}\text{UF}_6$  puede ser relativamente pequeña, la variación en la distribución de producto es sin embargo sustancial y puede ser útil para algunas aplicaciones.

En la Fig. 9 se ha ilustrado una séptima unidad 800 de enriquecimiento isotópico que incluye unidades secundarias primera, segunda y tercera 810, 820 y 830, las cuales pueden enriquecer respectivamente hexafluoruro de uranio por los mismos factores que las correspondientes unidades secundarias de la cuarta unidad de enriquecimiento isotópico 500 descrita en lo que antecede. Como en el caso de la Fig. 7, por brevedad no serán enumerados en el texto los números de referencia para las cascadas de las tres unidades secundarias y sus entradas y salidas.

Una cuarta cascada auxiliar giratoria 852 es una cascada de una sola etapa y tiene una entrada 854, una salida 856 de fracción pesada y una salida 858 de fracción ligera. La entrada 854 puede ser conectada alternativamente a una segunda o a una tercera conducciones de descarga de fracción de producto 846 u 848 por una válvula 870 de suministro de dos direcciones y conductos 860 y 861 de suministro de alimentación pobre y rica. Una válvula de descarga 872 de fracción ligera de dos direcciones conecta la salida 858 de fracción ligera ya sea a una tercera conducción de descarga 848 de fracción de producto, por medio de un conducto 864 de descarga de fracción ligera pobre, ya sea a un conducto 865 de descarga de fracción ligera rica, a través del cual la fracción ligera

producida por la tercera cascada auxiliar giratoria 852 puede ser extraída en el modo rico de funcionamiento. La salida 856 de fracción pesada puede ser conectada alternativamente por una válvula de descarga 874 de fracción pesada de dos direcciones y conductos 862 y 863 de descarga de fracción pesada pobre y rica a la primera o a la segunda de las conducciones de descarga de fracción de producto 844 u 846. En el modo pobre de funcionamiento ilustrado en la Fig. 9, la séptima unidad 800 de enriquecimiento isotópico puede producir tres fracciones de producto. En el modo rico de funcionamiento, no ilustrado, son producidas cuatro fracciones de producto.

Como se verá, en la séptima unidad 800 de enriquecimiento isotópico puede incluirse una cuarta unidad secundaria de cascadas que produzcan una fracción de producto enriquecida idealmente por un factor de  $\alpha^{4,5}$  y una fracción de desecho empobrecida con un factor de  $\alpha^{-3}$ , y conectarse la conducción de descarga 865 de fracción ligera rica, conectada a la conducción de descarga de fracción ligera, a las salidas de fracción ligera de las cascadas de la cuarta unidad secundaria. En este caso son producidas cuatro fracciones de producto independientemente del modo de funcionamiento de la cascada auxiliar giratoria 852. Los regímenes a los cuales son producidas las cuatro fracciones de producto pueden variarse fácilmente y sin incurrir en pérdida alguna considerable por mezcla, girando para ello la cascada auxiliar 852 de una sola etapa entre los modos rico y pobre de funcionamiento.

En funcionamiento, las realizaciones preferidas descritas en lo que antecede separan en esencia continua-

mente un suministro de hexafluoruro de uranio de abundancia natural en al menos cuatro corrientes de fracciones de salida de la unidad que incluyen una fracción de desecho empobrecida en uranio-235 hasta aproximadamente 0,2 moles por ciento, y tres o más fracciones de producto enriquecidas en uranio-235 hasta aproximadamente 3 moles por ciento adecuadas para combustible para reactor nuclear. Se introduce una corriente de hexafluoruro de uranio de abundancia natural en cada entrada de un primer grupo de cascadas de centrífugas de gas por una conducción de suministro de material de alimentación para introducir en las cascadas el hexafluoruro de uranio. Las corrientes son tratadas centrífugamente con etapas de enriquecimiento y agotamiento de las cascadas en corrientes de fracción ligera y corrientes de fracción pesada. Una primera corriente de una fracción de mezcla gaseosa ligera producida por el primer grupo de cascadas es dirigida a una entrada de una cascada auxiliar de centrífugas de gas para introducir la fracción en la cascada auxiliar. Esta primera corriente de fracción ligera es tratada centrífugamente con la cascada auxiliar para separarla en una corriente de fracción ligera auxiliar y una corriente de fracción pesada auxiliar. La fracción molar de uranio-235 en la fracción ligera auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar de uranio-235 en una fracción de producto, y la fracción molar de uranio-235 en la fracción pesada auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar del isótopo de uranio en una de entre las fracciones de producto, la fracción de desecho o el uranio de abundancia natural. Una corriente de una fracción de producto es ex-

traída al menos en parte de la corriente de fracción ligera auxiliar; la corriente de la fracción de desecho es extraída de las corrientes de fracción pesada producidas por el primer grupo de cascadas; y corrientes de fracciones de producto son extraídas al menos en parte de corrientes de fracción ligera producidas por el primer grupo de cascadas. La gran flexibilidad en cuanto a la variación de las distribuciones de producto para estas realizaciones se consigue sin incurrir en pérdida alguna considerable por mezcla, ya que las corrientes de las cuales son extraídas las corrientes de fracción de producto y de fracción de desecho son respectivamente enriquecidas y empobrecidas en uranio-235 hasta aproximadamente las fracciones molares de las correspondientes fracciones de producto y de desecho. Se admitirá que para otras aplicaciones pueden preferirse otras realizaciones del concepto del presente invento, en particular para aplicaciones en las que intervengan isótopos nucleares distintos al uranio-235 y al uranio-238. Para isótopos de uranio o de otro cuerpo, puede ser ventajoso en ciertas aplicaciones proporcionar flexibilidad con respecto al enriquecimiento de las fracciones de desecho, suministrando para ello a una cascada auxiliar una fracción de mezcla gaseosa pesada en vez de una fracción de mezcla gaseosa ligera.

En la Fig. 10 se ilustra una octava unidad 900 de enriquecimiento isotópico adecuada tanto para funcionamiento sustancialmente continuo como para funcionamiento por lotes, que incluye unidades secundarias primera, segunda y tercera 910, 920 y 930, las cuales pueden enriquecer respectivamente hexafluoruro de uranio por los mismos

factores que las correspondientes unidades secundarias de la cuarta unidad 500 de enriquecimiento isotópico descrita en lo que antecede. Por brevedad, no serán enumerados los números de referencia de las tres unidades secundarias.

Una quinta cascada auxiliar giratoria 952 tiene una entrada 954, una salida 956 de fracción pesada y una salida 958 de fracción ligera. La salida 956 de fracción pesada de la cascada 952 auxiliar giratoria y la salida 918 de fracción ligera de las cascadas 912 de la primera unidad secundaria 910 son salidas recíprocas. Para hacer máximo el aumento en la concentración media del isótopo ligero en las fracciones de producto, la cascada auxiliar 952 incluye solamente una etapa de enriquecimiento.

Una primera conducción de descarga 944 de fracción de producto está conectada a un condensador 980 para condensar la fracción de producto gaseoso, en un depósito de presión 984, en un estado sólido o líquido. El depósito de presión 984 está conectado de modo soltable al condensador 980 a través de un conducto 982. Compresores-refrigeradores para condensar hexafluoruro de uranio gaseoso en depósitos de presión en estado sólido son de uso normal en las instalaciones de difusión gaseosa y se prefieren condensadores 980 para esta realización. La entrada 954 de la quinta cascada auxiliar giratoria 952 está conectada a través de un conducto 960 a un gasificador 981, al cual puede ser conectado de modo soltable el depósito de presión 984 a través de un conducto 983. El gasificador 981 sublima o evapora, respectivamente,

la fracción de producto sólido o líquido contenida en el depósito de presión 984. En el caso de hexafluoruro de uranio, el gasificador 981 es preferiblemente un calentador tal como el que se usa normalmente en las instalaciones de difusión gaseosa para sublimar hexafluoruro de uranio sólido de los depósitos de almacenamiento. Condensando primeramente la fracción de producto procedente de la primera unidad secundaria en el depósito de presión 984 con el condensador 980, transportando el depósito 984 al gasificador 981 y gasificando el contenido del depósito 984 con el gasificador 981 y descargando el contenido gasificado en la entrada 954 de la quinta cascada auxiliar giratoria 952, la fracción de producto procedente de la primera unidad secundaria 910 puede ser conducida desde la primera unidad secundaria 910 a la entrada 954 de la cascada auxiliar 952 y dirigida a la entrada 954. Este modo de conducir la fracción de mezcla gaseosa desde un primer grupo de cascadas a una cascada auxiliar puede emplearse en otras realizaciones del presente invento.

20

#### EJEMPLO

El ejemplo numérico, expuesto en la Tabla I que sigue, establece una comparación entre el uso del presente invento para cambiar la distribución de producto de una instalación de enriquecimiento isotópico de centrifugas de gas para combustible para reactor de uranio al método usual de cambio de la distribución de producto mediante redistribución de las tuberías de conexión de las cascadas. Las centrifugas de gas del ejemplo tienen fac-

30

22-11-77

tores  $\surd$  de separación de 1,5 y están interconectados para formar cascadas del tipo de uno arriba/uno abajo. En la Tabla I se han relacionado distribuciones de caudales o regímenes de producto y de centrífugas entre los diferentes tipos de cascadas para tres instalaciones, cada una de las cuales tiene una capacidad total de 1.000.000 kg SWU/y.

Con referencia a la Tabla I, el Caso 1 corresponde a una instalación típica de enriquecimiento de uranio para producir tres fracciones de producto con tres tipos de cascadas: las designadas por A que tienen siete etapas de enriquecimiento, las designadas por B que tienen cinco etapas de enriquecimiento y las designadas por C que tienen tres etapas de enriquecimiento. Todas las cascadas tienen cuatro etapas de agotamiento y son alimentadas con hexafluoruro de uranio de abundancia natural.

En el Caso 2, la distribución de producto es variada convirtiendo para ello el 13,3 por ciento de las C cascadas del caso 1 en cascadas auxiliares, designadas por D. El cuatro por ciento de las centrífugas de la instalación están incorporadas en las cascadas auxiliares D. Las D cascadas auxiliares tienen el mismo número de etapas de agotamiento y enriquecimiento que las cascadas C, pero son suministradas con fracción ligera producida por las cascadas B en vez de con hexafluoruro de uranio de abundancia natural. Las salidas de fracción pesada de las cascadas auxiliares D y las salidas de fracción ligera de las cascadas B son salidas recíprocas y por consiguiente el tanto por ciento molar de  $^{235}\text{UF}_6$  en la fracción pesada producida por las cascadas auxiliares D es aproxi-

madamente igual a 0,711, que es el valor para el uranio de abundancia natural. Para el Caso 2, la fracción pesada producida por las cascadas auxiliares D es combinada con el material de alimentación de hexafluoruro de uranio de abundancia natural y devuelta a las entradas de las cascadas A, B y C.

El Caso 3 tiene la misma distribución de producto que el Caso 2, pero la variación en la distribución de producto se consigue redistribuyendo las tuberías de conexión de un número de las cascadas B y C en cascadas que tienen ocho etapas de enriquecimiento y cuatro etapas de agotamiento, designadas en la Tabla I como cascadas E. Obsérvese que para conseguir la misma distribución de producto que en el Caso 2, se ha de efectuar la redistribución de tuberías de conexión de cascadas que incluyen el 26,5 por ciento de las centrífugas de la instalación, lo que supone una labor sustancial. Esta variación de la distribución de producto se efectúa convenientemente con el presente invento por simple giro de las válvulas para convertir las cascadas C que incorporan solamente el 4 por ciento de las centrífugas de la instalación en cascadas auxiliares D.

Como comprenderán quienes estén familiarizados con esta técnica, pueden efectuarse modificaciones de las realizaciones específicas expuestas en lo que antecede sin desviarse del espíritu ni rebasar el alcance del invento, el cual queda limitado exclusivamente en la medida en que lo establecen las reivindicaciones que se acompañan. Por ejemplo, puede suministrarse a más de una cascada auxiliar alimentación de mezcla gaseosa mediante un grupo

de cascadas. Las cascadas auxiliares giratorias pueden ser giradas entre tres o más modos alternativos de funcionamiento. Mediante el presente invento pueden separarse mezclas gaseosas de isótopos que no sean el uranio-235 ni el uranio-238.

Tabla 1

Designación de la cascavilla.	Número de etapas de Molar de 235UF6	Enriquecimiento/AGOTamiento	Fracción Líquida	Caso 1		Caso 2		Caso 3						
				Distribución de Producto Original	Distribución de Producto Variada con Cascavas Auxiliares	Distribución de Producto Variada por Redistribución Usual de Tuberías de Conexión	Régimen de Producto (kg/y)	Régimen de Producto (kg/y)	Régimen de Producto (kg/y)	Fracción de Centrifugas (tanto por ciento)	Fracción de Centrifugas (tanto por ciento)	Fracción de Centrifugas (tanto por ciento)		
A	7/4	(a) 2,874 (b) 0,711 (c) 0,259		71642	71642	71642	71642	71642	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
B	5/4	(a) 1,935 (b) 0,711 (c) 0,259		256057	128028	128028	128028	128028	45,0	45,0	128028	128028	22,5	22,5
C	3/4	(a) 1,298 (b) 0,711 (c) 0,259		417542	361875	361875	361875	361875	30,0	26,0	361875	361875	26,0	26,0
D	3/4	(a) 3,497 (b) 1,935 (c) 0,711		0	56243	56243	56243	56243	0,0	4,0	0	0	4,0	0,0
E	8/4	(a) 3,497 (b) 0,711 (c) 0,259		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	56243	0,0	26,5

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.- Un método de separar un material de alimentación de mezcla gaseosa que incluye un compuesto de un isótopo nuclear ligero con una concentración predeterminada y un compuesto de un isótopo nuclear pesado con una concentración predeterminada, en al menos dos fracciones de salida de la unidad que incluyen al menos una fracción de desecho empobrecida en el isótopo ligero hasta una concen-  
15                    tración predeterminada y al menos un fracción de producto enriquecida en el isótopo ligero hasta una concentración predeterminada, que comprende las fases de: (a) dirigir material de alimentación de mezcla gaseosa a la entrada de  
20                    cada cascada de un grupo principal de cascadas de centrífugas de gas para introducir en las cascadas el material de alimentación de mezcla gaseosa; (b) tratar centrifugamente el material de alimentación de mezcla gaseosa introducido en cada cascada del grupo principal con una plurali-  
25                    dad de etapas de enriquecimiento y una pluralidad de etapas de agotamiento de la cascada para separarlo en fracciones ligera y pesada de mezcla gaseosa; (c) conducir una primera fracción de mezcla gaseosa producida por el grupo principal de cascadas a partir del material de alimenta-  
30                    ción de mezcla gaseosa a una entrada de una cascada auxi-

liar de centrifugas de gas y dirigirla a la entrada para introducir la fracción en la cascada auxiliar; (d) tratar centrifugamente la primera fracción de mezcla gaseosa con la cascada auxiliar para separarla en una fracción ligera auxiliar y una fracción pesada auxiliar, siendo la fracción molar del isótopo ligero en la fracción ligera auxiliar aproximadamente igual a la fracción molar de isótopo ligero en una de entre una fracción de producto, una fracción de desecho y el material de alimentación de mezcla gaseosa, y siendo la fracción molar del isótopo ligero en la fracción pesada auxiliar aproximadamente igual a la fracción molar de isótopo ligero en una de entre una fracción de producto, una fracción de desecho y el material de alimentación de mezcla gaseosa; (e) extraer al menos una parte de una fracción de salida de la unidad de una de entre la fracción ligera auxiliar y la fracción pesada auxiliar; (f) extraer al menos una parte de una fracción de desecho de al menos una de entre una fracción pesada producida por el grupo principal de cascadas, la fracción ligera auxiliar y la fracción pesada auxiliar, siendo tal fracción de mezcla gaseosa de la cual es extraída la parte de fracción de desecho empobrecida en el isótopo ligero hasta aproximadamente la fracción molar de dicha fracción de desecho; y (g) extraer al menos una parte de una fracción de producto de al menos una de entre una fracción ligera producida por el grupo principal de cascadas, la fracción ligera auxiliar y la fracción pesada auxiliar, siendo tal fracción de mezcla gaseosa de la cual es extraída la parte de fracción de producto enriquecida en el isótopo ligero hasta aproximadamente la fracción molar de dicha

fracción de producto.

2ª.- Un método según la reivindicación 1ª, en el cual: (c.1) dicha fracción de mezcla gaseosa es una fracción ligera; (d.1) la fracción molar del isótopo ligero en la fracción ligera auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar de isótopo ligero en una fracción de producto, y la fracción molar del isótopo ligero en la fracción pesada auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar de isótopo ligero en uno de entre una fracción de producto y el material de alimentación de mezcla gaseosa; (e.1) dicha fracción de salida de la unidad, de la cual al menos una parte es extraída de una de entre las fracciones ligera y pesada auxiliares, es una fracción de producto; y (f.1) dicha parte de una fracción de desecho es extraída de una fracción pesada producida por el grupo principal de cascadas.

3ª.- Un método según la reivindicación 2ª, en el cual el material de alimentación de mezcla gaseosa es hexafluoruro de uranio de abundancia natural y las fracciones de producto y de desecho son respectivamente enriquecida y empobrecida en uranio-235.

4ª.- Un método según la reivindicación 3ª, en el cual la fracción molar del isótopo ligero en la fracción pesada auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar de isótopo ligero en una segunda fracción ligera producida por el grupo principal de cascadas.

5ª.- Un método según la reivindicación 4ª, que comprende además la fase de combinar la fracción pesada auxiliar con la segunda fracción ligera.

6ª.- Un método según la reivindicación 4ª, en

el cual la fracción molar del isótopo ligero en la fracción ligera auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar del isótopo ligero en una tercera fracción ligera producida por el grupo principal de cascadas.

5                   7ª.- Un método según la reivindicación 6ª, que comprende además la fase de combinar la fracción ligera auxiliar con la tercera fracción ligera.

10                   8ª.- Un método según la reivindicación 3ª, en el cual la fracción molar del isótopo ligero en la fracción pesada auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar del isótopo ligero en el material de alimentación de mezclas gaseosa.

15                   9ª.- Un método según la reivindicación 8ª, que comprende además la fase de combinar la fracción pesada auxiliar con el material de alimentación de mezcla gaseosa.

20                   10ª.- Un método según la reivindicación 8ª, en el cual la fracción molar del isótopo ligero en la fracción ligera auxiliar es aproximadamente igual a la fracción molar del isótopo ligero en una segunda fracción ligera producida por el grupo principal de cascadas.

25                   11ª.- Un método según la reivindicación 10ª, que comprende además la fase de combinar la fracción ligera auxiliar con la segunda fracción ligera.

30                   12ª.- Un método según la reivindicación 3ª, en el cual la fracción molar del isótopo ligero en la fracción ligera auxiliar no es mayor que aproximadamente la fracción molar del isótopo ligero en la fracción ligera producida por el grupo principal de cascadas que tiene la mayor fracción molar de isótopo ligero, y la fracción mo-

lar del isótopo ligero en la fracción pesada auxiliar no es menor que aproximadamente la fracción molar del isótopo ligero en la fracción pesada producida por el grupo principal de cascadas que tiene la menor fracción molar de isótopo ligero.

13ª.- Un método según la fracción 1ª, en el cual la fase de conducir una primera fracción de mezcla gaseosa producida por el grupo principal de cascadas a una entrada de una cascada auxiliar incluye las fases de: (c.1) recoger una cantidad de la primera fracción de mezcla gaseosa en un recipiente; y (c.2) descargar la primera fracción de mezcla gaseosa desde el recipiente en la entrada de la cascada auxiliar.

14ª.- Un método según la reivindicación 13ª, en el cual la fase de recoger la primera fracción de mezcla gaseosa incluye condensar la primera fracción de mezcla gaseosa en el recipiente en un estado sólido o líquido, y la fase de descargar la primera fracción de mezcla gaseosa incluye gasificar la fracción sólida o líquida en el recipiente.

15ª.- Un método según la reivindicación 1ª, en el que la fase de conducir una primera fracción de mezcla gaseosa producida por el grupo principal de cascadas a una entrada de una cascada auxiliar incluye la fase de dirigir de forma sustancialmente continua una primera corriente de fracción de mezcla gaseosa producida por el grupo principal de cascadas al interior de una entrada de la cascada auxiliar.

16ª.- Un método de separar un material de alimentación de mezcla gaseosa.

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.

5 Esta Memoria consta de cincuenta y seis hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 10.ENE.1979

P.A.

Fernando de Elizaga

Por Poder.



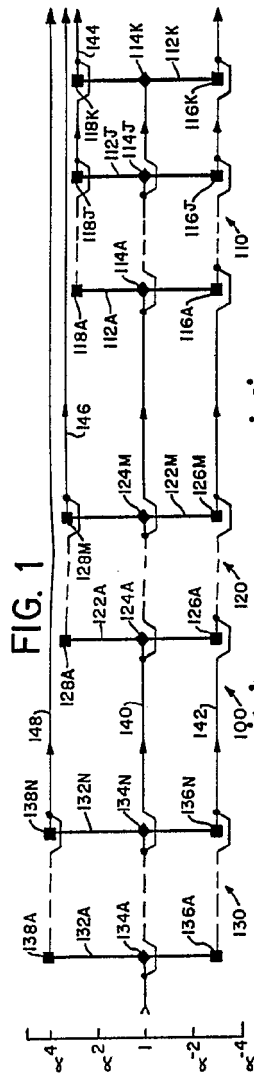


FIG. 1

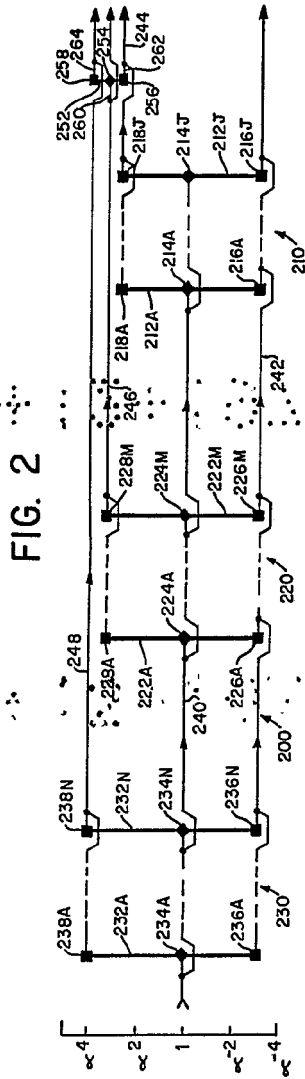


FIG. 2

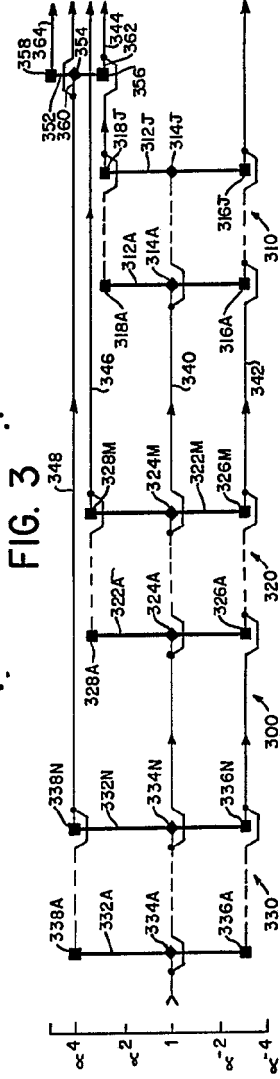


FIG. 3

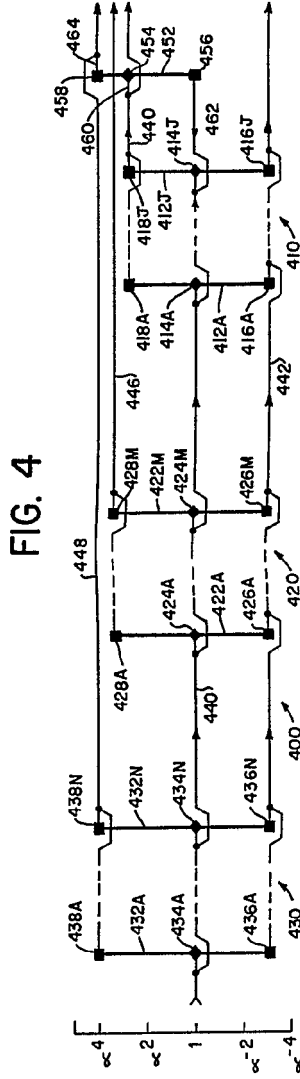


FIG. 4

Ferrigno & Eifaburg  
 For P. 100

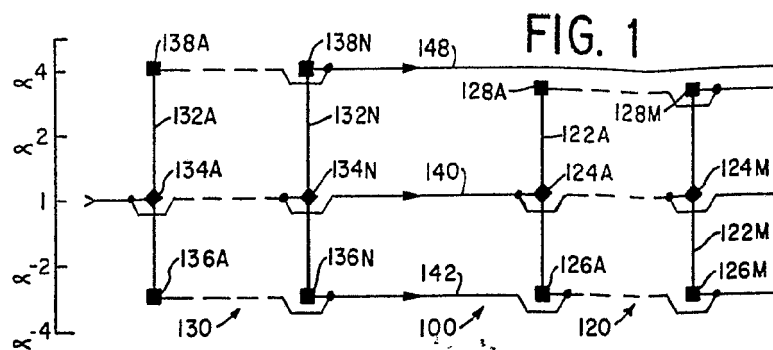


FIG. 2

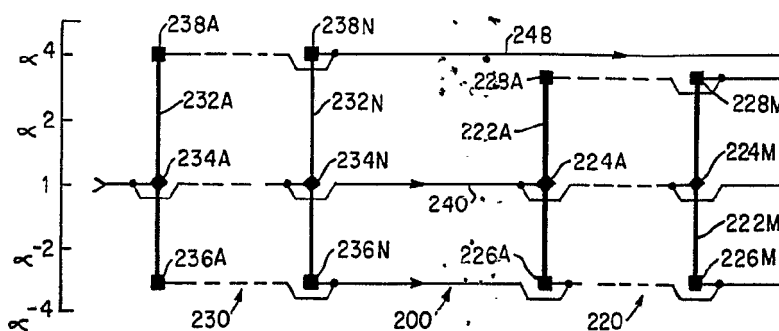


FIG. 3

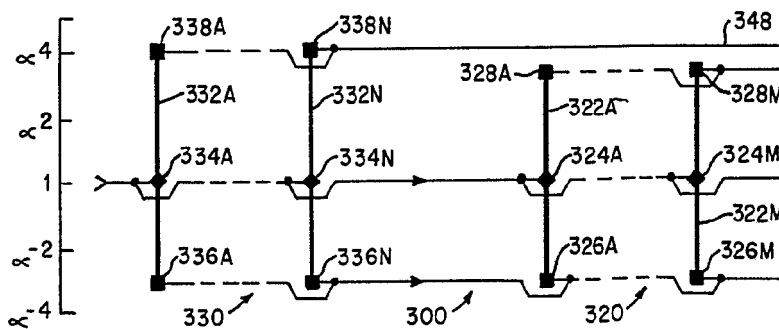
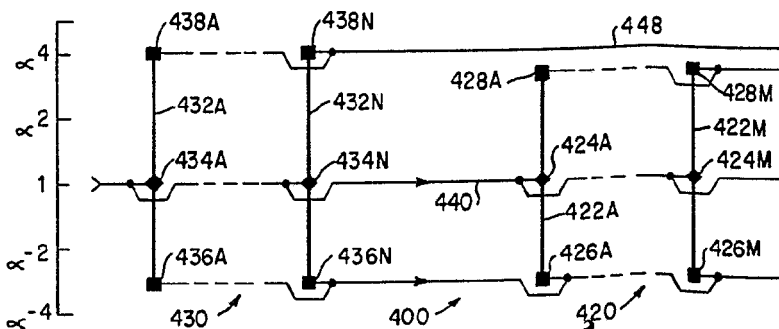
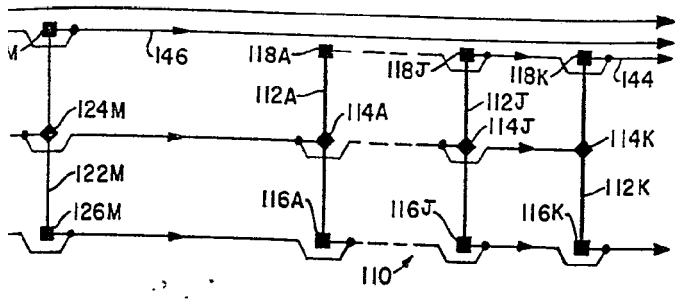
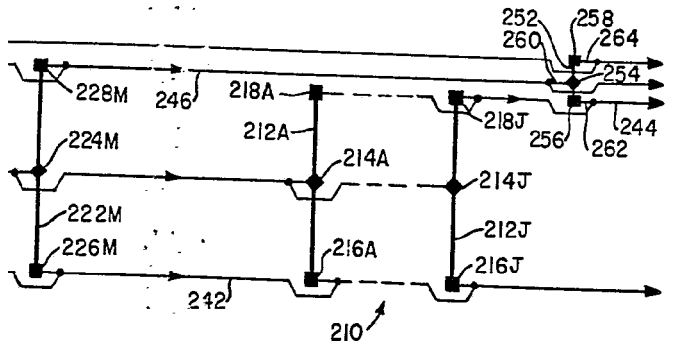


FIG. 4

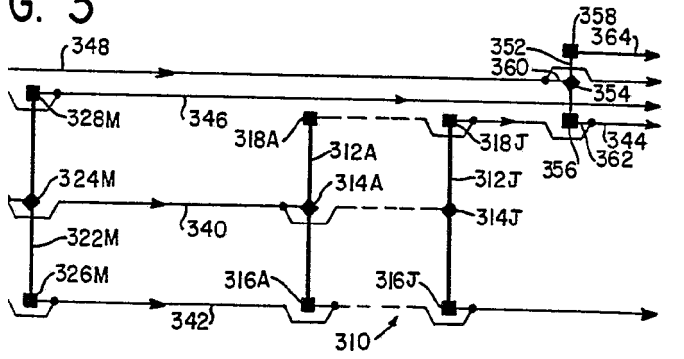




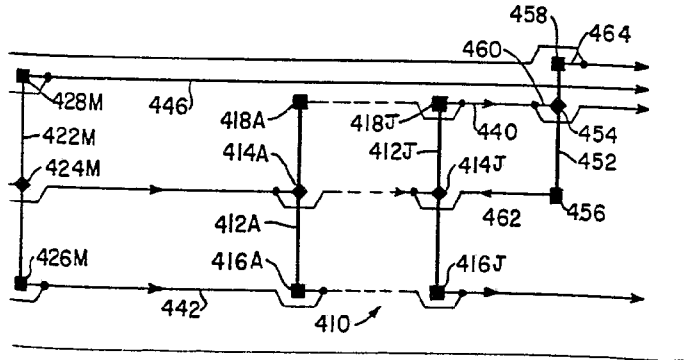
G. 2



G. 3



G. 4



Fernando de S. [Signature]  
Ingr. Pader

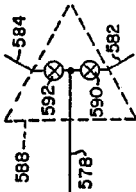
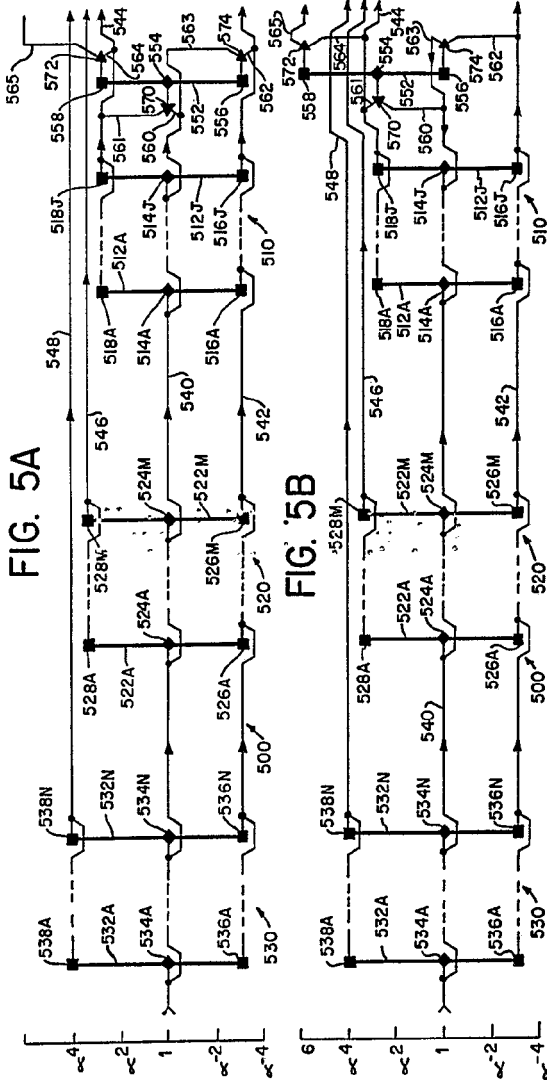


FIG. 6A

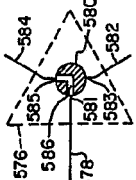


FIG. 6B

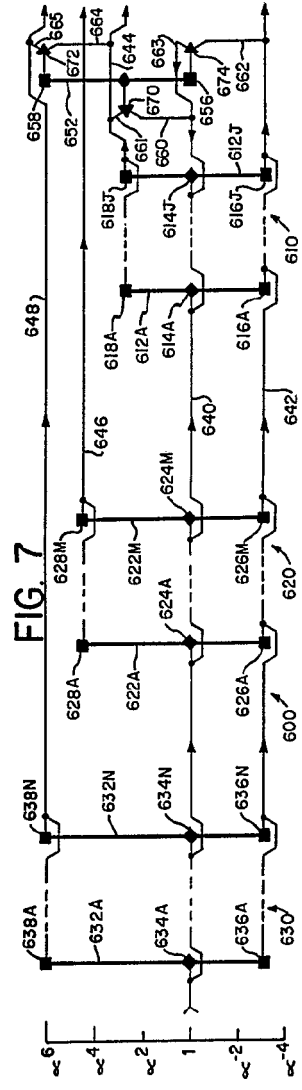


FIG. 7

Fernando de Elizaburu  
 Por Poder  
*(Signature)*

FIG. 5A

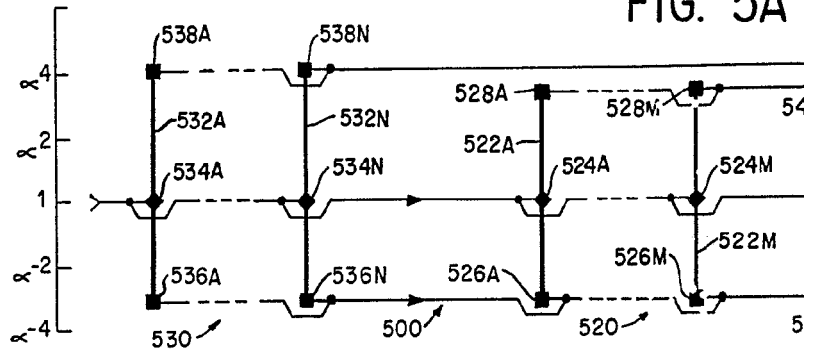


FIG. 5B

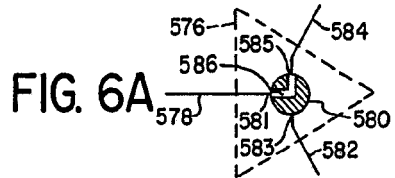
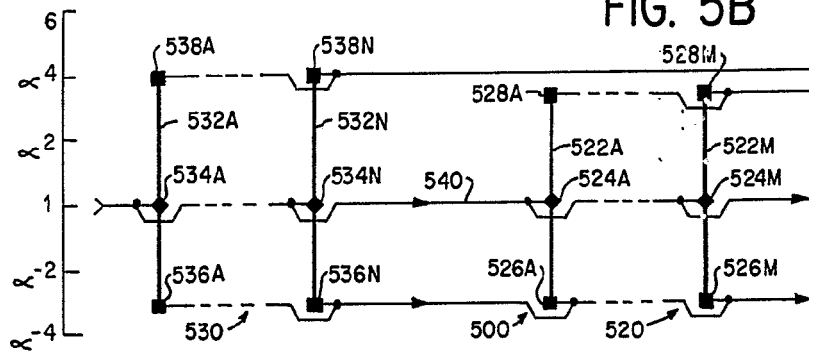
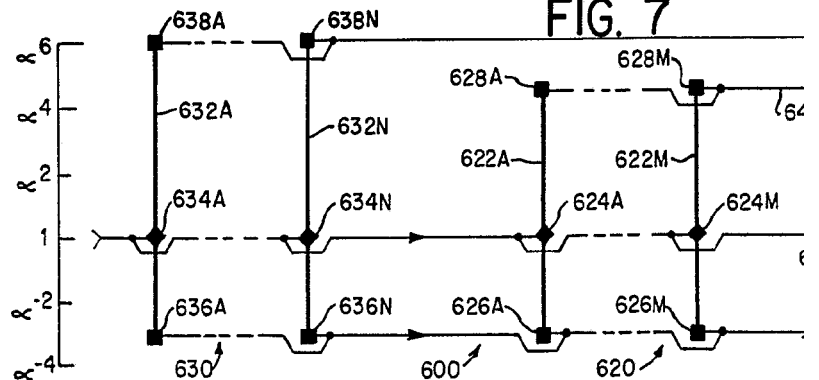
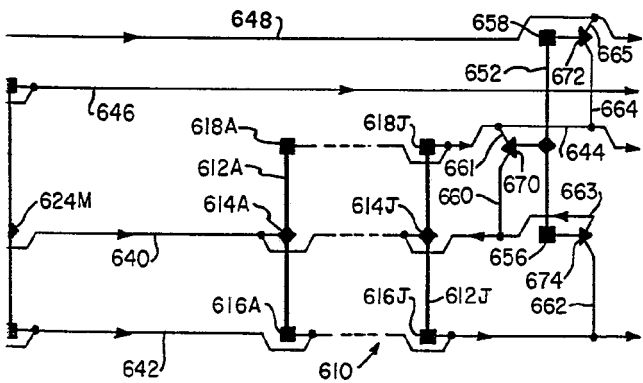
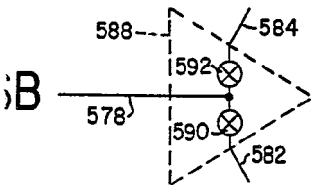
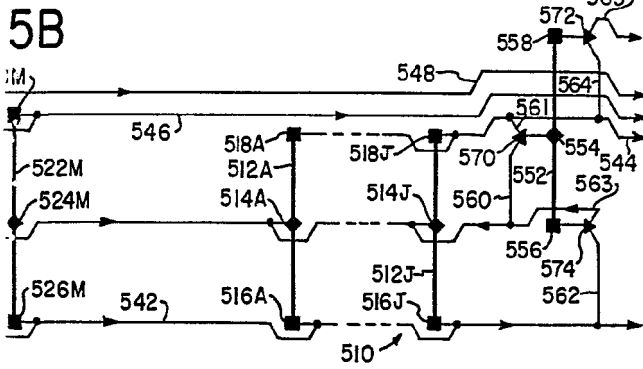
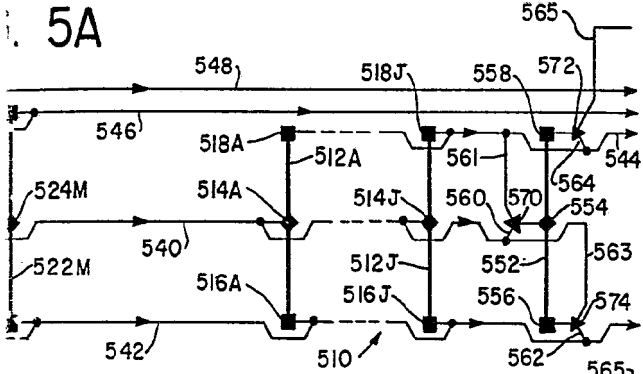


FIG. 6B

FIG. 7





Fernando de Elizaburu  
Por Poder

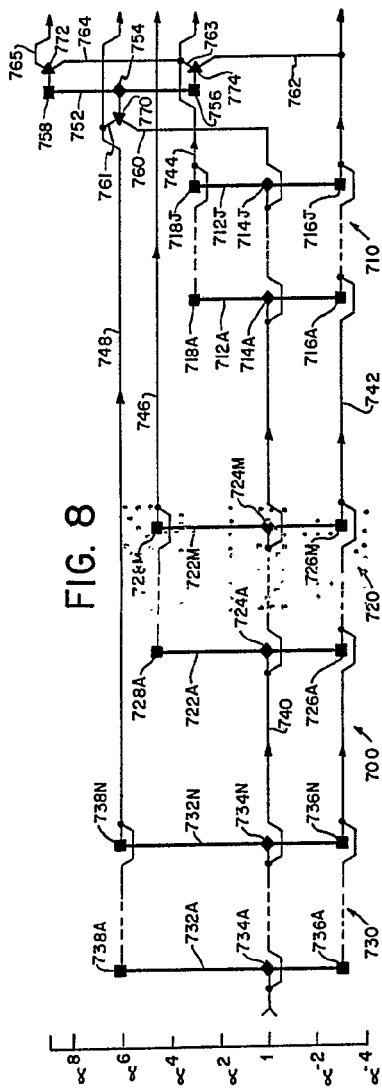


FIG. 8

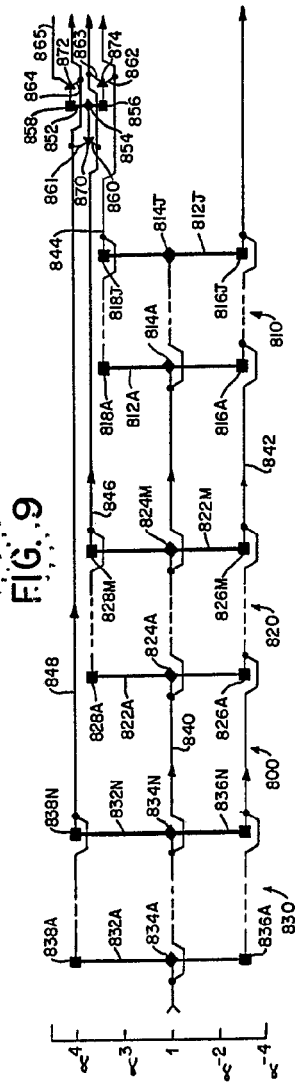


FIG. 9

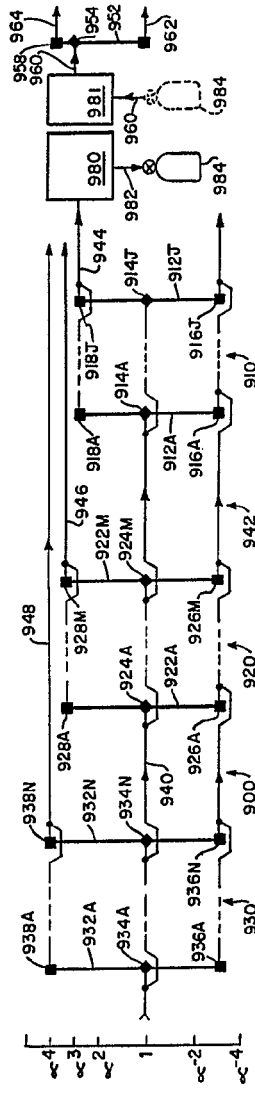


FIG. 10

Fernando de Elizaburu  
 P. de Elizaburu

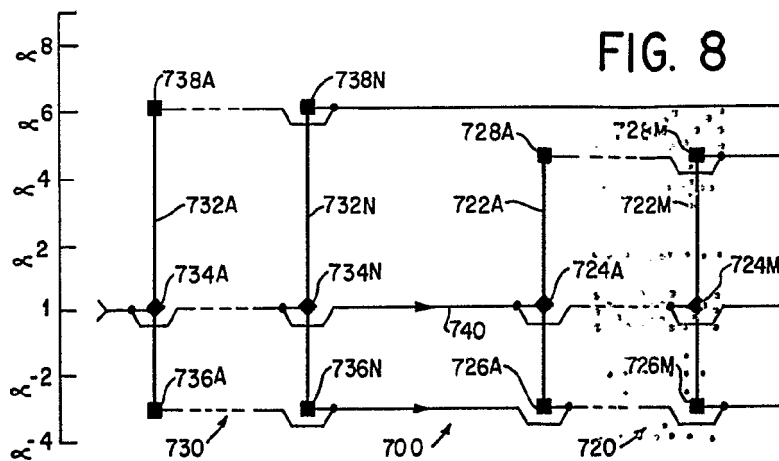


FIG. 8

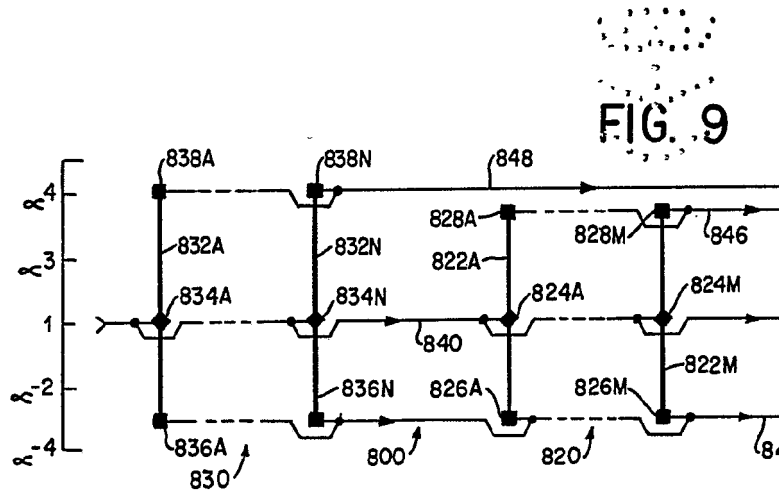


FIG. 9

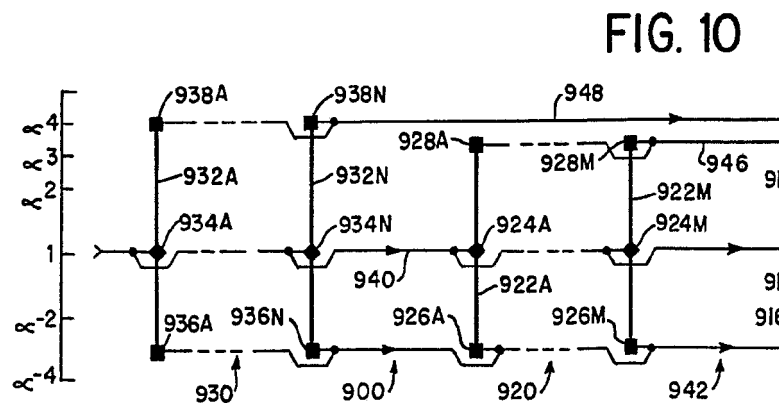
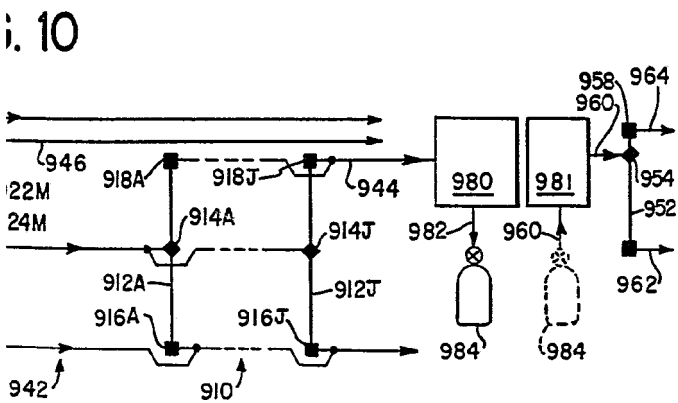
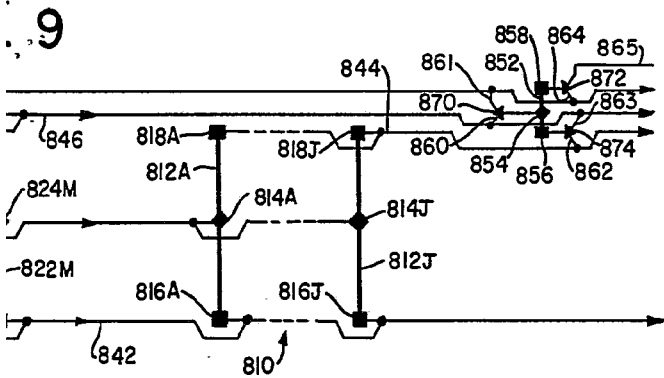
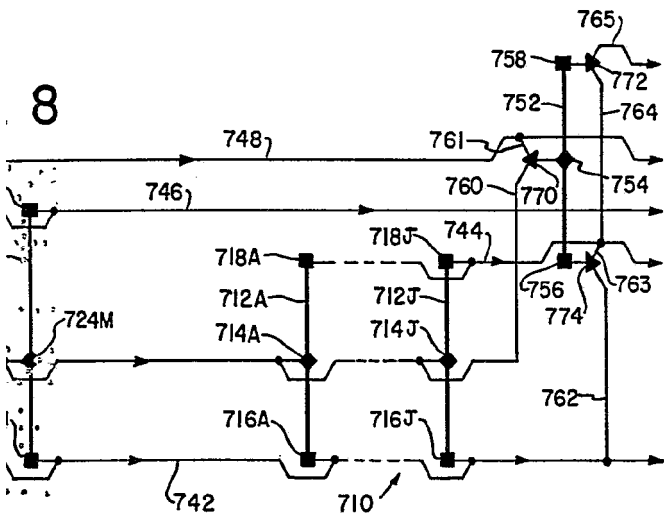


FIG. 10



Fernando de Elizaburu  
Por Poderes