

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 692**

51 Int. Cl.:

**C07C 1/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.07.2011 PCT/US2011/042871**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2012 WO12003490**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2011 E 11801517 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2017 EP 2588430**

54 Título: **Método y sistema para inducir reacciones químicas por irradiación de rayos-X**

30 Prioridad:

**01.07.2010 US 360789 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**20.07.2017**

73 Titular/es:

**ADVANCED FUSION SYSTEMS LLC (100.0%)  
11 Edmond Road  
Newtown, CT 06470, US**

72 Inventor/es:

**BIRNBACH, CURTIS, A.;  
JOYCE, WILLIAM, H. y  
MANEWITZ, MARK, L.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 625 692 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Método y sistema para inducir reacciones químicas por irradiación de rayos-X

**Campo de la invención**

5 La invención se refiere a un método de inducción de reacciones químicas utilizando radiación-X intensa para romper los enlaces moleculares existentes de una pluralidad de reactivos químicos y controlando la recombinación o recombinaciones de los iones resultantes.

**Antecedentes de la invención**

10 Se reconoce ampliamente que muchos métodos de inducción de reacciones químicas son "ineficientes" de energía y en algunos casos son incapaces de crear un compuesto químico deseado. Los procesos químicos típicos crean estados reactivos por el uso de varias combinaciones de presión positiva (positiva o negativa), temperatura y movimiento. La finalidad de esto es romper selectivamente enlaces moleculares y permitir recombinar productos químicos en diferentes estructuras moleculares preferenciales. Estas técnicas son predominantemente el uso de uno o más de:

1. Condiciones técnicas controladas; es decir, calentamiento, refrigeración, o ambos,
- 15 2. Presión controlada por encima o por debajo de la presión atmosférica ambiente,
3. Atmósferas controladas, y
4. Catálisis

No obstante, en muchos casos, estas condiciones del proceso tienen consecuencias indeseables. Los procesos pueden ser también ineficientes en energía.

20 De acuerdo con ello, sería deseable poder eliminar o reducir la cantidad de cualquiera o de ambos componentes de la presión y la temperatura de regímenes de procesamiento químico como un medio de reducir coste de capital e incrementar la eficiencia de inducción de reacciones químicas.

**Breve resumen de la invención**

25 En un aspecto, se proporciona un método para inducir reacciones químicas utilizando radiación de rayos-X generando un volumen de irradiación dentro del interior de un matraz de reacción introduciendo radiación de rayos-X en el volumen. Se introducen dos o más reactivos en el volumen de irradiación. Con respecto a los dos o más reactivos y cualquier reactivo o reactivos intermedios creados posteriormente, la extensión agregada a la que los reactivos precedentes deban ionizarse hasta cualquier grado es controlada selectivamente, y el grado medio de ionización en el volumen de irradiación, de parcial a total, de esta porción de los reactivos precedentes que debe ionizarse es controlado selectivamente, a través del control de la fluencia y la energía de la radiación de rayos-X, para inducir de esta manera que se produzcan reacciones selectivas de reactivos en el volumen de irradiación.

Ventajosamente, el método anterior elimina o reduce la cantidad de uno o de ambos componentes de la presión y la temperatura de regímenes de procesamiento químico para reducir el coste de capital e incrementar la eficiencia de la inducción de reacciones químicas.

35 En otro aspecto de la invención, se puede utilizar un conjunto de tubos protegidos de rayos-X para introducir uno o más reactivos en un matraz de procesamiento de reacción que tiene un volumen principal. El conjunto de tubos incluye una trayectoria principal protegida de rayos-X y una pluralidad de trayectorias de inyectores protegidas de rayos-X que se extienden hacia fuera desde la trayectoria principal protegida. La trayectoria principal protegida incluye un tubo interior rodeado por un tubo exterior, y una trayectoria intermedia protegida en un volumen entre el tubo interior y el tubo exterior, para proteger uno u otros más reactivos contra radiación-X antes de una etapa de radiación de rayos-X del contenido del volumen principal, en el que un reactivo de materia prima reacciona con uno u otros más reactivos en el volumen principal. Cada trayectoria de inyector protegida comprende un inserto de abertura del inyector que tiene una abertura para suministrar uno u otros más reactivos en el volumen principal y para están conectado de forma hermética entre los tubos interiores y los tubos exteriores, que están provistos, respectivamente, con orificios que permiten fluir alguno de uno u otros más reactivos desde el tubo interior a través del tubo inyector y dentro del volumen principal.

45 Con ventaja, el conjunto de tubos protegidos de rayos-X precedente previene la irradiación prematura de reactivo, antes de ser inyectado en el volumen principal.

**Breve descripción de los dibujos**

Otras características y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la lectura de la siguiente descripción detallada en combinación con los siguientes dibujos, en los que los mismos números de referencia se refieren a las mismas partes:

5 La figura 1 es una vista esquemática simplificada, parcialmente en forma de bloques, de un sistema para practicar un ejemplo de un método reivindicado en un modo de procesamiento continuo, con entradas de alimentación eléctrica omitidas para claridad y con características opcionales mostradas con líneas imaginarias.

10 La figura 2 es una sección transversal de un Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP), que se muestra esquemáticamente, que incluye entradas de alimentación eléctrica, como un componente del sistema de la figura 1, y se toma en las flechas marcadas como figura 2 en la figura 3.

La figura 3 es una vista extrema del lado de entrada del Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP), de la figura 2.

La figura 4A es una sección en perspectiva de un conjunto de tubos inyectoros 24 protegidos contra la reacción de las figuras 1 a 3.

15 La figura 4B es una sección transversal del tubo inyector protegido contra la radiación de la figura 4A tomada en las flechas marcadas como figura 4B en la figura 4A.

La figura 4C es similar a la figura 4B, pero omite aberturas de inyección 26 y material de protección 61 en la figura 4B.

La figura 4D es una vista superior de un inserto de abertura de inyector 26 de las figuras 4A y 4B.

20 La figura 4E es una sección transversal del inserto de abertura de inyector 26 de la figura 4D tomada en las flechas marcadas como figura 4E en la figura 4D.

La figura 4F es una vista de la sección transversal de un conjunto de tubos inyectoros de pared individual ejemplar con aberturas.

La figura 5 es un diagrama de tiempo de pulsos de rayos-X y de inyección de reactivo.

25 La figura 6 es una vista lateral fragmentaria, parcialmente en la sección transversal, del Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP) de la figura 2, en el que los conjuntos de tubos 24 protegidos contra radiación directa están sustituidos con tubos de inyectoros 71 protegidos contra radiación configurados en espiral.

La figura 7 es similar a la figura 1, pero incluye un circuito de re-inyección de flujo de salida adicional.

30 La figura 8 es una vista esquemática simplificada, parcialmente en forma de bloque, de un Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP) para uso en un modo de procesamiento de lotes, con canales de alimentación eléctrica omitidos por claridad.

La figura 9 es una vista en perspectiva simplificada de un Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP), con modificación de mejora de la energía.

**Descripción detallada de la invención**

35 Aquí se describe un método general de inducción de reacciones químicas utilizando una fuente de rayos-X impulsada intensa, tal como la fuente de rayos-X utilizada en el irradiador de rayos-X Flash (en adelante, "FXI") descrito en la publicación de patente US N° 2009/0285362 A1 del 19 de Noviembre de 2009 y en el documento WO 2009/140697 A1 del 19 de Noviembre de 2009 (en adelante, "publicación de patente FXI"). En el contexto de la generación de rayos-X, la palabra "pulso" connota un evento de una duración de tiempo predeterminada, típicamente inferior a un segundo. En un ejemplo, que implica ionización total de reactivos, la fuente de rayos-X de pulsos crea un entorno reactivo disociando todos los enlaces moleculares en una corriente afluyente de material a reaccionar utilizando rayos-X de alta energía hasta 1,2 MeV de energía. Esto provoca que el material se ionice altamente. A través de la introducción de productos químicos reactivos en el entorno reactivos se provocan selectivamente reacciones deseadas con material ionizado. La ionización del material a reaccionar utilizando rayos-X de alta energía puede implicar ya ionización total o parcial del material.

40

45

El término "ionizar" como se utiliza aquí a través de toda la memoria descriptiva incluye ionización "total" así como ionización "parcial". El término ionización "total" connota la retirada de todos los electrones de un átomo o molécula, mientras que el término ionización "parcial" se refiere a la retirada de menos que todos los electrones de un átomo o molécula.

Los reactivos químicos o bien se pueden añadir antes de entrar en el volumen de reacción, o se puede introducir dentro del propio volumen de irradiación. Un uso del método reivindicado consiste en resolver el problema de metales en descargas de residuos industriales convirtiéndolos en compuestos inocuos. Como un ejemplo, una materia prima que contiene cromo hexavalente se puede hacer reaccionar con oxígeno para formar dióxido de cromo, que es inerte y se precipitaría desde la solución.

El RCP 11 en la figura 1 incluye medios para añadir productos químicos en un volumen de irradiación 18, tal como conjuntos de tubos inyectoros 24 para hacer reaccionar los materiales presentes en esa región del dispositivo. Estos productos químicos pueden estar en forma gaseosa, líquida, de plasma o sólida cuando se introducen en el área de reacción. Debe prestarse atención a la solubilidad de estos compuestos, como será rutinario para un técnico ordinario en química.

El RCP 11 requiere una fuente de alimentación 38 de alta tensión que pueda gestionar la carga del condensador para alimentar el cátodo 46, que es un sumidero de corriente masivo y que proporciona una corriente de carga a un nivel suficiente para conseguir la tasa de repetición deseada del RCP 11. Por lo tanto, tal fuente de alimentación 38 debe tener un medio de acumulación de energía de condensador grande, de baja inductancia, y un medio de formación de pulsos, y debe ser capaz de producir una tensión de servicio requerida, que puede alcanzar hasta aproximadamente 1,22 millones de voltios de electrones. Fuentes de alimentación adecuadas serán evidentes para los técnicos ordinarios en la técnica, a partir de publicaciones tales como la publicación FXI. El término "aproximadamente" como se utiliza aquí en la memoria descriptiva tiene en cuenta desviaciones experimentales menores, como se comprenderá por un técnico ordinario en la materia.

Otro objetivo del método reivindicado se extiende más allá del tipo de aplicaciones de solución contempladas por la publicación FXI citada anteriormente, y en el campo de fabricación primaria de productos químicos. Por lo tanto, el método reivindicado se puede utilizar para fabricar varios compuestos químicos. Con ventaja, el uso de radiación-X para crear un estado reactivo es más eficiente de energía que los procesos existentes.

Los rayos-X a 1,22 MeV de energía están en un valor máximo preferido, en el que 1,22 MeV es aproximadamente 1,22 millones de voltios de electrones. El término "aproximadamente" tiene en cuenta desviaciones experimentales menores, como se comprenderá por un técnico ordinario en la materia. Si se utiliza energía sustancialmente por encima de ese valor, específicamente por encima de 1,22 MeV, es probable que el material que es irradiado se vuelva reactivo permanentemente. Esto no es deseable en la mayoría de los casos, a no ser que se trate de crear materiales radioactivos. Valores inferiores se pueden utilizar con éxito. El valor 1,22 MeV es sustancialmente más alto que la energía de unión máxima, que es 115,6 KeV en el caso de uranio, el elemento presente en la naturaleza con el pero atómico más alto.

En un ejemplo, el método reivindicado se puede utilizar también para combinar o transmutar elementos transuránicos utilizando rayos-Y con una energía que excede sustancialmente de 1,22 MeV.

Con referencia a la figura 1, se puede utilizar un sistema 10 para realizar un método ejemplar induciendo reacciones químicas utilizando radiación de rayos-X. El sistema 10 incluye un Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP) 11 con un generador de rayo-X 12. El generador de rayos-X 12 genera electrones 14 que pasan a través de una sección de pared de un tubo interior 16, generando rayos-X intensos 17 que forman un volumen de irradiación 18 que está localizado dentro del tubo 16. El tubo interior 16 se refiere a veces en adelante como un "matraz de reacción". En la forma de realización ilustrada, tanto el generador de rayos-X 12 como los rayos-X 17 generados posteriormente por interacción entre los electrones y la pared del tubo 16 rodean en círculo el volumen de irradiación 18 dentro del tubo 16.

El sistema 10 introduce dos o más reactivos en el volumen de irradiación 18, incluyendo materia prima reactiva 20 y uno u otros más reactivos, que se numeran 22a y 22b (mostrados con casillas de trazos), aunque el número de otros reactivos no está limitado a dos. En un ejemplo que implica ionización total de reactivos, el sistema 10 utiliza los rayos-X 17 mencionados para ionizar todos los reactivos y cualquier reactivo o reactivos intermedios creados posteriormente en el volumen de irradiación 18, para inducir de esta manera que ocurran reacciones selectivas.

Con preferencia, el sistema 10 y otros sistemas que emplean la invención reivindicada poseen la capacidad de controlar selectivamente el grado de ionización dentro del volumen de irradiación 18, desde parcial hasta total, de la materia prima reactiva 20, otro reactivo o reactivos, tales como 22a y 22b, y cualquier reactivo o reactivos intermedios creados posteriormente, a través del control de la fluencia y energía de rayos-X 17, para inducir de esta manera que ocurran reacciones selectivas en el volumen de irradiación. A continuación se describen consideraciones de tamaño para el RCP 11.

Como se utilizan aquí, todos los productos químicos que incluyen una materia prima se refieren como "reactivos". Una "materia prima" es el producto químico predominante o de partida, o reactivo, que se alimenta a un volumen de irradiación como se entiende comúnmente por técnicos ordinarios en la materia. Los términos "materia prima" y "materia prima reactiva" son intercambiables y son sinónimos. El término reactivo connota también la inclusión de disolventes no-reactivos, diluyentes o portadores, etc. como es habitual en la técnica. Uno o más catalizadores 127 (figura 1) pueden estar implicados con preferencia en la promoción de tales reacciones.

La protección de la radiación de las superficies externas del RCP 11 se ha omitido por claridad en la figura 1. La necesidad de tal protección será evidente para un técnico ordinario en la materia, y se describe con más detalle a continuación. El único componente protegido contra radiación mostrado en la figura 1 es un conjunto de tubos inyectoros 24 protegido, que se describe en detalle a continuación.

#### 5 Irradiación y mezcla concurrentes de reactivos

Para permitir la irradiación y la mezcla concurrentes, el sistema 10 de la figura 1 incorpora el hardware necesario para realizar las operaciones de inyección y de mezcla.

10 En la figura 1 se muestra al menos un conjunto de tubos de inyección 24 protegidos contra radiación, con un diámetro pequeño con relación al diámetro interior del RCP 11. El conjunto de tubos 24 está instalado con preferencia utilizando un proceso de soldadura continua, en el que el conjunto de tubos de inyección protegidos contra radiación pasa a través de una pared lateral del tubo interior 16 en la región de la sección interior 28. El conjunto de tubos 24 es fijado entonces posteriormente sobre una pared interior del RCP 11, con preferencia utilizado soldadura por puntos; no obstante, alternativas a la soldadura por puntos serán evidentes a los técnicos ordinarios en la materia. Este conjunto de tubos de inyección 24 está perforado y contiene una pluralidad de aberturas a lo largo de su longitud.

15 La finalidad de las aberturas en el conjunto de tubos de inyección 24 es efectuar inyección de un material reactivo dentro de la corriente de materia prima que fluye a través del RCP 11 cilíndrico. Existe una caperuza extrema 66b (figura 2) que está protegida para cerrar el extremo del tubo inyector para forzar los reactivos inyectados en una distribución preferida a través del volumen de irradiación 18 para inyección en dicha reacción. Uno o más conjuntos de tubos de inyección 24 protegidos contra radiación se pasan a través de la pared de la sección de entrada 28 inmediatamente antes del volumen de irradiación 18. Si existen más de un conjunto de tubos de inyección 24 protegidos contra radiación, pueden ser conectados juntos fuera del sistema por un colector (no mostrado).

20 El conjunto de tubos de inyección 24 protegidos contra radiación puede ser alimentado con reactivos desde un extremo como se muestra en la figura 1, en cuyo caso los tubos de inyección del conjunto 24 entran en el RCP 11 sobre el lado curso arriba mostrado a la izquierda; o los tubos de inyección del conjunto 24 pueden ser alimentados desde ambos extremos (no mostrados) para efectuar un caudal de inyección más alto que es posible en un sistema de alimentación de un extremo debido a las pérdidas de presión estática dentro de los tubos de inyección. Si los tubos de inyección del conjunto 24 son alimentados desde ambos extremos, es necesario supervisar el flujo de reactivo 22a a través de todas las entradas de los tubos del conjunto 24, con preferencia por medio de un flujómetro 30a, para asegurar la medición exacta de los reactivos 22a que son inyectados en el volumen de irradiación 18.

25 Las aberturas del conjunto de tubos de inyección 24 están orientadas con preferencia para producir una cantidad máxima de mezcla turbulenta en el volumen de irradiación 18. Existen muchas orientaciones admisibles para estas aberturas. La selección de la orientación de determina por el reactivo específico que es inyectado y la materia prima 20 específica que es inyectada dentro. Es deseable tener el conjunto de tubos de inyección 24 localizado físicamente de tal manera que el proceso de inyección se inicie curso arriba del volumen de irradiación 18 con el fin de proporcionar la mezcla correcta de productos químicos al inicio de la irradiación. La distribución de las aberturas de inyección se puede adaptar para tener un caudal de inyección más alto hacia el lado de entrada del volumen de radiación 18 y un número decreciente de aberturas más abajo del volumen.

#### Pre-mezcla de reactivos antes de la irradiación

30 La pre-mezcla de reactivos 20 y 22b, en un tiempo antes de la introducción en el volumen de irradiación 18 es apropiada cuando estos reactivos no reaccionan normalmente entre sí, a no ser que se ionicen como ocurriría en el volumen de irradiación 18, o son sometidos a cualquiera o a todas las condiciones no-estándar de temperatura, presión o catalíticas. Este método permite un RCP 11 más sencillo y de coste más bajo como resultado de eliminar el conjunto de tubos de inyección 24 protegidos contra radiación.

35 En casos donde es deseable mezclar los reactivos 20 y 22b, se utiliza una válvula de mezcla 32b para combinar los reactivos en una relación apropiada, como será fácilmente evidente para un técnico ordinario en la materia. La relación instantánea se determina por el uso de datos de los flujómetros 30b y 30c, que se conducen al ordenador central 34 donde son comparados con condiciones deseada del proceso programadas por el operador del sistema. El ordenador central 34 realiza un cálculo sobre estos datos, que se utiliza entonces para generar una señal de salida en la línea de control 36b para controlar la válvula de mezcla 32b.

40 Cualquier molécula dada de los reactivos individuales 20, 22a o 22b, o su producto combinado que forma el flujo de salida 40, será irradiada más de una vez durante el paso a través del RCP 11. Con referencia al producto combinado que forma el flujo de salida 40, no es perjudicial para la química del producto combinado que pueda ser irradiado más de una vez o durante un periodo de tiempo prolongado.

45 Un técnico ordinario en la materia apreciará fácilmente que tanto la mezcla concurrente como también la pre-mezcla se pueden utilizar de manera ventajosa con el RCP 11 cuando las circunstancias lo requieran.

## Sistema de control basado en realimentación

Como en el caso con la mayoría de las reacciones de procesos químicos, es esencial que se mantenga a relación apropiada entre el reactivo de realimentación 20 y otro(s) reactivo(s) 22a o 22b. Si se desea un medio dinámico de control de la relación de mezcla, es preferible incluir un sistema de control basado en realimentación que proporcione al menos dos funciones:

1. Medición de la cantidad exacta de materia prima y de reactivo(s), y
2. Medios de control de la relación de mezcla entre la materia prima y el/los reactivo(s).

Otro nivel de control sobre el proceso se puede realizar por medio de la medición de la química de salida del proceso. Esta etapa asegura que el flujo de salida 40, mostrado en la figura 1, tenga la química deseada y no estén presentes compuestos indeseables.

Para asegurar la medición de la cantidad exacta de reactivo de materia prima 20 y cualquier otro reactivo(s) 22a y 22b, se utilizan técnicas de instrumentación, tales como el uso de flujómetros de masas, que son los más exactos, y flujómetros convencionales tales como los flujómetros mostrados en la figura 1 como flujómetros 30a-30d. Las salidas de estos flujómetros 30a-30d como se indican por flechas son conducidas al ordenador central 34, que analiza los datos y determina si la relación de mezcla es correcta. Si no, el ordenador central genera señales de salida sobre líneas de control 36a y 36b que pueden ser proporcionales al grado de desequilibrio de la relación y que controlan las válvulas de mezcla 32a y 32b para conseguir la relación de mezcla correcta.

Existe un flujómetro 30a para el reactivo 22a, un flujómetro 30b para el reactivo 22b, un flujómetro 30c para el reactivo de alimentación 20, y un flujómetro 30d que mide el flujo de salida 40. Cada uno de los flujómetros incluye una válvula asociada, tales como 32a y 32b, mostradas en la figura 1, por ejemplo. No obstante, el flujómetro 30d, como se muestra en la figura 1, que mide el flujo de salida, no tiene que incluir una válvula.

Los flujómetros 30a-30d son capaces de proporcionar datos dinámicos para permitir el ajuste del proceso en tiempo real, para cumplir los requerimientos de caudales de flujo dinámicamente variables 20, 22a y 22b.

Algunas reacciones tienen el potencial de producir subproductos indeseables si la relación de mezcla precedente no es correcta. Puesto que estos subproductos pueden ser tóxicos, explosivos o peligrosos de otras maneras, una forma de realización preferida del método reivindicado incluye un medio para la medición de la salida para determinar si se han formado subproductos indeseables. Los medios preferidos para realizar esta medición es por el uso de un sensor químico 42: tal como un espectroscopio o un cromatógrafo. Se pueden utilizar muchas formas de instrumentos espectrográficos o cromatográficos con el método reivindicado. La técnica preferida es el uso de un espectroscopio de masas para generar un análisis químico completo que incluye representación de la cantidad de subproducto(s) indeseable(s) presente(s). Estos datos del análisis químico se utilizan por el ordenador central 34, además de los datos de los flujómetros 30a-30d como se han descrito anteriormente, para ajustar con mayor precisión el balance de la relación entre el reactivo de alimentación 20 y el/los otro(s) reactivo(s) 22a y 22b. Como será rutina para los técnicos ordinarios en la materia, se pueden utilizar otras técnicas, o variaciones en el sistema de realimentación, para determinar la química del flujo de salida 40.

Las ventajas de la versión anterior del sistema de control basado en realimentación, incluyendo el sensor químico 42, incluyen una capacidad redundante para controlar la reacción. Este método atenúa las señales de corrección halladas en las líneas de control 36a y 36b para reducir al mínimo cualquier sobre oscilación en la relación de mezcla, asegurando de esta manera una química consistente y continua del flujo de salida 40. Adicionalmente, el sistema de control debe prevenir las sobre oscilaciones generadas en las señales de control en las líneas de control 38a y 36b para evitar la liberación potencialmente catastrófica de subproductos no deseados.

## Química básica del método reivindicado

Con referencia a la figura 1, el proceso básico del Procesador Químico Reactivo (RCP) 11 comprende la ionización total o parcial de todo o parte del reactivo de materia prima 20, y de todos los otros reactivos 22a y 22b, seguida por recombinación de la mezcla resultante de especies atómicas en sus estados más bajos de energía. La mezcla resultante de especies atómicas produce un flujo de salida 40. Con referencia a la figura 1, en el RCP 11, el proceso químico reactivo incluye ionización total o parcial de todo o parte del reactivo de materia prima 20 y los otros productos químicos reactivos 22a y 22b, por ejemplo.

Cuando se expone a la radiación, si se produce ionización "total", se rompen todos los enlaces moleculares de los productos químicos reactivos, y se ionizan totalmente todos los átomos constituyentes, debido a la energía de los protones que es con preferencia sustancialmente mayor que la energía de los enlaces moleculares sobre cualquier elemento de la tabla periódica. En este ejemplo, los átomos libres son total o parcialmente ionizados por este proceso de irradiación. El elemento con el número atómico más alto que ocurre naturalmente es uranio, con una energía de enlace máxima de 115.6 KeV. Utilizando rayos-X con energías hasta un millón de voltios de electrones (MeV), cualquier colisión romperá cualquier enlace, reduciendo la energía del fotón de rayos-X en una cantidad que corresponde a la energía requerida para romper un enlace. Puesto que la energía del fotón de rayos-X resultante es

sustancialmente más alta que la energía de cualquier enlace atómico o molecular de los elementos que ocurren en la naturaleza, existirá todavía una cantidad sustancial de energía disponible para actividades secundarias de rotura de enlaces. El RCP 11 (figura 1) es capaz de producir haces de rayos-X de cientos de miles de amperios de fluencia, asegurando de esta manera una cantidad abundante de fotones para actividad de rotura de enlaces. Esta corriente de haz extraordinaria es debida al cátodo específico utilizado en el método reivindicado, como se describe en la patente U. S. N° 4.670.894 por el presente inventor. Una vez en un estado ionizado, los constituyentes elementales se recombinarán en las moléculas de estado de mínima energía, como se determina por la mezcla de los elementos presentes en el momento. Puesto que existen aproximadamente  $6.24 \times 10^{18}$  electrones en un amperio, un pulso individual desde el RCP 11 podría introducir más de 1023 fotones de rayos-X en el volumen de irradiación de una manera altamente uniforme y dispersa.

Cuando los electrones chocan con el ánodo, crean una región de radiación-X de frenado. La palabra alemana "Bremsstrahlung" significa "braking radiation" radiación de frenado y se crea cuando electrones con un potencial que excede de aproximadamente 23 KiloVoltios son detenidos o desacelerados repentinamente, en este caso por choque con el ánodo. También están presentes un gran número de electrones secundarios en el volumen de irradiación. El volumen hueco interior del ánodo del RCP 11, referido aquí como "volumen de irradiación 18" contiene los reactivos a reaccionar.

Los fotones de radiación de frenado chocan con átomos de material en el volumen interior del ánodo, o volumen de irradiación, y como resultado de tener energía significativamente más alta que el potencial de ionización de la cáscara-K del átomo, ionizan todos los átomos presentes. En algunos casos, se realiza la ionización total. En otros casos, no se puede inducir de manera controlada la ionización "parcial" tan deseada. No sólo el primer choque de un átomo por un fotón de rayos-X causa ionización, sino que los fotones liberados consecuentemente que colisionan con átomos no ionizados todavía, causan también ionización con tal que su nivel de energía sea suficiente. La cascada de repoblación de electrones resultante causa la liberación de fotones a medida que se llena cada cáscara de electrones del átomo. El exceso de electrones asegura que este proceso ocurra muy rápidamente. Puesto que la energía de los fotones es sustancialmente mayor que la energía de enlace de la cáscara-K, se repite el proceso anterior.

El fotón de rayos-X libera una cantidad precisa de energía, que permite la determinación del número de eventos de ionización posibles debidos a un fotón de rayos-X de radiación de frenado individual. Pueden existir muchos eventos de ionización, hasta que eventualmente la energía del fotón sea demasiado baja para efectuar la ionización total, donde la ionización "parcial" puede ser suficiente en ciertas reacciones químicas. Otra consecuencia posible de eventos es que el fotón colisione con la superficie interior de la pared del ánodo. Si el fotón de rayos-X tiene suficiente energía, la colisión resultará también en la liberación de radiación de frenado y de electrones secundarios. Si o bien la radiación de frenado o el electrón secundario es de energía más alta que la energía de enlace de la cáscara-K del átomo en el volumen de irradiación con el que colisionan, ocurrirá la ionización total.

Estos procesos pueden continuar hasta que la energía del fotón de radiación de frenado caiga hasta un valor por debajo del cual no pueda ionizar átomos en el volumen interior del ánodo. La energía de fotones puede caer tan bajo como 1.8 eV y todavía ser efectiva si el átomo con el que colisiona es hidrógeno.

#### Ionización parcial

En algunas circunstancias, no es deseable ionizar totalmente los reactivos de materia prima y otros reactivos y la ionización parcial se puede emplear para provocar ciertas reacciones específicas utilizando el método mencionado anteriormente. La ionización parcial por aplicación selectiva de radiación-X de una fluencia y energía conocidas se puede utilizar, por la aplicación de las enseñanzas de este método, o bien para reducir o elevar los pesos moleculares, y para ajustar de manera controlada las longitudes de las cadenas moleculares, por la selección apropiada de la fluencia y la energía del haz de rayos-X, acoplada con consideraciones para volumen de irradiación y rendimiento, como será evidente para el técnico ordinario en estas técnicas.

Dependiendo de los requerimientos del proceso deseado, un técnico ordinario en la materia puede inducir selectivamente o bien la ionización "parcial" o "total" de los reactivos de materia prima y de uno u otros más reactivos. En algunas reacciones químicas, puede ser apropiado permitir sólo la ionización "parcial". En otras reacciones, se puede requerir la ionización "total".

El método reivindicado permite también la polimerización parcial de los reactivos. Esto puede ser deseable para permitir el control sobre el grado de polimerización, iniciando la polimerización por medio del uso del método reivindicado y entonces terminando la polimerización por medio del control selectivo de las características de la tensión, la corriente y la forma de la onda del pulso para conseguir el espectro y el flujo de energía de rayos-X deseada. Por lo tanto, el método reivindicado permite un mayor grado de control en el proceso de la polimerización parcial que los métodos conocidos anteriormente.

La polimerización parcial puede ser particularmente deseable en aplicaciones en las que se desea mayor viscosidad, tal como con agentes de revestimiento. En un ejemplo, los monómeros reactivos se pueden combinar para formar un

producto final resultante, en el que una porción del producto final es polimerizado, mientras que otras porciones permanecen no polimerizadas

#### Reducción del peso molecular

5 El método reivindicado proporciona un medio para reducir el peso molecular de polímeros por irradiación, principalmente con rayos-X desde la fuente de rayos-X de pulsos. Ejemplos de esto incluyen el uso del método reivindicado para tratar las moléculas de hidrocarburos presentes en arenas de alquitrán para reducir su peso molecular a través de la escisión de la cadena. La reducción del peso molecular y, por lo tanto, de la longitud de la cadena molecular, reduce la viscosidad y permite amplias mejoras en la facilidad de separaciones. El método reivindicado se puede utilizar con preferencia para, uno o ambos, inyectar reactivos o colocar catalizadores en el volumen de irradiación 18, que determinará el punto de escisión de una cadena molecular o impartirá otras características deseables al producto final. Es necesario reducir uniformemente el peso molecular, puesto que fracciones de peso molecular bajo tienden a plastificarse y fracciones restantes de peso molecular alto dan rigidez en polímero. La combinación anterior de propiedades que se obtienen como resultado de la distribución de pesos moleculares es favorable y mejora la calidad del producto final resultante.

15 La irradiación selectiva de rayos-X utiliza la naturaleza aleatoria de una reacción de escisión de la cadena con el fin de producir un rango amplio de pesos moleculares a partir de un grupo de polímeros que constan de cadenas moleculares de tamaños similares. Esta ampliación del rango de peso molecular incrementa la facilidad de procesamiento de tales polímeros en productos acabados, manteniendo al mismo tiempo la mayoría de sus propiedades físicas deseadas. Un ejemplo de un valor de usar la capacidad del método reivindicado para reducir el peso molecular está en la expansión del rango de catalizadores útiles utilizados para producir polímeros. Muchos catalizadores que son deseables por su velocidad de polimerización y su alta eficiencia no son útiles por que no pueden ser controlados y producen polímeros que tienen un peso molecular demasiado alto para ser útiles. Un tratamiento posterior por irradiación con el método reivindicado u otra fuente de irradiación de fluencia y energía comparables pueden reducir el peso molecular hasta el nivel deseado.

25 El método se puede utilizar para ionizar parcialmente los reactivos, ya sea para reducir finalmente el peso molecular de los reactivos o para incrementar de forma controlada la longitud/peso molecular de los reactivos. En un ejemplo, dos reactivos pueden ionizarse parcialmente, de tal manera que se recombinan para formar un producto final resultante con un peso molecular más bajo que el peso molecular combinado de los reactivos. Alternativamente, dos reactivos son ionizados parcialmente de tal manera que se recombinan para formar un producto final resultante con una longitud/peso molecular más alto controlable que uno de los reactivos o una combinación de los reactivos. En este contexto, los reactivos se refieren de nuevo a un reactivo de materia prima y uno u otros más reactivos.

El método reivindicado se puede utilizar con ventaja para reducir selectivamente el peso molecular de una o más sustancias químicas, ya sea temporalmente, como una etapa intermedia, o permanentemente.

35 Por ejemplo, el petróleo puede tener una densidad molecular alta. Es práctica común calentar continuamente petróleo para reducir su viscosidad, que es un método costoso e ineficiente de reducir la viscosidad de tales productos. Una vez que se detiene el calentamiento continuo, el petróleo se vuelve altamente viscoso. Por el contrario, el método reivindicado puede reducir selectivamente el peso molecular (y la viscosidad) de una sustancia de petróleo, de tal manera que la sustancia de petróleo se cambia permanentemente a una de un peso molecular selectivamente más bajo.

40 Donde no se requiera la ionización total, la energía del haz de irradiación de rayos-X se puede reducir en energía y fluencia para permitir la ionización parcial con la intención de conseguir estados específicos parcialmente ionizados seleccionados. Para conseguir tales estados de ionización parcial, en un ejemplo, puede ser necesario reducir el diámetro del volumen de irradiación 18 para que sustancialmente todo el reactivo de materia prima y otros reactivos sean ionizados hasta el estado deseado. En esta circunstancia, puede ser deseable incrementar la longitud del volumen de irradiación 18.

45 Con respecto a la descripción anterior sobre la reducción del diámetro del volumen de irradiación 18, debería entenderse que en el caso de un volumen de irradiación 18 totalmente ionizado, la energía de la irradiación de rayos-X (en voltios de electrones [eV]) está regida por el volumen y el número atómico medio del reactivo de materia prima y otros reactivos. Si esta energía no es suficientemente alta, los rayos-X no tendrán suficiente potencia para propagarse y pasar el centro axial del volumen de irradiación 18.

50 Reconociendo este problema de suministro de cantidades exactas de potencia a áreas específicas dentro del volumen de irradiación, y en los casos donde sólo una fracción del/de los reactivo(s) se desea ionizar, entonces resulta necesario ajustar el diámetro del volumen de irradiación 18 para asegurarse de que llega energía suficiente hasta el centro axial, pero no alcanza un valor tan alto que la ionización ocurre más allá del nivel deseado. Tales valores pueden ser realizados fácilmente por un técnico ordinario en la materia.

55 De manera similar, donde se desea la ionización de todos los reactivos, si la energía de los protones de rayos-X es demasiado baja, los rayos-X no se propagarán hasta el centro axial del volumen de irradiación 18, y alguna porción del reactivo de materia prima y otros reactivos no serán ionizados suficientemente para conseguir la reacción

deseada. La presente memoria descriptiva enseña cómo controlar la reacción hasta un punto donde estados moleculares seleccionados deseados se pueden conseguir de manera fiable con eficiencias más altas y con menos carga del medio ambiente que con tecnología de la técnica anterior.

5 Los polímeros tales como polietileno de baja densidad (LDPE) tienen cadenas o estructuras repetidas de la misma unidad de monómero, mientras que otros polímeros tienen cadenas mixtas de más de una unidad de monómero. En un ejemplo, el uso del método reivindicado permite polimerizar parcialmente de forma selectiva polímeros, con el fin de incrementar la elasticidad y flexibilidad de polímeros rígidos, tales como LDPE (polietileno de baja densidad), sin necesidad de usar aditivos, tales como plastificantes. Otras aplicaciones para usar el método reivindicado en un modo de polimerización parcial serán evidentes para un técnico ordinario en la materia.

10 Es bien conocido que las reacciones de polimerización en presencia de un catalizador se ejecutarán siempre hasta la máxima extensión posible de polimerización. Éste es un factor de limitación significativo en la técnica anterior. El método reivindicado permite la producción de cadenas moleculares de moléculas de longitud intermedia controlable. Ésta es una ventaja distintiva sobre las reacciones catalizadas convencionales, tales como en polimerización.

Incremento del peso molecular

15 El método reivindicado es capaz de incrementar el peso molecular utilizando técnicas algo similares a la polimerización por irradiación convencional, pero aprovechando la ventaja de la eficiencia incrementada del método reivindicado.

Condiciones y configuraciones del proceso

20 Aunque el RCP 11 (figura 1) es la forma de realización preferida del método reivindicado, se pueden utilizar otras fuentes de rayos-X de fluencia comparable. Existen otras configuraciones de fuentes de rayos-X que se pueden utilizar, si son capaces de generar corriente de haz suficiente para una aplicación específica. El rendimiento que el sistema puede conseguir es directamente proporcional a la intensidad de la corriente del haz.

Para acomodar varios esquemas de radiación, la fuente de rayos-X del RCP 11 puede ser:

1. Cilíndrica, como se ilustra en la figura 1
- 25 2. Plana, o
3. Arqueada.

Los productos químicos reactivos (materia prima u otros reactivos) pueden estar en uno o más de los estados:

1. Gaseoso,
2. Líquido,
- 30 3. Sólido, y
4. Plasma.

Los reactivos químicos (es decir, reactivos) se pueden introducir: o bien antes de que el/los material(es) a reaccionar entren en el volumen de reacción, o se pueden introducir en el propio volumen de irradiación, o en ambas etapas. Esto se determina por la naturaleza de las reacciones químicas y los reactivos utilizados para la reacción química que tiene lugar.

35 El/los material(es) a reaccionar puede(n) estar en cualquiera o combinación de:

1. Gaseoso,
2. Líquido,
3. Sólido, y
- 40 4. Plasma.

El procesamiento puede tener lugar a varias presiones, tales como:

1. Presión atmosférica
2. Presión sub-atmosférica (vacío parcial o alto vacío)
3. Por encima de la presión atmosférica

45 El procesamiento puede tener lugar a varias temperaturas, tales como:

1. Temperatura ambiente
2. Por encima de la temperatura ambiente, o
3. Temperatura sub-ambiente

5 Después del proceso reactivo, se puede requerir la separación de los productos resultantes. En algunos casos, se formarán precipitado.

El método reivindicado se puede usar de manera ventajosa en combinación con uno cualquiera o ambos catalizadores y atmósferas controladas, además de las condiciones del proceso descritas anteriormente.

10 El nivel de radiación para el proceso reactivo debería estar entre 1,8 voltios de electrones (eV) y 1,22 millones de eV. Se reconoce que el uranio tiene el enlace más allá que existe en la naturaleza en 115,6 KeV. No obstante, existen enlaces de energía más baja. La energía de enlace para hidrógeno es 1,892 eV. La tensión operativa máxima preferida es aproximadamente 1,22 millones de voltios de electrones (MeV). La razón de esto es que con una energía ligeramente mas alta, 1,22 MeV, se cruza el umbral de producción de parejas y los materiales se pueden volver radioactivos. Esto es indeseable, en general, excepto en algunas situaciones, tales como transmutación de materiales radioactivos existentes y residuos radioactivos. La estructura del RCP se puede fabricar para operación a tensión de hasta y más de 10 millones de voltios, si se requiere.

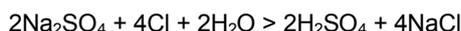
Reacción ejemplar

20 Una reacción ejemplar implica una corriente residual que contiene una cantidad sustancial de sodio en forma de sulfato de sodio diluido con agua. La liberación de este material al medio ambiente es normalmente ilegal, por lo que es deseable realizar una reacción para convertir el sulfato de sodio en una forma más adecuada para uno o ambos desecho y descarga. Si el sulfato de sodio está totalmente ionizado, un problema potencial es que se liberará sodio libre en presencia de agua, causando potencialmente de esta manera una reacción explosiva, dependiendo de las varias concentraciones.

25 No obstante, en un ejemplo, el método reivindicado resuelve este problema proporcionando un medio seguro para descomponer el sulfato de sodio de una manera económica. En este ejemplo, se proporciona la radiación de ionización en un nivel de energía hasta ligeramente por debajo de 1,22 MeV. Éste es en varios órdenes de magnitud más alto que el requerido para ionizar totalmente sulfato de sodio. La cantidad de corriente del haz requerida se determina por las dimensiones del volumen de irradiación y la tasa de producción a través del volumen de irradiación 18. La corriente mínima del haz se determina por el número de las moléculas presentes en el volumen de irradiación 18 del RCP 11 en cualquier instante dado.

30 Tradicionalmente, en reacciones químicas, cualquiera o una combinación de temperatura, presión, catalizadores y reactivos consumibles se utilizan para inducir o incrementar la tasa de reactividad de tales reacciones. En el caso del método reivindicado, la temperatura es irrelevante por la siguiente razón. Como una medida de energía, los voltios de electrones igualan directamente a la temperatura. Un fotón de MeV lleva una temperatura equivalente a más de 1 billón de grados C. Puesto que este nivel de energía excede cualquier temperatura que pueda alcanzarse por técnicas de calentamiento convencional, como se utilizan normalmente en la industria química, la temperatura deja de ser un factor en el aumento o disminución de las tasas de reacción cuando se contempla a la vista del método reivindicado. Los experimentos realizados por el presente inventor han mostrado que e, este tipo de sistema, sobre el rango de presión de  $10^{-2}$  Torr (1,33 Pascales) hasta 100 psig (619.000 Pascales), no se observó ningún cambio significativo en la tasa de reactividad.

40 En la reacción ejemplar, en el volumen de reacción 18 del RCP 11, la radiación de rayos-X descompone en primer lugar el sulfato de sodio en sodio, azufre y oxígeno y al mismo tiempo descompone el agua en hidrógeno y oxígeno. Con la adición de cloro, esta mezcla se recombinará en ácido sulfúrico diluido, cloruro de sodio, y agua como sigue:



45 En esta reacción, el cloruro de sodio (NaCl) se combinará con agua (H<sub>2</sub>O) y las cantidades por encima del nivel de saturación formarán un precipitado. Es importante indicar que esta reacción no tendrá lugar si se ajustase la mezcla de cloro en el sulfato de sodio. Pero, en la presencia de radiación de energía suficientemente alta, donde los constituyentes de esta reacción se ionizarán totalmente cuando se desea y entonces se recombinarán, estarán en su estado deseado de energía más baja.

50 Controlando la cantidad de cloro inyectado en esta reacción, es posible alcanzar un equilibrio, donde todo el sodio es ligado a una cantidad molar correspondiente de cloro. El exceso de cloro no es deseable, ya que sería ventilado como un gas tóxico, mientras que una cantidad insuficiente de cloro daría como resultado una pérdida de control del proceso de unión del cloro. Por lo tanto, la producción de un precipitado de cloro de sodio es preferible.

En el ejemplo anterior, la cantidad de cloro inyectado puede ser controlada utilizando el sistema de control basado en realimentación descrito anteriormente, que incluiría un sensor 42 de productos químicos, tal como un

espectroscopio o cromatógrafo capaz de detectar la presencia de gas cloro libre. La presencia de gas cloro libre indicaría que se ha inyectado demasiado cloro. Esto provocaría que el procesador de realimentación redujera el nivel de la inyección de cloro hasta justo por debajo del punto, en el que se libera cloro libre. Esto representa la relación de inyección óptima de cloro en la solución de sulfato de sodio.

5 En el ejemplo anterior, los productos finales de la reacción son ácido sulfúrico y cloruro de sodio, que es sal de mesa común. El ácido sulfúrico es diluido inmediatamente por las cantidades excesivas de agua presente en la corriente residual. Si su concentración se elevase hasta un nivel inaceptable, la solución se puede separar o neutralizar para reducir el pH hasta neutral. El cloruro de sodio se mezclará con agua libre hasta que forma una solución saturada, en cuyo punto el cloruro de sodio se precipitará fuera de la solución.

10 Será evidente para un técnico ordinario en la materia que este proceso se puede aplicar fácilmente a muchas otras reacciones químicas y la reacción dada aquí es meramente ejemplar.

Reacciones más complejas, incluyendo aquéllas que tienen intermedios, son comprendidas con la misma facilidad por el método reivindicado. La escala de tiempo, en la que ocurren estas reacciones químicas, es sustancialmente más corta que un pulso de radiación de rayos-X, permitiendo de esta manera que ocurran reacciones múltiples secuencialmente dentro de la duración de tal pulso.

15

Aparato de generación de rayos-X

La figura 2 muestra un Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP) 11. Un RCP 11 utiliza una fuente de rayos-X del tipo de transmisión en combinación con sistemas de medición, control e inyección de reactivo, tal como se ha descrito anteriormente en combinación con la figura 1. La fuente de rayos-X del RCP 11 tiene una pistola de electrones. Como se muestra en la figura 2, el RCP 11 comprende con preferencia un cátodo de emisión de campo frío 46 y una rejilla 48. Las condiciones operativas para tal fuente de emisión de campo frío deberían estar a temperaturas por debajo del punto de inicio de la emisión termo iónica, aproximadamente a 1600 grados Fahrenheit o aproximadamente 871,1 grados Celsius. Por encima de una temperatura de aproximadamente 871,1 grados Celsius, la fuente de emisión de campo de cátodo frío se convierte en un emisor termo iónico y tal temperatura operativa volvería inoperativa la fuente de rayos-X.

20

Tal pistola de electrones puede conseguir una densidad de la corriente máxima teórica de aproximadamente 80.000 Amps/cm<sup>2</sup> en el modo de pulsos, que permite últimamente niveles altos de radiación debido a la fluencia alta creada por la gran cantidad de electrones utilizados para crear el haz de rayos-X. En aplicaciones prácticas, el cátodo 46 nunca se carga hasta su máximo teórico, sino más bien hasta algún valor menor. Por ejemplo, el RCP 11 puede conseguir energías altas de fotones de rayos-X de típicamente 0,1 - 5 MeV, y una corriente alta del haz que puede variar típicamente desde kiloamperios hasta muchos megamperios. El sistema puede operar a niveles de corriente más bajos, que dependen de los requerimientos de fluencia de la reacción específica.

25

Con referencia a la figura 2, en funcionamiento, el cátodo 46 se carga por la fuente de alimentación 38 de la figura 1, o alguna otra fuente de alimentación que cumple los requerimientos de tensión, corriente, tiempo de subida y tasa de repetición de los pulsos. Una resistencia de polarización (no mostrada) está conectada entre el cátodo 46 y la rejilla 48 y se utiliza para crear una tensión sobre la rejilla 48, de manera que el tubo está normalmente en una condición de desconexión (no conductora). Cuando se aplica una señal de control del potencial de tierra a la rejilla 48, la rejilla libera el control del cátodo 46 y el cátodo se descarga. Los electrones 14 viajan entonces desde el cátodo 46 hasta el ánodo 50. Cuando chocan con el ánodo 50, crean radiación de frenado de radiación-X 17. Cuando inciden en el ánodo 50, una mezcla de radiación-X 17 y electrones secundarios (no mostrados) son liberados desde una superficie de emisión de rayos-X 50b del ánodo 50 de una manera isotrópica. Para controlar el espectro de radiación de frenado y la profundidad de penetración de electrones incidentes 14, se controla el espesor del ánodo 50 con relación a la tensión del cátodo. El espesor del ánodo en la región del volumen de irradiación 18 es controlado con preferencia con respecto a la profundidad de penetración de los electrones incidentes, de manera que la preponderancia de la energía transmitida desde una superficie receptora de electrones 50a del ánodo 50, a través del ánodo 50, hasta un volumen de irradiación 18 más allá del ánodo 50, está en la forma de radiación-X 17. Por lo tanto, como se muestra, el ánodo 50 tiene típicamente una sección de pared más fina en la región del volumen de irradiación 18, comparada con la sección de entrada 28 y la sección de salida 29, como se muestra en la figura 2, para conseguir un grado de control sobre el espectro de radiación de frenado transmitido deseado.

35

La tensión del cátodo es suministrada a través de la alimentación de vacío 52 aislada eléctricamente, y la tensión de la rejilla se suministra a través de la alimentación de vacío 54 aislada eléctricamente de la rejilla. Ambas alimentaciones 52 y 54 están aisladas eléctricamente y selladas a alto vacío, y penetran la protección de la radiación biológica 56 y la carcasa 58.

40

45

Existen varias condiciones críticas que deben cumplirse cuando se diseña una rejilla para un RCP 11. Éstas son:

55 1. El espaciamiento entre la rejilla y el cátodo debe ser constante a través de la longitud de la rejilla. Esto se realiza normalmente colocando la rejilla a alta tensión y construyéndola con una estructura rígida.

2. El número de elementos en la rejilla debe ser suficientemente alto para asegurar un campo eléctrico constante y uniforme en la región de la rejilla-cátodo.

3. No existe aristas vivas o rebabas en ninguna parte de la estructura de rejilla; los elementos individuales pueden ser redondos, liso o de formas elípticas de alta relación de aspecto.

5 Con preferencia, todos los bordes están totalmente redondeados. En este contexto, totalmente redondeado significa que el borde en cuestión tiene un radio igual a la mitad del espesor del material. La implementación real de estas reglas de diseño se determina por el tamaño de la rejilla a construir.

10 Será evidente para un técnico ordinario en la materia que se pueden utilizar otras fuentes de radiación en lugar de una fuente de rayos-X de emisión de campo de cátodo frío. Una alternativa al uso de un RCP 11 configurado como una fuente de rayos-X de emisión de campo de cátodo frío consiste en utilizar una pluralidad de fuentes de rayos-X convencionales para sustituir la fuente de rayos-X de emisión de campo de cátodo frío mencionada anteriormente. También es posible usar una fuente de radioisótopos nucleares.

#### Subsistema de inyección protegido contra radiación

15 Con referencia de nuevo a la figura 1, para preservar la estructura molecular de reactivo 22a antes de la inyección, es necesario proporcionar un medio de inyección protegido contra radiación-X. Esto previene la disociación prematura, o la ionización parcial prematura, del reactivo 22a inyectado antes de la introducción del reactivo de materia prima 20 en el volumen de irradiación 18 o la introducción del reactivo 22a en una u otros más reactivos o ambas. Como se muestra en las figuras 1-4E, los requerimientos para un medio de inyección protegido se cumplen con preferencia proporcionando tubos concéntricos 60a y 60b con un material de protección contra radiación de rayos-X, típicamente plomo u otros elementos de número atómico alto, que llenan el espacio intersticial entre los tubos; tal conjunto se muestra en 24 en las figuras 1 y 2. Los tubos 60a y 60b son típicamente de acero inoxidable o de algún otro material no-reactivo, que es compatible con, y no está afectado por, los reactivos 20, 22a y 22b o por el entorno de radiación en el volumen de irradiación 18.

25 Cuando se considera el diseño de protección para el tubo inyector 24 protegido contra radiación, es deseable considerar la atenuación de rayos-X proporcionada por las paredes interior y exterior del tubo 60a y 60b, aunque en muchos casos, su contribución a la protección general puede ser mínima.

30 La figura 3 muestra una vista extrema del RCP 11 de la figura 2, en la que una pluralidad de conjuntos de tubos inyector 24 protegidos contra radiación están dispuestos de manera uniforme alrededor de un eje central común de RCP 11 y están localizados en la región exterior del volumen de radiación 18. La vista de la figura 3 muestra el extremo de entrada del RCP 11, que corresponde al lado izquierdo de la figura 2.

35 Las figuras 4A-4E muestran detalles de la construcción del conjunto de tubos inyector 24 protegidos contra radiación. La figura 4A muestra una serie de aberturas 25 en el tubo interior 60a, en el tubo exterior 60b y en los materiales de protección 61 intermedios, con insertos de aberturas de inyector 26 instalados en la aberturas 25. Como se muestra en la figura 4E, cada inserto de abertura de inyector 26 tiene una abertura de suministro de reactivo 27 para el suministro de reactivo. Los tubos 60a y 60b están formados de material no-reactivo, tal como acero inoxidable- Deberían utilizarse materiales no reactivos para fabricar el conjunto de tubos inyector 24, ya que los materiales reactivos contaminarían la reacción. Con referencia a las figuras 4B y 4C, las aberturas para los insertos de aberturas del inyector 26 se pueden formar perforando taladros a través de ambos tubos 60a y 60b, en alineación axial concéntrica entre sí y enroscando las aberturas en esos tubos. En un ejemplo, los insertos de aberturas del inyector 26 se fabrican típicamente del mismo material no-reactivo que los tubos 60a y 60b. Los insertos de aberturas del inyector 26 se instalan, respectivamente, a través de taladros roscados en el interior y en el exterior 25a y 25b de la abertura 25 (figura 4B) en los tubos interior y exterior. Un método preferido de fabricación de insertos de aberturas del inyector 26 y se sellado de los mismos a ambos tubos interior y exterior 60a y 60b se describe a continuación.

45 Como se muestra en la figura 4B, cada taladro roscado 25a sobre el tubo interior 60a tiene una rosca cónica 63a de paso fino. Cada taladro roscado 25b en el tubo exterior 60b tiene una rosca 63b de paso fino similar, pero en este caso es una rosca de pared recta. Cada pareja de taladros roscados interior y exterior 25a y 25b recibe un inserto de abertura de inyector 26 respectivo. Como se muestra en la figura 4E, el inserto de abertura de inyector 26 tiene roscas 62a y 62b formadas sobre su superficie exterior. La rosca 62a del inserto de apertura de inyector, que coincide con la rosca 63a en el tubo interior 60a puede ser una rosca de pared recta del mismo paso, mientras que la rosca 62b que se acopla con la rosca 63b de tubo exterior puede ser cónica, como se muestra en las figuras 4B y 4E.

55 La finalidad del inserto 26 de abertura de inyector de rosca doble es crear al mismo tiempo juntas de estanqueidad con ambos tubos 60a y 60b amarrando las roscas macho 62a y 62b respectivas del inserto 26 de la abertura del inyector en roscas hembra 63a y 63b correspondientes de los tubos interior y exterior 60a y 60b. Las roscas cónicas son preferibles por que la estanqueidad que consiguen es comparable con la estanqueidad que se consigue con juntas de estanqueidad de roscas de tubos cónicas convencionales (por ejemplo, U.S. National Pipe Thread [NPT]), como se utilizan normalmente en fontanería y otros sistemas. En la fabricación del inserto de abertura del inyector,

es importante controlar el punto de partida de las operaciones de roscado para todas las roscas implicadas- Esto para asegurar que se puede obtener una obturación óptima.

5 Como se muestra mejor en las figuras 4D y 4E, una ranura en el extremo exterior de del inserto de abertura de inyector 26 mencionado anteriormente proporciona acceso para un destornillador de hoja plana o llave de tuercas para apretar el inserto de abertura del inyector 26 y realizar la estanqueidad mencionada anteriormente. Una llave dinamométrica se utiliza con preferencia para asegurarse de que se utiliza la fuerza de apriete correcta para optimizar adicionalmente las condiciones de sellado. Se pueden utilizar sellantes de roscas y compuestos de bloqueo de roscas, si son compatibles con los reactivos 20, 22a y 22b y otras condiciones del proceso.

10 Con referencia a las figuras 4B y 4E, como alternativas al uso de roscas rectas 62a, 63b y roscas cónicas 62b y 63a, se pueden utilizar otras combinaciones de roscas rectas y cónicas o roscas de paso variable para proporcionar la estanqueidad requerida entre el tubo interior 60a y el tubo exterior 60b y el inserto de apertura del inyector 26. Como alternativas en general al uso de roscas, los insertos de abertura de inyector 26 se pueden estañar o soldar a los tubos interior y exterior 60a y 60b, utilizando técnicas bien conocidas.

15 En la figura 2, los extremos mostrados a la derecha de los tubos interior 60a y exterior 60b se acoplan con caperuzas extremas selladas 66a y 66b que aíslan el material 61 de protección contra radiación-X de los reactivos 20, 22a y 22b. Como se ha mencionado anteriormente, el material 61 de protección contra radiación-X puede comprender plomo u otros elementos de número atómico alto. Cada una de las caperuzas 66a y 66b se sueldan con preferencia TIG a tubos interior 60a y exterior 60b respectivos, donde TIG es una abreviatura de gas inerte volframio.

20 Una vez que los tubos interior 60a y exterior 60b están conectados por los insertos de abertura del inyector 26, la etapa siguiente en la fabricación del conjunto de tubos de inyector 24 protegidos contra radiación es la adición del material 61 de protección contra rayos-X. El conjunto resultante es orientado verticalmente y material de protección fundido es vertido lentamente en el espacio intersticial entre los tubos 60a y 60b, llenando completamente al espacio intersticial. Durante este proceso, es deseable utilizar calentamiento secundario de los tubos e insertos de abertura del inyector para asegurar que el material de protección fundido permanece fundido hasta que el espacio intersticial está completamente lleno. Además, es deseable aplicar un vacío bajo al espacio intersticial para asegurar que no existen burbujas o huecos en el material de protección 61, como se realiza normalmente en procesos de fundición críticos. Puede utilizarse con ventaja vibración para asegurarse de que no existen huecos en los materiales de protección 61.

30 El conjunto resultante 24 se termina con la adición de una caperuza extrema 70 (figura 2) sobre un extremo interior de los tubos Interior 60a y exterior 60b, con un taladro para permitir el paso a través del tubo interior. La caperuza extrema 70 anterior sella el material 61 de protección contra rayos-X en el conjunto de inyector.

35 El conjunto de inyector 24 protegido contra radiación completado es soldado con preferencia por puntos a la pared interior del ánodo 50 RCP (figura 2), aunque otros medios de fijación serán evidentes para los técnicos ordinarios en la materia.

40 El tamaño y la localización de los insertos de abertura del inyector 26 se determina por el patrón de inyección deseado. Por ejemplo, puede ser deseable compensar la presión decreciente dentro del tubo interior 60a a medida que la distancia dentro del tubo se extiende desde una entrada. Tal compensación aseguraría una inyección más uniforme de reactivo desde cada unidad de longitud del tubo. La compensación puede adoptar la forma de un área agregada cada vez mayor proporcionada por insertos de inyector de salida 26 a lo largo de la longitud del conjunto de tubo 24. Por ejemplo, el número de los insertos de inyector de salida 26 por unidad d longitud a lo largo del conjunto de tubos 24 se puede incrementar o se pueden incrementar los tamaños respectivos de los insertos de inyector de salida 26 a lo largo del conjunto de tubo 24, o ambos. Alternativamente, o además de la técnica anterior, un conjunto de tubos 24 podría introducir reactivo en sus dos extremos para compensar la presión decreciente dentro del tubo interior 60a. Esto requeriría con preferencia el uso de un divisor de 2 orificios (no mostrado) en la línea de suministro de reactivo 22a para permitir un flujómetro individual 30a.

50 Con referencia de nuevo a la figura 1, es necesario proporcionar un medio para intercalar la inyección de reactivos 20 y 22b, y 22a, a través del conjunto de tubos de inyector 24 protegidos contra radiación y la aplicación de pulsos de irradiación de rayos-X. Para realizar esto, la figura 5 muestra un pulso 72 de inyección de reactivo respectivo que precede a cada pulso 74 de rayos-X respectivo, asegurando que existe tiempo para que los reactivos 20, 22a y 22b inyectados se entremezclen con preferencia totalmente antes del pulso 74 de rayos-X en el RCP 11. La anchura del pulso 72 de inyección de reactivo es ajustable, como se muestra por flechas 73 de doble punta, para facilitar el proceso anterior. La anchura del pulso 72 de inyección de reactivo es ajustable, mientras que la anchura del pulso 74 de rayos-X es fija.

55 Las relaciones de la anchura del pulso mencionadas anteriormente previenen la disociación prematura del reactivo 22a inyectado. La forma de realización preferida utiliza pulsos no-solapados de reactivo y radiación-X, como se muestra en la figura 5, para permitir un tiempo máximo de entremezcla de reactivos antes de la disociación y la reacción o reacciones siguientes deseadas.

En los pulsos de radiación de rayos-X como se acaban de describir, la irradiación de rayos X se puede suministrar como ráfagas de pulsos de rayos-X más que como un pulso individual. Esto se realiza para incrementar la eficiencia eléctrica del RCP 11.

5 En algunas circunstancias, particularmente donde se utiliza ionización parcial, el tubo inyector 24 protegido contra radiación se puede modificar para que sea un tubo individual 24a de pared sólida como se muestra en la figura 4F, donde el espesor y la composición de la pared se seleccionan protección de rayos-X apropiada del reactivo o reactivos que se inyectan desde el tubo inyector modificado dentro del volumen de irradiación 18. Debería prestarse consideración a la reactividad química potencial del tubo modificado con los reactivos o materia prima. La selección de un espesor de pared y de una composición adecuados será evidente para los técnicos ordinarios en la materia.

10 Cuando se selecciona un tubo inyector 24a de pared individual, no se requieren ya los insertos de abertura del inyector 26 del conjunto de tubos 24. La figura 4F muestra un ejemplo de un tubo inyector 24 de pared individual que tiene un espesor de pared 31. En este ejemplo, el tubo incluye una pluralidad de aberturas 37 y una caperuza extrema 33. El material y el espesor de la pared se seleccionan para proporcionar protección para reactivos inyectados. Cuando no se puede obtener protección adecuada con un tubo de pared individual, entonces debería utilizarse el diseño de pared doble 24 (por ejemplo, figuras 4A-4E) con material de protección intermedio 61.

#### Mezcla mejorada de reactivos

20 Como se muestra en la figura 6, los conjuntos de tubos inyectores protegidos contra la radiación, mostrados anteriormente como 24 en las figuras 1-4E o como 24a en la figura 4F, se muestran ahora en una configuración es espiral, numerada como 71, y son de construcción similar a los conjuntos de tubos inyectores 24 ó 24a protegidos contra radiación, excepto que son de una configuración en espiral en lugar que recta como se muestra en las figuras 1, 2 y 4F. La finalidad de la configuración en espiral es impartir un flujo en espiral al reactivo 22a inyectado. Tal flujo en espiral mejora la mezcla del reactivo 22a con el reactivo de materia prima 20. Otros tipos de estructuras en espiral, tales como aletas en espiral (no mostradas), para impartir un movimiento en espiral al reactivo de materia prima 20 y a cualquiera o a ambos reactivos 22a y 22b son admisibles, como se apreciará fácilmente por técnicos ordinarios en la materia.

#### Bucle de reinyección de flujo de salida

30 La figura 7 muestra un sistema 100, que varía del sistema 10 de la figura 1 por que incluye un bucle de reinyección de flujo de salida 102 y líneas de control asociadas. Por lo tanto, sólo se describen aquí el bucle de inyección de flujo de salida 102 y las líneas de control asociadas; estas partes adicionales se muestran con ligeras ligeramente más gruesas que las partes similares en el resto de la figura, que corresponde a la figura 1, para facilitar la distinción de las partes añadidas.

35 Con referencia a la figura 7, en algunos procesos, es deseable hacer recircular alguna parte de la salida 40 del RCP 11 de retorno a la entrada primaria 104 del RCP 11. El bucle de reinyección de flujo de salida 102 incluye un tubo de recirculación 106, cuyo contenido es controlado por la válvula de extracción 108 de flujo de salida y por dos válvulas de mezcla de reinyección 110 de flujo de salida. La razón para tener dos válvulas 108 y 110 es para aislamiento y para prevenir que cualquier flujo de salida 40 se estanque en el bucle de reinyección 102. Estas válvulas 108 y 110 operan normalmente de forma sincronizada para prevenir la condición de estancamiento anterior. El bucle de reinyección 106 incluye un flujómetro 112, cuyos datos de salida son enviados al ordenador central 34. La reinyección puede realizarse o bien a través de la entrada primaria 104 a través de la válvula 110 o a través de uno o más conjuntos de tubos de inyección 24 protegidos contra radiación o alguna combinación de los mismos. Las modificaciones anteriores pueden requerir algún cambio menor en la fontanería del sistema 10, ya que tales modificaciones pueden ser realizadas fácilmente por técnicos ordinarios en la materia.

45 El bucle de recirculación 106 contiene también una válvula de purga 114, que está localizada con preferencia físicamente directamente adyacente a la válvula de extracción de flujo de salida 108. La finalidad de la válvula de purga 114 anterior es permitir que el bucle de reinyección de flujo de salida 102 sea limpiado de cualquier contenido. Esto se realiza cerrando la válvula de extracción de flujo de salida 108, abriendo la válvula de purga 114, inyectando un gas comprimido adecuado a través del orificio de entrada 114a para soplar cualquier contenido fuera del bucle de reinyección de flujo de salida 102 y finalmente cerrando las válvulas de reinyección de flujo de salida 110 para completar el ciclo de purga. El gas comprimido utilizado para la purga es seleccionado para que no sea reactivo con cualquier producto químico presente en el bucle de reinyección 106. Todo el ciclo de purga es controlado por el ordenador central 34 y ocurre típicamente a la terminación de una secuencia de procesamiento.

#### Procesamiento por lotes

55 El RCP 11 puede utilizarse también como un dispositivo de procesamiento por lotes, en contraste con la versión de flujo continuo descrita anteriormente orientando con preferencia verticalmente un RCP 11 para conseguir la orientación mostrada en 116 en la figura 8, y proporcionando las siguientes modificaciones. En esta configuración, todo el RCP 116 se convierte en el matraz de reacción sellando el fondo del tubo 117 con una placa de fondo cónica 118 para eliminar el material que fluye a través del RCP 116. La placa de fondo 118 tiene con preferencia una configuración cónica poco profunda, con un orificio de salida 119 localizado en su vértice que apunta hacia abajo

para facilitar el drenaje del RCP 116 de procesamiento por lotes. El orificio de salida 119 tiene normalmente una válvula 122, que se muestra esquemáticamente como un cilindro. La junta entre el orificio de salida 119 y la válvula 122 está diseñada con preferencia para reducir al mínimo el volumen para la acumulación de material no reaccionado, y está en el volumen de irradiación 124, para asegurarse de que todos los materiales en el RCP 116 de procesamiento por lotes han reaccionado correctamente. EL RCP 116 de procesamiento por lotes puede drenarse también por aspiración desde su orificio de entrada 121.

Es preferible tener el extremo de entrada del conjunto de tubos inyectores 24 protegidos contra radiación en el fondo del matraz de reacción resultante, como se muestra en la figura 8. El matraz de reacción está configurado para que los reactivos y los productos de reacción no realicen movimientos netos a través del volumen de irradiación a lo largo de un eje. Las vías de entrada 128 y 130 y la vía de salida 129 corresponden a las vías con la misma numeración en la figura 1 y, por lo tanto, la descripción de los componentes asociados con esas vías se encuentra en la descripción anterior de la figura 1.

El RCP 116 incluye una sección de entrada 123, un volumen de irradiación 124, y una sección de salida 125. Uno u otros más reactivos, tales como el reactivo 22a entran a través del conjunto de tubos inyectores 24 en el número de referencia 130.

El RCP 116 de procesamiento por lotes puede estar configurado opcionalmente con un sistema de lavado inferior (no mostrado) para permitir la limpieza de las superficies interiores entre lotes. Esto es particularmente importante si se ejecuta más de un proceso en la misma pieza de equipo.

#### Mejora del almacenamiento de energía del RCP

La figura 9 muestra un Procesador Químico Inductor de Reacción (RCP) 11 mejorado con un condensador acumulador de energía 120 integrado directamente en su estructura. El condensador 120 está previsto para asegurar que el RCP 11 es capaz de obtener una cantidad de energía suficiente en su volumen de irradiación 18 (figuras 1 y 2) en un periodo de tiempo muy corto. Dado que la electricidad viaja a o cerca de la velocidad de la luz, lo que equivale aproximadamente a un pie (30,48 cm) por nanosegundo, y el tiempo disponible para hacer esto es sólo algunos nanosegundos, está claro que el condensador acumulador de energía 120 debería estar próximo a la pistola de electrones de la fuente de rayos-X del RCP 11.

Esta cuestión de suministro de energía muy rápidamente es abordada en el RCP 11 de la figura 2 añadiendo un condensador coaxial a la superficie exterior del cátodo 46, como se muestra en las figuras 2 y 5. La superficie externa del cátodo 46 ofrece un medio de conexión de baja inductancia muy grande para el condensador. Toda la superficie interior del primer arrollamiento del condensador 120 está unida eléctrica, química y mecánicamente para estar en contacto eléctrico íntimo con el cátodo 46. El condensador es enrollado entonces alrededor del cátodo 46 hasta que tiene un diámetro apropiado para proporcionar la capacitancia requerida para almacenar la cantidad deseada de energía.

Debería indicarse que el espacio entre electrodos cátodo – rejilla es un condensador por sí mismo y almacena una cantidad considerable de energía. Una estructura de tres pulgadas (75 mm) de diámetro formada por la yuxtaposición del cátodo 46 y la rejilla 48 almacena aproximadamente 200 picofaradios por pie (30,48 cm). Un dispositivo de dos pies (61 cm) de diámetro almacenaría aproximadamente 1,6 nanofaradios por pie (30,48 cm) si opera a 500.000 voltios y almacenaría aproximadamente 4 kilojulios por pie el espacio entre electrodos cátodo – rejilla. La energía se determina por la ecuación bien conocida:

$$J = CV^2/2$$

#### Protección contra radiación biológica externa

Como será evidente para los técnicos ordinarios en la materia a partir de la presente memoria descriptiva, se puede necesitar una protección adecuada contra radiación biológica externa 56 (figura 2), cuando se practica el método reivindicado. El diseño de tal protección puede seguir prácticas bien establecidas en instalaciones de radiación médicas. Típicamente, se utilizaría una protección de plomo de 0,25 pulgadas (6,35 mm) por 100 KeV, más un factor de seguridad opcional típicamente de 30 por ciento de espesor adicional. Aunque el espesor adicional atribuible al factor de seguridad no es necesario, asegura que el nivel de radiación emitida desde este dispositivo esté siempre sustancialmente por debajo de los límites de radiación de fondo. La geometría del aparato utilizado en la invención es normalmente un diseño largo, de alta relación de aspecto, puesto que tal diseño proporciona atrapamiento máximo de la radiación que emerge generalmente sobre el eje.

Será evidente para un técnico ordinario en la materia que se requiere protección 56 contra radiación biológica alrededor de todo el exterior del RCP 11 (figura 1) para fines de seguridad biológica. No obstante, como se ha descrito anteriormente, varias formas de realización de la presente invención requieren uno o más conjuntos de tubos de inyector 24 protegidos contra radiación para introducir reactivos 22a en el volumen de irradiación 18 (figura 1) para permitir que estos reactivos estén protegidos de irradiación y de las consecuencias negativas resultantes de la ionización prematura.

5 En la práctica general, la protección de la radiación no está limitada al plomo. Se utiliza una amplia gama de materiales como protección contra radiación y se pueden utilizar prácticas estándar con respecto a la selección de materiales de protección. Si se selecciona plomo como material de protección. Para cumplir con varias regulaciones internacionales con respecto al uso de este material, debe encapsularse dentro de un cerramiento impermeable para mantenerlo fuera de contacto con el medio ambiente. Materiales tales como fibra de vidrio y aluminio son materiales adecuados para esta aplicación. Debido a que tales materiales de encapsulación están localizados fuera de la protección, no se deterioran como resultado de la exposición a la radiación. En algunos casos, donde el espacio no es una consideración, se pueden utilizar materiales de protección tales como hormigones y cementos. Esto es muy útil para sistemas muy grandes, como se utilizarían en aplicaciones industriales y municipales.

10 Modo continuo

Aunque se prefiere el modo de operación por pulsos para la fuente de rayos-X del RCP 11, la fuente de rayos-X puede accionarse en el modo continuo modificando el régimen nominal de la carga de la corriente del cátodo. En el modo de pulsos, el cátodo 46 puede ser accionado con carga de corriente de hasta 75.000 Amps/cm<sup>2</sup>. En el modo continuo, la carga de la corriente del cátodo debería estar limitada a no más de aproximadamente 400 Amps/cm<sup>2</sup>. Aquí el término "carga de corriente" se refiere a una carga de corriente máxima práctica del cátodo, más que a la carga máxima teórica del cátodo. Hay que indicar que el mismo sistema puede funcionar en cualquier modo cambiando la corriente de salida de la fuente de alimentación.

Los reactivos pueden asistir en la refrigeración del ánodo 50 del aparato de generación de rayos-X en cualquier modo.

20 El método reivindicado se puede utilizar en muchas aplicaciones, incluyendo, pero no limitadas a:

1. Fabricación de productos químicos
2. Evacuación de residuos del medio ambiente
3. Procesamiento de residuos radioactivos, y
4. Destrucción de armas químicas

25 Una característica única del método reivindicado es su universalidad. Se puede utilizar en combinaciones de sólidos, líquidos, gases y plasmas, virtualmente sin modificaciones. Sólo el equipo, bombas y similares auxiliares de manipulación del material son diferentes y específicos del estado del material a procesar. Estas unidades se pueden fabricar pequeñas, con taladros internos sustancialmente inferiores a 1 pulgada (25,4 mm), por una parte, y sobre 10 pies (3 metros) en el diámetro interior, por otra parte. La construcción de acero inoxidable nominal (aunque se pueden utilizar otros materiales) permite un dispositivo robusto de alta resistencia que es bien adecuado para entornos industriales.

30 La lista siguiente de números de referencia del dibujo se proporciona para conveniencia del lector.

**Lista de números de referencia**

- |     |  |
|-----|--|
| 10. | Sistema  |
| 35  | 11. Procesador Químico de Inducción de la Reacción (RCP) para modo de procesamiento continuo |
|     | 14. Electrones   |
|     | 16. Tubo de entrada  |
|     | 17. Rayos-X  |
|     | 18. Volumen de irradiación   |
| 40  | 20. Reactivo de material prima   |
|     | 22. Otros reactivos 22a & 22b  |
|     | 24. Conjuntos de tubos de inyección 24 & 24a protegidos contra radiación                     |
|     | 25. Taladros roscados interior y exterior 25a y 25b, respectivamente                         |
|     | 26. Insertos de abertura del inyector  |
| 45  | 27. Abertura de suministro de reactivo   |
|     | 28. Sección de entrada   |

- 29. Sección de salida
- 30. Flujómetros 30a-30d
- 31. Espesor de pared
- 32. Válvulas de mezcla 32a y 32b
- 5 33. Caperuza extrema
- 34. Ordenador central
- 36. Líneas de control 36a y 36b
- 37. Aberturas
- 38. Fuente de alimentación de alta tensión
- 10 40. Flujo de salida
- 42. Sensor de productos químicos, tal como espectroscopio o cromatógrafo
- 46. Cátodo
- 48. Rejilla
- 49. Resistencia de polarización
- 15 50. Ánodo; superficie receptora de electrones 50a; superficie emisora de rayos-X 50b
- 52. Cátodo aislado eléctricamente con alimentación de vacío
- 54. Rejilla aislada eléctricamente con alimentación de vacío
- 56. Protección contra radiación biológica
- 58. Carcasa
- 20 60. Tubo interior 60a y tubo exterior 60b
- 61. Material de protección
- 62. Rosca 62a (rosca de pared recta para coincidir con rosca 63a de tubo interior rosca 62b (rosca cónica para coincidir con 63b del tubo exterior)
- 63. Rosca 63a (cónica interior) y rosca 63b (recta exterior)
- 25 64. Ranura
- 66. Caperuzas extremas 66a y 66b
- 70. Caperuza extrema
- 71. Tubos de inyección en espiral
- 72. Pulso de inyección de reactivo
- 30 74. Pulso de rayos-X
- 76. Condensador acumulador de energía
- 100. Sistema
- 102. Bucle de reinyección
- 104. Entrada primaria
- 35 106. Tubo de recirculación
- 108. Válvula de mezcla de reinyección del flujo de salida
- 112. Flujómetro

- 114. Válvula de purga; orificio de entrada de gas comprimido 114a
- 116. Procesador Químico de Inducción de la Reacción (RCP) para modo de procesamiento por lotes
- 117. Tubo
- 118. Placa inferior
- 5 119. Orificio de salida
- 120. Condensador acumulador de energía
- 121 Orificio de entrada
- 122 Válvula
- 123 Sección de entrada
- 10 124 Volumen de irradiación
- 125 Sección de salida
- 126 Tubo de salida
- 127 Catalizador
- 128 Vía de entrada
- 15 129 Vía de salida
- 130 Vía de entrada

20 Aunque la invención se ha descrito con respecto a formas de realización específicas a modo de ilustración, se les ocurrirán muchas modificaciones y cambios a los técnicos en la materia. Tal técnico comprenderá que aunque las reacciones químicas pueden requerir ionización total o parcial de reactivos, cierto porcentaje de lo que se llama aquí reactivo no necesita ser reaccionado, como puede suceder probablemente en el arranque inicial del proceso. Por lo tanto, se comprenderá que las reivindicaciones anexas están destinadas a cubrir todas estas modificaciones y variaciones que caen dentro del alcance de las reivindicaciones.

## REIVINDICACIONES

- 1.- Un método para inducir reacciones químicas utilizando radiación de rayos-X, que comprende:
- (a) generar un volumen de irradiación de rayos-X (18) en el interior de un matraz de reacción (11) introduciendo una radiación de rayos-X en el interior del matraz de reacción (11);
- 5 (b) introducir al menos un reactivo de materia prima (20) en el volumen de irradiación de rayos-X (18);
- (c) introducir al menos un reactivo, distinto que al menos un reactivo de materia prima, en el volumen de irradiación de rayos-X (18) a través de uno o más tubos de inyección (24) protegidos contra rayos-X, que se extienden dentro del volumen de irradiación de rayos-X (18); teniendo cada uno de uno o más tubos de inyección (24) protegidos contra rayos-X una vía principal protegida de rayos-X, que se extiende a lo largo de una mayoría de una longitud del volumen de irradiación de rayos-X y que tiene una pluralidad de aberturas de inyector (26);
- 10 i) cada abertura del inyector (26) se extiende transversalmente hacia fuera desde la vía principal protegida contra rayos-X y se abre en el volumen de irradiación de rayos-X (18) para permitir que dicho al menos un reactivo (22a) llegue hasta el volumen de irradiación de rayos-X;
- ii) incluyendo dicha pluralidad de aberturas del inyector unas aberturas del inyector (26) que están espaciadas a lo largo de dicha vía principal protegida contra rayos-X para una mayoría de la longitud del volumen de irradiación de rayos-X (18); e
- 15 (d) inducir que ocurran reacciones selectivas en dicho volumen de irradiación de rayos-X (18) a través del control de la fluencia y la energía de dicha radiación de rayos-X, para ionizar total o parcialmente, dentro de dicho volumen de irradiación de rayos-X, todo o parte del al menos un reactivo de materia prima (20), el al menos un reactivo distinto que el al menos un reactivo de materia prima (22a) y cualquier reactivo o reactivos intermedios creados posteriormente.
- 20 2.- El método de la reivindicación 1, en el que la generación del volumen de irradiación de rayos-X (18) dentro del interior del matraz de reacción (11) se realiza introduciendo radiación de rayos-X en el interior del matraz de reacción (11) a través de una fuente de rayos-X (46, 48, 50 y 58) de emisión de campo de cátodo frío.
- 25 3.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que dicha inducción para que ocurran reacciones selectivas en dicho volumen de irradiación de rayos-X comprende controlar la fluencia y energía de dicha radiación de rayos-X para ionizar totalmente todo o parte del al menos un reactivo de materia prima (20), el al menos un reactivo (22a) y cualquier reactivo o reactivos intermedios creados posteriormente.
- 30 4.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que dicha inducción para que ocurran reacciones selectivas en dicho volumen de irradiación de rayos-X comprende controlar la fluencia y energía de dicha radiación de rayos-X para ionizar parcialmente todo o parte del al menos un reactivo de materia prima (20), el al menos un reactivo (22a) y cualquier reactivo o reactivos intermedios creados posteriormente.
- 5.- El método de la reivindicación 4, en el que se realiza un producto final resultante con un peso molecular menor que el al menos un reactivo de materia prima (20).
- 35 6.- El método de la reivindicación 4, en el que se realiza un producto final resultante con uno o ambos de una longitud y peso molecular mayores que el reactivo de materia prima (20).
- 7.- El método de la reivindicación 1 ó 2, que comprende, además, controlar la introducción del al menos un reactivo de materia prima (20) y el al menos un reactivo (22a) con el fin de inducir que ocurran reacciones selectivas, en el que dicho control comprende medir en tiempo real los caudales respectivos de introducción de dicho al menos un reactivo de alimentación (20) y el al menos un reactivo (22a) en el volumen de irradiación de rayos-X (18) y ajustar en tiempo real dichos caudales de introducción según sea necesario para conseguir una química del producto final deseado para un producto final resultante.
- 40 8.- El método de la reivindicación 7, en el que dicho control comprende medir el flujo volumétrico de salida que sale del volumen de irradiación de rayos-X (18) e identificar la composición química de dicho producto final y, en respuesta, controlar en tiempo real los caudales respectivos de introducción de dicho al menos un reactivo de realimentación (20) y dicho al menos un reactivo (22a) en el volumen de irradiación de rayos-X (18) para conseguir una química del producto final deseado para el producto final.
- 45 9.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que:
- (a) el matraz de reacción (11) está formado como un tubo que se extiende a lo largo de un eje; y
- 50 (b) dicha generación de un volumen de irradiación de rayos-X (18) se realiza por una fuente de rayos-X, que rodea en círculo una sección de irradiación del tubo y dirige radiación de rayos-X dentro de la sección de irradiación del tubo.

10.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que:

(a) cada tubo inyector (24) protegido contra rayos-X comprende un tubo de pared doble que tiene un tubo interior (60a) rodeado por un tubo exterior (60b) con un material de protección intermedio (61) colocado entre ellos; y

5 (b) la protección contra radiación de rayos-X para el al menos un reactivo (22a) inyectado a través del mismo resulta a partir del material de protección intermedio (61) y cualquier protección proporcionada por cualquiera de los tubos interior y exterior (60a y 60b).

11.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que cada tubo (24) protegido contra rayos-X es un tubo de inyector (24a) de una pared.

12.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que:

10 (a) el matraz de reacción (11) está configurado para operar en un modo de procesamiento continuo;

(b) el volumen de irradiación de rayos-X (18) se extiende a lo largo de un eje;

(c) el al menos un reactivo (22a) introducido en el volumen de irradiación de rayos-X (18) a través de uno o más tubos protegidos contra rayos-X es introducido en una corriente del al menos un reactivo de materia prima (20) que fluye a lo largo de dicho eje en el volumen de radiación de rayos-X.

15 13.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que

(a) el matraz de reacción (11) está configurado para operar en un modo de procesamiento continuo;

20 (b) dicha introducción de al menos un reactivo de materia prima (20) comprende introducir al menos un reactivo de materia prima (20) en el volumen de irradiación de rayos-X (18) desde una localización curso arriba del volumen de radiación de rayos-X (18) para formar una corriente del al menos un reactivo de materia prima (20) que fluye a través del matraz de reacción (11); y

25 (c) dicha introducción de al menos un reactivo (22a) a través de uno o más tubos de inyector (24) protegidos contra rayos-X se realiza a través de inyección por pulsos (72) del al menos un reactivo (22a) en dicha corriente curso arriba del al menos un reactivo de materia prima (20) curso arriba del volumen de irradiación de rayos-X (18), de tal manera que se provoca cierto nivel de entremezcla con dicho al menos un reactivo de materia prima (20) curso arriba del volumen de irradiación de rayos-X (18);

(d) siendo suministrada dicha radiación de rayos-X en pulsos (74) intercalados con pulsos de dicha inyección por pulsos (72).

14.- El método de la reivindicación 13, en el que dichos pulsos (74) de radiación de rayos-X no solapan dichos pulsos de dicha inyección por pulsos (72) de dicho al menos un reactivo (22a).

30 15.- El método de la reivindicación 13, en el que dichos uno o más tubos inyectores (24) protegidos contra rayos-X están configurados de una manera en espiral (71) a lo largo de una dirección a través del volumen de irradiación de rayos-X (18) para mejorar la entremezcla del al menos un reactivo (22a) con el al menos un reactivo de materia prima (20).

35 16.- El método de la reivindicación 13, en el que dicha introducción de al menos un reactivo de materia prima (20) comprende mezclar continuamente una pluralidad de reactivos del al menos un reactivo de materia prima (20) sustancialmente antes de ser introducidos en el volumen de irradiación de rayos-X (18).

17.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que dicha introducción de al menos un reactivo de materia prima (20) comprende mezclar continuamente una pluralidad de reactivos del al menos un reactivo de materia prima (20) sustancialmente antes de ser introducidos en el volumen de irradiación de rayos-X (18).

40 18.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que:

(a) el matraz de reacción (11) está configurado para operar en un modo de procesamiento continuo; y

(b) una porción de un flujo de salida desde el volumen de irradiación de rayos-X (18) es inyectada en una entrada del volumen de irradiación de rayos-X (18).

45 19.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que dicha radiación de rayos-X está en un rango desde 1,8 voltios de electrones hasta 1,2 millones de voltios de electrones.

20.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que:

a) dicha generación de un volumen de irradiación de rayos-X (18) se realiza por una fuente de rayos-X; y

b) dicha fuente de rayos-X es por impulsos.

21.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que: cada uno del al menos un reactivo (20) y el al menos un reactivo (22a) consta de gas, líquido, sólido como polvo, plasma o combinaciones de ellos.

5 22.- El método de la reivindicación 8, en el que la medición del flujo volumétrico de salida incluye determinar si se han formado subproductos indeseables.

23.- El método de la reivindicación 22, en el que la determinación utiliza un sensor químico (42).

10 24.- Un sistema que comprende una combinación de un matraz de reacción (11) que tiene un volumen de irradiación de rayos-X (18) para recibir al menos un reactivo de materia prima (20) y un tubo inyector (24) protegido contra rayos-X que se extiende dentro del volumen de irradiación de rayos-X (18) para introducir al menos un reactivo (22a), distinto al reactivo de materia prima, en el volumen de irradiación de rayos-X (18), en el que el tubo inyector (24) protegido contra rayos-X tiene una vía principal protegida contra rayos-X que se extiende a lo largo de una mayoría de una longitud del volumen de irradiación de rayos-X (18) y que tiene una pluralidad de aberturas de inyector (26); extendiéndose cada abertura de inyector (26) transversalmente hacia fuera de la vía principal protegida contra rayos-X, y se abre en el volumen de irradiación de rayos-X (18) para permitir que dicho al menos un reactivo (22a) llegue hasta el volumen de irradiación de rayos-X (18) e incluyendo dicha pluralidad de aberturas de inyector unas aberturas de inyector que están espaciadas a lo largo de dicha vía principal protegida contra rayos-X para una mayoría de la longitud del volumen de irradiación de rayos-X.

20 25.- El sistema de la reivindicación 32, en el que cada inserto de abertura de inyector (26) respectivo está sellado incluyendo una rosca macho exterior (62b) para coincidir con una rosca hembra exterior (63b) en un taladro roscado (25b) del tubo exterior y una rosca macho interior (62a) para coincidir con una rosca hembra interior (63a) en un taladro roscado (25a) del tubo interior.

26.- El sistema de la reivindicación 25, en el que:

(a) la rosca macho interior (62a) es de pared recta para coincidir, respectivamente, con la rosca hembra interior (63a), que es cónica; y

25 (b) la rosca macho exterior (62b) es cónica para coincidir, respectivamente, con la rosca hembra exterior (63b), que es de pared recta.

27.- El sistema de la reivindicación 32, en el que la protección contra radiación de rayos-X, para el al menos un reactivo (22a), resulta a partir del material de protección intermedio (61) y cualquier protección proporcionada por cualquiera de los tubos interior (60a) y exterior (60b).

30 28.- El sistema de la reivindicación 32, en el que cada uno de los tubos interior (60a) y exterior (60b) incluye una caperuza extrema sellada (66a, 66b) para aislar el material de protección intermedio (61) del al menos un reactivo (22a) introducido en el tubo inyector (24) protegido contra rayos-X.

35 29.- El sistema de la reivindicación 24, en el que el tubo inyector (24) protegido contra rayos-X, después de penetrar a través de una pared lateral del matraz de reacción (11), es instalado sobre el matraz de reacción (11) utilizando un proceso de soldadura continua y entonces es instalado posteriormente sobre una pared interior del matraz de reacción (11) utilizando soldadura por puntos.

30.- El sistema de la reivindicación 24, en el que el tubo inyector (24) protegido contra rayos-X es de una configuración recta.

40 31.- El sistema de la reivindicación 24, en el que el tubo inyector (24) protegido contra rayos-X es de una configuración en espiral (71).

32.- El sistema de la reivindicación 24, en el que la vía protegida contra rayos-X incluye:

a) un tubo interior (60a);

b) un tubo exterior (60b) que rodea el tubo interior (60a); y

45 c) un material de protección intermedio (61) contenido en un volumen entre el tubo interior (60a) y el tubo exterior (60b); y

d) cada una de las aberturas de inyector (26) comprende un inserto de abertura de inyector (26) respectiva conectada con efecto de sellado entre tubos interior (60a) y exterior (60b).

33.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que:

a) el matraz de reacción (11) está configurado para operar en un modo de procesamiento por lotes; y

b) el matraz de reacción (11) tiene una entrada (121) de matraz de reacción para recibir dicho al menos un reactivo de materia prima (20) y una salida (126) de matraz de reacción, dispuesta a una altura menor que la entrada (121) de matraz de reacción, para retirar el contenido del matraz de reacción (11).

34.- El método de la reivindicación 33, en el que:

5 a) cada uno de los tubos de inyector (24) protegido contra rayos-X tiene un extremo de entrada (130) del tubo inyector en el fondo del matraz de reacción (11); y

b) cada uno de uno o más tubos inyector (24) protegidos contra radiación se extiende desde extremo de entrada (130) del tubo inyector y a través del volumen de irradiación de rayos-X (18) hacia la entrada (121) del matraz de reacción.

10 35.- El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que cada uno de una pluralidad de uno o más tubos inyector (24) protegidos contra rayos-Y está dispuesto simétricamente alrededor de un eje longitudinal del matraz de reacción (11).

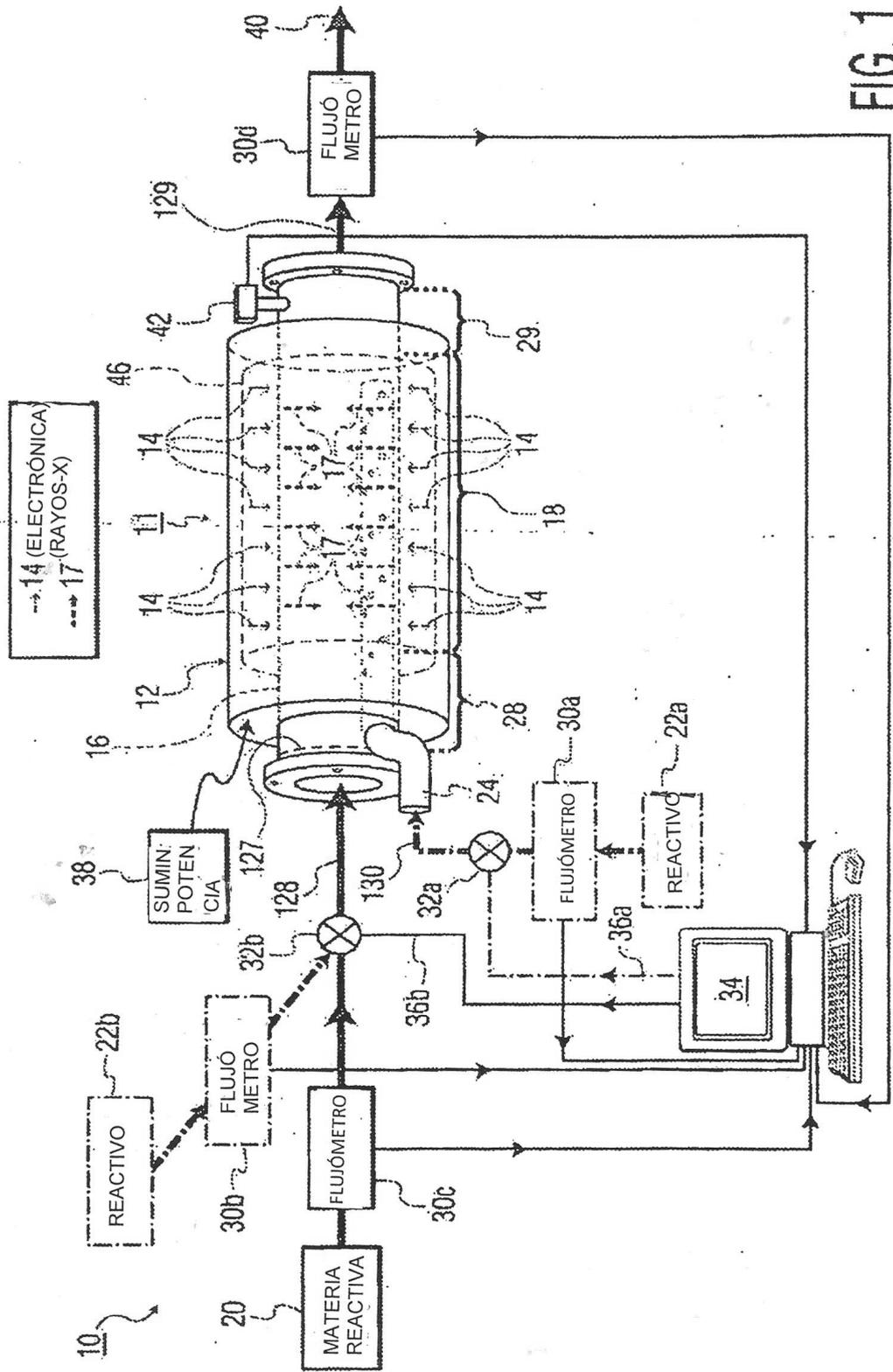


FIG. 1

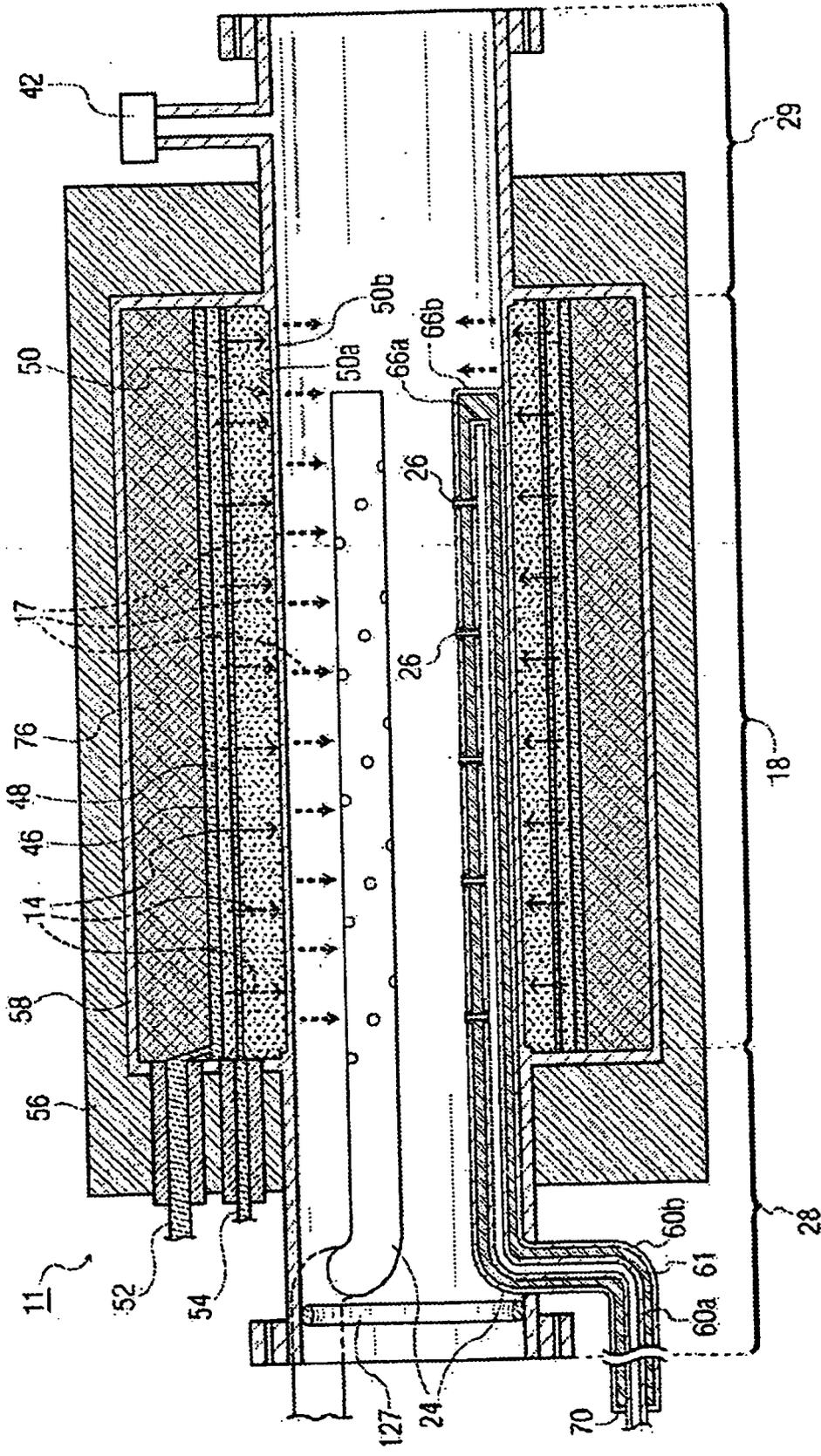


FIG. 2

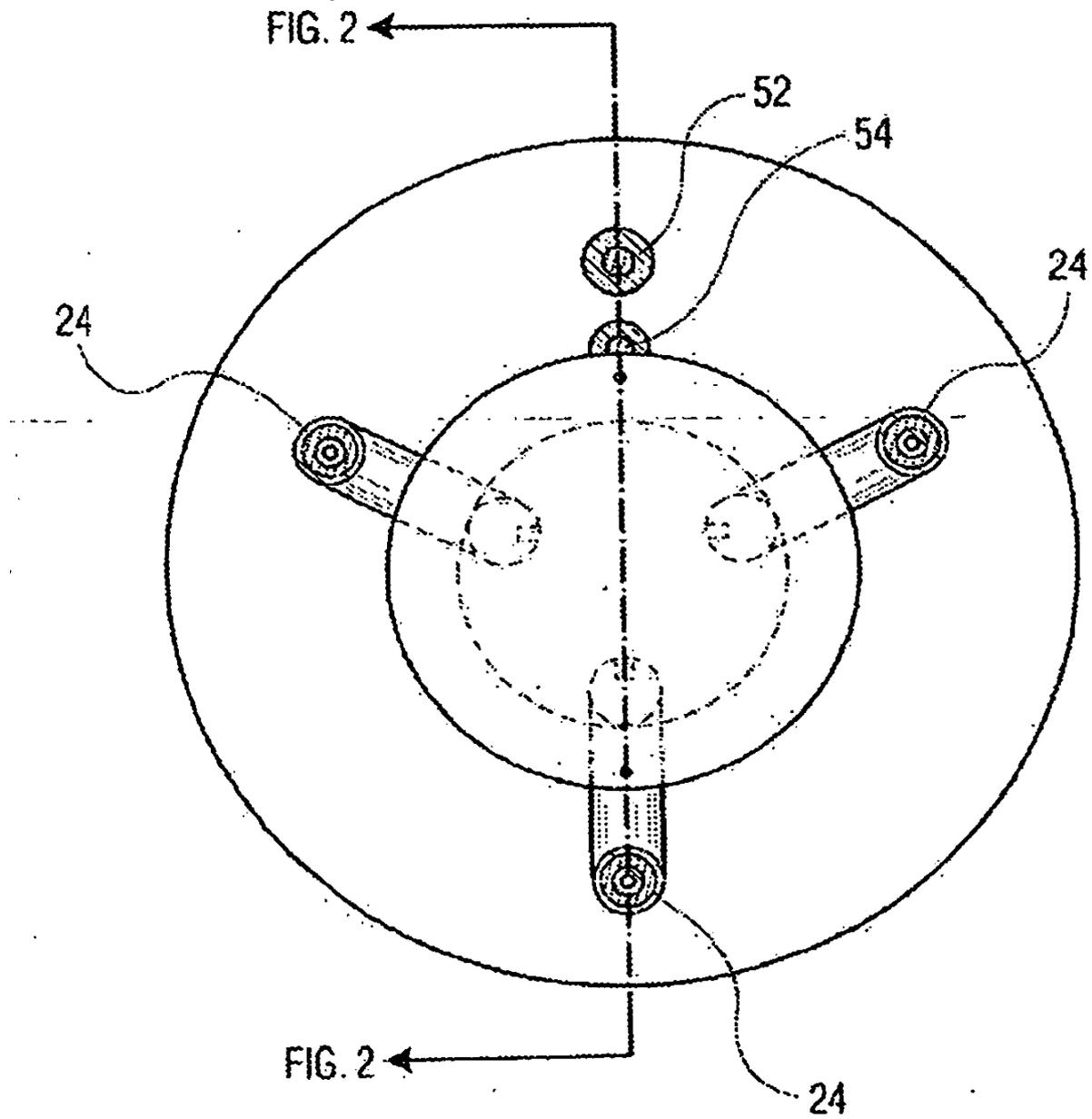


FIG. 3

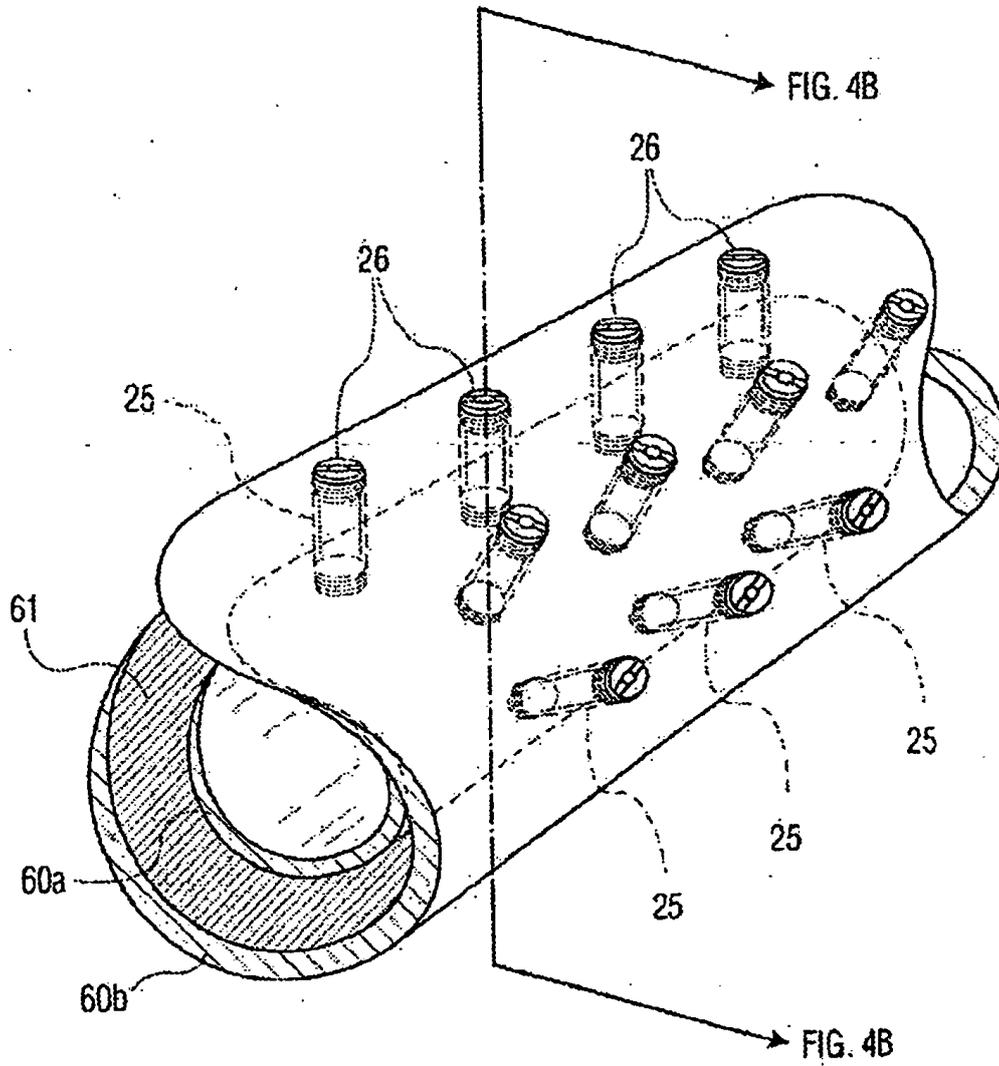


FIG. 4A

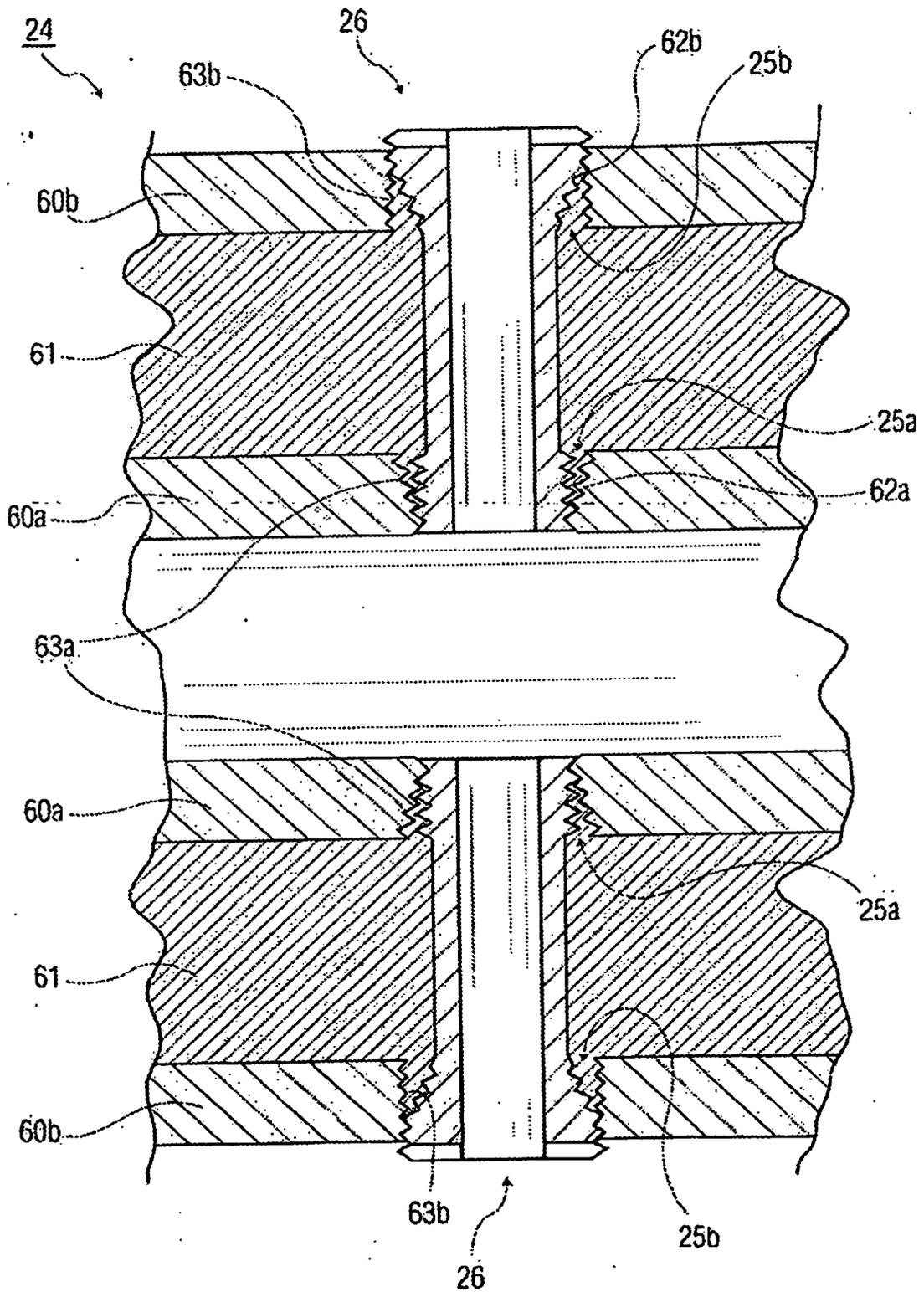


FIG. 4B

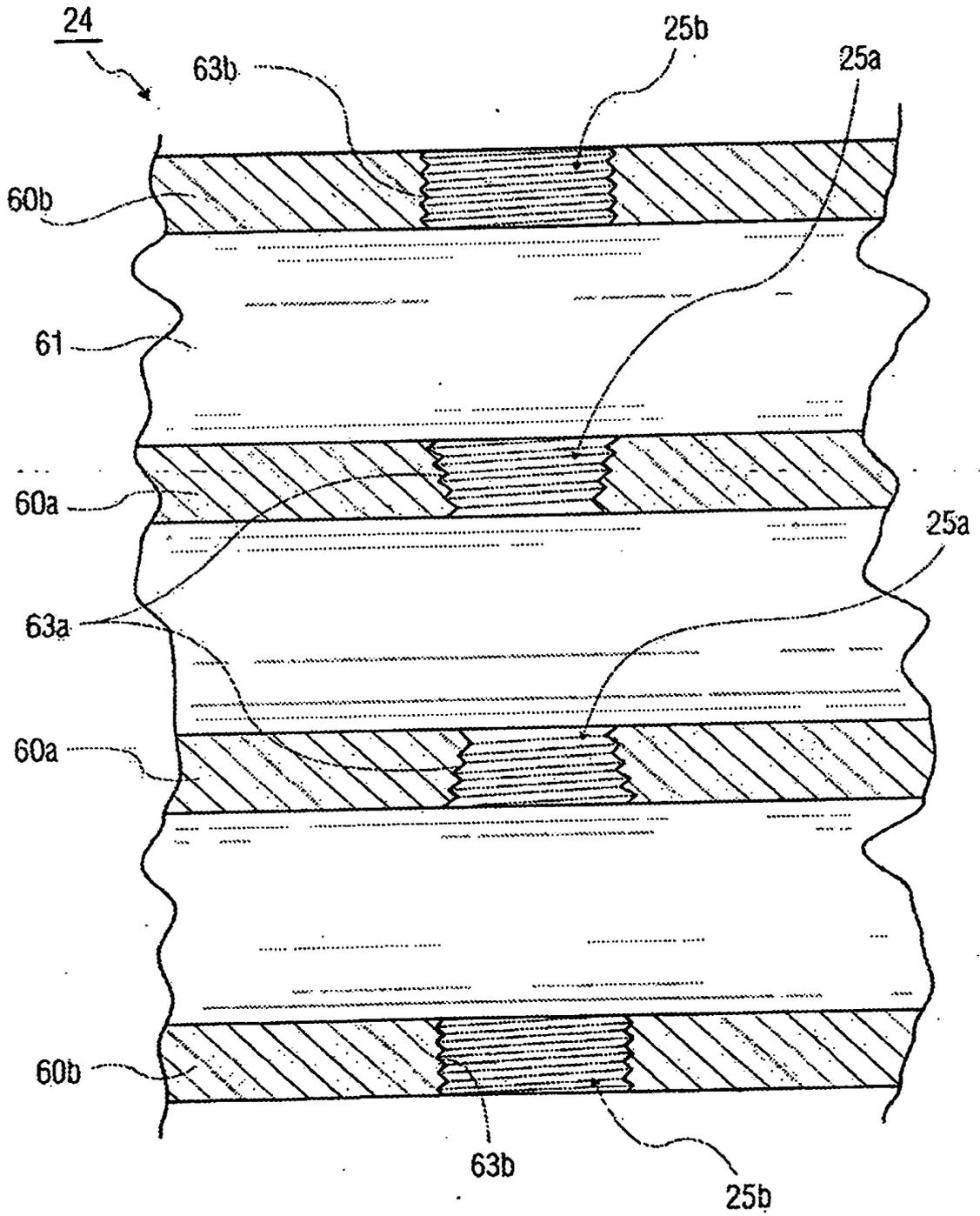


FIG. 4C

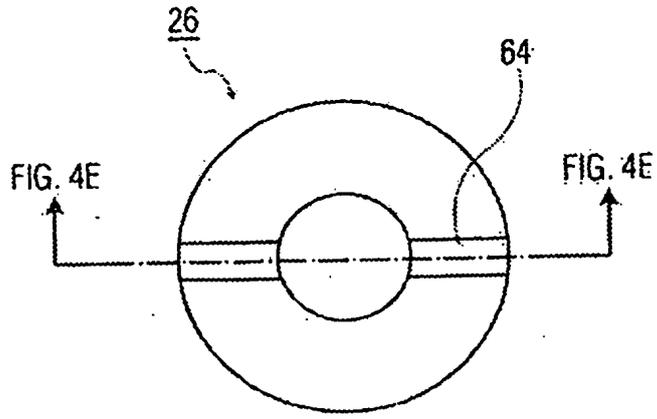


FIG. 4D

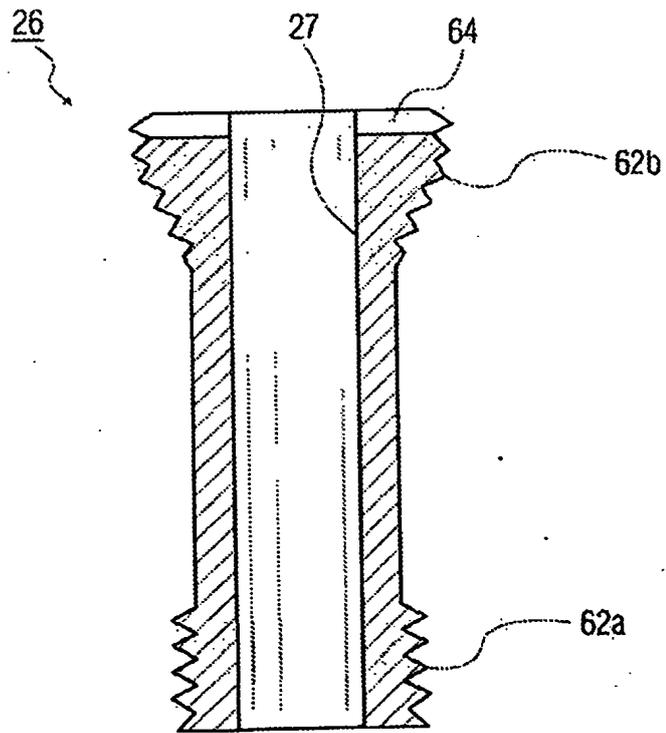


FIG. 4E

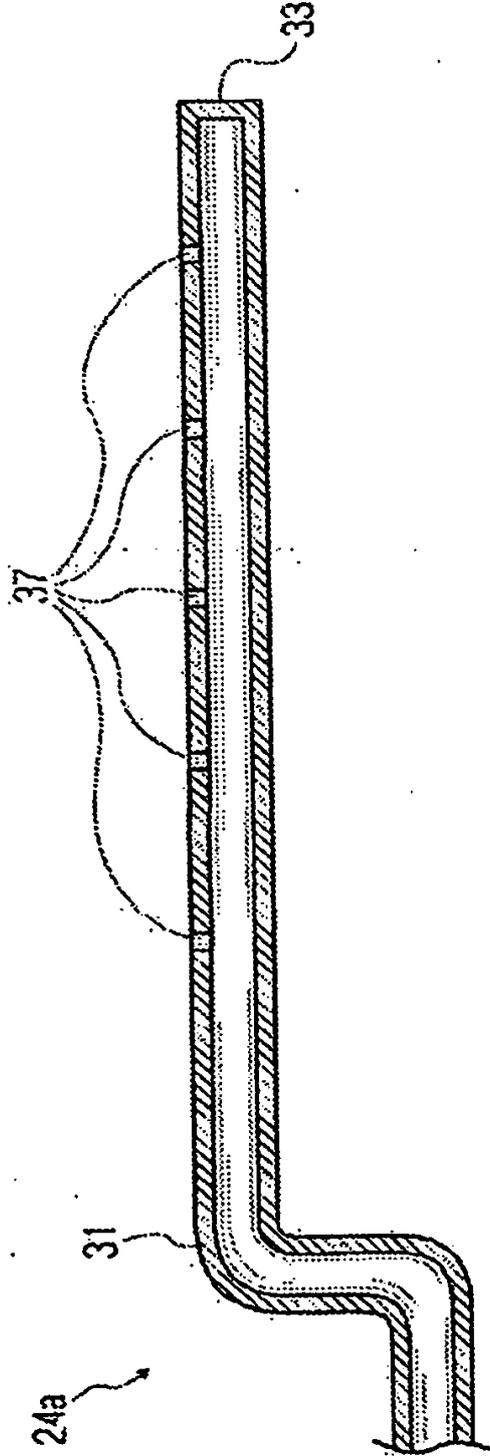


FIG. 4F

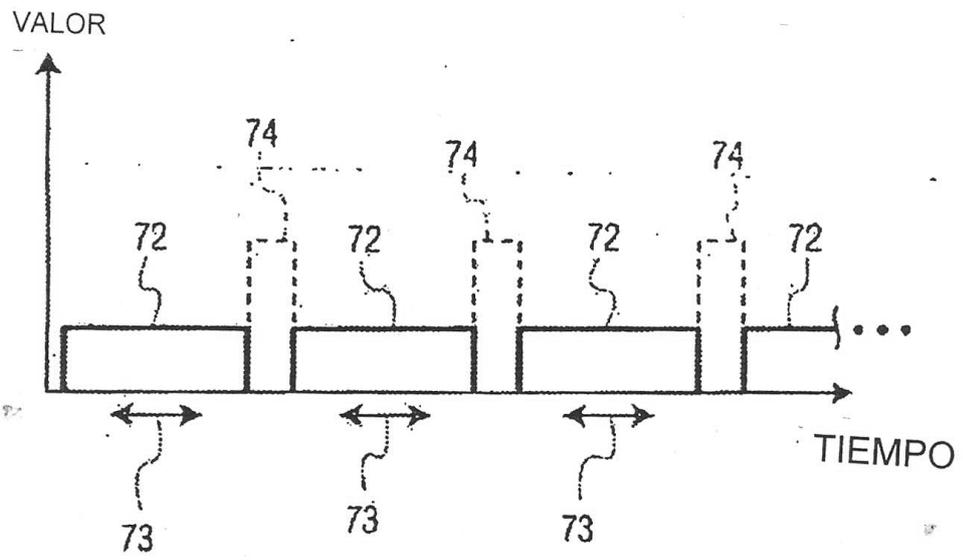


FIG. 5

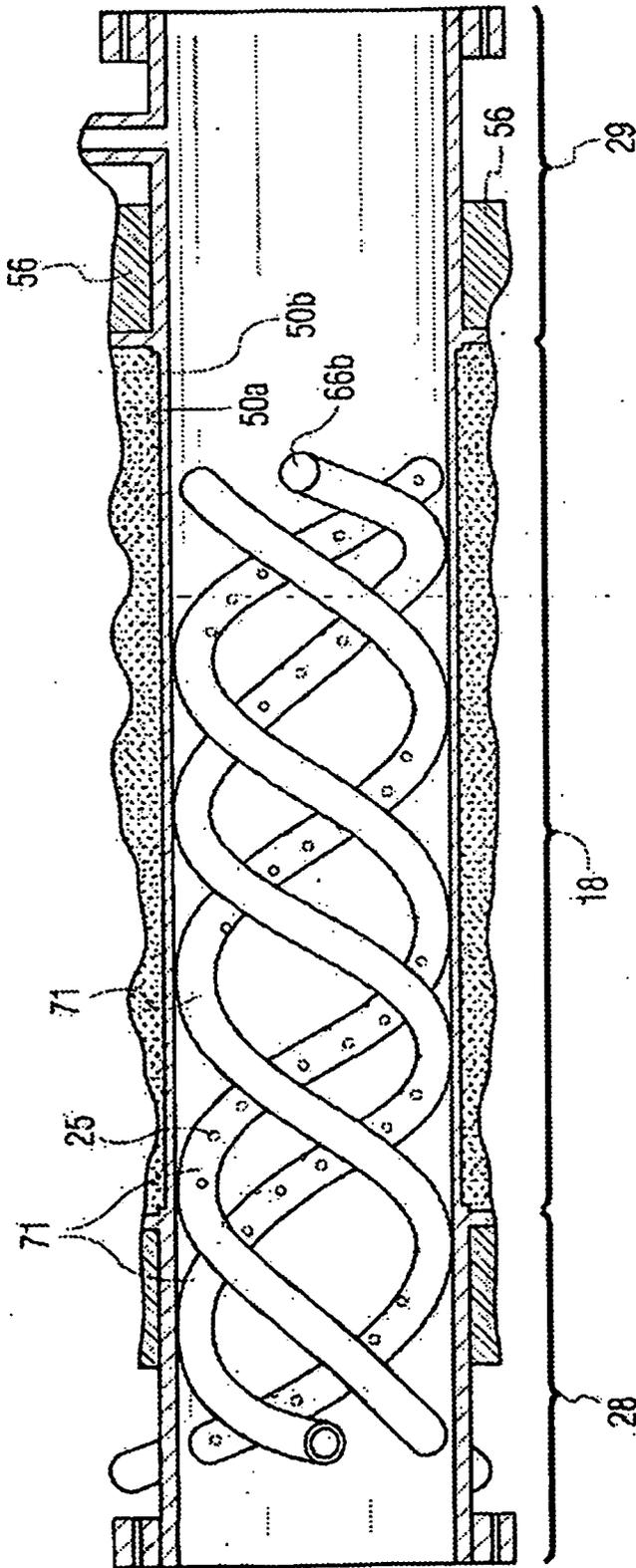


FIG. 6

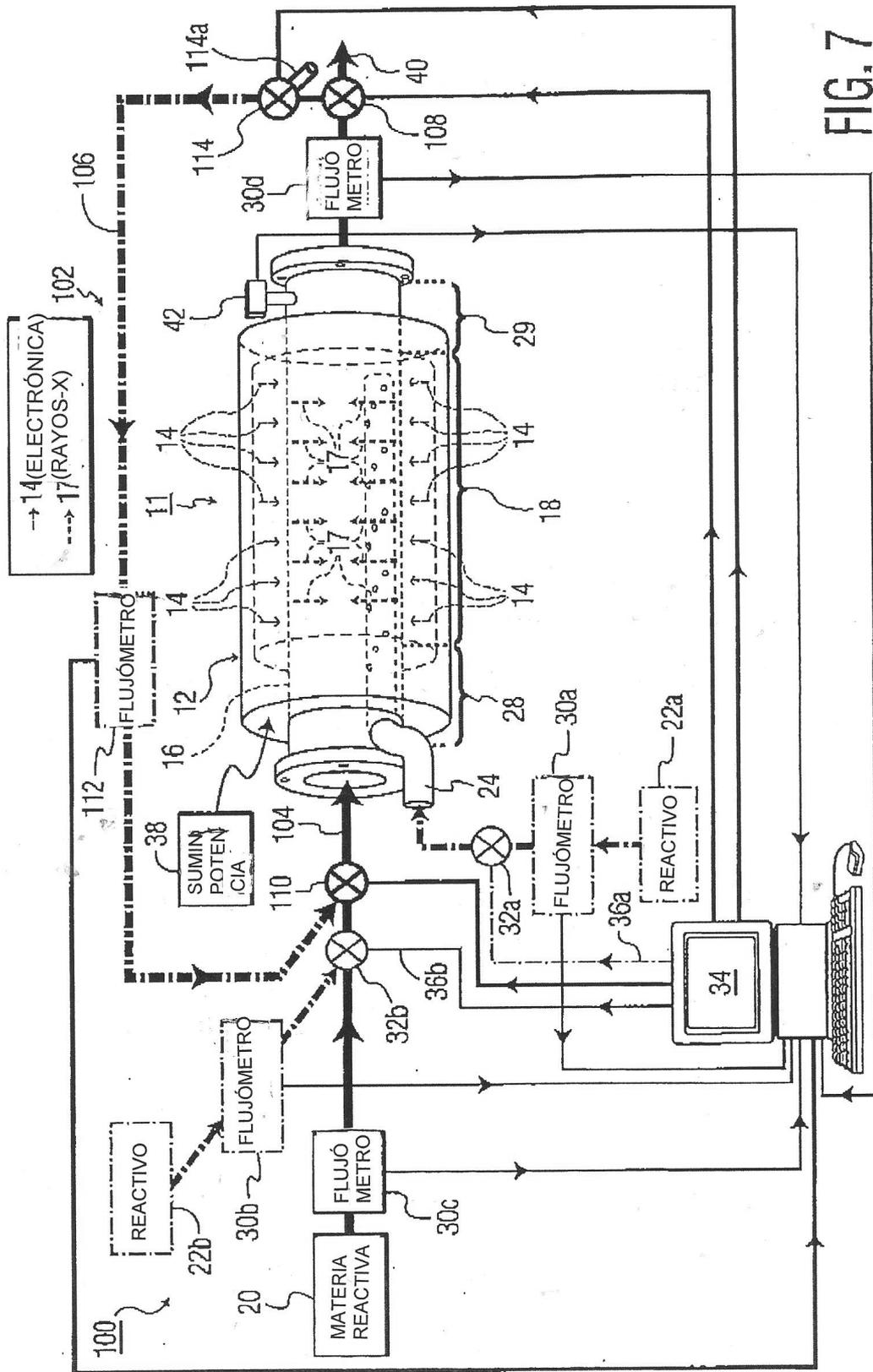


FIG. 7

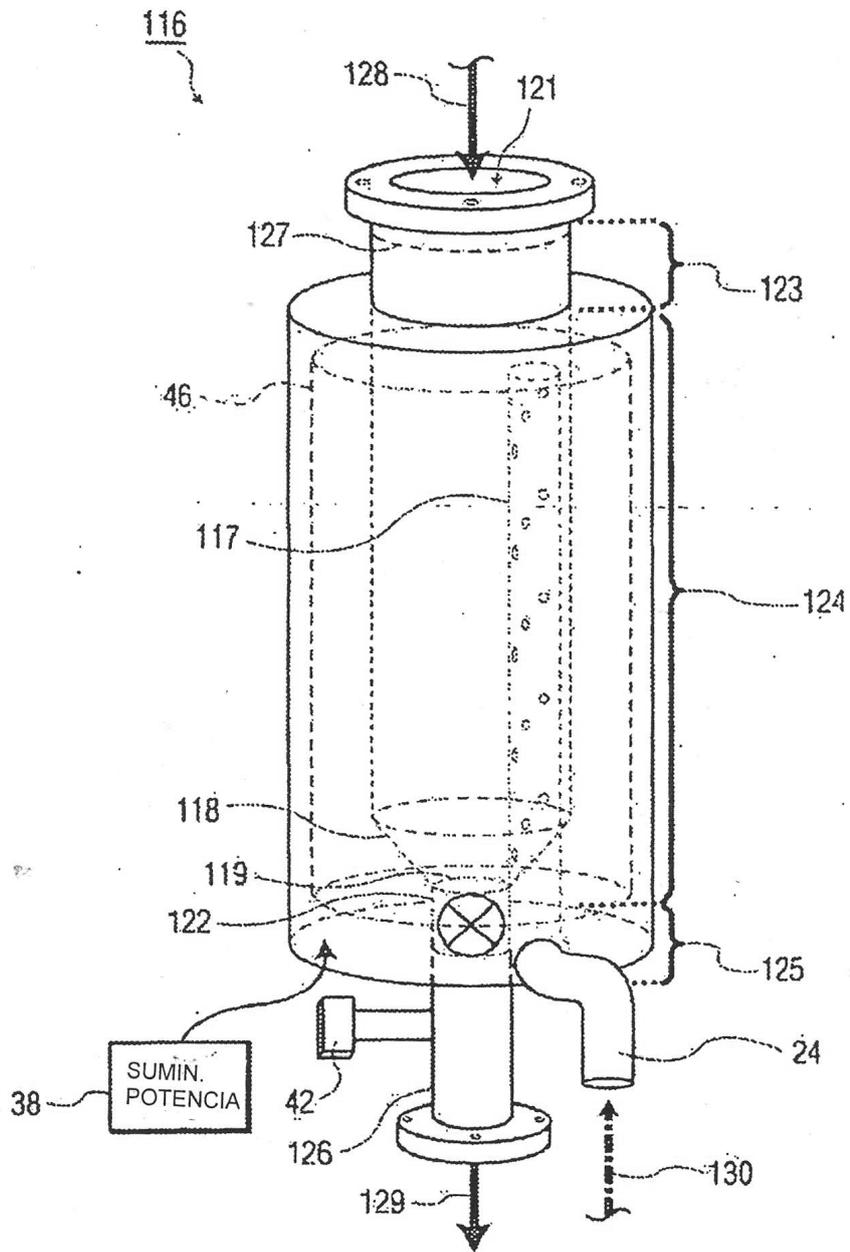


FIG. 8

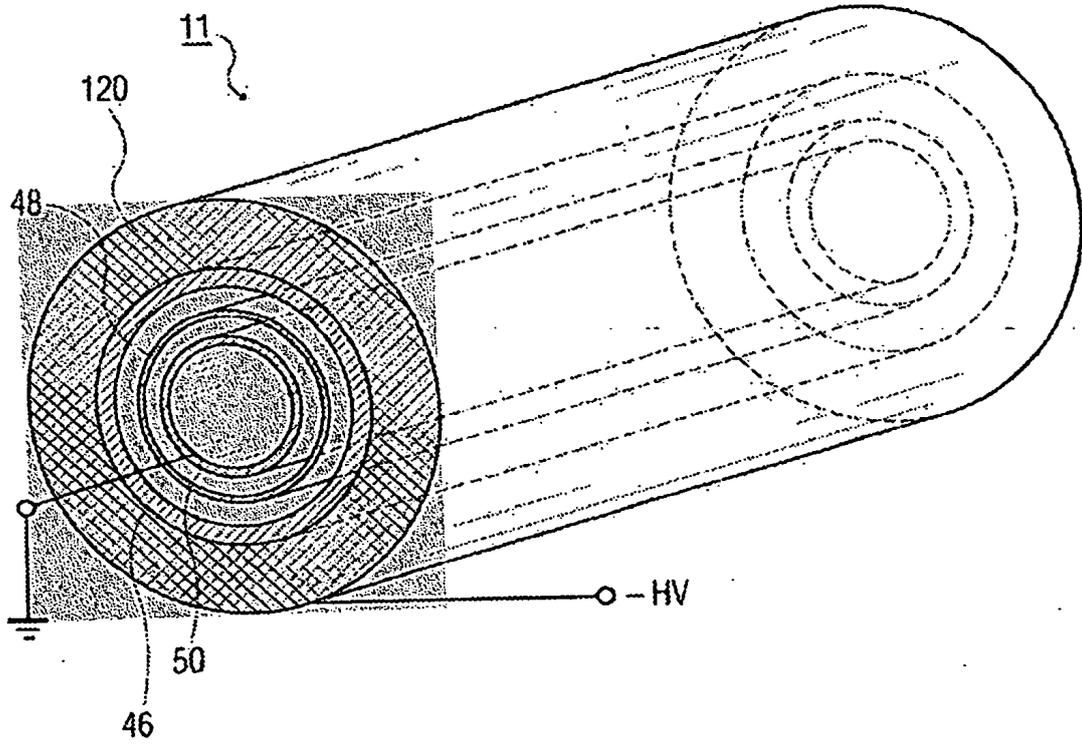


FIG. 9