

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 594 360**

51 Int. Cl.:

A23L 3/26 (2006.01)

A23C 3/07 (2006.01)

C02F 1/30 (2006.01)

C12H 1/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.02.2006 PCT/US2006/004360**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.08.2006 WO06086427**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2006 E 06734545 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2016 EP 1868456**

54 Título: **Aparato y método para irradiar productos alimenticios fluidos**

30 Prioridad:

10.02.2005 US 651796 P

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

19.12.2016

73 Titular/es:

**NESTEC S.A. (100.0%)
Avenue Nestlé 55, Room B-2 16
1800 Vevey, CH**

72 Inventor/es:

**PATEL, SHEKHAR y
KIELY, JOSEPH**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 594 360 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

Aparato y método para irradiar productos alimenticios fluidos

5 **ÁMBITO DE LA PRESENTE INVENCIÓN**

La presente invención se refiere en general al campo de la irradiación de productos alimenticios y concretamente al terreno de la irradiación de productos alimenticios fluidos, para rebajar los niveles de contaminantes biológicos o patógenos.

10

ANTECEDENTES DE LA PRESENTE INVENCIÓN

Muchos de los productos alimenticios que se elaboran para el consumo humano y/o animal contienen contaminantes biológicos o agentes patógenos indeseados y potencialmente peligrosos como, por ejemplo, microorganismos, virus, bacterias (incluyendo las bacterias inter- e intracelulares tales como micoplasmas, ureaplasmas, nanobacterias, clamidias, rickettsias), levaduras, mohos, hongos, priones o agentes similares. Por consiguiente es sumamente importante inactivar estos contaminantes biológicos o agentes patógenos antes de consumir el producto alimenticio. Ello es especialmente crítico cuando el material debe administrarse a un niño o a un paciente que tenga un trastorno de deficiencia inmunitaria o un estado inmunológico debilitado.

15

20

Dos tecnologías empleadas actualmente para rebajar los niveles de contaminantes biológicos o patógenos en los productos alimenticios en polvo son: (1) exposición de los productos alimenticios a agentes químicos en forma gaseosa e (2) irradiación de los productos alimenticios. Se ha visto que el tratamiento de los productos alimenticios con agentes químicos gaseosos puede perjudicar la calidad final del producto y en algunos casos incluso puede contaminar el producto alimenticio. Como resultado, la industria se ha centrado ahora en el proceso de irradiación de los productos alimenticios, a fin de rebajar los niveles de contaminantes biológicos o patógenos.

25

La tecnología de irradiación para esterilizar alimentos ha sido científicamente experimentada durante muchos años y existe desde la década de 1940. La creciente preocupación por la seguridad alimentaria y la esterilización médica efectiva han motivado recientemente que el gobierno ampliara la autorización reglamentaria de la tecnología de irradiación para procesar alimentos. Como la irradiación ha resultado ser un medio eficaz para reducir la población de contaminantes biológicos nocivos y/o de agentes patógenos, los organismos reguladores del gobierno de los Estados Unidos han aprobado el tratamiento de varios alimentos por irradiación.

30

35

Las tres fuentes de radiación ionizante autorizadas para procesar alimentos por irradiación son: (1) los rayos gamma (formados típicamente por radioisótopos de cobalto o cesio), (2) los rayos X y (3) los rayos de electrones acelerados (es decir la radiación electrónica). Por lo que respecta a los rayos X y a los rayos de electrones, el gobierno de U.S. ha ordenado la implantación de unos máximos de energía admisibles para la irradiación de alimentos. Manteniendo la energía a los niveles máximos autorizados o por debajo de ellos se puede conseguir la irradiación efectiva del producto alimenticio sin que los materiales circundantes se vuelvan radiactivos y sin destruir las características o propiedades beneficiosas de los productos alimenticios. Los valores máximos admisibles de energía establecidos actualmente para los rayos X y los rayos de electrones son respectivamente de 5 millones de electrón-voltios (MeV) y 10 MeV.

40

45

Aunque el empleo de fuentes de radiación gamma para irradiar alimentos es sencillo y eficaz, también resulta caro y peligroso en cuanto al manejo, transporte, almacenamiento y uso. Comparativamente la irradiación con rayos de electrones y rayos X requiere un equipo y un blindaje bastante menores, se puede llevar muy cerca de las líneas de producción y se puede conectar y desconectar cuando sea necesario. Por estas razones la irradiación con rayos de electrones y rayos X han llegado a ser las tecnologías preferidas para irradiar productos alimenticios.

50

La radiación ionizante producida por la radiación electrónica está en forma de electrones. En el caso de los rayos X la radiación ionizante es producida típicamente por fotones. Como no tienen masa, los fotones producidos por las fuentes de rayos X pueden penetrar profundamente en los materiales. En cambio, como los electrones tienen una pequeña masa, su profundidad de penetración durante el tratamiento con radiación electrónica es más limitada.

55

Los sistemas existentes de irradiación con rayos de electrones y rayos X utilizan aceleradores de electrones a fin de emitir directamente electrones a gran velocidad para la irradiación o bien para que los electrones de gran velocidad choquen con placa metálica de conversión y como resultado emitan rayos X. Durante las pasadas décadas se han desarrollado varias técnicas de aceleración electrones, incluyendo la aceleración electrostática, los aceleradores cilíndricos bombeados por vacío y aceleradores lineales.

60

Durante la pasada década se hicieron grandes esfuerzos para desarrollar sistemas y métodos que permitieran la irradiación segura y efectiva de productos alimenticios en un ámbito industrial. No obstante, en el terreno

65

industrial hay varios objetivos contrapuestos, tales como: (1) maximizar el rendimiento del producto alimenticio, (2) garantizar unos niveles efectivos y seguros de irradiación del producto alimenticio, (3) minimizar los costes relacionados con el proceso de irradiación y (4) proteger al personal de la exposición a la radiación.

5 Para proteger al personal de la exposición a la radiación, los alimentos suelen irradiarse en una zona cerrada que contenga eficazmente la radiación. Los sistemas existentes logran este objetivo con la incorporación de dispositivos automatizados para pasar el producto alimenticio por la fuente de radiación, eliminando así la intervención humana directa y los correspondientes tiempos de parada y puesta en marcha. Por lo tanto la aplicación a gran escala de la irradiación de los alimentos requiere un aparato y un método para pasar grandes cantidades de producto alimenticio por la fuente de radiación, sin intervención humana directa y de manera continua.

15 Para procesar industrialmente productos alimenticios se han desarrollado varios sistemas de irradiación. En las patentes U.S. nº 6,653,641 (Lyons y otros), U.S. nº 6,096,379 (Eckhoff), U.S. nº 5,008,550 (Barrett), en la publicación de solicitud de patente U.S. nº 2002/0162971 (Koeneck y otros) y en la publicación de solicitud de patente alemana nº 1951633 (Rouault) se revelan ejemplos de tales sistemas. Sin embargo los sistemas de irradiación de productos alimenticios existentes en la actualidad tienen varios inconvenientes, sobre todo cuando se utilizan para procesar ciertos productos fluidos.

20 Los sistemas de tratamiento por irradiación mediante cintas transportadoras no son adecuados para procesar ciertos productos fluidos, tales como líquidos o gases, o no son eficientes para exponer el producto alimenticio fluido a unas dosis suficientes y/o consistentes de radiación, debido al movimiento del producto alimenticio fluido sobre la cinta transportadora. Cuando se introducen productos alimenticios fluidos, tales como materiales en polvo y granulados, en sistemas de tratamiento por irradiación equipados con cintas transportadoras, los cambios de velocidad y/o de dirección de la cinta transportadora tienden a desplazar el producto alimenticio fluido y a consecuencia de ello el producto presenta una profundidad variable durante su exposición a la radiación. Las variaciones de profundidad del producto alimenticio fluido afectan a la dosis real de radiación que recibe una cantidad del producto, especialmente durante el tratamiento con rayos de electrones, cuya profundidad de penetración es limitada. Por ejemplo, cuando aumenta la profundidad del producto alimenticio fluido la radiación no puede penetrar en él e irradiar suficientemente el producto alimenticio fluido que lleva la cinta transportadora. Por consiguiente puede ser necesario someter el mismo producto alimenticio numerosas veces a la energía radiante, lo cual afecta negativamente al rendimiento de producto.

35 Los sistemas actuales de tratamiento por irradiación compensan las variaciones de la dosis real de radiación que recibe el producto alimenticio fluido, aplicando la energía radiante a mayor potencia o a niveles de dosificación superiores para asegurar que la totalidad del producto alimenticio fluido reciba realmente una dosis suficiente de radiación. Esta mayor potencia o estos niveles de dosificación superiores tienen habitualmente una magnitud 2-5 veces mayor que una potencia o nivel de dosificación indicada para aportar teóricamente al producto fluido la dosis suficiente de energía radiante. Dicho de otra manera, la energía radiante se aplica a una potencia o dosis prescrita, teóricamente suficiente, multiplicada por un factor de seguridad de 2-5. Los mayores niveles de potencia y dosificación producen un incremento del consumo de energía, mayores costes de proceso y en algunos casos el calentamiento indeseado del producto alimenticio.

45 Otra desventaja de los sistemas actuales de tratamiento por irradiación es que suelen usarse cámaras de irradiación de forma lineal. Sin embargo las fuentes típicas de radiación producen la energía siguiendo patrones radiantes. Por lo tanto, cuando el producto alimenticio atraviesa estas cámaras de irradiación, la energía radiante solo incide perpendicularmente en el producto alimenticio durante un corto periodo de tiempo; debido a ello la transferencia de energía radiante al producto es inferior a la óptima y se usa más potencia para exponerlo a una dosis suficiente de radiación.

50 RESUMEN DE LA PRESENTE INVENCION

Por consiguiente es un objetivo de la presente invención ofrecer un aparato, un sistema y un método para irradiar productos alimenticios fluidos.

55 Otro objetivo de la presente invención es el de ofrecer un aparato, un sistema y un método para irradiar productos alimenticios fluidos que incrementen el rendimiento.

60 Otro objetivo de la presente invención es el de ofrecer un aparato, un sistema y un método para irradiar productos alimenticios fluidos que expongan de manera fiable el producto alimenticio fluido a, por lo menos, una dosis de radiación deseada.

Otro objetivo más de la presente invención es el de proporcionar un aparato, un sistema y un método para irradiar productos alimenticios fluidos que reduzcan el consumo de energía manteniendo el rendimiento.

65

Otro objetivo más de la presente invención es el de proporcionar un aparato, un sistema y un método para irradiar productos alimenticios fluidos que requiera un menor factor de seguridad para asegurar que un producto alimenticio fluido siga recibiendo una dosis de radiación deseada.

5 La presente invención incluye aparatos y métodos, como los definidos en las reivindicaciones, que pueden cumplir estos y otros objetivos. En un aspecto, la presente invención ofrece un aparato para irradiar productos alimenticios fluidos que consta de:

10 una fuente de radiación (30);
 una primera pared (21, 21A, 21B, 21C) que tiene una superficie convexa y transmite la energía producida por la fuente de radiación (30);
 una segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) que tiene una superficie cóncava opuesta a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para el flujo del producto que tiene una profundidad sustancialmente constante entre ellas;
 15 una entrada que forma una vía de paso hacia el interior de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
 una salida que forma una vía de paso hacia el exterior de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto; y
 un sensor (80, 80A) en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto para medir una característica de la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30);
 20

en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) está situada entre la fuente de radiación (30) y la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, de tal manera que cuando la fuente de radiación (30) emite energía radiante ésta atraviesa la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) y pasa a la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y en el cual la fuente de radiación (30) se elige del grupo formado por una fuente de rayos de electrones, una fuente de rayos gamma y una fuente de rayos X;
 25 y de medios para ajustar la profundidad sustancialmente constante de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto.

30 En otro aspecto más la presente invención ofrece unos métodos de irradiación de productos alimenticios fluidos que consisten en:

35 disponer de un aparato que consta de una fuente de radiación (30), de una primera pared (21, 21A, 21B, 21C) que tiene una superficie convexa, de una segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) que tiene una superficie opuesta a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para que el producto fluya entre ellas, y de un sensor (80, 80A) en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto para medir una característica de la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), en el cual la superficie de la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) se opone a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para que el producto fluya entre ellas, en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) transmite la energía producida por la fuente de radiación (30) y está situada entre la fuente de radiación (30) y la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
 40 introducir un producto alimenticio fluido en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto a través de una entrada a la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
 45 hacer circular el producto alimenticio fluido a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y exponer el producto alimenticio fluido a la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), de modo que la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30) atraviese la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) hacia la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto y entre en contacto con el producto alimenticio fluido que se mueve a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
 50

en el cual la fuente de radiación (30) se elige del grupo formado por una fuente de rayos de electrones, una fuente de rayos gamma y una fuente de rayos X.

55 En otro aspecto la presente invención ofrece métodos de irradiación de productos alimenticios fluidos que consisten en:

60 disponer de un aparato que consta de una fuente de radiación (30), de una primera pared (21, 21A, 21B, 21C) que tiene una superficie convexa y de una segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) que tiene una superficie opuesta a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para que el producto fluya entre ellas, y de un sensor (80, 80A) en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto para medir una característica de la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) transmite la energía producida por la fuente de radiación (30) y está situada sobre una cara de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) opuesta a la superficie convexa;
 65 hacer circular un producto alimenticio fluido sobre la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C); y

exponer el producto alimenticio fluido a la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), la cual atraviesa la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) y entra en contacto con el producto alimenticio fluido;

en el cual la fuente de radiación (30) se elige del grupo formado por una fuente de rayos de electrones, una fuente de rayos gamma y una fuente de rayos X.

Aquí también se describen métodos de irradiación de productos alimenticios fluidos para rebajar los niveles de uno o más contaminantes biológicos o patógenos, que consisten en: (a) hacer circular un producto alimenticio fluido que lleva uno o más contaminantes biológicos o patógenos a través de una cavidad de flujo de producto a un caudal predeterminado, (b) producir energía radiante a una potencia y un nivel energético predeterminados, (c) exponer el producto alimenticio fluido a una dosis real (D_R) de la energía radiante producida cuando éste atraviesa la cavidad de flujo de producto, de modo que la D_R es una dosis deseada o superior a ella, suficiente para reducir eficazmente los niveles de uno o más contaminantes biológicos o patógenos, eligiendo la potencia predeterminada de forma que se transmita una dosis teórica (D_T) de la energía radiante al producto alimenticio fluido que atraviesa la cavidad de flujo de producto a un caudal predeterminado, siendo la D_T igual a la D_R por un factor de seguridad (FS) que es aproximadamente inferior a 3,0. El FS es preferiblemente inferior a 1,8 y con mayor preferencia inferior a 1,2.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La figura 1 es un esquema de un sistema de irradiación de alimentos según una forma de ejecución de la presente invención.

La figura 2 es una vista en perspectiva por detrás de una primera forma de ejecución de una cámara de irradiación según la presente invención.

La figura 3 es una vista frontal en perspectiva de la cámara de irradiación de la FIG. 2.

La figura 4 es una vista de un corte transversal de la cámara de irradiación de la FIG. 2 a lo largo de la línea de corte IV-IV.

La figura 5 es una vista en perspectiva por detrás de una segunda forma de ejecución de una cámara de irradiación según la presente invención.

La figura 6 es una vista en perspectiva por detrás de la parte transmisora semiesférica extraída de la cámara de irradiación de la FIG. 5 según una forma de ejecución de la presente invención.

La figura 7 es una vista de un corte transversal de la cámara de irradiación de la FIG. 5 a lo largo de la línea de corte VII-VII.

La figura 8 es una vista de un corte transversal de una tercera forma de ejecución de una cámara de irradiación según la presente invención.

La figura 9 es un diagrama de flujo que describe un método de irradiación de una fórmula infantil en polvo, según una forma de ejecución de la presente invención.

La figura 10 es un esquema que representa un soporte de muestras y la ubicación de muestras de mapas de dosificación utilizados en un ensayo para determinar el efecto de la radiación con rayos de electrones sobre *E. sakazakii* en polvo de leche descremada, según una forma de ejecución de la presente invención.

La figura 11 es un gráfico de la dosis real absorbida frente a la absorbancia específica, a distintas longitudes de onda de la luz.

La figura 12 representa una placa estándar usada para contar el número de unidades formadoras de colonias durante el ensayo.

La figura 13 es un gráfico de datos experimentales que compara el nivel de dosis real frente a *E. sakazakii*.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS

EL SISTEMA DE IRRADIACIÓN

Con referencia a la FIG. 1 se ilustra un sistema de irradiación 100 según una forma de ejecución de la presente invención. El sistema de irradiación 100 está diseñado específicamente para irradiar productos alimenticios fluidos de modo efectivo y eficiente en procesos masivos/industriales. Tal como se usa aquí, el término producto alimenticio fluido se refiere a cualquier producto alimenticio que se pueda hacer fluir al procesarlo, incluyendo en concreto, sin limitación, líquidos, gases, pastas, polvos, granulados (incluyendo pequeños artículos procesados a granel, tales como píldoras), geles, materiales altamente maleables, etc. El término alimento incluye materiales que se consumen oralmente o por vía intravenosa. No obstante el uso de la presente invención no está limitado a los productos alimenticios fluidos. El sistema de irradiación 100 comprende una fuente de producto alimenticio fluido 10, una cámara de irradiación 20, una fuente de radiación 30, una válvula de control 40, una bomba de vacío 50, una envasadora 60, una unidad central de proceso (UCP) 70, un sensor de radiación 80 y una interfaz de usuario 90.

La fuente de producto alimenticio fluido 10 puede ser una tolva, un tanque, un silo, un contenedor, un depósito, una cinta transportadora o cualquier otro dispositivo o espacio utilizable para sostener, almacenar y/o transportar un producto alimenticio fluido. La fuente de producto alimenticio fluido 10 está conectada de forma fluida con una entrada a la cámara de irradiación 20 por la línea de alimentación 15. Una salida de la cámara de irradiación 20

- está conectada de forma fluida con la envasadora 60 por una línea de salida 25. De este modo se forma un flujo de producto desde la fuente 10 hasta la envasadora 60, para facilitar el proceso de irradiación de los productos alimenticios fluidos. La vía de flujo de producto se extiende desde la fuente de producto alimenticio fluido 10, pasando a través de la cámara de irradiación 20, hasta la envasadora 60. La válvula de control 40 y la bomba de vacío 50 están conectadas operativamente en serie con la línea de salida 25. Tal como se explica abajo más detalladamente, la bomba de vacío 50, cuando está activada, facilita el flujo de un producto alimenticio fluido a lo largo de la vía de flujo de producto, al crear un vacío diferencial. El caudal del producto alimenticio fluido a lo largo de la vía de flujo de producto es regulado por la válvula de control 40, que preferiblemente es ajustable.
- La línea de alimentación 15 y la línea de salida 25 pueden ser tuberías, conductos o similares. La línea de alimentación 15 y la línea de salida 25 pueden ser de cualquier material idóneo, incluyendo metales, aleaciones, plásticos, polímeros, aprobados por organismos reguladores como la FDA, USDA, etc., o cualquier otro material que sea seguro para un uso prolongado de exposición a los rayos de electrones y para transportar el producto alimenticio fluido que deben conducir. Las superficies interiores de la línea de alimentación 15, de la línea de salida 25 y de la cámara de irradiación 20 son preferentemente lisas para que no dificulten apreciablemente el flujo del producto alimenticio fluido que pasa por ellas.
- La línea de alimentación 15 y la línea de salida 25 pueden estar conectadas de forma fluida con los diversos componentes del sistema de irradiación 100 de varias maneras, incluyendo soldadura, adhesión, encintado, uniones roscadas combinadas con cinta adhesiva, uniones con abrazaderas y conexiones con juntas tóricas comprimidas. El nivel de integración (es decir, de hermeticidad) de las conexiones fluidas viene determinado por el tipo de producto alimenticio fluido que debe atravesar el sistema de irradiación 100. Por ejemplo, si el producto alimenticio fluido que debe procesarse es un líquido o un gas, todas las conexiones fluidas tendrán que ser herméticamente seguras. No obstante, si el producto alimenticio fluido que debe procesarse es un granulado no hace falta que las conexiones fluidas sean herméticas. Sin embargo, cuando se usa una bomba de vacío, como la bomba de vacío 50, para crear el flujo del producto alimenticio fluido a lo largo de la vía de flujo de producto, todas las conexiones fluidas deben ser suficientemente herméticas y firmes, a fin de resistir el vacío producido por la bomba.
- La fuente de radiación 30 está situada fuera de la cámara de irradiación 20 pero dentro de la carcasa 110. El tipo de energía radiante emitida por la fuente de radiación dependerá del tipo de fuente de radiación instalado. La fuente de radiación puede ser de cualquier tipo autorizado para irradiar alimentos, incluyendo una fuente de radiación gamma, una fuente de rayos X o una fuente de rayos de electrones. El tipo exacto de energía radiante utilizado por el sistema de irradiación 100 dependerá del tipo de producto alimenticio fluido que se procese, de las reglamentaciones gubernamentales, de las especificaciones del diseño, de las normas industriales, de la posición de la cámara de irradiación 20 respecto a las zonas de trabajo del personal y de los demás equipos de procesamiento de alimentos, de las preferencias del usuario y del motivo para irradiar el producto alimenticio fluido.
- En el caso de los rayos de electrones la radiación se puede dirigir hacia la cámara de irradiación 20 por medio de vacío, desde cualquier distancia, utilizando guías de campo magnético. Después la radiación se distribuye sobre el producto alimenticio haciendo oscilar los rayos de electrones mediante un dispositivo electromagnético que está adaptado para efectuar dicha oscilación. El dispositivo oscilador de la fuente de radiación 30 está situado a una distancia de la primera pared de la cámara de irradiación 20 comprendida preferiblemente en el intervalo de 1 metro a 5 metros. La fuente oscilante de radiación 30 distribuye la energía radiante (indicada por las flechas de trazos 31) según un patrón radial.
- Las fuentes de radiación gamma incluyen, sin limitación, radioisótopos de cobalto o de cesio. Las fuentes de rayos de electrones incluyen tungsteno o platino calentados u otros metales pesados de elevado punto de fusión. Los rayos X son producidos cuando los rayos de electrones chocan con metales pesados. Independientemente del tipo de fuente de radiación instalada, gamma, electrónica, rayos X u otra, la fuente de radiación 30 se puede configurar para que emita la energía radiante según un patrón esférico, semiesférico, cilíndrico o semicilíndrico. El patrón de radiación deseado lo determinará el diseño de la cámara de irradiación 20. Esto se tratará luego con más detalle, haciendo referencia a las FIGS. 2-8.
- La cámara de irradiación 20 tiene una primera pared 21 y una segunda pared 22. La pared 21 y la segunda pared 22 forman entre ellas una cavidad 29 de flujo de producto. La cavidad 29 de flujo de producto constituye una porción de la vía de flujo del producto, que se extiende desde la fuente de alimentación de producto 10 hasta la envasadora 60. Al menos una parte de la primera pared 21 transmite por lo menos una fracción de la energía radiante 31 emitida por la fuente de radiación 30. Es preferible que la parte transmisora de la primera pared 21 transmita la energía radiante 31 a través de ella sin pérdida sustancial de energía (es decir, la parte transmisora de la primera pared 21 es básicamente transparente a la energía radiante 31).
- El material de construcción, el espesor y el tipo de energía radiante 31 emitida por fuente de radiación 30 son, todos ellos, factores que pueden afectar a la naturaleza transmisora de la primera pared 21. Como materiales adecuados para la construcción de la parte transmisora de la primera pared 21 cabe citar, sin limitación, cuarzo,

vidrio, plásticos, polímeros, metales delgados o aleaciones. El espesor preferente de la parte transmisora de la primera pared 21 vendrá determinado por el material de construcción y por el tipo de energía radiante 31 que debe transmitirse. Aunque el espesor de la parte transmisora de la primera pared 21 debe determinarse para cada caso particular, dicha parte transmisora debería ser suficientemente rígida para mantener su forma en las condiciones de vacío reinantes durante el proceso y bajo la carga ejercida por el producto alimenticio fluido.

La segunda pared 22 se puede construir de manera que no transmita la energía radiante 31. Preferiblemente la segunda pared no transmite la energía radiante 31 de manera significativa. Al igual que en el caso de la primera pared 21, el material de construcción de la segunda pared 22, el espesor de la segunda pared 22 y el tipo de energía radiante 31 emitida por fuente de radiación 30 son, todos ellos, factores que pueden afectar a la energía radiante 31, tanto si la segunda pared 22 es transmisora de la energía radiante 31 como si no. Como materiales adecuados para construir la segunda pared 22 cabe citar, sin limitación, hormigón, cuarzo, vidrio, plásticos, cartones, papel, polímeros, metales delgados o aleaciones.

En algunas formas de ejecución se puede añadir una tercera pared (no representada) al lado opuesto de la segunda pared 22. La tercera pared se puede construir de manera que transmita o no la energía radiante 31. Es preferible que la tercera pared no transmita significativamente la energía radiante 31. Al igual que en el caso de la primera pared 21, el material de construcción de la tercera pared, el espesor de la tercera pared y el tipo de energía radiante 31 emitida por fuente de radiación 30 son, todos ellos, factores que pueden afectar a la energía radiante 31, tanto si la tercera pared es transmisora de la energía radiante 31 como si no. Como materiales adecuados para construir la tercera pared cabe citar, sin limitación, hormigón, plomo, acero u otro metal pesado. La tercera pared forma una cavidad adicional con la segunda pared 22. Esta cavidad adicional se puede usar/adaptar para pasar líquidos de intercambio de calor como el agua. El líquido de intercambio de calor sirve para eliminar el calor generado por la energía residual que pueda escapar de la primera y segunda paredes 21, 22.

La fuente de radiación 30 está alineada con la primera pared 21 de manera que la energía radiante 31 emitida por fuente de radiación 30 atraviese la parte transmisora de la primera pared 21 hacia la cavidad 29 de flujo de producto de la cámara de irradiación 20. Así, cuando la fuente de radiación 30 emite energía radiante 31 y el producto alimenticio fluido pasa por la cavidad 29 de flujo de producto, éste se expone a la energía radiante 31. La dosis de energía radiante 31 a la que está expuesto el producto alimenticio fluido se puede controlar con precisión ajustando el caudal del producto alimenticio fluido a través de la cavidad 29 de flujo de producto, la profundidad de la cavidad 29 de flujo de producto y/o la potencia de la energía radiante 31. El caudal de producto alimenticio fluido se puede controlar regulando la válvula de control 40 y/o la bomba de vacío 50.

La UCP 70 está conectada funcional y eléctricamente con la bomba de vacío 50, la válvula de control 40, la fuente de radiación 30, el sensor de radiación 80 y la interfaz de usuario 90 para comunicarse con él. La UCP 70 es un controlador lógico programable basado en un microprocesador, en un ordenador personal o análogo, que sirve para regular el proceso e incluye preferiblemente varios puertos de entrada/salida utilizados para facilitar las conexiones con los diversos componentes 30, 40, 50, 80, 90 del sistema de irradiación 100 que puedan requerir control y/o comunicación.

La UCP 70 también tiene suficiente memoria para almacenar recetas de proceso, parámetros y otros datos, tales como dosis de radiación prescrita, caudales, tiempos de proceso, condiciones del proceso, niveles operativos de potencia y similares. La UCP 70 puede comunicarse con cualquiera de los diversos componentes del sistema de irradiación 100 y con todos ellos, a los cuales está conectado de forma operativa, para ajustar automáticamente condiciones de proceso tales como caudales, niveles de energía radiante, niveles de potencia de la radiación, activación de la bomba de vacío, etc., y conseguir las condiciones deseadas. La UCP 70 está programada para recibir señales de los datos del sensor de radiación 80, analizarlos y realizar los ajustes idóneos, a fin de lograr la dosis de radiación deseada para el producto alimenticio fluido que se está procesando. El tipo de controlador empleado depende de las necesidades exactas del sistema al cual se incorpora.

Durante el funcionamiento normal del sistema de irradiación 100 un operador introduce una señal de activación del sistema a través de la interfaz de usuario 90, la cual puede ser un teclado, un ratón, una pantalla táctil de visualización activada, etc. Aunque no está representado, se puede proporcionar un módulo de pantalla que es acoplable funcionalmente a la UCP 70, de manera que el operador vea los cambios que se están realizando. La señal de activación del sistema puede incluir tanto la activación como instrucciones y parámetros de proceso. Una vez creada por la interfaz del usuario 90, la señal de activación del sistema se transmite a la UCP 70 para su análisis y tratamiento. Al recibir la señal de activación del sistema la UCP 70 recobra de la memoria parámetros de proceso almacenados que corresponden a instrucciones incluidas en la señal de activación del sistema.

Una vez recuperados de la memoria los parámetros de proceso, la UCP 70 crea y transmite señales apropiadas de activación/control a la bomba de vacío 50, a la fuente de radiación 30 y a la válvula de control 40, las cuales corresponden a los parámetros de proceso almacenados para cada dispositivo. Al recibir una señal de activación desde la UCP 70, la fuente de radiación 30 emite energía radiante 31 a un nivel energético y de potencia predeterminados. Cuando la fuente de radiación es de rayos de electrones o de rayos X hay que activar la fuente

de radiación 30 suministrándole corriente. Cuando la fuente de radiación 30 es de rayos gamma esto se puede llevar a cabo bajando una pared protectora o moviéndola a una posición no obstructora.

5 La bomba de vacío 50 se activa al recibir una señal de activación desde la UCP 70. Una vez activada, la bomba de vacío 50 hace fluir el producto alimenticio fluido desde la fuente 10, pasando a través de la cavidad 29 de flujo de producto, donde se expone a la energía radiante 31, hacia la envasadora 60. Simultáneamente la UCP 70 también ajusta la válvula de control 40, lo cual es preciso para mantener un caudal predeterminado del producto alimenticio fluido, mediante señales eléctricas apropiadas.

10 Durante el funcionamiento el sensor de radiación 80, que en algunas formas de ejecución puede ser un sensor de la potencia de radiación, mide continuamente la potencia de la energía radiante 31 alcanzada. El sensor de radiación 80 crea una señal indicativa de la potencia de radiación medida y la transmite a la UCP 70 para su análisis y tratamiento. El sensor de radiación 80 puede estar empotrado, fijado o colocado en la superficie interna de la segunda pared 22 o cerca de ella.

15 Conociendo el caudal (volumétrico o másico) del producto alimenticio fluido a través de la cavidad 29 de flujo de producto, la densidad del producto alimenticio fluido, el volumen de la cavidad 29 de flujo de producto y la potencia de la energía radiante 31 a la cual se expone el producto alimenticio fluido (suministrada por el sensor de radiación 80), la UCP 70 puede estimar la dosis real de energía radiante 31 a la cual está siendo expuesto el producto alimenticio fluido. Después la UCP 70 puede comparar la dosis real estimada con una dosis deseada. Si la dosis real estimada no es igual o superior a la dosis deseada, la UCP 70 puede hacer los ajustes necesarios en la bomba de vacío 50, en la válvula de control 40 y/o en la fuente de radiación 30, hasta que la dosis real estimada sea igual o superior a la dosis deseada.

25 La envasadora 60 puede ser cualquier dispositivo o máquina que envuelva el producto alimenticio fluido que está siendo irradiado por el sistema 100. La instalación directa de la envasadora 60 en la cadena de equipamiento del proceso permite envolver y/o sellar el producto alimenticio fluido antes de que se infecte o contamine de nuevo. El tipo de envasadora 60 utilizada dependerá del tipo de producto alimenticio fluido irradiado, pero puede incluir, por ejemplo, llenadores de botellas o cartones, sistemas de transporte para facilitar el envasado, máquinas de embalar y máquinas envasadora de moldeo y llenado de bolsas.

30 La cámara de irradiación 20, la fuente de radiación 30, la válvula de control 40 y la bomba de vacío 50 pueden encontrarse dentro de una carcasa 110. El diseño de la carcasa 110, incluyendo su espesor y sus materiales de construcción, depende de varios factores, incluyendo sin limitación el tipo de fuente de radiación 30 instalada en el sistema de irradiación 100, las restricciones de espacio en una factoría de procesamiento de alimentos y la capacidad de producción deseada. Por ejemplo, si la fuente de radiación 30 emite rayos gamma, la preocupación principal será proteger el entorno de los rayos gamma emitidos por la fuente 30. En tal caso la carcasa 110 se construirá con materiales apropiados cuyo grosor proteja el entorno de los rayos gamma emitidos por la fuente de radiación 30. Los materiales normalmente usados para alojar fuentes de radiación gamma incluyen plomo, acero, hormigón y combinaciones de los mismos. No obstante, si la fuente 30 emite tipos de radiación menos penetrantes, tales como rayos X o rayos de electrones, no hace falta que la carcasa 110 proporcione un efecto de blindaje masivo, ya que los rayos X y los rayos de electrones no pueden penetrar apreciablemente materiales densos. Sin embargo en algunas formas de ejecución aún puede ser necesario.

45 Aunque el sistema de irradiación 100 está ilustrado con la cámara de irradiación 20, la fuente de radiación 30, la válvula de control 40 y la bomba de vacío 50 situadas dentro de la carcasa 110, es posible que todos estos elementos o cualquiera de ellos esté colocado fuera de la carcasa 110.

LA CÁMARA DE IRRADIACIÓN

50 En las FIGS. 2-8 se revelan tres formas de ejecución de una cámara de irradiación adecuada para usar en el sistema de irradiación 100 de la FIG. 1. Aunque a continuación se describen en detalle tres formas de ejecución de cámaras de irradiación, debe advertirse que para los expertos en la materia resultarán enseguida evidentes otras varias formas de ejecución, alteraciones y modificaciones de las cámaras de irradiación ilustradas.

55 En las FIGS. 2-4 está representada una cámara de irradiación 20A según una primera forma de ejecución de la presente invención. Haciendo referencia concreta a las FIGS. 2 y 3, la cámara de irradiación 20A comprende una primera pared 21A, una segunda pared 22A y las paredes laterales 23A, 24A. La cámara de irradiación 20A tiene una porción de conducto de entrada 25A, una porción de conducto de irradiación 26A y una porción de conducto de salida 27A.

60 La primera pared 21A incluye una parte transmisora 28A. La parte transmisora 28A es de forma semicilíndrica y en concreto es un medio cilindro. Tal como se usa aquí, el término semicilíndrico no está limitado a la mitad de un cilindro, sino que también incluye cualquier fracción angular de un cilindro. La parte transmisora 28A está orientada alrededor de un eje central A-A. Cuando la cámara de irradiación 20A se incorpora a un sistema de irradiación tal como el sistema 100 de la FIG. 1 para el tratamiento de alimentos fluidos, la fuente de radiación se

sitúa generalmente a lo largo o cerca del eje central A-A. De este modo la fuente de radiación emitirá la energía radiante siguiendo un patrón radial y atravesará la parte transmisora 28A de la primera pared 21A. Por ejemplo, si la fuente de radiación es de rayos de electrones, un cono de barrido correctamente configurado se orienta de manera que su porción emisora de rayos de electrones esté alineada con el eje central A-A.

5 Yendo ahora a la FIG. 4, donde se representa un corte lateral transversal de la cámara de irradiación 20A a lo largo de la línea de corte IV-IV, el eje central A-A solo se ve como un punto A desde esta perspectiva. La primera pared 21A, la segunda pared 22A y las paredes laterales 23A, 24A forman entre ellas una cavidad 29A de flujo de producto. Una entrada 30A forma una vía de paso hacia la cavidad 29A de flujo de producto en la parte superior de la cámara de irradiación 20A. Una salida 31A forma una vía de paso hacia fuera de la cavidad 29A de flujo de producto en la parte inferior de la cámara de irradiación 20A. Cuando la cámara de irradiación 20A se incorpora a un sistema de irradiación, la cavidad 29A de flujo de producto constituye una porción de la vía de paso del producto descrita detalladamente en la anterior FIG. 1. El producto alimenticio fluido se puede conducir hacia cavidad 29A de flujo de producto a través de la entrada 30A y hacia fuera de la cavidad 29A de flujo de producto a través de la salida 31A, tal como indican las flechas en negrita.

Tal como se ha dicho arriba, la parte transmisora 28A de la primera pared 21A es transparente a la energía radiante producida por la fuente de radiación. La parte transmisora 28A de la primera pared 21A se puede fijar en su posición mediante adhesión, pernos, tornillos, soldadura o similares. Aunque la parte transmisora 28A está ilustrada como un material de diferente construcción y como un componente separable de las demás partes de la primera pared 21A, la totalidad de la primera pared 21A puede estar construida del mismo material transmisor que la parte 28A y/o se puede conformar como una pieza integral unitaria. Además, si se desea, la cámara de irradiación 20A se puede construir sin las porciones de entrada y salida 25A, 27A.

25 La parte transmisora 28A de la primera pared 21A tiene una superficie interna convexa 32A y una superficie externa 33A. Aunque en la ilustración la superficie externa 33A es cóncava también puede ser de cualquier otra forma. La superficie interna convexa 32A puede estar constituida por varios segmentos planos formando un perfil general arqueado o puede ser una sola superficie lisa arqueada. La superficie interna convexa 32A puede tener una curvatura constante o variable. Preferentemente todos los puntos de la superficie interna convexa 32A de la primera pared 21A son prácticamente equidistantes del eje central A-A en dirección radial perpendicular.

Análogamente a la parte transmisora 28A de la primera pared 21A, la porción de la segunda pared 22A opuesta a la parte transmisora 28A de la primera pared 21A es generalmente de forma semicilíndrica. Esta porción de la segunda pared 22A tiene una superficie interna cóncava 34A y una superficie externa 35A. Aunque en la ilustración la superficie externa 35A de esta porción sea convexa puede ser de cualquier otra forma. La superficie interna cóncava 34A de la segunda pared 22A puede estar constituida por varios segmentos planos formando un perfil general arqueado o por una superficie lisa arqueada. La superficie interna cóncava 34A puede tener una curvatura constante o variable.

40 La superficie interna convexa 32A de la parte transmisora 28A de la primera pared 21A se opone a la superficie interna cóncava 34A de la segunda pared 22A formando entre ellas una cavidad 29A de flujo de producto. En las formas de ejecución de la cámara de irradiación 20A que no contengan las porciones de entrada y salida 25A, 27A toda la cavidad 29A de flujo de producto estará formada entre la superficie interna convexa 32A de la primera pared 21A y la superficie interna cóncava 34A de la segunda pared 22A.

45 En general la superficie interna cóncava 34A de la segunda pared 22A es concéntrica con la superficie interna convexa 32A de la parte transmisora 28A de la primera pared 21A. Como resultado la cavidad 29A de flujo de producto tiene una profundidad D constante. La profundidad D de la cavidad 29A de flujo de producto se define como la distancia perpendicular entre la superficie interna esencialmente convexa 32A y la superficie interna cóncava 34A de la segunda pared 22A. En una forma de ejecución en la cual se usan rayos de electrones para irradiar el producto alimenticio fluido, la profundidad D de la cavidad 29A de flujo de producto es con preferencia de 1 pie (0,3048 metros) o menos, aproximadamente, y con mayor preferencia de 3 pulgadas (0,0762 metros) o menos. Al formar la cavidad 29A de flujo de producto de manera que tenga una profundidad D prácticamente constante, la dosis de energía radiante a la que se expone el producto alimenticio fluido que pasa por ella es más uniforme, se puede controlar más cuidadosamente y requiere un menor factor de seguridad para garantizar el aporte de una dosis real suficiente.

60 La cámara de irradiación 20A se puede construir de manera que la profundidad D de la cavidad 29A de flujo de producto se pueda ajustar para variar la producción o el grado de energía aplicada al producto alimenticio fluido. Esto es factible construyendo la cámara de manera que la primera pared 21A y/o la segunda pared 22A sean móviles. Por ejemplo, la primera pared 21A y/o la segunda pared 22A se pueden acoplar a pistones o gatos hidráulicos montados de forma deslizable sobre una pared estacionaria, o bien se puede construir un sistema en el cual la primera pared sea estacionaria y la segunda pared se pueda desmontar y reemplazar por otra elegida entre diversos tipos de segundas paredes de dimensiones y diámetros diferentes para adaptarse a determinadas condiciones de flujo y reología del producto alimenticio procesado. En otra forma de ejecución la segunda pared 22A se puede construir de material expandible reutilizable o desechable tal como caucho natural, tela reforzada,

elastómeros sintéticos autorizados, etc. La primera pared 21A y/o la segunda pared 22A se pueden mover/dilatar de manera que la profundidad D de la cavidad 29A de flujo de producto aumente/disminuya, pero permanezca esencialmente constante en toda su longitud.

5 En la primera pared 21A y/o en la segunda pared 22A hay un sensor de radiación 80A empotrado para medir una característica de la energía radiante en la cavidad 29A de flujo de producto. El sensor de radiación 80A puede ser un sensor que mida la potencia de la energía radiante, un dosímetro que mida una dosis de energía radiante durante un periodo de tiempo seleccionado, una cámara de ionización, un contador de centelleo o un detector de estado sólido. El sensor de radiación 80A no tiene solo por qué estar empotrado en la primera y/o en la segunda
10 pared 22A, sino que también puede estar colocado en cualquier sitio sobre o cerca de la primera y/o de la segunda pared 22A o fijado a la propia primera y/o segunda pared 22A, siempre que la situación del sensor de radiación 80 permita medir una o más características de la energía radiante en la cavidad 29A de flujo de producto.

15 Haciendo ahora referencia a las FIGS. 5-7 se describe una segunda forma de ejecución de una cámara de irradiación 20B que puede incorporarse al sistema de irradiación 100 de la FIG. 1. La cámara de irradiación 20B es similar a la cámara de irradiación 20A de las FIGS. 2-4. Los elementos de la cámara de irradiación 20B están numerados de manera que se correspondan con los elementos de la cámara de irradiación 20A, exceptuando que terminan con la letra "B" en vez de con la letra "A". A continuación solo se explicarán en detalle aquellas características/elementos de la cámara de irradiación 20B que difieren de los de la cámara de irradiación 20A, teniendo en cuenta que los expertos en la materia entenderán la aplicabilidad de las características/elementos comunes.

25 La FIG. 5 es una vista en perspectiva de la cámara de irradiación 20B. La primera pared 21B incluye una parte transmisora 28B. En general la parte transmisora 28B es de forma semiesférica y en concreto es una media esfera (véase la FIG. 6). Tal como se usa aquí, el término semiesférico no se limita a la mitad de una esfera, sino que también comprende cualquier fracción de una esfera. La parte transmisora 28B de la primera pared 21B está orientada alrededor de un punto central B. Cuando la cámara de irradiación 20B se incorpora a un sistema de irradiación como el sistema 100 de la FIG. 1 para el tratamiento de alimentos fluidos, la fuente de radiación se sitúa en el punto central B o cerca del mismo. De esta manera la fuente de radiación emitirá la energía radiante siguiendo un patrón semiesférico, atravesando la parte transmisora 28B de la primera pared 21B. En una forma de ejecución un cono de barrido correctamente configurado se puede orientar de manera que su porción emisora de rayos de electrones se encuentre sustancialmente en el punto central B o cerca del mismo.

35 Haciendo referencia a la FIG. 6, la parte transmisora 28B de la primera pared 21B está ilustrada como siendo extraída de la cámara de irradiación 20B, de manera que se puede apreciar toda su forma. La superficie interna convexa 32B de la parte transmisora 28B es una superficie esférica lisa de curvatura generalmente constante en dos direcciones. No obstante la superficie interna convexa 32B de la parte transmisora 28B puede estar formada por una serie de segmentos planos que constituyen una estructura generalmente esférica. La superficie interna convexa 32B puede tener una curvatura constante o variable. Con mayor preferencia todos los puntos de la
40 superficie interna convexa 32B son sustancialmente equidistantes del punto central B.

45 La FIG. 7 es una vista de un corte lateral transversal de la cámara de irradiación 20B a lo largo de la línea de corte VII-VII. A diferencia de la cámara de irradiación 20A de la FIG 2 las porciones de los conductos de entrada y salida 25B, 27B de la cámara de irradiación 20B no tienen una sección transversal sustancialmente constante.

La porción de la segunda pared 22B opuesta a la parte transmisora 28B de la primera pared 21B es en general de forma semiesférica. Esta porción de la segunda pared 22B tiene una superficie interna sustancialmente cóncava 34B y una superficie externa 35B. La superficie externa 35B de esta porción es convexa, pero puede ser de cualquier forma deseada. La cavidad 29B de flujo de producto está formada entre la superficie interna convexa 32B de la primera pared 21B y la superficie interna cóncava 34B de la segunda pared 22B. Como la superficie interna cóncava de la segunda pared 22B es generalmente concéntrica con la superficie interna convexa 32B de la primera pared 21B, la cavidad 29B de flujo de producto tiene una profundidad D básicamente constante.

55 Haciendo ahora referencia a la FIG. 8 se describe una tercera forma de ejecución de una cámara de irradiación 20C que puede incorporarse al sistema de irradiación 100 de la FIG. 1. La cámara de irradiación 20C es similar a las cámaras de irradiación 20A, 20B de las FIGS. 2-7. Los elementos de la cámara de irradiación 20C están numerados para corresponderse con los elementos de las cámaras de irradiación 20A, 20B, exceptuando que terminan con la letra "C" en vez de con las letras "A" o "B". A continuación solo se explicarán en detalle aquellas características/elementos de la cámara de irradiación 20C que difieren de los de las cámaras de irradiación 20A, 20B, teniendo en cuenta que los expertos en la materia entenderán automáticamente la aplicabilidad de las características/elementos comunes.

65 La FIG. 8 es una vista de un corte lateral transversal de la cámara de irradiación 20C. La forma de la parte transmisora 28C de la cámara de irradiación 20C es idéntica a la parte transmisora 28B ilustrada en la FIG. 6. La

parte transmisora 28C de la cámara de irradiación 20C constituye la totalidad de la primera pared 21C. La parte transmisora 28C tiene una superficie interna convexa 32C en forma de semiesfera y una superficie interna 33C. Todos los puntos de la superficie interna convexa 32C son sustancialmente equidistantes del punto central C. La segunda pared 22C de la cámara de irradiación 20C comprende una superficie interna cóncava 34C y una superficie externa 35C.

La superficie interna cóncava 34C de la segunda pared 22C se opone a la superficie interna convexa 32C de la parte transmisora 28C formando una cavidad 29C de flujo de producto entre ellas. Como la superficie interna cóncava 34C de la segunda pared 22C es generalmente concéntrica con la superficie interna convexa 32C de la parte transmisora 28C, la cavidad 29C de flujo de producto tiene una profundidad D sustancialmente constante en todo su recorrido.

La porción de conducto de entrada 25C de la cámara de irradiación 20C tiene forma de L. La entrada 30C forma una vía de paso hacia una parte superior de la cavidad 29C de flujo de producto, directamente por encima de la parte transmisora 28C. A diferencia de las cámaras de irradiación 20A, 20B, la cámara de irradiación 20C no tiene una porción de conducto de salida. En su lugar la salida 31C forma una vía de paso directa a la cavidad 29C de flujo de producto. Por lo tanto la porción de conducto de entrada 25C puede omitirse, si se desea.

Cuando la cámara de irradiación 20C se usa para procesar productos alimenticios fluidos, el producto alimenticio fluido se introduce en la cavidad 29C de flujo de producto por la entrada 30C. Al entrar en la cavidad 29C de flujo de producto, el producto alimenticio fluido entra inmediatamente en contacto con la superficie convexa 32C cerca de su parte superior y se extiende por la superficie interna convexa 32C en todas direcciones hasta que sale de la cavidad 29C de flujo de producto por la salida 31C.

Aunque la cámara de irradiación 20C está representada con la parte transmisora 28C de forma semiesférica, también es posible que la parte transmisora 28C tenga una forma semicilíndrica, tal como se ha descrito arriba en relación con la cámara 20A. En una forma de ejecución en la que se use una parte transmisora semicilíndrica la superficie interna cóncava de la parte transmisora estará orientada alrededor de un eje central y equidistante del mismo.

En algunas formas de ejecución de la aplicación/sistema del proceso de irradiación según la presente invención la superficie de la segunda pared que se opone a la superficie convexa de la primera pared no es una superficie cóncava. Además en otras formas de ejecución no hace falta en absoluto instalar una segunda pared. En estas formas de ejecución el producto alimenticio fluido se introducirá directamente en contacto con la superficie convexa de la primera pared, dejándolo fluir a lo largo de la superficie convexa hasta que salga fuera. El caudal del producto alimenticio fluido y el radio de la superficie cóncava están diseñados para asegurar que el producto alimenticio fluido se exponga a una dosis suficiente de energía radiante mientras se encuentre en contacto con la superficie convexa.

Por último debe advertirse que, aunque las tres formas de ejecución de las cámaras de irradiación tengan una orientación vertical en las FIGS. 2-8, también cabe la posibilidad de orientarlas horizontal u oblicuamente para el tratamiento. La orientación exacta dependerá de las necesidades del proceso, de las limitaciones del espacio industrial y de las preferencias del usuario.

EL PROCESO DE IRRADIACIÓN

La FIG. 9 es un diagrama de flujo de alto nivel correspondiente a un ejemplo de un método de irradiación de productos alimenticios fluidos conforme a la presente invención. Este ejemplo de método se puede llevar a cabo utilizando un sistema de irradiación que incorpore una cualquiera de las cámaras de irradiación 20A, 20B, 20C representadas en las FIGS. 2-9 o cualquier otra cámara de irradiación adecuadamente diseñada. Para facilitar la descripción, el método de la FIG. 9 se explicará seguidamente en detalle haciendo solo referencia al sistema de irradiación 100 de la FIG. 1 que lleva la cámara de irradiación 20A de las FIGS. 2-4 incorporado en su interior. También para facilitar la explicación, el proceso de la FIG. 9 se describe en relación con una fórmula infantil en polvo irradiada con rayos de electrones para reducir los niveles de *Enterobacter sakazakii* ("*E. sakazakii*"). Sin embargo los métodos de la presente invención no están limitados a un tipo específico de producto alimenticio fluido, fuente de radiación, sistema de irradiación o contaminante para irradiar.

En el paso 900 se parte del sistema de irradiación 100 de la FIG. 1 que lleva la cámara de irradiación 20A de las FIGS. 2-4 incorporado en su interior. La línea de alimentación 15 va acoplada de forma fluida a la entrada 30A de la cámara de irradiación 20A por un extremo y a la fuente de producto alimenticio fluido 10 por el otro extremo. Análogamente, un extremo de la línea de salida 25 está acoplado de forma fluida con la salida 31A de la cámara de irradiación 20A, mientras que el otro extremo de la línea de salida 25 está acoplado de forma fluida con la envasadora 60. La fuente de producto alimenticio fluido 10 es un depósito de una fórmula infantil en polvo que contiene niveles indeseados del contaminante biológico *E. sakazakii*. La fuente de radiación 30 es una fuente de rayos de electrones tipo cono de barrido. El sensor de radiación 80 es un sensor de la potencia de radiación, adaptado para medir el nivel de potencia de los rayos de electrones que llegan hasta el sensor 80. El módulo de

memoria de la UCP 70 dispone de una receta de proceso para irradiar la fórmula infantil en polvo con rayos de electrones, que comprende todos los parámetros de operación necesarios, como el caudal deseado, el nivel de potencia de los rayos de electrones, el nivel energético de los rayos de electrones, el vacío efectivo de la bomba de vacío 50, la dosis deseada de rayos de electrones y todos los algoritmos necesarios para calcular y analizar los datos procedentes del sensor de radiación 80.

Una vez instalado correctamente el sistema de irradiación 100, un operador entra en la interfaz de usuario 90 ciertos datos, tales como la identidad del producto alimenticio fluido, y activa el sistema de irradiación 100. La interfaz de usuario 90 crea una señal de activación del sistema y la transmite a la UCP 70. Al recibir la señal de activación del sistema la UCP 70 recupera de su módulo de memoria la receta apropiada almacenada y crea y transmite las respectivas señales de activación/operación a la bomba de vacío 50, a la válvula de control 40 y a la fuente de rayos de electrones 30.

Al recibir la señal de activación procedente de la UCP 70 se pone en marcha la bomba de vacío 50 y se ajusta la válvula de control 40, con lo cual la fórmula infantil en polvo es extraída del depósito 10 y conducida a lo largo de la vía de flujo de producto a un determinado caudal. Aunque se representa una bomba como el instrumento que habilita el flujo del producto alimenticio fluido a través del sistema 100, debe señalarse que el flujo del producto alimenticio fluido también puede ser habilitado por gravedad y controlado mediante el ajuste de la válvula 40, la cual puede ser una válvula de mariposa instalada tras el depósito 10. En tales formas de ejecución del sistema de la presente invención se puede prescindir de bombas.

Simultáneamente, o antes de la activación de la bomba de vacío 50, la fuente de rayos de electrones 30 también la señal de activación/control de la UCP 70. Como resultado la fuente de rayos de electrones 30 se activa y emite rayos de electrones a un nivel de potencia y energía predeterminados. El nivel de energía y el nivel de potencia predeterminados son dos de los parámetros de receta almacenados en el módulo de memoria de la UCP 70. El nivel de energía predeterminado o al menos un nivel máximo de energía pueden ser obligados por un organismo gubernamental. En el caso de rayos de electrones el nivel de energía predeterminado no superará los 10 MeV aproximadamente. De este modo se completa el paso 910.

Al extraer la fórmula infantil en polvo del depósito 10, la bomba de vacío 50 la hace fluir a través de la línea de almacenamiento 25 hacia la cavidad 29A de flujo de producto de la cámara de irradiación 20A por la entrada 30A. Al entrar en la cavidad 29A de flujo de producto de la cámara de irradiación 20A la fórmula infantil en polvo entra en contacto con la superficie interna convexa 32A cerca de la zona superior de la parte transmisora 28A de la primera pared 21A, completando así el paso 920.

Mientras la bomba de vacío 50 continúa funcionando, la fórmula infantil en polvo sigue fluyendo a lo largo de cavidad 29A de flujo de producto de la cámara de irradiación 20A hasta abandonarla por la salida 31A. Como resultado de la regulación correcta de la válvula de control 40 por la UCP 70 la fórmula infantil en polvo fluye a través de la cavidad 29A de flujo de producto al caudal predeterminado, que es uno de los parámetros de receta almacenados en el módulo de memoria de la UCP 70. De este modo se completa el paso 930.

Los rayos de electrones emitidos por la fuente de radiación electrónica 30 atraviesan la parte transmisora 28A de la primera pared 21A hacia la cavidad 29A de flujo de producto de la cámara de irradiación 20A. Así, cuando la fórmula infantil en polvo fluye por la cavidad 29A de flujo de producto se expone (es decir, es irradiada) a los rayos de electrones, completándose así el paso 940.

El caudal predeterminado de fórmula infantil en polvo y el nivel predeterminado de potencia de los rayos de electrones emitidos por la fuente de radiación electrónica 30 se eligen de manera que, al pasar por la cavidad 29A de flujo de producto, la fórmula infantil en polvo se exponga a una dosis real (D_R) de rayos de electrones superior o igual a una dosis deseada (D_D) de rayos de electrones. La D_D de rayos de electrones a la que se debe exponer la fórmula infantil en polvo se elige de modo que sea suficiente para reducir los niveles de *E. sakazakii*. En una forma de ejecución la D_D de rayos de electrones a la que debe exponerse la fórmula infantil en polvo se elige de manera que reduzca los niveles de *E. sakazakii* a menos del 10% del nivel original. En esta forma de ejecución una D_D suficiente puede estar comprendida entre 1,6 y 1,8 kiloGrays (kGy) y con mayor preferencia es de 1,69 kGy aproximadamente. En otra forma de ejecución la D_D de rayos de electrones se selecciona de modo que reduzca los niveles de *E. sakazakii* a menos del 1% del nivel original. Para esta forma de ejecución una D_D suficiente puede estar comprendida entre 3,2 y 3,6 kiloGrays (kGy) y con mayor preferencia es de 3,4 kGy aproximadamente. En otras formas más de ejecución la D_D de rayos de electrones a la que debe exponerse la fórmula infantil en polvo se elige de manera que reduzca los niveles de *E. sakazakii* a menos del 0,1%, a menos del 0,01% o a menos del 0,001% del nivel original.

El sistema de irradiación 100 se hace funcionar asegurando que la D_R de rayos de electrones a la cual se expone la fórmula infantil en polvo sea superior o igual a la D_D . Una forma de hacerlo es ajustando el nivel de potencia predeterminado de la fuente de rayos de electrones 30 y el caudal predeterminado de manera que la fuente de radiación electrónica 30 emita una cantidad de rayos de electrones correspondiente a la exposición de la fórmula infantil en polvo a una dosis teórica (D_T) de rayos de electrones al pasar por la cavidad 29A de flujo de producto.

La D_T se elige de manera que sea superior a la D_D por un factor de seguridad (FS) para garantizar que la D_R sea superior o igual a la D_D . El FS puede ser inferior o igual a 2,0, preferiblemente inferior o igual a 1,8 hasta 1,6 y con mayor preferencia inferior o igual a 1,2.

- 5 Cada material tiene una calidad característica para absorber cierta cantidad de energía radiante. Para determinar la D_T de cada producto que debe procesarse se realiza un ensayo que permita averiguar la cantidad de energía radiante y el caudal de producto necesarios (ajustando indirectamente el tiempo de permanencia del producto en la zona de irradiación) para alcanzar un cierto nivel de dosis en kiloGrays. Debido a la naturaleza lineal de la acumulación de dosis en un acelerador de rayos de electrones, las dosis prescritas son fáciles de alcanzar una vez establecida la emisión de la dosis. La relación conocida entre la dosis y los parámetros del proceso es la siguiente:

$$D = k \left(\frac{I}{v} \right),$$

- 15 donde: D = dosis; k = constante; I = corriente; v = velocidad. La relación entre corriente y velocidad determina la dosis, porque k es una constante. Para calcular las dosis prescritas se emplean las relaciones I/v de mapas de dosificación. La D_T se puede calcular a partir de ciclos experimentales, pasando un dosímetro a través de la cavidad 29A de flujo de producto por la que está fluyendo el producto alimenticio. El dosímetro medirá la D_R para cada ciclo realizado. Durante cada ciclo la fuente de rayos de electrones se adapta para producir una D_T . La representación gráfica de la D_T conocida respecto a la D_R medida permite construir un gráfico que relaciona la D_R con la D_T . Así también se obtendrá el SF.

- 25 Alternativamente la UCP 70 se puede programar para que efectúe los algoritmos necesarios y almacene las variables requeridas, caudal y nivel de potencia, a fin de determinar la D_T . A continuación se indica un ejemplo de las variables almacenadas y de un algoritmo necesario para determinar la D_T .

Sea:

- R = caudal ajustado de producto alimenticio fluido (m^3/s)
 V = volumen conocido de la cavidad de flujo del producto (m^3)
 P = nivel de potencia ajustado de la fuente de rayos de electrones en (J/s) o en (MeV/s)
 30 d = densidad aproximada de producto alimenticio fluido en (kg/m^3)
 T = tiempo medio que tarda una cantidad de producto alimenticio fluido en atravesar la cavidad de flujo del producto (es decir, el tiempo medio de exposición a los rayos de electrones) (s)
 E = cantidad de energía de rayos de electrones a la que se expone una cantidad de producto alimenticio fluido mientras atraviesa la cavidad de flujo del producto (J) o (MeV)
 35 D_T = dosis prescrita de energía de rayos de electrones a la que se expone una cantidad de producto alimenticio fluido (kGy)
 m = masa de producto alimenticio fluido que atraviesa la cavidad de flujo del producto en el tiempo T (kg)

- 40 R, V, P y d son variables ajustadas o conocidas almacenadas en la UCP 70.

D_T se determina mediante la ecuación:

$$D_T = \frac{E}{m} \quad \text{en la cual}$$

- 45 E se determina mediante la ecuación: $E = P \times T$

T se determina mediante la ecuación:

$$T = \frac{V}{R}$$

- 50 m se determina mediante la ecuación: $m = d \times R \times T$, por tanto:

$$D_T = \frac{P \times T}{d \times R \times T}$$

$$D_T = \frac{P}{d \times R}$$

- 55 Para asegurar la exposición a la dosis adecuada durante el proceso, en la cavidad **29A** de flujo de producto se puede instalar un sensor **80** que mida la potencia de la radiación electrónica durante el tratamiento. Si se desea pueden usarse otros tipos de sensores, como por ejemplo un dosímetro. El sensor de potencia de los rayos de

electrones 80 está conectado funcionalmente a la UCP 70. El sensor de potencia de los rayos de electrones 80 mide continuamente el nivel de potencia de los rayos de electrones en la segunda pared 22A de la cavidad 29A de flujo de producto, o cerca de ella, completándose así el paso 950. El sensor 80 crea señales de datos que indican los niveles de potencia medidos de los rayos de electrones.

5 Cuando el sensor 80 crea las señales de datos, éstas se transmiten a la UCP 70 para su análisis y tratamiento. Una vez recibidas por la UCP 70, ésta ejecuta el bloque de decisión 960 y determina respecto al caudal ajustado si el nivel medido de potencia de los rayos de electrones indica que la fórmula infantil en polvo está recibiendo una D_R de rayos de electrones igual o superior a la D_D . Como se ha explicado arriba, la correlación entre D_R , D_D , nivel de potencia medido y el caudal ajustado se puede determinar mediante análisis experimental, colocando dosímetros a lo largo del proceso del producto alimenticio fluido y representando gráficamente los resultados.

15 Si la respuesta al bloque de decisión 960 es NO, la UCP 70 procede al paso 970 y regula apropiadamente la válvula de control 40 para ajustar el caudal de la fórmula infantil en polvo a través de la cavidad 29A de flujo de producto a un valor que asegure la exposición de la fórmula infantil en polvo a una D_R de rayos de electrones igual o superior a la D_D . Si se desea, para garantizar que la D_R de rayos de electrones a la cual se expone la fórmula infantil en polvo sea igual o superior a la D_D , también se puede ajustar el nivel de potencia de los rayos de electrones. Una vez efectuados los ajustes de caudal y/o del nivel de potencia de los rayos de electrones, el sistema de irradiación 100 vuelve al paso 950.

20 Si la respuesta al bloque de decisión 960 es SÍ, la fórmula infantil en polvo se empaqueta en la envasadora 60 y el proceso continúa completando el paso 980. Por lo tanto el sensor 80 se puede usar para asegurar que el producto alimenticio fluido esté recibiendo una dosis de energía radiante igual o inferior a un nivel de seguridad.

25 EJEMPLO

Se realizó un ensayo para determinar si el tratamiento de rayos de electrones empleado en combinación con técnicas adecuadas de manipulación del producto tras el proceso podía reducir la posibilidad de que llegara *E. sakazakii* a los consumidores. En el ensayo se estudió el empleo del tratamiento con rayos de electrones para reducir la carga microbiana patógena en la fórmula infantil en polvo terminada. Se escogió el tratamiento con rayos de electrones en vez de rayos X, porque se cree que la producción de rayos X es mucho menos eficiente que la de los rayos de electrones. Por ejemplo, un típico acelerador de rayos de electrones de 10 MeV, 50 kW puede procesar 31.500 kg de producto alimenticio por hora a una dosis de 2 kGy. Para tratar productos con rayos X a la misma velocidad que un acelerador de rayos de electrones de 10 MeV, 50 kW se necesitaría una potencia de 625 kW. La eficiencia de la producción de los rayos X está limitada por el hecho de que, además de producir fotones, los metales pesados impactados generan un calor considerable. De hecho las eficiencias no suelen ser mayores del 5-8%.

40 La temperatura de la fórmula infantil en polvo estará comprendida en el intervalo de 20 a 35°C. El contenido de humedad del polvo estará comprendido en el intervalo del 1% al 5% p/p. Para un producto líquido o semisólido la temperatura puede estar comprendida entre 1°C y 150°C y el contenido de humedad entre el 10% y el 99%.

45 A título informativo, la cantidad de energía absorbida, también conocida como dosis, se midió en unidades de kiloGrays (kGy), siendo 1 kGy igual a 1.000 Julios por kilogramo, o en MegaRads (MR o Mrad), siendo 1 MR igual a 1.000.000 ergios por gramo. Por lo que respecta al tratamiento de alimentos, las aplicaciones de radiación se pueden clasificar del modo siguiente según los efectos del nivel de dosificación: (1) dosis baja (hasta 1 kGy): inhibición de la germinación de los tubérculos, retraso de la maduración de los frutos, desinsectación, (2) dosis media (aprox. 1-10 kGy): reducción de bacterias y parásitos patógenos y putrefactivos, y (3) dosis alta (superior a 10 kGy): esterilidad completa. Las dosis máximas autorizadas para pasteurizar en frío aves de corral y carne son de 3 kGy y 7 kGy respectivamente. Entre los alimentos irradiados a dosis altas (p.ej. 44 kGy) cabe mencionar los consumidos por los astronautas durante los vuelos espaciales y por los pacientes hospitalarios con sistemas inmunitarios gravemente comprometidos.

55 El objetivo principal del ensayo fue cuantificar la reducción del recuento viable de *E. sakazakii* tras la exposición a unos niveles crecientes de dosis rayos de electrones de 0,5, 1,5 y 3,0 kGy. El objetivo de la disminución del recuento de *E. sakazakii* fue de dos reducciones logarítmicas (reducción de 100 veces el recuento). El segundo objetivo fue determinar los parámetros de proceso necesarios para conseguir la reducción pretendida.

60 Hasta cinco cepas de *E. sakazakii* procedentes de laboratorios Silliker se propagaron en volúmenes de 100 ml de caldo de tripticasa-soja (TSB, Becton Dickinson & Co, Cockeysville, MD), a partir de un cultivo madre congelado con glicerina, conservado a -70°C. El caldo se incubó a 35°C durante 24 h. Se centrifugaron los cultivos y los precipitados celulares se lavaron con diluyente de fosfato de Butterfield y se suspendieron en 10 ml de leche descremada en polvo reconstituida al 10% (p/v) estéril. Las suspensiones celulares se liofilizaron durante 24 h en una cámara de liofilización VirTis modelo 10-117 (Gardiner, NY). La leche descremada en polvo resultante, rica en células de *E. sakazakii* liofilizadas, se envasó en bolsas de muestras NASCO Whirl-pak (1g por muestra). Las

bolsas de muestras son de polietileno de baja densidad virgen mezclado y pre-esterilizado con óxido de etileno. Para la contención adecuada del patógeno se usó una configuración de bolsa-en-bolsa.

RECUESTO

5 Para la determinación de las células de *E. sakazakii* se empleó el método de recuento de placas mediante el uso de métodos estándar de agar (agar triptona-glucosa-extracto de levadura, TGL) incubado a 35°C durante 48 h. De cada muestra se prepararon cinco placas de réplica (5 submuestras procedentes de una bolsa). De cada muestra (placa de rango contable) se extendieron tres colonias en placas VRBG. Se consideraron confirmatorias las colonias típicas (procedimiento de la FDA fechado en julio de 2002, revisado en agosto de 2002 (dirección de internet cfsan.fda.gov/~comm/mmesakaz.html)).

DISEÑO EXPERIMENTAL

15 Para procesar 15 muestras (5 muestras por nivel de dosificación, con un contenido de 1 g de leche descremada en polvo inoculada con *E. sakazakii* por cada muestra) se usaron niveles de dosificación de 0,5, 1,5 y 3,0 kGy. Sirvieron de control otras cinco muestras sin procesar. Para el análisis microbiano cada muestra se subdividió 5 veces, a fin de determinar el recuento bacteriano. El diseño experimental está indicado en la siguiente tabla 1.

20 Tabla 1

Nivel de dosificación	Muestras	Submuestras microbianas	Etiquetado: nivel energético/ID muestra – submuestra #
0,0 kGy	5 (A, B, C, D, E)	5 (1, 2...5)	0,0/A-1; 0,0/A-2... 0,0/E-4; 0,0/E-5
0,5 kGy	5 (A, B, C, D, E)	5 (1, 2...5)	0,5/A-1; 0,5/A-2... 0,5/E-4; 0,5/E-5
1,5 kGy	5 (A, B, C, D, E)	5 (1, 2...5)	1,5/A-1; 1,5/A-2... 1,5/E-4; 1,5/E-5
3,0 kGy	5 (A, B, C, D, E)	5 (1, 2...5)	3,0/A-1; 3,0/A-2... 3,0/E-4; 3,0/E-5

CALIBRACIÓN DE LOS NIVELES DE DOSIFICACIÓN

25 Antes de realizar los ensayos con las bacterias liofilizadas se efectuó un test de calibración, a fin de determinar el tiempo necesario para alcanzar la absorción de una dosis concreta en los cultivos liofilizados. Nueve muestras previas que contenían gránulos de alanina se expusieron a radiación electrónica en tres ensayos (tres gránulos en cada ensayo), bajo unos parámetros predeterminados del sistema, tal como se expone en la siguiente tabla 2.

30 Tabla 2

	Ensayo # I	Ensayo # II	Ensayo # III
Energía	3,0 MeV	3,0 MeV	3,0 MeV
Corriente	0,2 mA	0,4 mA	0,6 mA
Amplitud de barrido	100 cm	100 cm	100 cm
Longitud de barrido	10 cm	10 cm	10 cm
Velocidad de la cinta	300 cm/min	300 cm/min	300 cm/min

35 Todos los ensayos se efectuaron colocando las bolsas de las premuestras encima de una mesa de proceso (soporte de muestras) y se controlaron con dosímetros de gránulos de alanina. Las bolsas se centraron sobre el soporte de muestras, tal como se ilustra abajo. La mesa de proceso se movió atravesando la radiación una sola vez a una velocidad predeterminada. En la FIG. 10 está representado el soporte de muestras y la ubicación de las muestras de mapas de dosificación sobre el soporte. También se indica la dirección que sigue el soporte de muestras al pasar bajo el cono de barrido de la radiación electrónica.

40 La siguiente tabla 3 presenta los resultados obtenidos a varias velocidades de cinta.

Tabla 3

Ensayo	Repetición	Dosis (kGy)	Promedio	Corriente	Velocidad
I	1	0,542	0,544 kGy	0,2 mA	300 cm/min
	2	0,543			
	3	0,548			
II	1	1,087	1,093 kGy	0,4 mA	300 cm/min
	2	1,090			
	3	1,101			
III	1	1,660	1,638 kGy	0,6 mA	300 cm/min
	2	1,625			
	3	1,630			

PARÁMETROS OPERATIVOS: CÁLCULOS

Debido a la naturaleza lineal de la acumulación de dosis en un acelerador de rayos de electrones, las dosis prescritas se alcanzaron fácilmente una vez establecida la emisión de la dosis. La relación conocida entre la dosis y los parámetros del proceso es la siguiente:

$$D = k \left(\frac{I}{v} \right)$$

donde: D = dosis; k = constante; I = corriente; v = velocidad. La relación entre corriente y velocidad determina la dosis, porque k es una constante. Para calcular las dosis prescritas se emplearon las relaciones I/v de mapas de dosificación indicadas en la siguiente tabla 4.

Tabla 4

Datos de mapeo de dosis	Determinación de k	Dosis prescrita	A corriente ajustada
A			
0,2 mA, 300 cm/min	$0,54 = k \left(\frac{0,2 \text{ mA}}{300 \text{ cm/min}} \right)$	0,5 kGy	$0,5 = 816 \left(\frac{0,2 \text{ mA}}{v} \right)$
Dosis = 0,54	Calculada $k = 816$	Resolver a la velocidad	$v = 326 \text{ cm/min}$
A			
0,4 mA, 300 cm/min	$1,093 = k \left(\frac{0,4 \text{ mA}}{300 \text{ cm/min}} \right)$	1,5 kGy	$1,5 = 820 \left(\frac{0,4 \text{ mA}}{v} \right)$
Dosis = 1,093	Calculada $k = 820$	Resolver a la velocidad	$v = 219 \text{ cm/min}$
A			
0,6 mA, 300 cm/min	$1,638 = k \left(\frac{0,6 \text{ mA}}{300 \text{ cm/min}} \right)$	3,0 kGy	$3,0 = 819 \left(\frac{0,8 \text{ mA}}{v} \right)$
Dosis = 1,638	Calculada $k = 819$	Resolver a la velocidad	$v = 219 \text{ cm/min}$

DOSÍMETROS RADIOCRÓMICOS: COLOCACIÓN Y ANÁLISIS

Se pegaron dosímetros radiocrómicos en la parte superior e inferior de cada una de las dos bolsas extraídas al azar de la serie de cinco bolsas de muestras para cada nivel de dosis. En los ensayos se utilizaron dosímetros radiocrómicos FWT-81-00 (intervalo de dosificación: 0,5-200 kGy (0,05-20 Mrad) de 1 cm x 1 cm x 42-52 micras), fabricados por Far West Technology, Inc. Son films delgados e incoloros que adquieren gradualmente una fuerte coloración en función de la dosis absorbida. Al empezar el proceso estos films estaban envueltos en bolsas laminadas de aluminio para proteger los dosímetros de la luz dispersa. En estos dosímetros se utiliza el colorante hexa(hidroxietil) aminotrifetilacetoneitrilo (HHEVC). Terminado el ensayo, los dosímetros se recogieron rasgando la bolsa laminada de aluminio y se colocaron en un fotómetro o espectrofotómetro para analizarlos. Abajo se muestran los dosímetros (tamaño real). Haciendo referencia a la FIG. 11, la absorbancia medida es una función lineal de la dosis emitida a la muestra (representada para luz de 510 y 600 nm).

PARÁMETROS DE LOS CICLOS EXPERIMENTALES

La siguiente tabla 5 muestra los parámetros reales de los ciclos experimentales utilizados durante el ensayo.

Tabla 5

Dosis prescrita kGy	Energía MeV	Corriente mA	Potencia específica W/cm ²	Velocidad de la muestra cm/min	Tiempo de exposición segundos
0,5	3,0	0,2	0,6	326	2,74
1,5	3,0	0,4	1,2	219	1,84
3,0	3,0	0,8	2,4	219	1,84

Haciendo referencia a la tabla 5, la energía denota el poder de penetración de los electrones. Corriente se refiere a la densidad de electrones que incide en la muestra. La potencia específica indica la potencia requerida por unidad de superficie. El tiempo de exposición es aquel que pasa cada partícula de la muestra bajo la radiación electrónica.

RESULTADOS: DOSIS REAL APORTADA

Para cada nivel de dosificación se pegaron dosímetros en la parte superior e inferior de dos de las cinco bolsas de muestras. La siguiente tabla 6 presenta la dosis media real aportada durante el proceso. La diferencia en la dosis calculada y en la dosis observada es debida al control inexacto de la velocidad de la mesa y a otros errores experimentales.

Tabla 6

Dosis prescrita	Dosis en la parte superior de la bolsa	Dosis en la parte inferior de la bolsa	Promedio de la bolsa	Dosis aportada
0,5 kGy	0,4 kGy	0,3 kGy	0,35 kGy	0,38 kGy
1,5 kGy	0,4 kGy	0,4 kGy	0,4 kGy	1,53 kGy
	1,4 kGy	1,4 kGy	1,4 kGy	
3,0 kGy	1,7 kGy	1,6 kGy	1,65 kGy	3,08 kGy
	3,3 kGy	3,2 kGy	3,25 kGy	
	2,9 kGy	2,9 kGy	2,9 kGy	

RESULTADOS: RECUENTO MICROBIANO

Las muestras procesadas con rayos de electrones y las muestras de control se subdividieron cinco veces (réplicas) para el recuento. En la FIG. 12 se muestra una placa estándar típica para el recuento del número de unidades formadoras de colonias (ufc) y el recuento de las colonias.

En la siguiente tabla 7 se indican los efectos del tratamiento con rayos de electrones, medidos en el recuento de *E. sakazakii*.

Tabla 7

Control inoculado (ufc/g)					
Réplica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	50.000.000	56.000.000	32.000.000	46.000.000	57.000.000
2	54.000.000	54.000.000	38.000.000	46.000.000	61.000.000
3	54.000.000	51.000.000	51.000.000	50.000.000	49.000.000
4	47.000.000	60.000.000	79.000.000	55.000.000	56.000.000
5	47.000.000	45.000.000	47.000.000	56.000.000	50.000.000
Tratamiento 0,5 (ufc/g)					
Réplica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	22.000.000	24.000.000	21.000.000	26.000.000	14.000.000
2	19.000.000	29.000.000	23.000.000	31.000.000	26.000.000
3	15.000.000	22.000.000	39.000.000	36.000.000	19.000.000
4	19.000.000	23.000.000	18.000.000	33.000.000	14.000.000
5	18.000.000	19.000.000	19.000.000	34.000.000	21.000.000
Tratamiento 1,5 (ufc/g)					
Réplica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	6.300.000	8.600.000	6.500.000	6.800.000	8.600.000
2	8.600.000	9.700.000	4.900.000	8.000.000	9.100.000
3	8.000.000	6.800.000	5.500.000	5.100.000	14.000.000
4	6.900.000	8.000.000	6.100.000	14.000.000	8.600.000
5	7.400.000	9.100.000	5.000.000	8.000.000	8.600.000
Tratamiento 3,0 (ufc/g)					
Réplica	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
1	750.000	660.000	690.000	450.000	600.000
2	810.000	680.000	810.000	580.000	640.000
3	600.000	770.000	750.000	490.000	790.000
4	640.000	570.000	640.000	410.000	680.000
5	650.000	560.000	780.000	550.000	1.100.000

Los datos de la tabla 7 se pasaron a una escala logarítmica y los datos transformados se sometieron a análisis estadístico. El análisis de la varianza mostró diferencias significativas ($\nu = 0,01$) entre los distintos niveles de dosificación. Sin embargo no se observaron diferencias importantes ($\nu = 0,01$) en las réplicas (submuestras para el análisis microbiano). El resultado del análisis de la varianza está representado en la siguiente tabla 8.

Tabla 8

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Dosis	3	50,7036	16,9012	1478,47	0
Rep	4	0,0239	0,006	0,52	0,719
Dosis*Rep	12	0,0734	0,0061	0,53	0,886
Error	80	0,9145	0,0114		
Total	99	51,7154			

- 5 Por lo tanto se concluyó que el tratamiento con rayos de electrones reducía significativamente la viabilidad de *E. sakazakii*. En la FIG. 13 está representada la tasa de destrucción. A partir de la curva ($y = -0,591x + 7,683$) de la FIG. 13 se dedujo que se requieren 1,69 kGy para lograr una reducción logarítmica del recuento de *E. sakazakii*.

CONCLUSIÓN

- 10 Se concluyó que el ensayo anterior demostraba decisivamente que el tratamiento con rayos de electrones ayuda a inactivar el *E. sakazakii* en la leche descremada en polvo. En la mayor parte de la literatura científica se asume que en promedio una fórmula infantil contaminada con *E. sakazakii* tiene aproximadamente 36 células/10 kg de producto. Si una fórmula infantil con este nivel de contaminación se trata con rayos de electrones a un nivel de dosificación de 3,4 kGy, la carga microbiana disminuirá hasta 0,36 células/10 kg (prácticamente imposible de
- 15 detectar mediante los procedimientos actuales de ensayos microbianos).

- Los diversos contaminantes de alimentos que se pueden eliminar/modificar empleando el sistema y el método anteriores comprenden ciertos compuestos volátiles causantes de sabor/olor, moléculas grandes capaces de polimerizar y la mayor parte de bacterias, esporas, hongos, mohos, levaduras y otros microorganismos.
- 20

REIVINDICACIONES

1. Aparato para irradiar productos alimenticios fluidos que consta de:

- 5 una fuente de radiación (30);
una primera pared (21, 21A, 21B, 21C) que tiene una superficie convexa y transmite la energía producida por la fuente de radiación (30);
una segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) que tiene una superficie cóncava opuesta a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para el flujo del producto que tiene una profundidad sustancialmente constante entre ellas;
- 10 una entrada que forma una vía de paso hacia el interior de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
- una salida que forma una vía de paso hacia el exterior de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto; y
- 15 un sensor (80, 80A) en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto para medir una característica de la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30);

en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) está situada entre la fuente de radiación (30) y la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, de tal manera que cuando la fuente de radiación (30) emite energía radiante ésta atraviesa la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) y pasa a la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y en el cual la fuente de radiación (30) se elige del grupo formado por una fuente de rayos de electrones, una fuente de rayos gamma y una fuente de rayos X; y de medios para ajustar la profundidad sustancialmente constante de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto.

- 25 2. El aparato según la reivindicación 1, en el que la profundidad sustancialmente constante es de 3 pulgadas (0,0762 metros) o menos.
- 30 3. El aparato según las reivindicaciones 1 o 2, el cual además comprende una tercera pared (32) que forma una segunda cavidad con la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C), llena con un fluido refrigerante.
- 4. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además una fuente de producto alimenticio fluido conectada funcionalmente a la entrada.
- 35 5. El aparato según la reivindicación 4, en el cual el producto alimenticio fluido se elige del grupo formado por pastas, líquidos, polvos, materiales granulados, geles o semisólidos.
- 6. El aparato según la reivindicación 5, en el cual el producto alimenticio fluido es una fórmula infantil en polvo.
- 40 7. El aparato según la reivindicación 1, en el cual la característica de la energía radiante se elige del grupo formado por potencia de radiación, dosis de radiación, intensidad de radiación y energía de radiación.
- 8. El aparato según la reivindicación 7, en el cual el sensor (80, 80A) está empotrado, fijado o colocado en la superficie de la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) o cerca de ella.
- 45 9. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) transmite la energía radiante producida por la fuente de radiación (30) sin una pérdida energética importante.
- 10. El aparato según la reivindicación 9, cuya primera pared (21, 21A, 21B, 21C) está construida con un material elegido del grupo formado por cuarzo, vidrio, polímeros sintéticos, laminados, planchas de metales pesados y láminas de metales pesados.
- 50 11. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, cuya primera pared (21, 21A, 21B, 21C) es de forma semicilíndrica, con un eje central situado fuera de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y la fuente de radiación (30) se encuentra a lo largo del eje central.
- 55 12. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, cuya primera pared (21, 21A, 21B, 21C) es de forma semiesférica, con un punto central situado fuera de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y la fuente de radiación (30) se encuentra en el punto central o cerca de él.
- 60 13. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, que además lleva instrumentos para controlar el caudal del producto alimenticio fluido a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto.
- 65 14. El aparato según la reivindicación 13, en el cual el instrumento de control del caudal está funcionalmente acoplado a la entrada o a la salida.

15. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, que además incluye mecanismos para facilitar el flujo del producto alimenticio fluido través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto.
- 5 16. El aparato según la reivindicación 15, en el cual el mecanismo que facilita el flujo del producto alimenticio fluido incluye una bomba adaptada para crear una presión o un vacío diferencial entre la entrada y a la salida.
17. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, en el cual la superficie de la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) es cóncava y en general concéntrica con la superficie convexa.
- 10 18. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, en el cual la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) es básicamente no transmisora de la energía radiante producida por la fuente de radiación (30).
19. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, que además comprende:
- 15 medios para ajustar la profundidad de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, bien expandiendo la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) y/o retrayendo la primera pared (21, 21A, 21B, 21C); una fuente de producto alimenticio fluido conectada funcionalmente a la entrada; un sensor (80, 80A) para medir los niveles de energía radiante en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, el cual está empotrado, fijado o colocado en la superficie de la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) o cerca de ella;
- 20 mecanismos para facilitar el flujo del producto alimenticio fluido través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
- instrumentos para controlar el caudal de producto alimenticio fluido a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
- 25 donde la superficie de la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) es cóncava y la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto tiene una profundidad sustancialmente constante de 3 pulgadas (0,0762 metros) o menos;
- donde la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) transmite la energía radiante producida por la fuente de radiación (30) sin una pérdida energética importante;
- 30 donde la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) es de forma semiesférica, con un punto central situado fuera de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y la fuente de radiación (30) se encuentra en el punto central o cerca de él;
- donde la fuente de radiación (30) es una fuente de rayos de electrones;
- donde la entrada forma una vía de paso vertical hacia una parte superior de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto y la salida forma una vía de paso vertical hacia fuera por una parte inferior de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
- 35 donde la superficie cóncava es en general concéntrica con la superficie convexa;
- donde la fuente de radiación (30) está distanciada de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), y
- donde la entrada está situada para introducir el producto alimenticio fluido en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, entrando en contacto con la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C).
- 40 20. Método de irradiación de productos alimenticios fluidos que consisten en:
- disponer de un aparato que consta de una fuente de radiación (30), de una primera pared (21, 21A, 21B, 21C) que tiene una superficie convexa, de una segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) que tiene una superficie opuesta a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para que el producto fluya entre ellas, y de un sensor (80, 80A) en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto para medir una característica de la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), en el cual la superficie de la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) se opone a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para que el producto fluya entre ellas, en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) transmite la energía radiante producida por la fuente de radiación (30) y está situada entre la fuente de radiación (30) y la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
- 45 introducir un producto alimenticio fluido en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto a través de una entrada a la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
- 50 hacer circular el producto alimenticio fluido a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y exponer el producto alimenticio fluido a la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), de modo que la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30) atraviese la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) hacia la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto y entre en contacto con el producto alimenticio fluido que se mueve a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto;
- 60 en el cual la fuente de radiación (30) se elige del grupo formado por una fuente de rayos de electrones, una fuente de rayos gamma y una fuente de rayos X.
21. El método según la reivindicación 20, por el cual el producto alimenticio fluido se conduce a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto a un caudal que da como resultado la exposición del producto alimenticio fluido a, como mínimo, una dosis deseada de la energía radiante.
- 65

22. El método según la reivindicación 20 o 21:

- 5 en el cual la superficie de la segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) es cóncava y en general concéntrica con la superficie convexa;
- en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) es de forma semiesférica, con un punto central situado fuera de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto, y la fuente de radiación (30) se encuentra en el punto central o cerca de él;
- 10 en el cual la fuente de radiación (30) es una fuente de rayos de electrones adaptada para funcionar con una energía máxima de 10 MeV;
- en el cual la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto tiene una profundidad básicamente constante de 3 pulgadas (0,0762 metros) o menos;
- 15 en el cual el producto alimenticio fluido contiene uno o más contaminantes o patógenos biológicos y se hace pasar a través de la cavidad (29, 29A, 29B, 29C) de flujo del producto a un caudal que da como resultado la exposición del producto alimenticio fluido a, como mínimo, una dosis de la energía radiante suficiente para reducir efectivamente los niveles de dicho uno o más contaminantes o patógenos biológicos;
- el cual el producto alimenticio fluido es una fórmula infantil y el o los contaminantes o patógenos biológicos incluyen *Enterobacter sakazakii*, siendo la dosis deseada de energía radiante no mayor de 5,0 kGy.

23. Método para irradiar un producto alimenticio fluido, que consisten en:

- 20 disponer de un aparato que consta de una fuente de radiación (30), de una primera pared (21, 21A, 21B, 21C) que tiene una superficie convexa, de una segunda pared (22, 22A, 22B, 22C) que tiene una superficie opuesta a la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), formando así una cavidad (29, 29A, 29B, 29C) para que el producto fluya entre ellas, y de un sensor (80, 80A) en la cavidad (29, 29A, 29B, 29C)
- 25 de flujo del producto para medir una característica de la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), en el cual la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) transmite la energía radiante producida por la fuente de radiación (30) y la fuente de radiación (30) está situada sobre una cara de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) opuesta a la superficie convexa;
- 30 hacer fluir un producto alimenticio fluido sobre la superficie convexa de la primera pared (21, 21A, 21B, 21C), y
- exponer el producto alimenticio fluido a energía radiante emitida por la fuente de radiación (30), de modo que la energía radiante emitida por la fuente de radiación (30) atraviese la primera pared (21, 21A, 21B, 21C) y entre en contacto con el producto alimenticio fluido;
- 35 en el cual la fuente de radiación (30) se elige del grupo formado por una fuente de rayos de electrones, una fuente de rayos gamma y una fuente de rayos X.

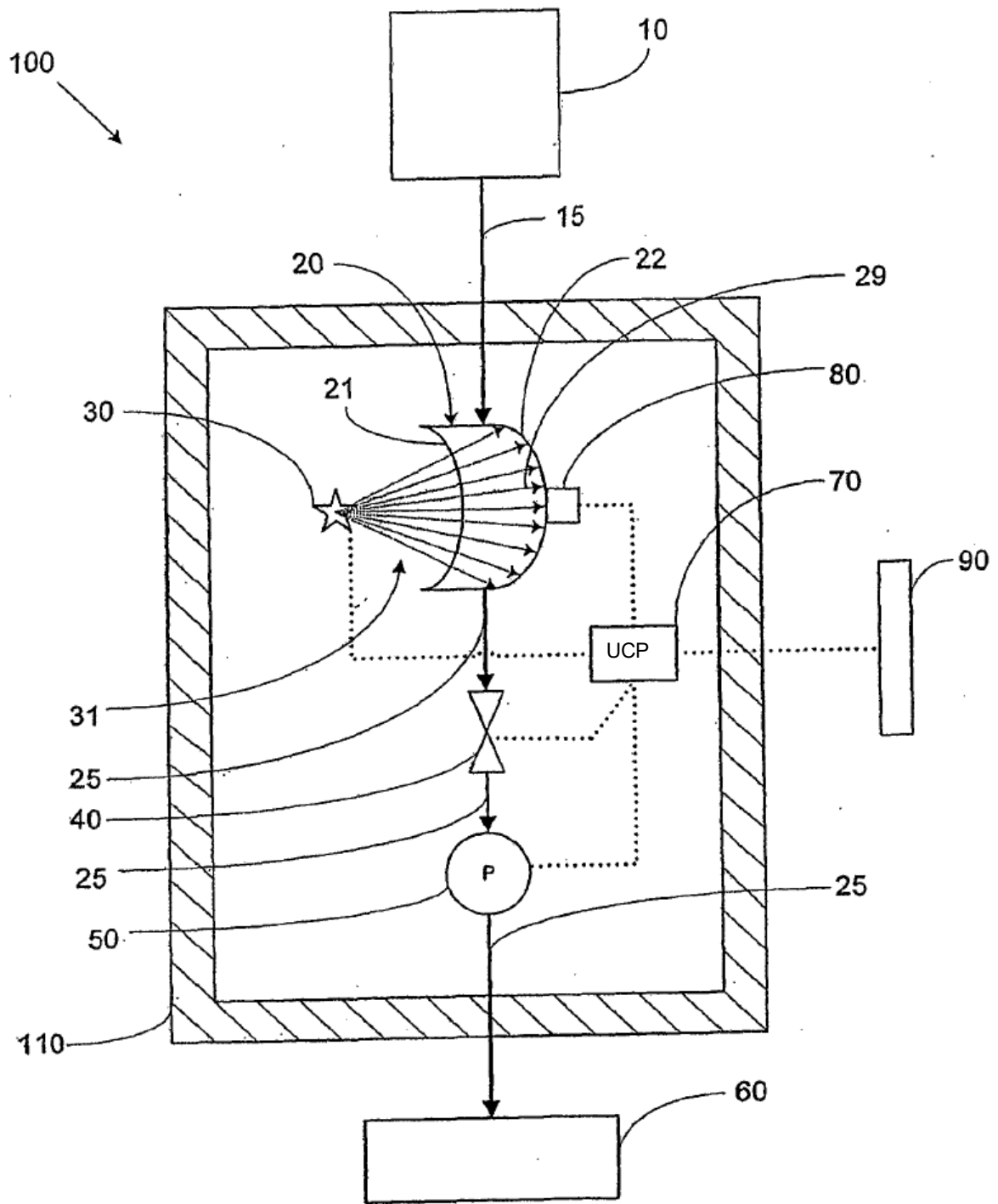


FIGURA 1

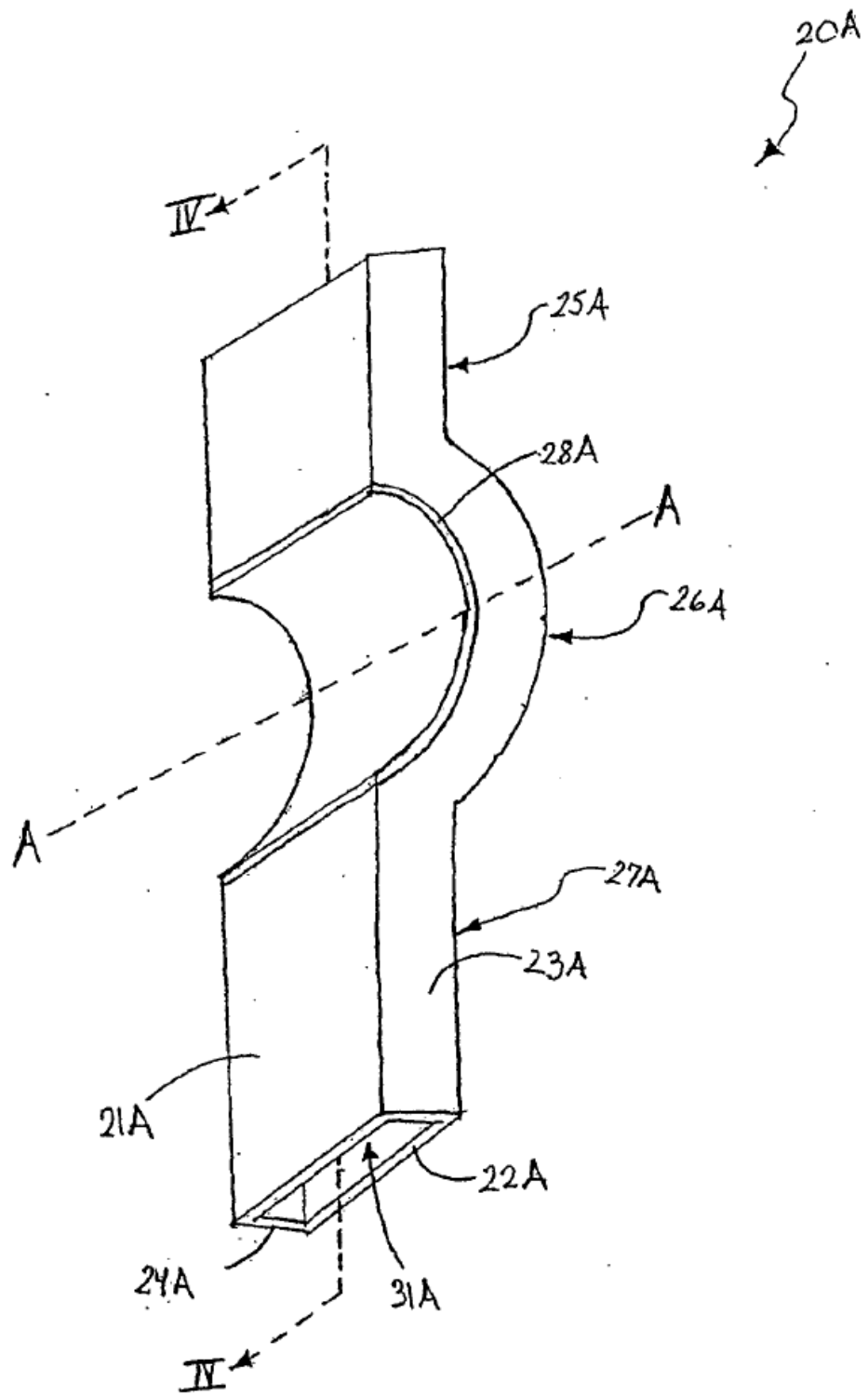


Figura 2

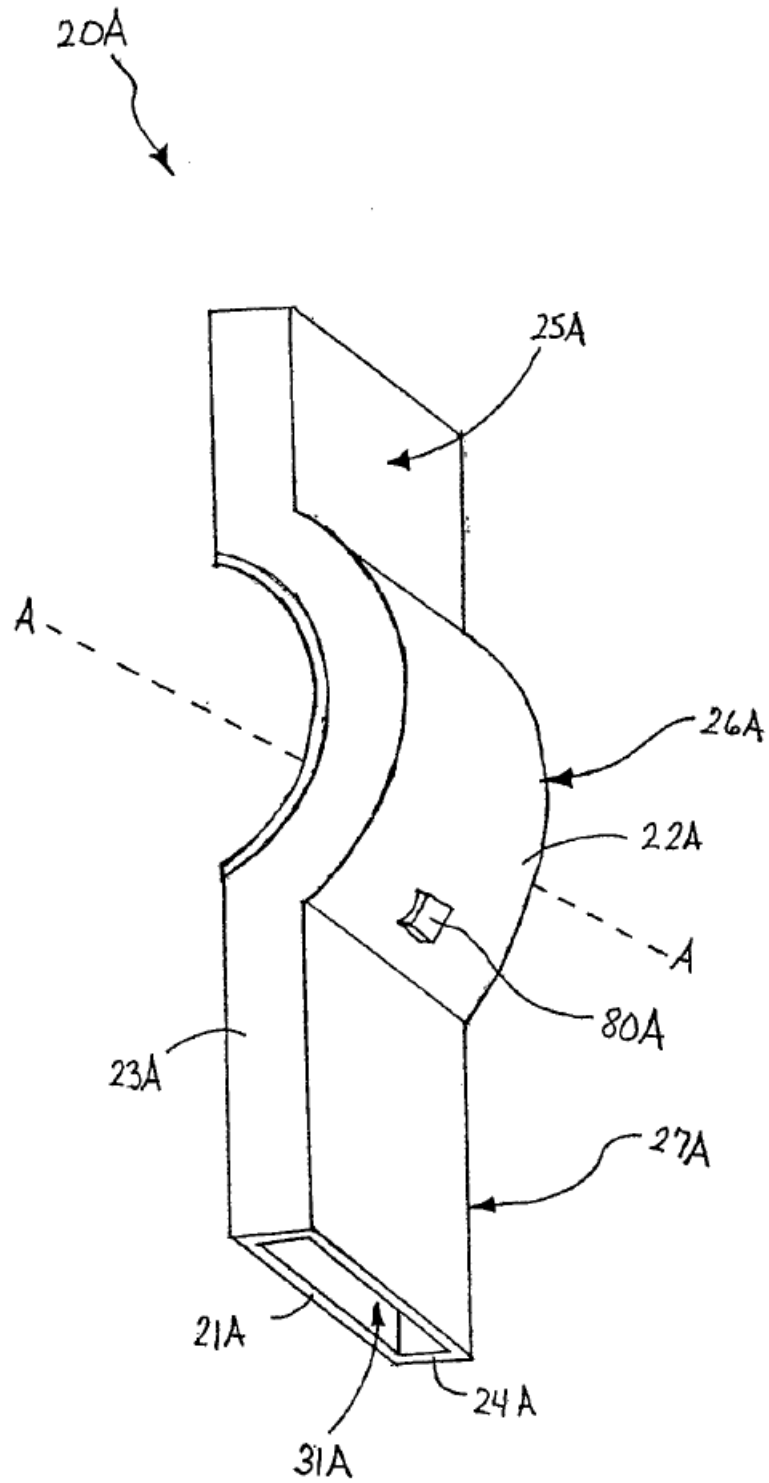


Figura 3

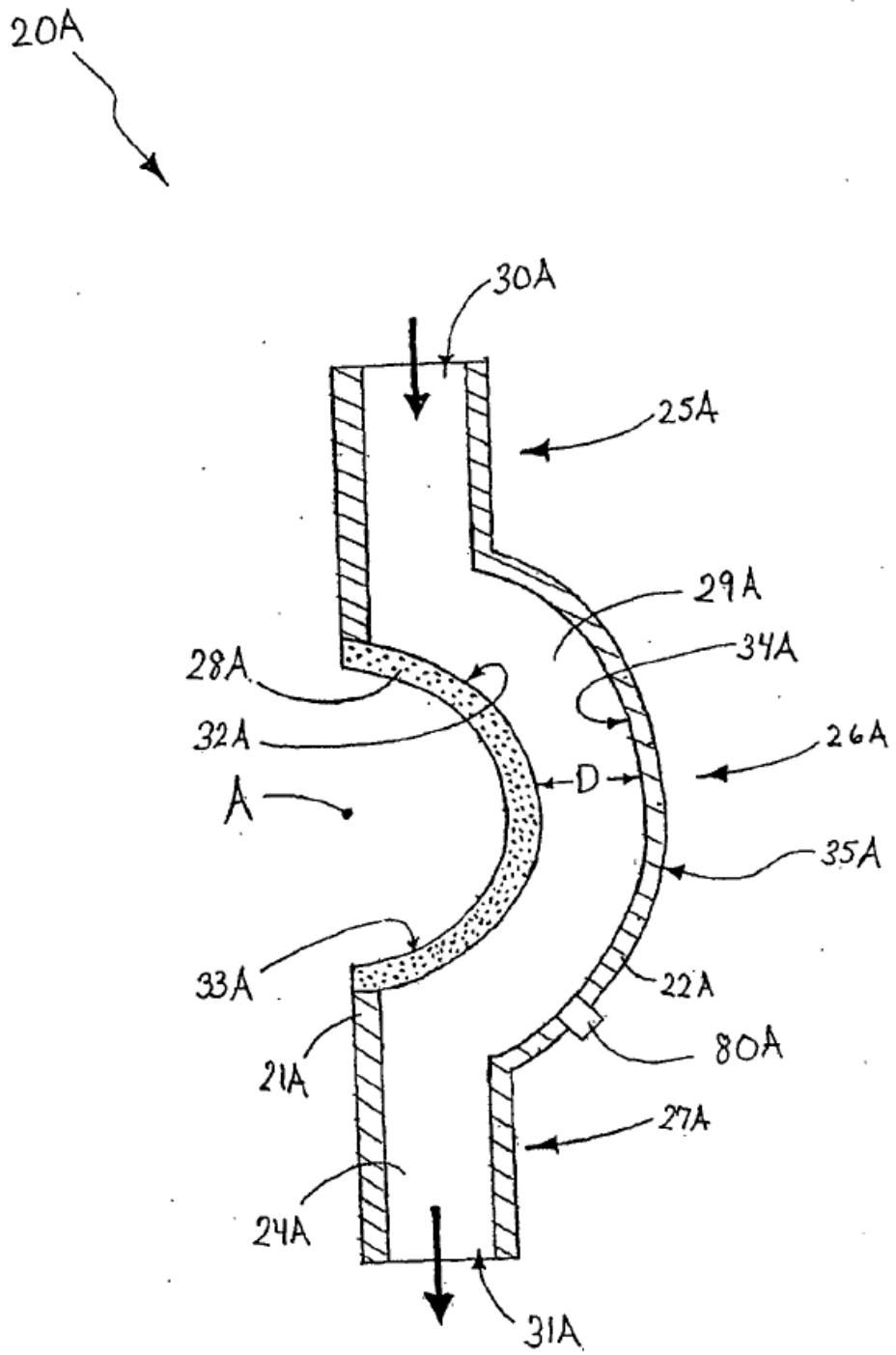


Figura 4

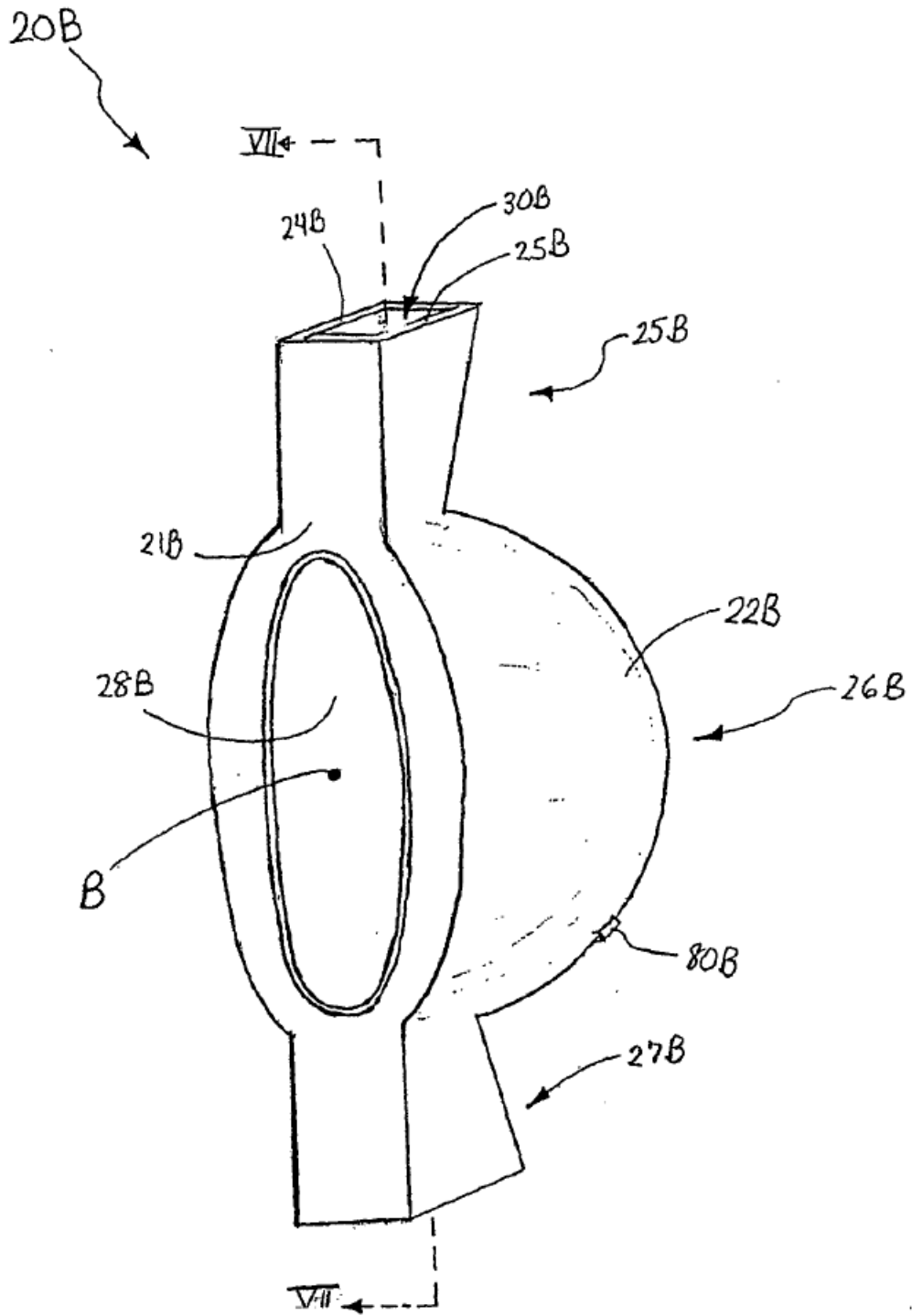


Figura 5

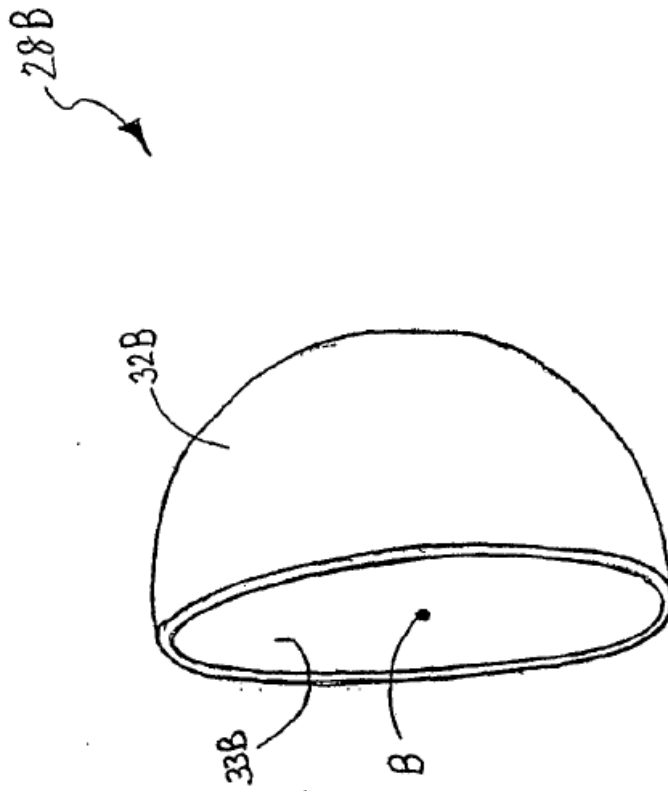


Figura 6

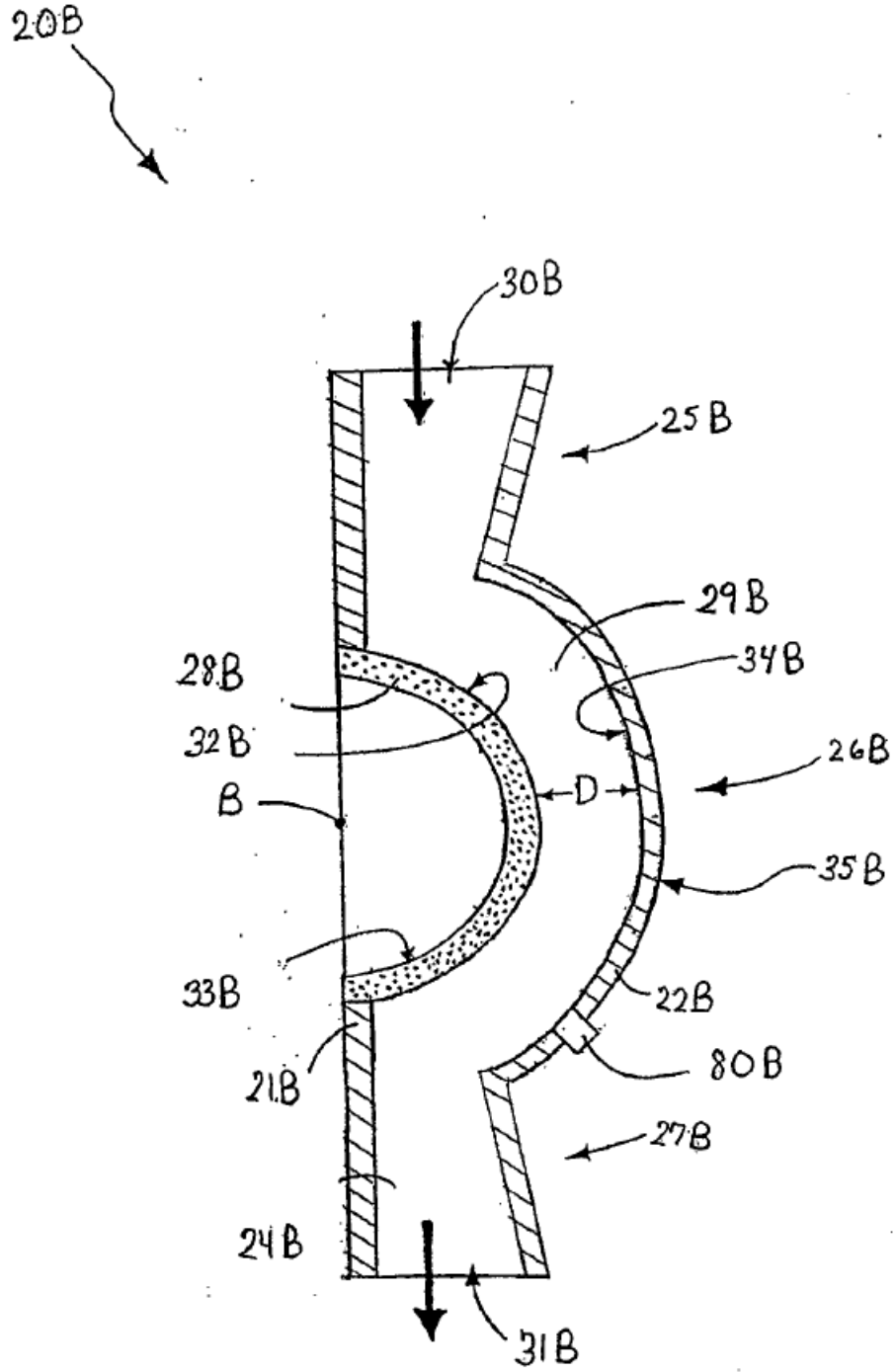


Figura 7

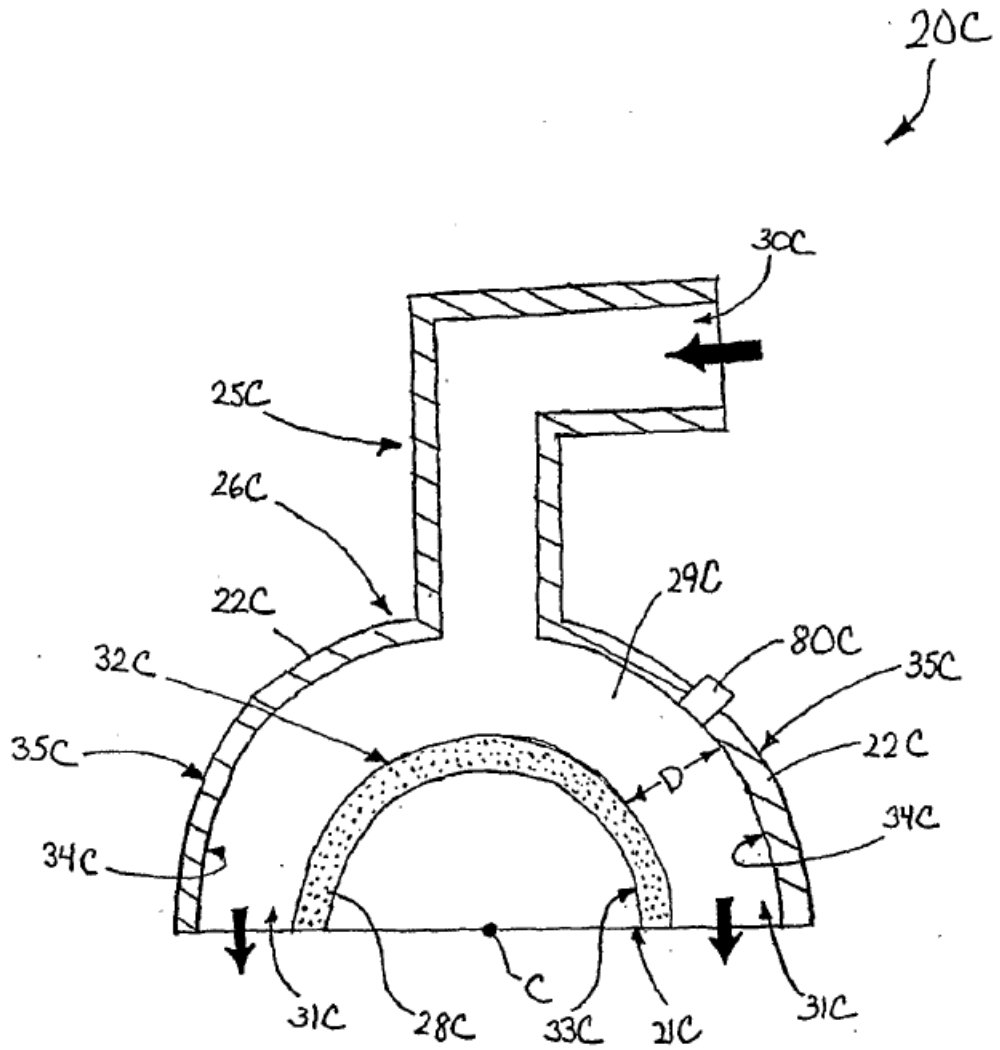


Figura 8

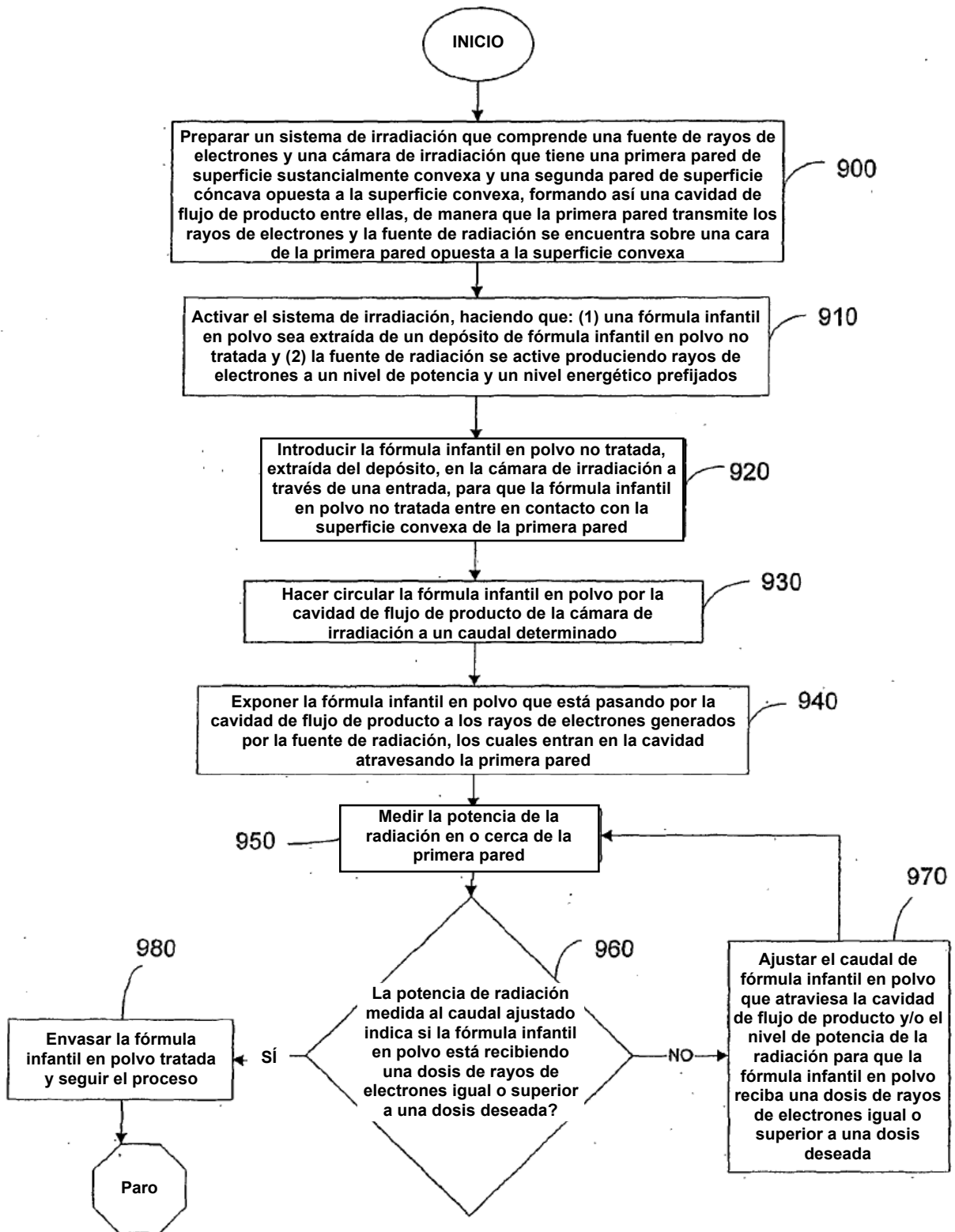


Figura 9

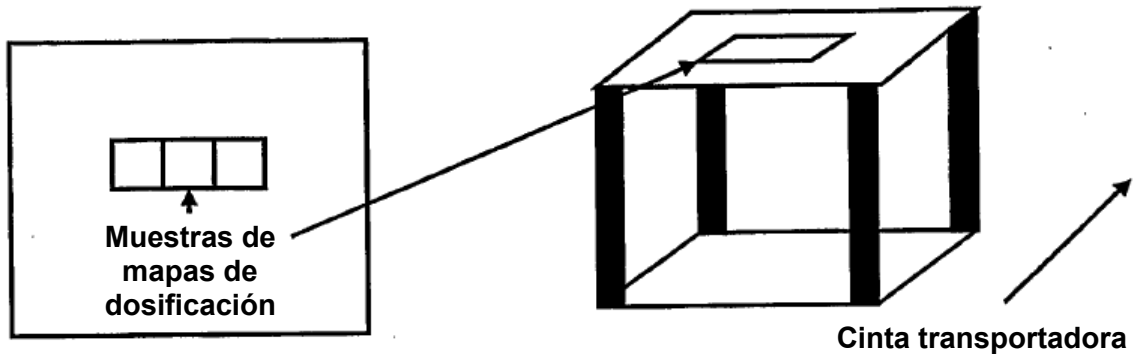


Figura 10

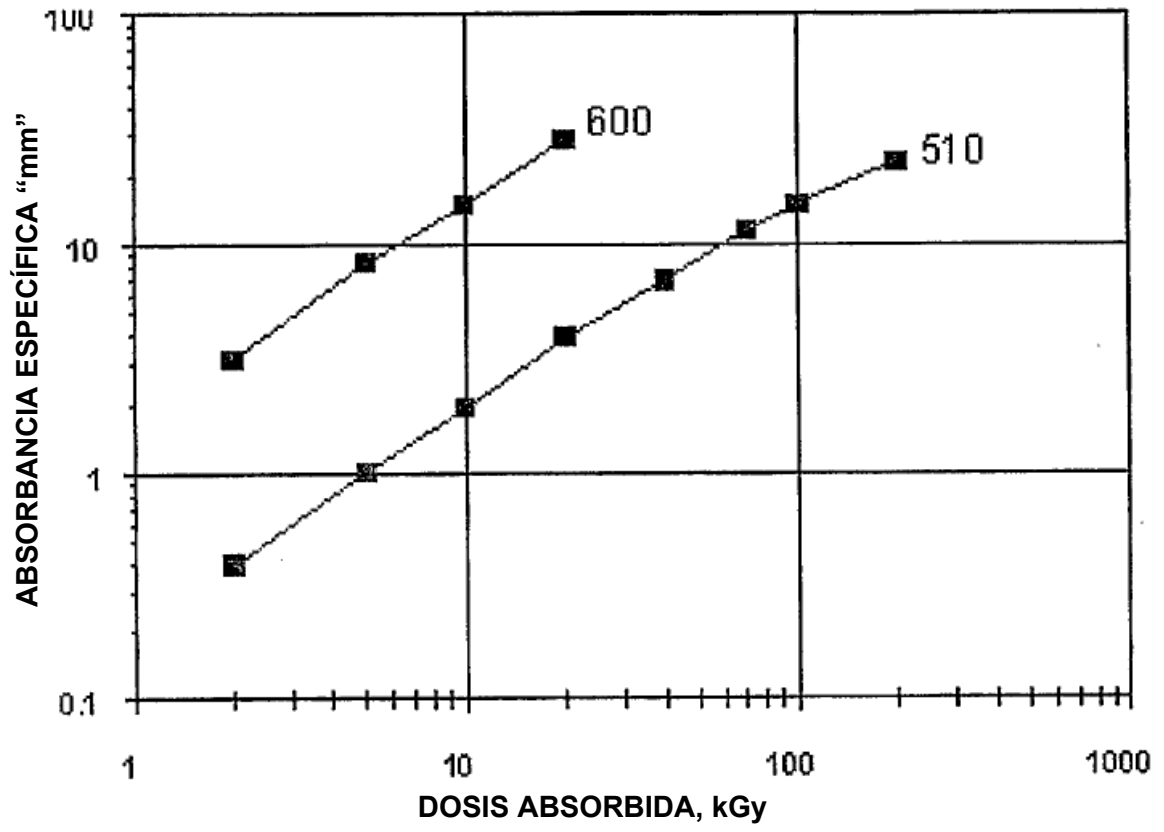


Figura 11

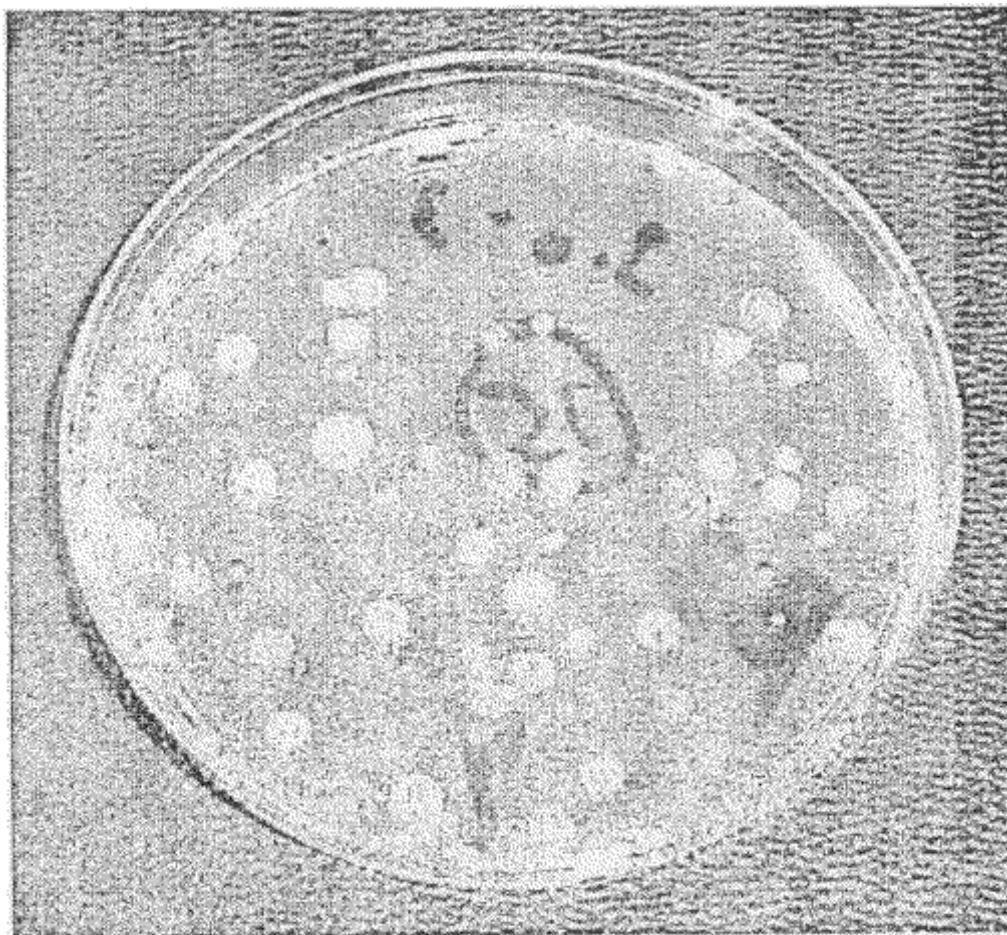


Figura 12

Efecto de la radiación electrónica sobre leche descremada en polvo

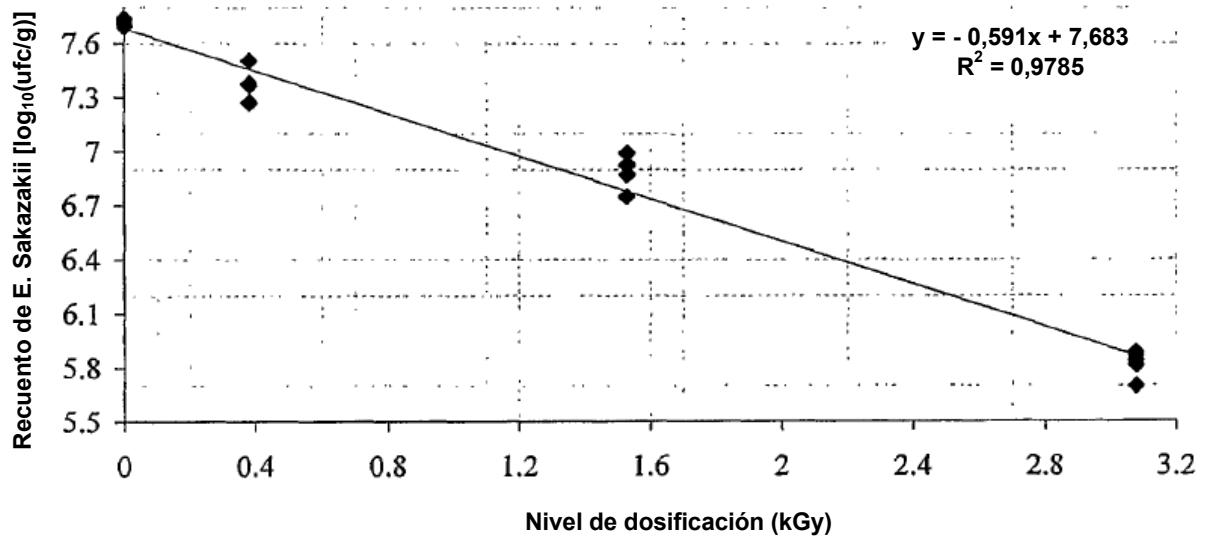


Figura 13