



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 273 897**

51 Int. Cl.:
A23L 3/32 (2006.01)
A61L 2/03 (2006.01)
C02F 1/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **01978716 .7**
86 Fecha de presentación : **22.10.2001**
87 Número de publicación de la solicitud: **1328167**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **23.07.2003**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo de esterilización.**

30 Prioridad: **27.10.2000 EP 00810998**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2007

73 Titular/es: **Apit Corp. S.A.**
10, avenue de France
1950 Sion, CH

72 Inventor/es: **Koulik, Pavel;**
Krapivina, Svetlana y
Saitchenko, Anatolii

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

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

Procedimiento y dispositivo de esterilización.

5 La invención se refiere a un procedimiento de esterilización de un líquido o de un objeto sólido en contacto con un líquido, y a un dispositivo para la realización de este procedimiento.

La invención se refiere en particular a un procedimiento de esterilización de una disolución acuosa, así como de superficies en contacto con este líquido, contaminadas en particular mediante levaduras o mohos.

10 Se conocen varios métodos de esterilización de un líquido, así como de superficies en contacto con este líquido. Uno de los métodos consiste en el uso de radiaciones penetrantes, tales como rayos ultravioletas, rayos X, rayos γ y rayos β . Las radiaciones UV son relativamente lentas y no permiten tratar zonas de sombra. Son susceptibles además de modificar el estado de la estructura de las moléculas cuyas energías de excitación son menores que 2eV. Las otras radiaciones ionizantes son frecuentemente nocivos para el producto debido a que pueden modificar sus propiedades fisicoquímicas, destruir algunas moléculas, o crear estados excitados que pueden perjudicar la salud de los consumidores (véanse Bernard D. T., Gravin A., Scout V.N., Shafer B. D., Stevenson K. E., Un-
 15 verferth I. A. y Chandarana D. I. "Validation of Aseptic Processing and Packaging". Food Technology, 1990, 12 p. 119-122).

20 Otros procedimientos de esterilización bien conocidos usan productos químicos para destruir los microorganismos. El uso de productos químicos de desinfección o de esterilización está extremadamente controlado, debido a los efectos nefastos de algunos productos sobre el medioambiente y la salud de los consumidores. En la industria alimenticia por ejemplo, la tendencia es la reducción, incluso la eliminación, de productos conservantes.

25 Los procedimientos de esterilización térmicos, tales como la pasteurización, están muy extendidos, pero tienen la desventaja de deteriorar los productos, lo que puede llevar, respecto a los productos alimentarios, a una modificación de sus propiedades sensoriales y nutritivas, y a la reducción de las vitaminas, tal como la vitamina C.

30 La pasteurización se efectúa normalmente a temperaturas por debajo de 75°C, y se mantiene frecuentemente por encima de 90°C durante más de 60 segundos.

35 El procedimiento de esterilización descrito en la publicación WO 97/19707 consiste en generar electroquímicamente componentes bactericidas, a saber el hipoclorito de sodio. Este procedimiento altera asimismo las propiedades del líquido a esterilizar.

40 Para evitar los inconvenientes de los procedimientos antes citados, se desarrollaron procedimientos mecánicos destinados a destruir los microorganismos sin deteriorar las propiedades fisicoquímicas de los líquidos. Estos procedimientos se basan en la creación de una diferencia de presión, por ejemplo ultrasonidos, ondas de choque o muy altas presiones, entre el interior de los microorganismos y el exterior, para hacer estallar sus membranas externas. Estos procedimientos son muy complejos y caros.

Existen también procedimientos basados en la creación de campos eléctricos y electromagnéticos que están todavía en estado de desarrollo y que se argumentan, por ejemplo, en los documentos:

- 45 - Le Tinier Y. "Stabilisation microbiologique des aliments par champs électrique pulsés". Cursos internacional de microbiología y dominio de la seguridad de los alimentos (4-15 de mayo de 1998) Instituto Pasteur de Lille, 1998; y
- 50 - Sitzmann E., Munch E. W. "Elektrische Hochspannungsimpulse zur Abtötung von Mikroorganismen in pumpfähigen Nahrungsmitteln". Die Molkerei-Zeitung, 42. Jahrgang, V 48, 1998.

55 Los microorganismos se destruyen mediante electroporación irreversible de la membrana que les envuelve, mediante el efecto de campos eléctricos de alta densidad (HDEF). Estos procedimientos, que se proponen principalmente para la esterilización de bebidas, necesitan campos eléctricos de una magnitud del orden de 10^5 a 10^6 V/cm que actúa mediante uno o varios impulsos cuya duración es del orden de 10^{-5} a 10^{-6} s. El volumen de líquido que se trata es muy pequeño, del orden de algunos mm^3 , debiendo fluir el líquido entre un extremo de un primer electrodo y un segundo electrodo, siendo el espacio entre los electrodos de menos de un milímetro, hasta algunos milímetros. Además de ser un procedimiento relativamente costoso, el potencial eléctrico muy alto puede modificar las propiedades
 60 fisicoquímicas del líquido mediante degradación de algunas moléculas.

Todos los procedimientos citados anteriormente, aparte de los procedimientos que usan radiaciones penetrantes y el procedimiento mecánico que usa ultrasonidos, no se pueden usar una vez que el líquido está en un recipiente herméticamente cerrado.

65 En el documento US nº 4.695.472, se describe un procedimiento de esterilización de alimentos líquidos mediante impulsos eléctricos secuenciales de al menos 5 kV/cm hasta 25 kV/cm.

ES 2 273 897 T3

En vista de los inconvenientes de los procedimientos convencionales, uno de los objetivos de la invención es realizar un procedimiento de esterilización de un líquido o de un objeto sólido sumergido o en contacto con un líquido, que no altere o altere poco las propiedades fisicoquímicas del líquido o del sólido. Resulta ventajoso realizar un procedimiento de esterilización que permita tratar grandes volúmenes de líquidos, de manera económica.

Resulta muy ventajoso poder esterilizar simultáneamente el líquido, así como un recipiente herméticamente cerrado que contiene este líquido, u otras superficies en contacto con el líquido.

Asimismo, resulta ventajoso poder esterilizar el líquido contenido en un recipiente convencional usado en la industria alimenticia, tal como un recipiente de PET.

Resulta ventajoso, además, poder esterilizar un líquido sin alteración de las cantidades nutritivas, y en particular de las vitaminas naturales.

Otro objetivo de la invención es realizar un dispositivo para la realización de un procedimiento de esterilización que no degrade, o que degrade poco, las propiedades fisicoquímicas de un líquido o de un sólido en contacto con un líquido. Resulta ventajoso además realizar un dispositivo que permita esterilizar un gran volumen de líquido de manera económica.

Los objetivos de la invención se alcanzan mediante un procedimiento de esterilización de un líquido o de objetos sólidos en contacto con un líquido según la reivindicación 1, y un dispositivo según la reivindicación 17 para la realización de este procedimiento.

En la presente invención, un procedimiento de esterilización de un líquido o de objetos sólidos en contacto con un líquido comprende la etapa o las etapas de calentamiento del líquido y de aplicación de un campo eléctrico de magnitud del orden de 10^2 V/cm o más.

En un procedimiento según la invención se pueden añadir, ventajosamente, vibraciones acústicas, preferentemente en el intervalo de frecuencias de ultrasonidos, durante el tratamiento de esterilización.

Uno de los resultados sorprendentes de la invención es que basta con aplicar un campo eléctrico relativamente bajo para destruir los microorganismos, si el líquido a esterilizar se calienta a una temperatura superior a una temperatura umbral T_s , siendo la temperatura umbral muy inferior a la temperatura necesaria para una esterilización mediante efecto térmico solo, es decir, mediante pasteurización.

Otro resultado sorprendente de la invención es que la adición de vibraciones acústicas durante el procedimiento de tratamiento de esterilización refuerza el efecto de destrucción de los microorganismos, y permite disminuir la temperatura a la que se efectúa el tratamiento.

Se ha descubierto que la temperatura umbral T_1 (sin aplicación de vibraciones), para la mayoría de los microorganismos, se sitúa entre aproximadamente 60 y 75°C. Se ha descubierto que la adición de vibraciones acústicas permite bajar la temperatura de tratamiento de aproximadamente 10 hasta 30°C.

Otra ventaja importante de la invención es que la duración del procedimiento para destruir los microorganismos es muy baja. En algunos casos, la duración puede ser incluso de una magnitud del orden de un segundo o menos.

Las ventajas de un procedimiento según la invención son considerables. En primer lugar, se puede fácilmente producir y aplicar un campo eléctrico de una magnitud del orden de 10^2 a 10^3 V/cm a un volumen de líquido relativamente grande, tal como un volumen de un litro contenido en una botella cilíndrica convencional usada en la industria alimenticia. En segundo lugar, la duración muy corta de esterilización reduce el tiempo y, por lo tanto, el coste de producción de líquidos esterilizados, en particular respecto al tratamiento de grandes volúmenes, ya sea que estén contenidos en recipientes o no, sin degradar las propiedades fisicoquímicas del líquido. En tercer lugar, la esterilización se puede efectuar en el caso de líquidos contenidos en recipientes herméticamente cerrados, e incluso en recipientes de materia plástica, tal como PET, que soporta las temperaturas que están comprendidas hasta aproximadamente 75°C. En cuarto lugar, la esterilización se puede efectuar para líquidos de alta viscosidad o que contienen partículas o proteínas en suspensión, sin riesgo de coagulación.

El procedimiento según la invención permite esterilizar las superficies de objetos sólidos sumergidos o en contacto con un líquido, sin modificar las propiedades fisicoquímicas de los objetos sólidos.

Productos alimenticios líquidos, tales como bebidas, pueden ser, por lo tanto, esterilizados después de la operación de rellenado en una botella u otro recipiente herméticamente cerrado. Los recipientes y tapas o capuchones no deben de esterilizarse previamente, debido a que el procedimiento según la invención esteriliza también las superficies en contacto con el líquido. Para eso, el recipiente se hace girar de manera que el líquido barra toda la superficie interna del recipiente durante el procedimiento de esterilización. En el caso particular de una esterilización de líquido en botellas esencialmente asimétricas, basta con, por ejemplo, hacer girar la botella alrededor de su eje de simetría, estando la botella dispuesta, por ejemplo, de manera que este eje de simetría sea aproximadamente horizontal.

El campo eléctrico se puede producir mediante una fuente de corriente continua, alterna o de alta densidad, o mediante ondas electromagnéticas, en particular microondas. Preferentemente, el campo eléctrico aplicado al líquido es de una magnitud del orden de 10^3 V/m, y la temperatura del líquido es de aproximadamente 62° hasta 75°C, mantenida durante un tiempo de al menos 0,3 s.

El líquido se puede precalentar a una temperatura inferior a 62°C antes de la etapa de calentamiento hasta la temperatura de esterilización y de la aplicación del campo eléctrico. Después de esta etapa de esterilización, el líquido se puede enfriar rápidamente, por ejemplo, mediante un dispositivo de intercambio de calor que recupera una parte de la energía de calor y la usa para precalentar el líquido al principio del proceso.

La fuente de calor para alcanzar la temperatura del líquido a 62°C o más puede ventajosamente ser del mismo tipo que la fuente de energía eléctrica que aplica el campo eléctrico. Una fuente de microondas puede, por ejemplo, por una parte, calentar el líquido, y, por otra parte, crear un campo eléctrico que se puede ajustar en función de la longitud de onda y de la potencia según las características del líquido a esterilizar, y en particular su conductividad, así como las dimensiones y formas del recipiente, y la velocidad de desplazamiento del líquido en el campo.

La creación de un campo eléctrico y el calentamiento se pueden efectuar también mediante inducción electromagnética, tal como la producida mediante espiras de un conductor alimentado con corriente eléctrica a impulso unipolar o alternativa. La aplicación del campo eléctrico se puede efectuar también mediante dos electrodos, dispuestos a ambos lados de un volumen de líquido a esterilizar. La diferencia de potencial, continuo o alternativo, entre electrodos, produce el campo eléctrico. La tensión aplicada a los electrodos depende, entre otras, de la distancia que separa los electrodos y de las características dieléctricas/conductoras del líquido a esterilizar.

Otros objetivos y aspectos ventajosos de la invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de las reivindicaciones, de la descripción y de los ejemplos siguientes, así como de los dibujos adjuntos, en los que

la Fig. 1 es un esquema simplificado de un dispositivo para la realización de un procedimiento según la invención;

la Fig. 2 es una vista simplificada en perspectiva de una primera variante de una parte del dispositivo para la aplicación de un campo eléctrico a un líquido y a un recipiente a esterilizar;

la Fig. 3 es una vista de otra variante de una parte del dispositivo para la aplicación de un campo eléctrico a un líquido y a un recipiente a esterilizar;

la Fig. 4 es una vista de otra variante de una parte del dispositivo para la aplicación de un campo eléctrico a un líquido y a un recipiente a esterilizar;

la Fig. 5 es una vista de otra variante de una parte del dispositivo para la aplicación de un campo eléctrico a un líquido y a un recipiente a esterilizar;

la Fig. 6 es otra variante de una parte del dispositivo para la aplicación de un campo eléctrico a un líquido a esterilizar;

la Fig. 7 es un gráfico que muestra el campo de uso de temperatura y de tiempo de esterilización de la invención, y de un método convencional de pasteurización;

la Fig. 8 es una sección esquemática de una mezcladora para alimentar el líquido a esterilizar mediante un aditivo que permite variar la inercia térmica media del líquido, formando parte esta mezcladora de un dispositivo de realización del procedimiento según la invención;

la Fig. 9 es una sección esquemática de una parte del dispositivo para la aplicación de un campo eléctrico que comprende un intercambiador de calor para el mantenimiento del líquido a esterilizar a una temperatura especificada;

la Fig. 10 es una perspectiva en sección de otra variante de una parte del dispositivo para la aplicación de un campo eléctrico a un líquido a esterilizar;

la Fig. 11 es un esquema simplificado de una estación de esterilización de un dispositivo para la realización de un procedimiento según la invención; y

la Fig. 12 es una vista de un difusor de microondas usado en el dispositivo de la Fig. 11.

Refiriéndose en primer lugar a la Fig. 1, un dispositivo 1 para la esterilización de un líquido 2, contenido, en este ejemplo, en un recipiente 3 herméticamente cerrado, comprende un sistema cinemático 4 para el posicionamiento y el desplazamiento de un producto líquido 2 y del recipiente 3 en las distintas etapas de tratamiento del dispositivo, una etapa de calentamiento 5, una etapa de esterilización 6, y una etapa de enfriamiento 7, estando las etapas dispuestas a lo largo de un sistema cinemático 4.

La etapa de calentamiento 5 puede comprender elementos que calienten, para calentar el recipiente 3 mediante convección y/o radiación infrarroja a una temperatura, por ejemplo, del orden de 20 a 60°C. El elemento de calentamiento puede asimismo pertenecer a un intercambiador de calor que comprende la etapa de enfriamiento 7, recuperando esta última la energía de calor latente del líquido esterilizado 2' aguas abajo de la etapa de esterilización 6. Las etapas de calentamiento o de enfriamiento están, en este caso, unidos mediante conductos 8. Siendo bien conocido el principio de tales intercambiadores de calor, no es necesario describirlo más detalladamente. Sin embargo, se debe observar que un intercambiador de calor permitirá recuperar hasta aproximadamente 40 a 90% de la energía usada para el calentamiento.

Otra ventaja de este sistema es que el precalentamiento del líquido disminuye la potencia a suministrar mediante la etapa de esterilización 6 y/o el tiempo de esterilización. El enfriamiento rápido del líquido después de la esterilización permite no sólo ahorrar energía, sin también reducir los efectos de degradación de las propiedades fisicoquímicas del líquido debido a la temperatura. En este aspecto, es importante observar que la degradación de vitaminas o de otros elementos nutritivos es función de la temperatura y del tiempo durante el cual el líquido se mantiene a esta temperatura.

Frente a los procedimientos térmicos tal como la pasteurización, que necesita normalmente una temperatura de más de 90°C para algunos líquidos esencialmente acuosos durante aproximadamente 60 segundos, el procedimiento según la invención es muy ventajoso debido a que la esterilización necesita menos de un segundo a una temperatura de aproximadamente 62 a 75°C. Los efectos de la temperatura dependen solamente de la eficacia de las etapas de calentamiento, y en particular de enfriamiento.

La etapa de esterilización 6 comprende una fuente de energía eléctrica para alimentar un elemento que produce un campo eléctrico o electromagnético que puede generar un campo eléctrico de aproximadamente 10^3 V/cm en el líquido 2, atravesando la estación de esterilización. En el ejemplo de la Fig. 1, el campo eléctrico se produce mediante un elemento de inducción 9 que, por una parte, calienta el líquido y, por otra parte, aplica un campo eléctrico de una amplitud del orden de 10^3 V/cm. El calentamiento mediante inducción del líquido necesita que este líquido sea conductor, tal como agua que contiene electrolitos, en particular sales, incluso en baja cantidad. El calentamiento mediante inducción necesita también una fuente de corriente alternativa, preferentemente de alta frecuencia, por ejemplo de una magnitud del orden de 10^6 Hz o más. La etapa de esterilización 6 comprende además un sensor de temperatura 10 unido a un circuito de control 11 de la fuente de corriente 1 para ajustar el aporte de energía y, por lo tanto, el calentamiento del líquido.

A título de ejemplo, para calentar un litro de agua en 0,3 s, de 30°C hasta 70°C, se necesita una potencia de aproximadamente 500 kW.

Para asegurar una distribución de temperatura homogénea en el líquido a esterilizar, el sistema cinemático 4 tiene un dispositivo de rotación de los recipientes 3 que permite, por una parte, mezclar el líquido en el interior del recipiente y, por otra parte, hacer girar el líquido en el campo eléctrico o electromagnético. El recipiente 3 atraviesa la etapa de esterilización 6 durante su rotación, de manera que el campo eléctrico o electromagnético se aplica homogéneamente sobre todo el líquido que atraviesa el generador de campo 9. Debido al muy corto tiempo de esterilización, la rotación se puede efectuar preferentemente a aproximadamente 1000 rpm.

Se pueden aplicar otros movimientos al recipiente 3 para aumentar la transferencia de calor mediante convección forzada en el interior del recipiente. El principio del dispositivo y del procedimiento descrito aquí arriba, también se puede aplicar a un líquido que no esté en un recipiente hermético, sino, por ejemplo, en un conducto que atraviesa el dispositivo, fluidizando el líquido en continuo a través de este conducto, y pudiendo ser agitado o puesto en rotación mediante alabes u otros elementos mecánicos en el conducto, actuando sobre el fluido del líquido a través de este conducto. En tal sistema, es posible añadir aditivos 11, por ejemplo perlas de vidrio, o un polvo químicamente neutro e insoluble, en una mezcladora 12 con el líquido a esterilizar 2, lo que permite modificar la inercia térmica media del líquido, en especial reducirla, a fin de poder calentar y enfriar el líquido más rápidamente. Esto se ilustra en la Fig. 8, que muestra esquemáticamente las etapas de calentamiento 5 y de enfriamiento 7, así como la etapa de esterilización 6 dispuesta a lo largo de un conducto 13 que lleva el líquido a esterilizar 2 mezclado con el aditivo 11. Aguas debajo de la etapa de enfriamiento 7, existe una etapa de separación 14, por ejemplo un filtro, que divide el líquido estéril 2' del aditivo 11.

En lugar de tener un elemento a inducción para el calentamiento y la aplicación del campo eléctrico, también se pueden suministrar microondas, que son absorbidas mediante el líquido 2 que atraviesa una guía de ondas 15, tal como se muestra en la Fig. 2. El recipiente 3 atraviesa, mediante agujeros 16, 17, la guía de ondas 15 ortogonalmente para asegurar que la energía de microondas sea absorbida por el líquido. La distancia del centro del líquido del extremo 18 de la guía de ondas 15 es un factor de cifra impar del cuarto de la longitud de ondas ($\lambda/4$, $3\lambda/4$, $5\lambda/4$, etc.).

En la Fig. 3, un conducto 13 atraviesa la guía de ondas 15 en el que fluye un líquido a esterilizar 2 o, alternatively, una disolución conductora en la que se sumergen recipientes 3', de forma cualquiera, y que contiene el líquido a esterilizar. Preferentemente, el líquido en el conducto 13 tiene propiedades similares a las del líquido a esterilizar contenido en el recipiente 3'. Esto permite esterilizar recipientes de pequeño tamaño y/o de cualquier forma, por ejemplo, que tiene embalajes flexibles, permitiendo al líquido en el conducto 13 un control preciso de la temperatura, y la aplicación de un campo eléctrico en el líquido a esterilizar.

Además del elemento de inducción 9 o de la guía de ondas 15, el generador de campo eléctrico o electromagnético puede tener muchas formas distintas, por ejemplo, dos electrodos anulares 18, 19 coaxiales, pero separados mediante una cierta distancia, tal como se muestra en la Fig. 4, o un par de electrodos 18', 19' a ambos lados del líquido a esterilizar, tal como se muestra en la Fig. 5. Esta variante se adapta bien a los recipientes de forma paralelepípeda, tales como los "tetrabrik" de leche o de zumo de fruta.

En la variante de la Fig. 6, el generador de campo eléctrico o electromagnético comprende un electrodo en forma de hilo o de varilla que constituye un electrodo interno 18'', alrededor del cual se dispone, coaxialmente, un electrodo externo 19'', sirviendo el espacio entre los electrodos para el paso del líquido a esterilizar a través de un conducto 13''. En las variantes de las Figuras 4 a 6, se puede asimismo aplicar un campo eléctrico generado mediante una tensión continua entre los electrodos, siendo el líquido llevado a la temperatura de esterilización, es decir, de 60 hasta 75°C, mediante la etapa de calentamiento 5, o bien se puede aplicar una tensión alternativa de alta frecuencia que permite calentar y, simultáneamente, aplicar el campo eléctrico al líquido.

La Fig. 9 muestra una sección de un dispositivo en el que la aplicación del campo eléctrico se efectúa mediante un sistema de electrodos externos 18', 19', alimentados mediante una fuente de electricidad 6 de alta frecuencia. Un intercambiador de calor 20 permite enfriar el líquido a esterilizar 2 durante el periodo de aplicación del campo eléctrico, para evitar un calentamiento superfluo del líquido 2 debido al paso de la corriente de alta frecuencia a través de este líquido.

La Fig. 10 muestra una parte de una etapa de esterilización que usa microondas, similar a la variante de la Fig. 3, para calentar y esterilizar un líquido a esterilizar 2. Esta variante comprende una guía de ondas 15' atravesada por un conducto 13' en el que el líquido a esterilizar 2 fluye desde abajo 21 hasta arriba 22.

La guía de ondas 15' comprende una parte de entrada 24 y una parte de recinto 25 en el interior del cual se disponen o se forman uno o varios reflectores 26. Estos reflectores pueden estar formados directamente en la pared de la parte de recinto metálico 25, o estar montados como piezas separadas en el interior de la parte de recinto. Los reflectores pueden estar en forma generalmente esférica, y sirven para reflejar las microondas en el interior de la parte de recinto 25 a fin de distribuir estas microondas de manera relativamente uniforme en el volumen del recinto.

El conducto puede comprender una parte en serpentín 23, dispuesto en la parte de recinto 25 del guía de ondas. El conducto 13' puede ser un material que absorba débilmente la radiación de microondas, por ejemplo, cuarzo, teflón o polietileno, de manera que la energía de las microondas se absorba principalmente mediante el líquido a esterilizar 2. El líquido a esterilizar se desplaza en el conducto 13' desde abajo hasta arriba, a fin de impedir la formación y la estancación de burbujas gaseosas. La parte de serpentín 23 permite aumentar la longitud del conducto, y por lo tanto aumentar el tiempo de fluido del líquido a esterilizar a través de la guía de ondas, de manera que el dispositivo sea muy compacto. Esto permite asimismo al conducto 13' tener un pequeño diámetro a fin de calentar, pero sobretodo enfriar, más rápidamente el líquido a esterilizar.

La Fig. 11 muestra una etapa de esterilización 6 que comprende un generador de microondas 1' que transmite microondas mediante una guía de ondas 27, y un sistema cinemático 28 para botellas u otros recipientes 3 llenos de un líquido a esterilizar 2 y cerrados herméticamente. El sistema cinemático 28 comprende una parte de canal de tratamiento 29 que se extiende entre una parte de canal de entrada 30 y una parte de canal de salida 31. Las partes de canal de entrada y de salida están provistas de dispositivos de pantalla de protección contra las microondas 32. En esta forma de ejecución, los dispositivos de pantalla de protección están en forma de torniquetes que comprenden un eje de rotación 33 al que se fijan palas metálicas 34 en el interior de una parte de canal esencialmente cilíndrico 35, cuyo radio es el mismo que la longitud de las palas 32 salvo el espacio necesario para la rotación de las palas. Las partes de canal de entrada 30 y de salida 31 desembocan en la parte de canal esencialmente cilíndrica, de manera que no estén en frente de la parte de canal de tratamiento 29. Esta configuración permite bloquear totalmente y de manera fiable un escape de microondas.

La guía de ondas 27 se muestra en la parte de canal de tratamiento 29, y se separa de esta parte mediante una pared de difusión 36 provista de ranuras 37. La configuración de las ranuras se optimiza de manera que la radiación de las microondas caliente todo el volumen del recipiente esencialmente de forma uniforme. La velocidad del paso de los recipientes en la parte de canal de tratamiento 29 se ajusta asimismo para que se llegue al nivel de temperatura de tratamiento del líquido a esterilizar, teniendo en cuenta la velocidad de paso de los recipientes en el canal, así como la potencia de radiación de las microondas emitidas por el generador 1'.

Los recipientes 3 se pueden desplazar mediante un sistema de transportadores (no ilustrado) en el interior del canal. En otra variante, para el tratamiento de botellas esencialmente cilíndricas, la parte de canal de tratamiento 29 se puede inclinar un ángulo α permitiendo a los recipientes rodar libremente a lo largo del canal. Este rodamiento no sólo permite evitar el suministro de un mecanismo de desplazamiento, sino también mezclar el líquido tratado mediante convección en el interior del recipiente. Esto mejora la uniformidad del calentamiento y, por lo tanto, del tratamiento mediante campo eléctrico.

La invención es particularmente efectiva para destruir los microorganismos de tipo mohos, tales como *Aspergillus niger*, *Byssochlamys nivea* y *Byssochlamys fulva*, y de tipo levaduras, tales como *Saccharomyces cerevisiae*, contenidos tanto en el volumen del líquido como presente previamente sobre las paredes del recipiente o sobre otros objetos

sólidos que se encuentran en el líquido. No se puede detectar ninguna modificación de las propiedades fisicoquímicas del líquido. En particular, el porcentaje de las vitaminas, tal como la vitamina C, sigue siendo el mismo, y otras calidades fisicoquímicas que determinan el gusto, el olor, el color o las propiedades ópticas del líquido no están influidos por la esterilización según la invención.

Se piensa que el efecto de esterilización según la invención se basa en los efectos físicos siguientes.

La estructura de las moléculas lipídicas que constituyen la membrana que envuelven los microorganismos se parece a la de los grupos de moléculas de agua denominadas “clústeres” y que existen en cualquier medio acuoso. La interacción de las estructuras denominadas “clústeres” con las moléculas lipídicas se rige mediante las uniones de hidrógeno. Estas estructuras se pueden modificar disponiéndolas en un campo eléctrico. Si este campo es lo bastante fuerte, hace coincidir las topologías de las estructuras, provocando un debilitamiento local de las uniones entre las moléculas lipídicas, llevando a rupturas de la membrana de los microorganismos. Es el principio de la electroporación. Si el campo eléctrico es lo bastante elevado, las rupturas de las membranas son irreversibles, y los microorganismos son destruidos. La amplitud del campo eléctrico debe de estar, sin embargo, entre dos límites:

el límite superior, definido por la aparición de micro-arcos en el líquido, es decir, la formación de zonas de plasma que destruyen no solamente los microorganismos sino que modifica también las propiedades fisicoquímicas del líquido; y

el límite inferior, determinado por un valor del campo eléctrico insuficiente para romper la membrana del microorganismo de manera irreversible.

Un aspecto importante de la invención es que el límite inferior del campo puede ser de una magnitud del orden de 10^2 V/cm si la temperatura del líquido es más alta que la temperatura umbral T_1 de una magnitud del orden de aproximadamente 60° a 75°C , en ausencia de vibraciones acústicas. Se piensa que, a esta temperatura, existe un efecto de resonancia entre los “clústeres” de agua y los lípidos de las membranas, de manera que la energía necesaria para debilitar localmente las uniones entre las moléculas lipídicas puede ser relativamente baja, debido a que es absorbida mediante las moléculas en resonancia en lugar de ser disipada.

Se ha descubierto que la temperatura umbral T_1 a la que se efectúa la esterilización depende del microorganismo, pero se sitúa en un intervalo de temperatura de 62° a 75°C , en ausencia de vibraciones acústicas, para campos eléctricos de aproximadamente 10^2 a 10^3 V/cm, tal como se ilustra en la siguiente tabla.

Microorganismos	T_1
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	62°C
<i>Aspergillus niger</i>	65°C
<i>Byssoschlamys nivea</i>	72°C
<i>Byssoschlamys fulva</i>	72°C

Se debe observar que el tiempo de aplicación del campo eléctrico y de la temperatura necesaria para la esterilización puede ser de menos de un segundo, lo que es muy ventajoso frente a los procedimientos convencionales tales como la pasteurización. Se observa también que existe una correlación entre el nivel de temperatura alcanzado por el líquido, el tiempo del procedimiento y el campo eléctrico presente.

Se ha descubierto asimismo que la esterilización se puede efectuar a una temperatura inferior a la temperatura umbral T_1 , mediante adjunción de vibraciones acústicas, en particular ultrasonidos, durante el procedimiento de tratamiento. Los experimentos realizados en el ámbito de la invención han permitido demostrar que la acción de los ultrasonidos refuerza el efecto de destrucción de los microorganismos, y permite disminuir la temperatura a la que se efectúa el tratamiento, mediante una disminución ΔT_u de aproximadamente 10 a 30°C . Las vibraciones acústicas añaden al movimiento caótico de las moléculas del líquido, debido a la energía térmica, un movimiento ondulatorio, de manera que la energía necesaria para debilitar localmente las uniones entre las moléculas lipídicas se ve reducida.

La destrucción de un microorganismo mediante campo eléctrico, mediante el procedimiento según la invención, necesita un consumo energético Δ . En el caso en el que el procedimiento según la invención se aplica a un flujo de producto líquido Φ_L , la potencia de consumo N se determinará mediante la fórmula:

$$N = N_a + N_T$$

en la que:

ES 2 273 897 T3

N_a es la potencia desarrollada para la destrucción de los microorganismos en sí, y

N_T es la potencia desarrollada para calentar el producto desde la temperatura inicial T_0 hasta la temperatura umbral T_1 .

Para N_a , se obtiene la relación:

$$N_a = \Phi_L \cdot X \cdot \Delta$$

en la que:

Φ_L es el flujo de producto tratado, y X es la concentración de microorganismos por unidad de flujo.

Para N_T se obtiene:

$$N_T = \Phi_L + C(T_1 - T_0)$$

en la que:

C es la capacidad térmica específica media del producto.

En el caso en el que el procedimiento según la invención se aplica a un flujo de contenedores hermetizados, rellenos de producto a pasteurizar, se obtiene:

$$N = N_a + N_T$$

en la que:

$$N_a = V \cdot X \cdot \Delta \cdot \nu$$

y

$$N_T = CV(T_1 - T_0) \cdot \nu$$

en las que:

ν es la frecuencia con la cual los contenedores atraviesan la zona de campo eléctrico que trata,

V es el volumen de un contenedor,

C es la capacidad térmica específica media del conjunto (contenedor y líquido).

El experimento mostró que, para una concentración de microorganismos (levaduras, mohos) inferior a 10^{15} microorganismos/m³, el valor óptimo de $X \cdot \Delta$ es

$$0,1 \leq X \cdot \Delta \leq 0,6(\text{J/cm}^3)$$

Debido a que el efecto de los procedimientos según la invención se basa sobre la coincidencia de las topografías de dos estructuras, obtenidas mediante ajuste operado sobre el campo eléctrico aplicado y el nivel de temperatura, se puede esperar obtener un efecto selectivo, es decir, que actúan únicamente sobre los cuerpos cuyas estructuras coinciden, a saber, los microorganismos y los clústeres. Por lo tanto, no habrá ningún efecto destructivo o modificante sobre las otras propiedades del líquido, o sobre las moléculas presentes en ellas. Después del tratamiento, el porcentaje de vitaminas (por ejemplo, vitamina C) sigue siendo el mismo; las calidades fisicoquímicas que determinan el gusto, el olor, el color, las propiedades ópticas, etc., no están influidas por el tratamiento.

Por el contrario, es posible, usando el procedimiento reivindicado, proceder a la desactivación de las enzimas (contenidas en ciertos líquidos como, por ejemplo, los zumos de naranjas) cuya estructura, nuevamente, es similar a la de los clústeres del agua.

En este caso, la práctica muestra que, por ejemplo, para un zumo de naranja recién exprimido, $T_s \geq 70^\circ\text{C}$ y $\psi \leq 2,5$ (J/cm³), en la que ψ es la densidad de energía necesaria para desactivar las enzimas.

ES 2 273 897 T3

De manera general, los ensayos efectuados para desinfectar distintas disoluciones acuosas (zumo de frutos y de verduras, limonadas, leche y producto lácteos, siropes, cerveza, concentrados, bebidas deportivas, pastas, puré, salsa, etc.) han mostrado, por ejemplo, que un tratamiento bajo un campo eléctrico de aproximadamente 10^3 V/cm, entre 60°C y 75°C, durante 0,3 segundos, permite una reducción de 10^9 de la concentración de mohos (*Aspergillus niger*, *Byssochlamys nivea*, *Byssochlamys fulva*), y de las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) contenidos tanto en el volumen de líquido tratado como depositados previamente sobre las paredes del recipiente y sobre objetos sólidos (trozos de materiales de PET, pulpa de frutas y de verduras). El procedimiento se puede efectuar en flujos estacionarios o dinámicos.

La esterilización del líquido se confirmó mediante valores de la amplitud del campo eléctrico aplicado que están comprendidos entre 10^2 V/cm y 10^4 V/cm, sea la corriente eléctrica continua, alterna, de baja frecuencia, de alta frecuencia o de microondas.

Las muestras así desinfectadas se conservaron durante más de tres meses a temperatura ambiente, no se observó ningún indicio de reversibilidad, es decir de actividad de los microorganismos destruidos. Por lo tanto, se puede hablar de una destrucción irreversible de los microorganismos.

Las ventajas de esta invención son considerables, debido a que permiten la esterilización de líquidos ya llenados en recipientes herméticamente cerrados, sin tratamiento de esterilización previa del recipiente o del líquido. Además, en comparación con procedimientos de pasteurización convencionales, la esterilización según la invención es extremadamente rápida, y permite mantener las propiedades fisicoquímicas del líquido, y por lo tanto evitar la adición de suplementos de vitaminas, algo corriente en la industria alimenticia. Las ventajas son también importantes incluso si el líquido no está contenido en un recipiente, por ejemplo, un escurrimiento continuo del líquido, en particular debido a que la esterilización se puede efectuar sin intervención en el líquido, y con una cadencia importante.

Otra ventaja importante es el hecho de poder aplicar la esterilización del líquido contenido en recipientes tales como PET, y que no soportan las temperaturas elevadas de pasteurización.

A título de ejemplo, se han comparado dos métodos de desinfección de una botella PET rellena de un litro de agua ligeramente azucarada o de zumo de manzana contaminado mediante mohos "*Byssochlamys fulva*", a razón de 10^9 microorganismos/litro (botella). Después de rellenar, la botella se cerró herméticamente mediante un tapón de polipropileno. Antes de rellenar, el tapón y la superficie interna de la botella se contaminaron a razón de 10^6 microorganismos/cm². La eliminación de los microorganismos de una magnitud del orden de 10^6 m.o./litro mediante pasteurización necesitó el calentamiento hasta 98°C durante un minuto. En un procedimiento según la invención, la esterilización se efectuó mediante calentamiento con alta frecuencia, aplicando un campo eléctrico de aproximadamente 10^3 V/cm durante 0,3 s. A una temperatura del líquido de 72°C dando como resultado la destrucción de microorganismos de una magnitud del orden de 10^9 m.o./litro.

La potencia a desarrollar para realizar el procedimiento según la invención se puede calcular usando las fórmulas mencionadas aquí arriba, tal como se muestra en los siguientes ejemplos:

Ejemplo 1

Producto tratado: zumo de manzanas

Temperatura inicial: $T_0 = 20^\circ\text{C}$

Microorganismos a destruir = *Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus niger*

Temperatura umbral: $T_1 = 65^\circ\text{C}$

Productividad del equipamiento: 1l/s

Tipo de flujo: flujo continuo

Concentración de los microorganismos: 10^9 microorganismos/litro (m.o./l)

Capacidad térmica media: $4,2 \cdot 10^6$ (J/m³·grado)

$$N_{\text{máx}} = 10^{-3}(\text{m}^3/\text{s}) \cdot 0,6 \cdot 10^3(\text{kJ}/\text{m}^3) = 0,6 \text{ kW}$$

$$N_T = 10^{-3}(\text{m}^3/\text{s}) \cdot (65 - 20)\text{grados} \cdot 4,2 \cdot 10^6 \cdot (\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{grado}) = 189 \text{ kW}$$

$$N_{\text{máx}} = N_{\text{máx}} + N_T = 189,6 \text{ kW}$$

ES 2 273 897 T3

Ejemplo 2

Igual que el ejemplo 1, salvo que la temperatura inicial es: $T_0 = 60^\circ\text{C}$

$$N_T = 10^{-3}(\text{m}^3/\text{s}) \cdot (65 - 60)\text{grados} \cdot 4,2 \cdot 10^6 \cdot (\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{grado}) = 21 \text{ kW}$$

$$N_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 0,6 \text{ kW}$$

$$N_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 21 + 0,6 = 21,6 \text{ kW}$$

Ejemplo 3

Producto tratado: botellas de PET (0,31) que contienen zumo de naranjas con pulpa

Temperatura inicial: $T_0 = 20^\circ\text{C}$

Microorganismos a destruir: *Byssoschlamys fulva*

Temperatura umbral: $T_1 = 75^\circ\text{C}$

Productividad del equipamiento: 3 botellas/s

Concentración de los microorganismos: 10^9 m.o./l

Capacidad térmica media: $4,5 \cdot 10^6 \cdot (\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{grado})$

$$N_{a\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 0,9 \cdot 10^{-3}(\text{m}^3/\text{s}) \cdot 0,6 \cdot 10^3(\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot \text{grado}) = 0,54 \text{ kW}$$

$$N_T = 0,9 \cdot 10^{-3}(\text{m}^3/\text{s}) \cdot (75 - 20)\text{grados} \cdot 4,5 \cdot 10^6 \cdot (\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{grado}) = 222,75 \text{ kW}$$

$$N_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 223,29 \text{ kW}$$

Ejemplo 4

Igual que en el ejemplo 3, con una recuperación térmica de 95% (mediante intercambiador de calor)

$$N_T = 222,75 \cdot (1 - 0,95) = 11,15 \text{ kW}$$

$$N_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 11,69 \text{ kW}$$

Se ha ensayado un procedimiento según la invención para cada tipo de microorganismos y a distintas temperaturas, para determinar el límite de temperatura necesaria para una esterilización efectiva, presentándose el resultado en los siguientes ejemplos:

Ejemplo 5

Desinfección de disoluciones acuosas contaminadas por distintos tipos de microorganismos

Recipiente: recipiente de PET de 0,1 litro, previamente estéril

Altura: 1,5 cm

Diámetro: 10 cm

Fuente de corriente: HF 13,56 MHz. $N_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 60 \text{ kW}$

Tiempo del procedimiento: $\tau = 0,3$ seg.

Amplitud del campo eléctrico: 10^3 V/cm

Nivel inicial de contaminación: entre $7 \cdot 10^8$ y $1,2 \cdot 10^9$ m.o./100 ml

ES 2 273 897 T3

El método de enumeración del número de microorganismos (m.o.) supervivientes se efectuó según métodos estándares usados en el campo de la microbiología.

Concentración de los microorganismos supervivientes				
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Byssoschlamys nivea</i>	<i>Byssoschlamys fulva</i>
20	$7,5 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^8$	$7,1 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^8$
40	$7 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^9$
45	$6,2 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^8$
50	$3,4 \cdot 10^7$	$1,2 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^8$
55	$7 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^7$	$9 \cdot 10^7$
60	$5 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
65	$<10^0$	$<10^0$	$3 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$
70	$<10^0$	$<10^0$	$5 \cdot 10^0$	$2 \cdot 10^1$
75	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$
80	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$

Según los resultados de aquí arriba, se observa que la esterilización del líquido es completa (reducción de m.o. de un factor logarítmico de 9) a temperaturas entre 65 y 75°C, dependiendo del tipo de microorganismo.

Ejemplo 6

Desinfección de los recipientes contaminados por distintos tipos de microorganismos

Recipiente: recipiente de PET de 0,1 litro, herméticamente cerrado

Líquido: zumo de grosella negra, previamente esterilizado

Fuente de corriente: HF 13,56 MHz. $N_{\text{máx}} = 60 \text{ kW}$

Tiempo del procedimiento: $\tau = 0,3 \text{ seg.}$

Amplitud del campo eléctrico: $\sim 3 \text{ kV/cm}$

Nivel inicial de contaminación: $1,2 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^6 \text{ m.o./cm}^2$

Cantidad de impulsos: 2 (2 posiciones del recipiente)

Los valores dados a continuación son la suma de los resultados de un

a) recuento de los m.o. supervivientes en el líquido, y de

b) un recuento del número de m.o. supervivientes en la superficie del recipiente y del tapón

	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Byssoschlamys nivea</i>	<i>Byssoschlamys fulva</i>
20	$1,4 \cdot 10^8$	$2,3 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^7$
40	$1,2 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^8$	$9,1 \cdot 10^7$	$7,1 \cdot 10^7$
45	$7,4 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^8$	$6,3 \cdot 10^7$
50	$2,2 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^6$
55	$4,6 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^5$	$7,7 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$
60	$1,2 \cdot 10^1$	$5,5 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^5$	$9,0 \cdot 10^4$
65	$<10^0$	$1,9 \cdot 10^0$	$4,1 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^2$
70	$<10^0$	$<10^0$	$1,2 \cdot 10^0$	$4,1 \cdot 10^1$
75	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$
80	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$	$<10^0$

ES 2 273 897 T3

Se observa que la esterilización de la superficie del recipiente es completa (reducción - 9 log) a temperaturas entre 65 y 75°C. Esta temperatura depende del tipo de microorganismo.

Ejemplo 7

Desinfección de pulpa de zumo de naranja

Recipiente: recipiente de PET de 0,1 litro

Líquido: zumo de naranjas con pulpa

Fuente de corriente: microondas 915 MHz. $N_{\text{máx}} = 60 \text{ kW}$

Tiempo del tratamiento: $\tau = 0,5 \text{ s}$

Amplitud del campo eléctrico: $\sim = 10^3 \text{ V/cm}$

Nivel inicial de contaminación: $6 \cdot 10^7 \text{ m.o./100 ml}$

Los valores en la tabla siguiente son los resultados del recuento del número de m.o. supervivientes en el líquido más pulpa.

Saccharomyces cerevisiae

T	Número de microorganismos supervivientes, m.o./100 ml
20	$6 \cdot 10^7$
40	$5 \cdot 10^7$
45	$2,5 \cdot 10^7$
50	$4,1 \cdot 10^5$
55	$3,2 \cdot 10^3$
60	$4,1 \cdot 10^1$
65	$<10^0$
70	$<10^0$
75	$<10^0$
80	$<10^0$

La esterilización del zumo de naranja y de la pulpa es completa (reducción $\sim 8 \text{ log}$) a la temperatura de 65°C.

Ejemplo 8

*Comparación del procedimiento con la pasteurización clásica (*Byssoschlamys fulva*). Condiciones del procedimiento propuesto*

Recipiente: recipiente de PET de 0,1 litro

Líquido: zumo de manzanas contaminado por *Byssoschlamys fulva*

Fuente de corriente: HF, 13,56 MHz. $N_{\text{máx}} = 60 \text{ kW}$

Tiempo del tratamiento: $\tau = 0,3 \text{ s}$

Amplitud del campo eléctrico: $\sim = 10^3 \text{ V/cm}$

Nivel inicial de contaminación: $7,5 \cdot 10^8 \text{ m.o./100 ml}$

Condiciones de pasteurización: estándares

Tiempo del tratamiento: 60 seg.

Método de numeración: recuento del número de m.o. supervivientes en el líquido

<i>Byssochlamys fulva</i>		
T	Procedimiento propuesto en la presente invención	Pasteurización estándar
20	$9,2 \cdot 10^8$	$7,6 \cdot 10^8$
65	$8 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^8$
70	$2 \cdot 10^1$	$6,8 \cdot 10^7$
75	$<10^0$	$7,0 \cdot 10^6$
80	$<10^0$	$6,4 \cdot 10^4$
85	$<10^0$	$8,2 \cdot 10^2$
90	$<10^0$	$5,9 \cdot 10^1$
95	$<10^0$	$3 \cdot 10^0$
100	$<10^0$	$<10^0$

La esterilización mediante el procedimiento según la invención permite disminuir la temperatura y reducir el tiempo en varias magnitudes, en comparación con los procedimientos de pasteurización estándar. Este resultado se ilustra en la siguiente tabla:

Procedimiento	Temperatura final (°C)	Tiempo (s)
Procedimiento reivindicado	73	1
Pasteurización estándar	98	60
Pasteurización estándar	88	600

Ejemplo 9

Influencia de la cantidad de la energía electromagnética aplicada, de la temperatura inicial y de la temperatura final sobre la calidad del procedimiento reivindicado (caso de los m.o. Saccharomyces cerevisiae)

Medio: agua + 0,5 g/l de NaCl

(densidad: 1 g/cm³; capacidad térmica c = 4,18 J/g.°C)

Microorganismos: *Saccharomyces cerevisiae*

Concentración inicial: (1,4 - 5,1) · 10⁸ m.o./100 ml

Fuente de corriente: HF 13,56 MHz

Volumen de la célula de tratamiento: 100 ml

Resultados de las medidas:

Saccharomyces cerevisiae

Procedimiento	Temperatura inicial °C	Energía aplicada J/g	Temperatura final °C	Tiempo (s)	Número de microorganismos supervivientes m.o./100 ml
Procedimiento reivindicado	4	257,3	65,3	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	20	191,1	65	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	40	105,1	65,3	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	59,7	28,5	65,4	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	62,1	13	65,3	<1	4100
Procedimiento reivindicado	61,2	24	67,1	<1	<10°
Pasteurización estándar	-	-	78	60	<10°

La energía que debe de recibir el líquido para alcanzar el estado crítico de resonancia que corresponde al límite de esterilización completa se comunica al líquido mediante dos vías:

- mediante calentamiento del líquido (éste puede ser un calentamiento mediante convección, un calentamiento óhmico, etc.)

ES 2 273 897 T3

2. mediante la acción no óhmica del campo electromagnético, que crea el efecto de resonancia.

La densidad de energía límite E_s del límite del campo electromagnético responde a la condición $12,0 < E_s < 24,0$ J/g para los microorganismos de *Saccharomyces cerevisiae*.

Se observa que existe una temperatura umbral T_s de desinfección mediante campo eléctrico o electromagnético, próximo al valor de 65°C para las levaduras de *Saccharomyces cerevisiae*.

Ejemplo 10

Influencia de la cantidad de la energía electromagnética aplicada, de la temperatura inicial y de la temperatura final, sobre la calidad del procedimiento reivindicado (caso de los m.o. Byssochlamys fulva)

Medio: agua + 0,5 g/l de NaCl

$\rho = 1$ g/cm³; $c = 4,18$ J/g. $^\circ\text{C}$

Microorganismos: *Byssochlamys fulva*

Concentración inicial: $(1,7 - 4,5) \cdot 10^8$ m.o./100 ml

Fuente de corriente: HF 13,56 MHz

Volumen de la célula de tratamiento: 100 ml

Resultados de las medidas:

Byssochlamys fulva

Procedimiento	Temperatura inicial $^\circ\text{C}$	Energía del campo electromagnético J/g	Temperatura final $^\circ\text{C}$	Tiempo (s)	Número de m.o. supervivientes m.o./100 ml
Procedimiento reivindicado	4,5	288,8	73,4	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	19,8	222,9	73	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	40,1	138,6	73,2	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	55,2	75,4	73,4	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	65,1	34,6	73,3	<1	<10°
Procedimiento reivindicado	70,2	12,1	73	<1	12000
Procedimiento reivindicado	70,3	34,3	78,5	<1	<10°
Pasteurización estándar	-	-	98	60	<10°

Se observa que existe una temperatura umbral T_i de desinfección mediante campo eléctrico o electromagnético próximo al valor de 75°C para mohos de *Byssochlamys fulva*. La densidad de energía límite E_s del campo electromagnético en el caso de los m.o. *Byssochlamys fulva* responde a la condición: $E_s < 34,3$ J/g

Ejemplo 11

Influencia del parámetro pc (ρ , densidad del líquido y c , capacidad térmica del líquido) sobre la calidad del procedimiento reivindicado (el parámetro pc caracteriza la inercia térmica del líquido)

Medio : referencia : agua + 0,5 g/l de NaCl ($c_o = 4,19$ J/g. $^\circ\text{C}$; $\rho_o = 1$ g/cm³)

medio: 1) inercia térmica reducida con relación a la referencia ($\rho_i c_i$): distintas disoluciones de concentrado de naranja en el agua

2) inercia térmica aumentada con relación a la referencia: distintas disoluciones acuosas de puré de plátano.

ES 2 273 897 T3

Microorganismos: *Saccharomyces cerevisiae*

Concentración inicial: $(0,1 \text{ a } 5) \cdot 10^{-8}$ m.o./100 ml

5 Fuente de corriente: HF 13,56 MHz

Volumen de la célula ensayada: 100 ml

10 *Saccharomyces cerevisiae*

	Objeto del tratamiento	pc	Temperatura inicial °C	Energía aplicada J/g	Temperatura final °C	Tiempo (s)	Número de m.o. supervivientes/ 100 ml
15	100% de concentrado de naranja	0,7	20	132,9	66,7	0,5	530
	100% de concentrado de naranja	0,7	20	139,4	67,6	0,3	60
20	100% de concentrado de naranja	0,7	20	142,7	68,9	0,4	<10°
	33% de agua + 67 de concentrado de naranja	0,8	20	153,4	66,1	0,4	870
25	33% de agua + 67 de concentrado de naranja	0,8	20	171,3	67,5	0,2	<10°
	67% de agua + 33 de concentrado de naranja	0,9	20	169,1	65,4	0,3	4300
30	67% de agua + 33 de concentrado de naranja	0,9	20	175,2	66,1	0,4	<10°
35	100% de agua + 0,5 g/l de NaCl	1	20	191,6	65,4	0,3	<10°
	67% de agua + 33 % de puré de plátano	1,07	20	196,9	63,5	0,4	<10°
	33% de agua + 67 % de puré de plátano	1,15	20	200,5	61,3	0,2	<10°
40	100% de puré de plátano	1,24	20	191,8	57	0,3	1400
	100% de puré de plátano	1,24	20	204,7	59,3	0,3	<10°

45 Ejemplo 12

*Esterilización de un flujo continuo de zumo de manzanas contaminado por levaduras de *Saccharomyces cerevisiae* aplicando vibraciones acústicas (ultrasonidos) durante el tratamiento*

50 Caudal del líquido tratado: 1 litro/minuto

Fuente de corriente: HF 2,45 GHz, Potencia = 1,5 kW

Tiempo del tratamiento: $\tau = 1$ seg.

55 Nivel inicial de concentración de levaduras: $1 \cdot 10^6$ CFU/cm³

Frecuencias de los ultrasonidos aplicados: 22 KHz, Potencia 0,6 kW

60 Temperatura inicial: 20°C

Los valores dados a continuación son la suma de los resultados de un recuento de los m.o. supervivientes en el líquido para un tratamiento con ultrasonidos y sin ultrasonidos, a título comparativo:

65

ES 2 273 897 T3

Número de microorganismos supervivientes, m.o./ml

Temperatura, °C	Pasteurización estándar	Procedimiento sin aplicación de ultrasonidos	Procedimiento con aplicación de ultrasonidos
20	$6 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^7$	$6,1 \cdot 10^7$
40	$5,9 \cdot 10^7$	$5,1 \cdot 10^7$	$5,4 \cdot 10^6$
45	$5,7 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	$8,7 \cdot 10^4$
50	$4,3 \cdot 10^6$	$4,1 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^2$
55	$1,8 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^3$	$< 10^0$
60	$8,9 \cdot 10^3$	$4,1 \cdot 10^1$	$< 10^0$
65	$5,4 \cdot 10^2$	$< 10^0$	$< 10^0$
70	$< 10^0$	$< 10^0$	$< 10^0$
75	$< 10^0$	$< 10^0$	$< 10^0$

Ejemplo 13

Esterilización de un flujo continuo de zumo de grosella negra contaminado por mohos de tipo Byssoschlamys nivea aplicando vibraciones acústicas (ultrasonidos) durante el tratamiento

Caudal del líquido tratado: 2 litros/minuto

Fuente de corriente: HF 13,56 GHz, Potencia = 1 kW

Tiempo del tratamiento: $\tau = 0,7$ segundos.

Nivel inicial de concentración de mohos: $7,5 \cdot 10^7$ CFU/cm³

Frecuencias de los ultrasonidos aplicados: 40 KHz, Potencia 0,4 kW

Temperatura inicial: 20°C

Los valores dados a continuación son la suma de los resultados de un recuento de los m.o. supervivientes en el líquido para un tratamiento con ultrasonidos y sin ultrasonidos, a título comparativo:

Temperatura, °C	Pasteurización estándar	Procedimiento sin aplicación de ultrasonidos	Procedimiento con aplicación de ultrasonidos
20	$7,3 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7$
40	$7,3 \cdot 10^7$	$7,1 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^7$
45	$7,3 \cdot 10^7$	$6,3 \cdot 10^7$	$7,1 \cdot 10^6$
50	$7,3 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^5$
55	$6,9 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^4$
60	$4,1 \cdot 10^7$	$9,0 \cdot 10^4$	$3,8 \cdot 10^3$
65	$7,6 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^2$	$5,9 \cdot 10^1$
70	$5,3 \cdot 10^5$	$4,1 \cdot 10^1$	$< 10^0$
75	$4,2 \cdot 10^4$	$< 10^0$	$< 10^0$
80	$3,4 \cdot 10^3$	$< 10^0$	$< 10^0$
85	$8,9 \cdot 10^1$	$< 10^0$	$< 10^0$
90	$3,0 \cdot 10^0$	$< 10^0$	$< 10^0$
95	$< 10^0$	$< 10^0$	$< 10^0$

Según estos resultados, se observa que:

- la temperatura crítica de esterilización mediante campo eléctrico aumenta cuando la inercia térmica del medio disminuye; y viceversa, disminuye cuando la inercia térmica del medio aumenta.

ES 2 273 897 T3

La adjunción de vibraciones acústicas durante un procedimiento de tratamiento de esterilización según la invención refuerza el efecto de destrucción de los microorganismos, y permite disminuir la temperatura a la cual se efectúa el tratamiento.

- 5 - Los experimentos realizados permiten implementar un procedimiento de control de la temperatura de esterilización del líquido tratado mediante campo electromagnético, y el dispositivo correspondiente, añadiendo aditivos al líquido, que permite aumentar o disminuir la temperatura crítica de esterilización mediante campo electromagnético.
- 10 - En particular, se podrá aumentar o disminuir la inercia térmica del líquido tratado añadiendo un intercambiador de calor, que enfría el líquido tratado en la zona de aplicación del campo electromagnético.
- 15 - Para conservar el máximo de vitaminas en la bebida tratada, habrá de realizarse el procedimiento de esterilización electromagnética en un medio que tenga el valor más alto de coeficiente de inercia térmica. Por ejemplo, la temperatura crítica de un zumo de naranja será disminuida cuando se añada pulpa a este zumo. Después del tratamiento electromagnético, esta pulpa se puede filtrar.

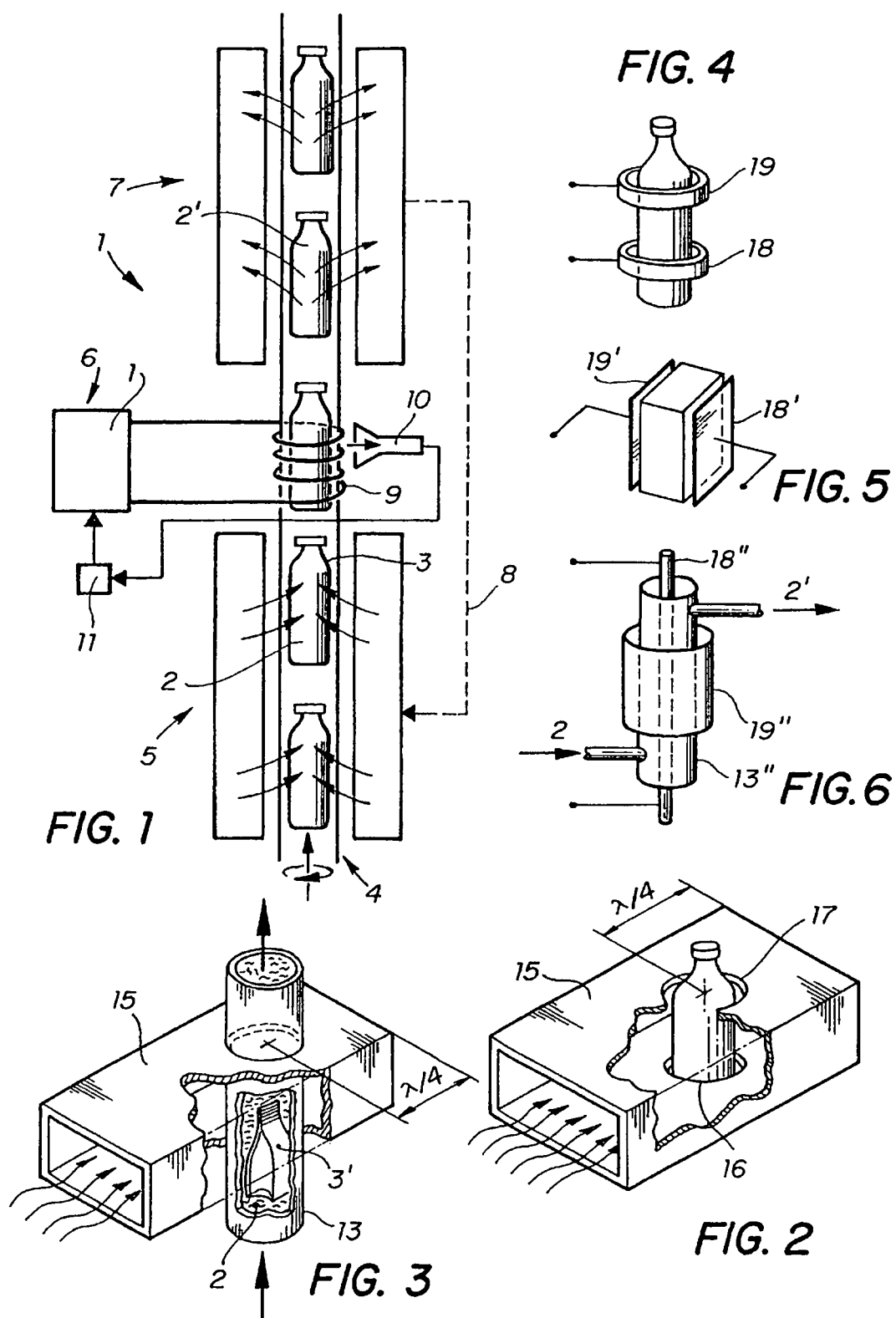
También se pueden usar aditivos en forma de suspensión de alta inercia térmica (glóbulos que contienen un líquido que pasa de una fase a otra a la temperatura crítica).

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de esterilización de un líquido y/o de un objeto sólido sumergido en un líquido, que comprende la etapa o las etapas de calentar un líquido a una temperatura de tratamiento inferior a una temperatura necesaria para la esterilización mediante pasteurización, y de aplicar un campo eléctrico de 10^2 V/cm a 10^4 V/cm, **caracterizado** porque se somete el líquido y/o el objeto a vibraciones acústicas durante la aplicación del campo eléctrico.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque las vibraciones acústicas tienen frecuencias en el campo de los ultrasonidos.
- 15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la temperatura de tratamiento es igual o superior a una temperatura umbral T_1 menos una disminución ΔT_u que depende de la aplicación de vibraciones acústicas, encontrándose la temperatura umbral T_1 en el intervalo de temperatura comprendido entre 60 y 75°C.
4. Procedimiento según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque la disminución de temperatura ΔT_u se encuentra en el intervalo de temperaturas comprendido entre 0 y 30°C.
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la energía aportada mediante dicho campo eléctrico es inferior a $0,6 \text{ J/cm}^3$, pero superior a $0,1 \text{ J/cm}^3$.
- 25 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se calienta el líquido hasta una temperatura umbral T_1 superior a aproximadamente 70°C, y porque se aplica un campo eléctrico que produce una densidad de energía inferior a $2,5 \text{ J/cm}^3$, para efectuar la desactivación de enzimas.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el líquido se calienta esencialmente de forma uniforme hasta la temperatura de tratamiento en menos de tres segundos.
- 30 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el campo eléctrico se genera mediante la misma fuente de energía que calienta el líquido.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el campo eléctrico y el calentamiento se producen mediante radiación electromagnética de tipo microondas.
- 35 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el calentamiento del líquido se produce mediante efecto inductivo de baja frecuencia.
- 40 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el campo eléctrico se produce mediante un campo eléctrico unipolar.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el campo eléctrico se produce mediante un campo eléctrico continuo.
- 45 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el procedimiento de esterilización se aplica a botellas herméticamente cerradas y que contienen un líquido a esterilizar.
14. Procedimiento según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque la botella se hace girar alrededor de su eje a una velocidad de 1.000 rpm o más.
- 50 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el recipiente se somete a la acción de varios impulsos de campo eléctrico, correspondiendo cada impulso a una posición diferente de un espacio gaseoso contenido en el contenedor.
- 55 16. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el procedimiento se aplica a objetos sólidos sumergidos o en contacto con un líquido.
17. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la inercia térmica del líquido a esterilizar se modifica mediante adjunción de elementos de materiales dieléctricos que tienen una capacidad térmica media más elevada que el líquido a esterilizar.
- 60 18. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque, después de la aplicación del campo eléctrico, el líquido se enfría mediante un intercambiador de calor acoplado a un dispositivo de precalentamiento aguas arriba de un dispositivo de aplicación del campo eléctrico.
- 65 19. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el tiempo de exposición de dicho líquido al campo eléctrico es inferior a un segundo.

ES 2 273 897 T3

20. Dispositivo para la realización del procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el dispositivo comprende un sistema cinemático (4) para el posicionamiento y el desplazamiento del producto de líquido (2), y una estación de esterilización (6) dispuesta a lo largo del sistema cinemático (4), comprendiendo la estación de esterilización una fuente de energía eléctrica para producir un campo eléctrico de 10^2 V/cm a 10^4 V/cm en el líquido que atraviesa la estación de esterilización, y un generador de ultrasonidos.
21. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque comprende una estación de calentamiento (5) aguas arriba de la estación de esterilización.
22. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque comprende una estación de enfriamiento (7) aguas abajo de la estación de esterilización.
23. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque las estaciones de calentamiento y de enfriamiento están provistas de un intercambiador de calor para recuperar el calor de la estación de enfriamiento y usarlo para calentar el líquido en la estación de calentamiento.
24. Dispositivo según una de las reivindicaciones 20 a 23, **caracterizado** porque la fuente de energía eléctrica tiene una potencia apropiada para calentar el líquido a esterilizar hasta al menos 60°C , y para producir un campo eléctrico en el líquido a esterilizar de aproximadamente 10^3 V/cm.
25. Dispositivo según una de las reivindicaciones 20 a 23, **caracterizado** porque la fuente de energía eléctrica es un elemento de inducción que produce un campo electromagnético.
26. Dispositivo según una de las reivindicaciones 20 a 23, **caracterizado** porque la fuente de energía eléctrica comprende al menos un par de electrodos dispuestos a ambos lados del líquido a esterilizar, y apropiados para crear un campo electromagnético.
27. Dispositivo según una de las reivindicaciones 20 a 23, **caracterizado** porque la fuente de energía eléctrica es un generador de microondas.
28. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque la estación de esterilización comprende una guía de ondas unida al generador de microondas, comprendiendo la guía de ondas una parte de recinto (25) en el que se disponen uno o varios reflectores de ondas curvas (26), comprendiendo además la estación de esterilización un conducto (13') en el que fluye el líquido a esterilizar (2) a través de la parte de recinto (25) desde abajo hacia arriba.
29. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque el conducto (13') comprende una parte en serpentin dispuesta en el interior de la parte de recinto de la guía de ondas.
30. Dispositivo según una de las reivindicaciones 20 a 27, **caracterizado** porque comprende, aguas arriba de la estación de esterilización, un mezclador que permite añadir aditivos que aumentan o disminuyen la inercia térmica media del líquido tratado, y, aguas abajo, una estación de separación que permite separar el líquido tratado de dicho aditivo.
31. Dispositivo según una de las reivindicaciones 20 a 28, **caracterizado** porque la estación de esterilización comprende un intercambiador de calor que permite limitar la temperatura de calentamiento del líquido tratado.
32. Dispositivo según la reivindicación 27, **caracterizado** porque la estación de esterilización comprende una parte de canal de tratamiento (29) en la que se desplazan los recipientes (3) llenos de líquido a esterilizar, estando la parte de canal de tratamiento unida a una guía de ondas (27) del generador de microondas (1') mediante una pared provista de ranuras (37).
33. Dispositivo según la reivindicación anterior, **caracterizado** porque la parte de canal de tratamiento está provista aguas abajo y aguas arriba de un dispositivo de protección de microondas que comprende un torniquete provisto de palas (32) que bloquean las microondas.
34. Dispositivo según la reivindicación 32 ó 33, **caracterizado** porque la parte de canal de tratamiento (29) se inclina en un ángulo α que permite que los recipientes se desplacen a lo largo de la parte de canal mediante la fuerza de gravedad.



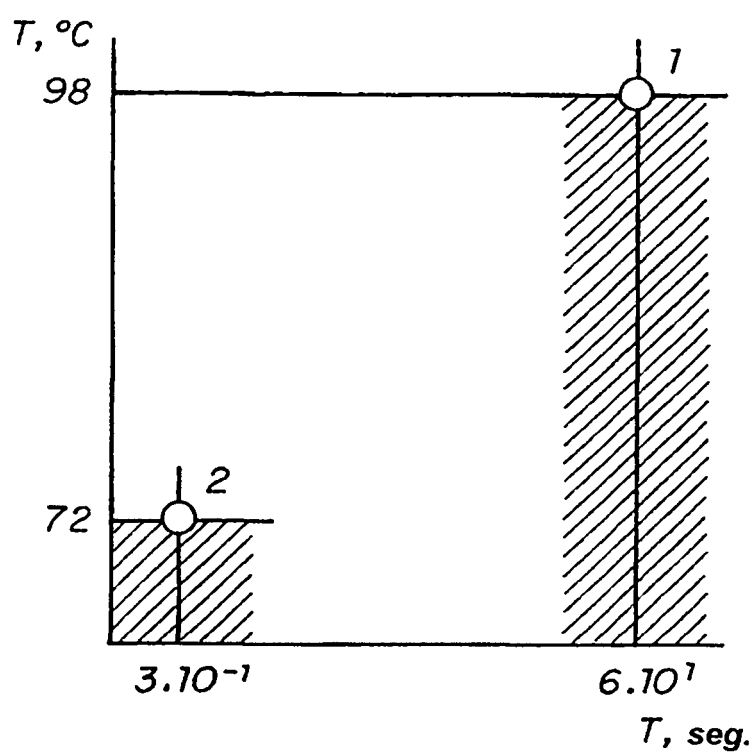


FIG. 7

FIG. 8

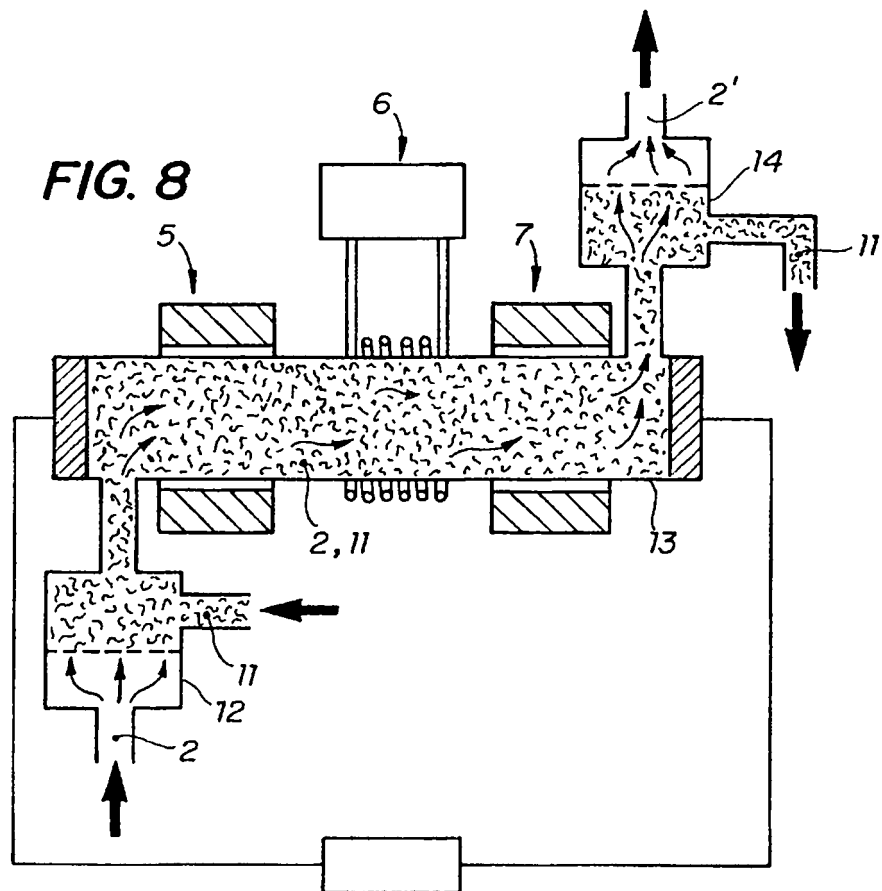


FIG. 9

