

SISTEMA Y DISPOSITIVO CALENTADOR MICROONDAS CON SENSADO PASIVO EN LÍNEA

5

CAMPO DE LA INVENCION

10 La presente invención se relaciona con dispositivos y sistemas de calentamiento, pasteurización o esterilización. En particular, la presente invención se encuentra relacionada con sistemas y dispositivos que emplean microondas e incluyen elementos de fibra óptica para sensado de temperatura.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El calentamiento de líquidos en cavidades cerradas que confinan microondas (*"hornos microondas"*), en procesos térmicos, por aplicación de ondas electromagnéticas es más recientes y novedosas, que han sido propuestas como
20 una alternativa que reduce tanto el tiempo de calentamiento, como el consumo energético, siendo segura para la esterilización/pasteurización de líquidos, al estar involucrados mecanismos de orden molecular intrínsecamente diferentes al calentamiento directo por convección y conducción, permitiendo a los productos alimenticios, prolongar su vida útil, al igual que la calidad y contenido
25 de nutrientes.

La pasteurización es un proceso que utiliza un tratamiento térmico relativamente suave a los alimentos para matar los microorganismos, e inactivar bacterias y enzimas vegetales para hacer que los alimentos sean seguros para el consumo.

Las temperaturas y los tiempos están determinadas por la enzima o microorganismo objetivo, la naturaleza del producto, y los microorganismos causantes de enfermedades de origen patógeno y resistentes al calor que se pueden encontrar en los alimentos.

5

Por otra parte, la esterilización es un tratamiento térmico más severo para conservación de los alimentos. Tradicionalmente, el proceso está diseñado para lograr la esterilidad a largo plazo de los productos con fines de almacenamiento que faciliten su distribución comercial.

10

Tanto la pasteurización y la esterilización se basan en procesos que combinan tiempo y temperatura aplicadas a los productos alimenticios para conseguir la letalidad prevista sobre agentes indeseados.

15 En el estado de la técnica se observan diversas tecnologías y equipos que han sido propuestos para la esterilización/pasteurización de líquidos, entre las que se destacan el calentamiento por radiofrecuencias, por microonda, el ultrasonido y la radiación ultravioleta.

20 En este contexto, se observa el trabajo reportado en la tesis doctoral: “Control de la temperatura en sistemas de calentamiento por microondas”, desarrollada por José Manuel Catalá en el año 2015, para la Universidad Politécnica de Valencia en el que se perfecciona el diseño y longitud de la cavidad, a frecuencias alrededor de las microondas. La instrumentación utilizada para este
25 sistema de calentamiento por microondas fueron sensores de temperaturas y sensores infrarrojos. Sin embargo, en términos de la resolución térmica de los sensores infrarrojos, limitan la medición precisa de la temperatura y por lo tanto la obtención del perfil térmico al interior del horno.

En un diseño presentado por Sezin Tuta y T. Koray Palazoglu, que usa cavidades para confinar microondas, los autores resaltan que el uso de tubos helicoidales, en lugar de tubos rectos, es una técnica para mejorar la uniformidad del calentamiento en sistemas continuos de calentamiento por microondas, a partir del cual se mejora la transferencia de calor al introducir un flujo secundario; sin embargo, no presentan mediciones de las variaciones de temperatura en dichos tubos, instalados al interior de la cavidad, solo la temperatura a la salida del tubo medida de manera segura, a partir de sensores de temperaturas y otros, sin posibilidad de introducir estos al interior de los tubos helicoidales, para el conocimiento de la temperatura máxima alcanzada por el líquido al interior, asimismo el descenso de temperatura en función del tiempo.

Por otro lado, los autores Juming Tang, Yoon-Ki Hong, Sumeyye Inanoglu y Frank Liu de la Universidad del estado de Washington centran su reporte de investigación en el uso de sistemas de calentamiento por microondas para la pasteurización de producto alimenticios envasados, por lo que resaltan este método tiene potencial para entregar alimentos seguros y de mayor calidad. En este artículo además se revisan los patógenos de interés en el diseño de procesos de pasteurización térmica, pautas regulatorias para la pasteurización y avances en los diseños de sistemas de pasteurización por microondas.

En lo referente a innovación empresarial, en el ámbito de sistemas de calentamiento y/o pasteurización, existen algunos casos relevantes. Uno de estos casos es la empresa Aseptoray® domiciliada en San Francisco - California en los Estados Unidos. Esta empresa plantea una innovación en la industria de alimentos y bebidas que radica en el uso de la filtración de luz, ofreciendo una alternativa que aumenta la vida útil de los productos, manteniendo sus nutrientes, generado ahorros hasta un 73% de energía y siendo orgánica. Esta tecnología propone un tratamiento en frío continuo de tal forma que se puede reemplazar el

tratamiento térmico, el procesamiento de alta presión y otras tecnologías costosas y difíciles de implementar.

5 Otro caso relevante lo constituye la empresa Sairem SAS de Francia, especialista internacional en microondas y altas frecuencias, que ha desarrollado por alrededor de 35 años aplicaciones a escala de laboratorio e industrial relacionadas con la agroalimentación, plasma, química sintética, secado y otras aplicaciones. Dentro de sus productos se encuentran equipos como el MINILABOTRON 2000 que es un reactor asistido por microondas, diseñado
10 específicamente para el uso en laboratorio.

Otra línea de productos basados en tecnología microondas es el LABOTRON TMW800, y similares que, en principio, son túneles de microondas para la cocción/pasteurización continua en pequeños flujos de producción de productos
15 envasados en recipientes como ollas o bandejas el dispositivo permite controlar los parámetros del proceso, es decir, potencia de microondas, tiempo de tratamiento, flujo de aire para obtener la calidad deseada del producto.

En el campo de las patentes, la solicitud US 2009/0032527 divulga un
20 esterilizador ultravioleta (UV) y un horno microondas que lo incluye. El esterilizador ultravioleta de la presente invención comprende una carcasa de esterilizador que tiene un lado abierto y que define una cámara de esterilización, una puerta del esterilizador instalada en un lado de la carcasa del esterilizador para abrir o cerrar selectivamente la cámara de esterilización, una lámpara UV
25 instalada en otro lado de la carcasa del esterilizador para irradiar rayos UV al interior de la cámara de esterilización, y un plato giratorio instalado de forma giratoria en el suelo de la cámara de esterilización para colocar un artículo a esterilizar sobre una superficie superior de la misma. De acuerdo con la presente invención, existen ventajas en el hecho de que se puede proporcionar el horno

microondas con diversas funciones y los artículos a esterilizar se pueden esterilizar de manera más eficiente utilizando el horno de microondas.

La patente US 5,697,291 divulga un aparato para realizar la pasteurización
5 térmica e inactivación de un fluido en movimiento que comprende: medios para precalentar el fluido, que fluye a una temperatura por debajo de la temperatura de pasteurización o inactivación; medios de microondas para calentar el fluido que fluye precalentado hasta la temperatura de pasteurización o inactivación, dichos medios de microondas aplican energía proveniente de las microondas a
10 dicho fluido que fluye precalentado a una velocidad insuficiente para provocar un calentamiento inicial en el fluido, en donde la velocidad de aplicación de microondas evita el calentamiento localizado del fluido antes de que el fluido salga a la temperatura de pasteurización o inactivación; medios de conducto que conectan dichos medios de precalentamiento a dichos medios de microondas; y
15 una pluralidad de tubos conectados que tienen una configuración serpenteante colocados en dichos medios de microondas y conectados a dichos medios de conducción; en el que los medios de precalentamiento comprenden medios de calentamiento por conducción superficial para precalentar fluido con una fuente de calentamiento por conducción superficial y medios de regeneración de calor
20 para precalentar dicho fluido con una fuente de calor regenerado a partir del líquido que fluye calentado por microondas.

En estas condiciones, dentro de los antecedentes que constituyen el estado de la técnica de la invención, no se observan desarrollos que permitan la medición
25 de la temperatura directa sobre los líquidos circulantes al interior de la cavidad que confina las ondas microondas.

En consecuencia, la presente invención provee un dispositivo que permite la medición en línea, in situ, de un fluido que es calentado dentro de una tubería a

través de microondas, sin sensores metálicos, evitando su afectación por las microondas.

La medición de los perfiles de temperatura aportada por el dispositivo objeto de la invención, permite su caracterización en el procesamiento de alimentos, en especial, en procesos de pasteurización / esterilización, además de la construcción y optimización del funcionamiento de hornos microondas a nivel industrial.

10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Con el objeto de brindar una mayor cobertura para la comprensión de las características técnicas de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva, como parte integrante de la misma, un conjunto de figuras definidas de acuerdo con el contexto que se expone a continuación:

15

20

Figura 1. Muestra la vista esquemática de un sistema que incluye un calentador microondas con sensado pasivo en línea de temperaturas con cables de fibra óptica independiente.

25

Figura 2A. Muestra el detalle esquemático de un calentador microondas con sensado pasivo en línea de temperaturas.

Figura 2B. Muestra el detalle de un serpentín ejemplo.

Figura 3. Muestra la vista esquemática de un sistema que incluye un calentador microondas con sensado pasivo en línea de temperaturas con cables de fibra óptica multiplexada.

5 Figura 4. Muestra el detalle esquemático de un calentador microondas con sensado pasivo en línea de temperaturas multiplexada.

10 Figura 5A-5E. Muestra el detalle de forma de acoplamiento de las porciones de redes Bragg en fibra óptica en un conducto, para la medición de temperatura.

Figura 6A. Muestra el esquema de comportamiento de una señal a través de sensores de redes de Bragg en fibra óptica.

15 Figura 6B. Muestra el esquema de comportamiento de una señal a través de sensores de redes de Bragg en fibra óptica multiplexados.

20 **OBJETOS DE LA INVENCION**

En un primer objeto, la presente invención revela un dispositivo o sistema que permite sensor y medir en tiempo real, in situ, en línea y de forma directa, la temperatura de un fluido dentro de un conducto en un volumen de control, donde
25 el medio de calentamiento sea el uso de microondas sobre el fluido.

El dispositivo de la invención evita el uso de sensores que incluyan elementos metálicos, la generación de chispas o incendios dentro del calentador microondas.

Los objetos anteriormente descritos, al igual que los objetos adicionales a que
hubiere lugar, serán expuestos al detalle y con la suficiencia necesaria en el
capítulo descriptivo que se divulga a continuación, el cual constituirá el
5 fundamento del capítulo reivindicatorio.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION.

10 La presente invención surge como respuesta a la necesidad de resolver el
problema técnico relacionado con el desarrollo de una tecnología de medición
de temperatura en contacto con el fluido, que permitirá diseñar, construir y
calibrar aparatos de calentamiento usando hornos microondas de diferentes
configuraciones, abriendo la posibilidad para materializar la aplicación de esta
15 tecnología a gran escala, inclusive, extendiendo su aplicación a una gran
variedad de líquidos.

La descripción de la realización de la presente invención no pretende limitar su
alcance, sino servir como un ejemplo particular de la misma. Se espera que una
20 persona versada en la materia comprenda que las modalidades equivalentes no
se apartan del espíritu y alcance de la presente invención en su forma más
amplia.

La presente invención revela un dispositivo que incorpora calentadores
25 microondas con tuberías en material transparente a las microondas por ejemplo
en vidrio, con una tecnología para el monitoreo directo, in-situ y en tiempo real,
de la temperatura del fluido que circula al interior de dicha tubería, en tantos
puntos como sea posible, con el objetivo de determinar en cada punto del sensor
instalado, con una precisión de décimas de grado centígrado, la temperaturas

del fluido circulante durante el proceso de activación y desactivación de las microondas en el aparato.

5 A partir de la medición de dicha temperatura en varios lugares, se obtendrá un perfil térmico del líquido procesado desde la entrada al aparato hasta la salida, con la posibilidad de conocer su variación en tiempo real en cualquier punto al interior de la tubería instalada en el calentador microondas.

10 Mediante esta caracterización se determinaría el tiempo de retención óptimo del líquido al interior del microondas, la potencia máxima/mínima de operación del calentador microondas en el proceso de calentamiento del fluido al interior de la tubería, la temperatura máxima alcanzada por el líquido, con propósitos de caracterizar procesos de calentamiento, esterilización y pasteurización de cualquier fluido que se desee procesar.

15

La tecnología propuesta en esta invención resuelve los principales problemas técnicos que limitan el monitoreo de temperatura al interior de calentadores de hornos microondas y al interior de la tubería en contacto con el líquido. Entre dichos problemas técnicos, se observan los derivados de la imposibilidad de uso de dispositivos o sensores electrónicos de metal por el peligro de calentamiento y explosión en el interior del microondas, aunado a la susceptibilidad de contaminación promovida por el contacto metal-líquido.

20

25 El dispositivo objeto de la invención incorpora sensores de fibra óptica - FO, (Fiber Optic, por sus siglas en inglés), en el interior de los hornos microondas, y la tubería para la medición de temperatura. Los sensores están contruidos en vidrio, no presentan riesgo de calentamiento o explosión al interior de la cavidad, por su material y tamaño reducido (alrededor 125 μm de diámetro), y longitud de unos pocos centímetros contribuyendo a la inocuidad del proceso.

Los sensores de fibra óptica se proponen como la mejor opción para la medición de temperatura dentro del microondas. En consecuencia, en el dispositivo objeto de la invención estos sensores se encuentran en contacto con el líquido circulante por la tubería adaptada en el microondas.

El dispositivo se encuentra conformado por un calentador microondas (10) que tiene una unidad generadora de microondas (11) que incluye un magnetrón con una antena transmisora, que emite microondas hacia una cámara de calentamiento (12) que tiene paredes que reflejan las microondas irradiadas; donde la cámara de calentamiento (12) incluye el paso de un fluido que es calentado a través de un serpentín (33); donde el serpentín (33) tiene inmersos cables de fibra óptica (21) con porciones de FBG – Fiber Bragg Gratings – Red de Bragg en Fibra (21), para medir temperatura de manera pasiva en línea (Figuras 1 y 3).

Dentro del contexto de la presente invención, el término “en línea” se refiere al monitoreo in-situ y en tiempo real. El término “pasivo” se refiere a que los sensores no necesitan energía eléctrica para su funcionamiento.

En una modalidad particular de la invención, la figura 1 revela una realización que incluye dos cables de fibra óptica (21) independientes; cada uno incluye porciones de Redes de Bragg en Fibra (21); donde cada cable de fibra óptica (21) está conectado a una unidad de medición de sensores FBG como un interrogador (40) que usa la tecnología de detección por filtrado óptico de redes de Bragg en fibra que envía señales un computador (70) que tiene una interfaz gráfica.

El calentador microondas (10) recibe fluido desde un tanque inicial (30); donde el fluido es impulsado a través de una electrobomba (31) por medio de un conducto (32) hacia un serpentín (33) que está ubicado dentro de una caja de resonancia (12) y donde el fluido es calentado por medio de microondas emitidas por una unidad generadora de microondas (11), donde el fluido calentado es enviado por medio de un conducto (34) hacia un tanque final (35), donde en el tanque inicial (30) tiene un sensor de temperatura (51) y un tanque final (35) que tiene un sensor de temperatura (53), que envían señales por medio de conexiones (52) y (54), respectivamente, hacia una unidad de medición de temperatura para sensor de temperaturas (60) y que envía datos hacia un computador (70) a través de una conexión (61).

La figura 1 representa un esquema general del proceso de calentamiento y/o esterilización/pasteurización de fluido o líquido circulante por los conductos ubicados al interior del calentador microondas (10). En este proceso, independientemente de la técnica, el objetivo es la eliminación de microorganismos nocivos para el producto o microorganismos nocivos presentes en el producto prolongando el tiempo de conservación, evitando al máximo la alteración de las propiedades fisicoquímicas.

El calentador microondas (10) está conectado a un tanque inicial (30) con fluido donde una electrobomba (31) impulsa el fluido y regula la velocidad y el tiempo de retención del líquido en el proceso. Al ingresar fluido al interior del calentador microondas (10), este llega al interior a una estructura de serpentín (33) para la circulación de líquido, que es fabricado en vidrio y fijado al interior del calentador microondas (10). La potencia de dicho calentador es fijada de tal manera que el líquido alcance una temperatura determinada, la cual es comparada y medida directamente con la tecnología de sensores de redes de Bragg en fibra óptica

instalados al interior del serpentín (33) de vidrio. Luego, el fluido es enviado hacia un tanque final (35) de almacenamiento.

5 Los tanques (30) (35) están provistos con sensores para la medición de la temperatura de entrada y salida del fluido pasteurizable / esterilizable.

De esta manera, se puede obtener un perfil térmico detallado y real de la variación de la temperatura del fluido desde el tanque de inicio (30), luego en los puntos del serpentín (33), donde se ubican los sensores de fibra óptica con
10 porciones redes de Bragg (21) y, finalmente, en el tanque final (35).

Para una mayor ilustración, la figura 2A revela un detalle del calentador microondas (10) con sensores pasivos en línea de temperaturas que incluye porciones de redes de Bragg (21) en fibra óptica, donde el serpentín (33)
15 transporta el fluido a calentar en el interior del calentador microondas.

En la modalidad preferida de la invención, el serpentín (33) es de material cerámico, por ejemplo, vidrio. No obstante, el serpentín (33) puede ser fabricado en cualquier material transparente a las microondas, o radiofrecuencias.
20

El conducto de ingreso (32) se conecta al serpentín (33) que tiene perforaciones de entrada (33a) y perforaciones de salida (33b) por donde ingresa el cable de fibra óptica (21) y que tiene porciones de redes de Bragg (20) que son ubicadas dentro del conducto interno del serpentín (33); donde las perforaciones de
25 entrada (33a) y perforaciones de salida (33b) y los espacios libres existentes con la fibra óptica (21) tienen relleno sellante para evitar que el fluido se escape o derrame por estos espacios libres. El serpentín (33) está conectado, a su vez, a un conducto de salida (34).

El calentador microondas tiene una unidad generadora de microondas (11) que incluye un magnetrón (13) con una antena emisora de microondas (14) hacia una cámara de calentamiento (12).

- 5 La unidad generadora de microondas (11) podría incluir, además, componentes como un canal concentrador de microondas para orientar las microondas hacia un lugar específico dentro de la cámara de calentamiento (12). El canal dependerá de cada diseño particular, el cual, puede ser de tipo tubular cerrado o abierto, con diversas geometrías.

10

Al serpentín (33) lo atraviesan de uno a un número infinito de cables, preferiblemente uno a mil cables de fibra óptica (21), donde cada fibra óptica (21) tiene porciones de redes de Bragg (20).

- 15 Para permitir el proceso de la interacción entre el fluido y la energía que es directamente proporcional a la potencia de onda electromagnética en la región de 900 MHz a 2.75 GHz; (donde se genera calor instantáneo debido a la fricción molecular y oscilación dipolar inducida por el campo alterno); se determinó realizar el serpentín con un diámetro aproximado a la profundidad de penetración
20 de la onda electromagnética, teniendo en cuenta que el medio es acuoso.

- El serpentín (33) tiene varios serpenteos que, por una parte, permiten la agitación del líquido al interior de la tubería y, por otra parte, permiten el enfriamiento más eficiente del líquido por convección, para así aumentar los volúmenes de fluido
25 y disminuir los tiempos de retención.

Para una mayor ilustración, la figura 2B revela el serpentín (33) que puede tener zonas rectas (330), zonas de diámetro ligeramente mayores definidos como bulbos (331) y zonas curvas (332); en donde cualquier zona podría ser usada

para la instalación de los cables de fibra óptica con sensores con porciones de redes de Bragg (20) para el monitoreo directo de la temperatura del fluido. La geometría del serpentín (33) podrá variar de acuerdo con las condiciones de cada diseño particular.

5

La figura 3 revela sustancialmente los mismos componentes descritos para la figura 1, pero incluye un cable de fibra óptica (21) multiplexada con varias porciones de redes de Bragg (20), las cuales pueden adquirir datos por ejemplo de temperatura con una misma señal de entrada. Donde un cable de fibra óptica (21) tiene de uno a mil porciones de sensores de redes de Bragg (20).

10

La figura 4 revela el detalle una configuración sustancialmente similar a la figura 2A del calentador microondas (10), donde incluye un cable de fibra óptica (21) multiplexada con varias porciones de redes de Bragg (20), con perforaciones de entrada (33a), perforaciones de salida (33b), y con un relleno sellante no mostrado para evitar que el fluido pueda fugarse en el serpentín (33).

15

Las figuras 5A a 5E revelan diversas configuraciones de cómo las porciones de redes de Bragg (20), son dispuestas en los conductos del serpentín (33).

20

Las figuras 5A a 5C revelan ejemplos de un cable de fibra óptica (21) atravesando el conducto de serpentín (33) por medio de las perforaciones (33a) (33b); donde una porción de redes de Bragg (20) está en contacto con el fluido transportado.

25

La figura 5D revela un ejemplo de un cable de fibra óptica (21) introducida en el conducto de serpentín (33) por medio de una perforación (33a); donde una porción de redes de Bragg (20) está en contacto con el fluido transportado.

La figura 5E revela un ejemplo de un cable de fibra óptica (21) multiplexada con porciones de redes de Bragg (20), atravesando el conducto de serpentín (33) por medio de las perforaciones (33a) (33b); donde cada porción de redes de Bragg (20) está en contacto con el fluido transportado.

5

El cubrimiento de las perforaciones se realizó, usando un sellante de acrílico, transparente a las microondas, no contaminante de contextura sólida. Dicho cubrimiento puede ser realizado con otros materiales o técnicas, siempre y cuando, se garantice su inocuidad al contacto con el líquido que circula al interior.

10 Adicionalmente, dicho material ya solidificado, no debe presentar riesgo de calentamiento o explosión durante la activación de las microondas. Este sellamiento, incluso, se puede realizar calentando directamente el vidrio en los orificios por donde entra y sale la fibra óptica.

15 La figura 6A revela como una señal de entrada (E) pasa a través de la fibra óptica (21) y donde parte de la señal es reflejada (R) por una porción de redes de Bragg (20) y una parte de la señal es transmitida (T) en la fibra óptica (21).

La figura 6B muestra cómo una señal de entrada (E) pasa a través de la fibra
20 óptica (21) multiplexada con porciones de redes de Bragg (20) y donde partes de una señal es reflejada (R) por cada porción de redes de Bragg (20) y una parte complementaria de señal transmitida (T) en la fibra óptica (21).

En otras modalidades de la invención, las porciones de redes de Bragg (20)
25 pueden ser reemplazadas por otra tecnología de sensado por fibra óptica o guías de onda pasivas fabricada en materiales transparentes a las microondas, o radiofrecuencias, como vidrio, susceptible de soportar muy altas temperaturas (hasta 1000 °C).

Los sensores de redes de Bragg en fibra óptica FBG son pasivos al no requerir alimentación electrónica externa y son fabricados a partir de una modificación periódica del índice de refracción longitudinal del núcleo de una fibra óptica que permite que porciones parciales de luz se reflejen en la longitud de onda de Bragg, dando lugar a las fibras ópticas conocidas como las redes de Bragg en fibra óptica FBG. Este tipo de fibras operan como transductores térmicos y de deformación, con una sensibilidad aproximada en términos de longitud de onda de 13 pm/°C a 1500 nm para el caso de cambios en temperatura. La lectura de dichos cambios puede hacerse a partir de la lectura directa de la longitud de onda de Bragg usando analizadores espectrales, o mediante técnicas por filtrado óptico que son menos costosas e integradas que son adecuadas para aplicaciones industriales.

En una de las realizaciones de la invención se usó un equipo para la detección de los cambios de la longitud de onda de Bragg, denominado como interrogador (40), que usa la tecnología de detección por filtrado óptico, y que opera con una resolución de décimas de grados centígrados. Este aparato realiza la lectura de los cambios en longitud de onda y por lo tanto de la temperatura. También pueden ser usados un lector de longitudes de onda Bragg.

En el dispositivo calentador microondas la temperatura del fluido es medida a la entrada, la salida y en la circulación al interior del calentador microondas, permitiendo construir un perfil térmico que permite caracterizar la eficiencia del proceso y el aparato en tiempo, energía consumida y volumen de líquido procesado. El sistema de medición de temperatura externa, y de los sensores de fibra óptica está activado durante el proceso de circulación del líquido y un sistema de visualización gráfica conformada por una interfaz que permite la visualización de la temperatura en función del tiempo.

Aunque la presente invención ha quedado descrita con las realizaciones preferentes mostradas, queda entendido que las modificaciones y variaciones que conserven el espíritu y el alcance de esta invención se entienden dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

