(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 574 665**

(51) Int. Cl.:

G01K 1/02 (2006.01)
G01K 13/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.06.2011** **E 11005143 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2016** **EP 2400282**

(54) Título: **Procedimientos y sistemas para la medición y el control de parámetros de proceso**

(30) Prioridad:

25.06.2010 US 803385

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.06.2016

(73) Titular/es:

CAMPBELL SOUP COMPANY (100.0%)
One Campbell Place
Camden NJ 08103-1799, US

(72) Inventor/es:

BATMAZ, EDIZ;
MOHAMMED, RASHEED;
ABDELRAHIM, KHALID y
KARKACHE, MOHAMMED

(74) Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 574 665 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimientos y sistemas para la medición y el control de parámetros de proceso

Campo de la invención

La presente invención se refiere, en general, a sistemas y procesos adecuados para medir parámetros de proceso de sistemas de procesado, principalmente sistemas para procesar productos alimentarios, empleando circuitos integrados de aplicación específica identificables mediante señales de radiofrecuencia.

Antecedentes de la invención

La mayoría de los alimentos envasados (incluidas las bebidas) de producción comercial se someten a un proceso térmico tras el cual dicho alimento concreto pasa a ser apto para el consumo. La intensidad de este proceso térmico varía dependiendo de las características físicas y la composición química del alimento, el tipo de envase y el periodo de conservación que se desea obtener. El tratamiento térmico se puede llevar a cabo tanto antes como después de rellenar el envase con el producto. Por ejemplo, para alimentos de baja acidez en los que el producto se procesa térmicamente antes de introducirlo en el envase, se pueden emplear sistemas de procesado muy diferentes, en comparación con un producto que se haya procesado térmicamente una vez dentro del envase.

Para lograr que un producto alimentario resulte apto para el consumo, el fabricante necesita saber cuánto calor se aplica al producto. Este tratamiento térmico se puede contemplar como una función de la temperatura y el tiempo. La temperatura del producto se eleva hasta cierto grado y se mantiene a al menos esta temperatura durante un periodo de tiempo preestablecido, que corresponde a un valor de «letalidad» que se usa de manera convencional en la industria alimentaria para estandarizar y cuantificar la intensidad de un proceso térmico. Con alimentos puramente líquidos, tales como bebidas y caldos, la temperatura del producto se puede medir fácilmente mediante sondas de temperatura dispuestas en lugares preestablecidos de un sistema de procesado. No obstante, no se prefiere el uso de sondas de temperatura convencionales y en la práctica resulta casi imposible cuando se desea medir la temperatura en el interior de alimentos que comprenden partículas (es decir, alimentos líquidos con partículas componentes originales), tales como sopas. En estas circunstancias, solo se puede monitorizar la temperatura la fracción líquida del alimento que comprende partículas mediante el uso de sondas de temperatura convencionales. Cuando deseamos obtener mediciones de temperatura de las diferentes partículas componentes originales contenidas en los alimentos, nos enfrentamos a un problema diferente.

En cualquier proceso de esterilización, el objetivo consiste en garantizar la esterilidad comercial del producto en su conjunto. Cuando el producto está formado por una fracción líquida homogénea, se pueden facilitar las mediciones mediante el uso de sondas de temperatura convencionales. Y al contrario, cuando el producto está formado por diversas partículas suspendidas en una fracción líquida, tal como una sopa con tropezones, puede ser extremadamente difícil predecir la esterilidad del producto en su conjunto a partir de los datos del proceso de los que se puede disponer con facilidad en un sistema de esterilización de flujo continuo convencional. La dificultad parte del hecho de que el calentamiento experimentado por los diferentes tipos de partículas contenidas en el producto puede ser distinto al de la corriente de líquido, lo cual anula la utilidad y la veracidad de las mediciones de la fracción líquida obtenidas con la sonda de temperatura como indicadores de la temperatura de las partículas. La distribución del tiempo de residencia de las partículas en el sistema de procesado aumenta la complejidad a la hora de garantizar la esterilidad comercial de todos los componentes.

Al mezclar productos por lotes en una marmita o una mezcladora de cintas helicoidales, por ejemplo, para productos de sopa que contienen partículas de gran tamaño, pueden surgir problemas de distribución de las partículas por diversas causas, entre otras: un tiempo de mezclado insuficiente, un diseño inapropiado del agitador, una velocidad o dirección inapropiadas del agitador, el tamaño y la forma de la marmita, la cantidad y el tamaño de los tropezones, el nivel total de líquido, la densidad de las partículas y la viscosidad del líquido. Por lo tanto, puede ser complicado medir diversas condiciones del proceso que resultan de interés, como, por ejemplo, la dirección, orientación, velocidad o temperatura de una partícula en un recipiente mezclador. De hecho, la medición directa de la temperatura de las partículas mediante técnicas convencionales, como las sondas de temperatura, resultaría considerablemente dificultosa, si no directamente imposible, por el movimiento de las partículas durante el funcionamiento de dicha unidad. Por lo tanto, sería deseable optimizar aún más tales condiciones del procesado por lotes.

En términos generales, es posible que la temperatura de una partícula individual no sea uniforme en todo el volumen de dicha partícula. Por ejemplo, la superficie externa de la partícula se puede calentar más rápido que el núcleo de la

partícula debido a que la superficie externa de la partícula está en contacto directo con la fracción líquida. Aunque esto es válido para algunas operaciones convencionales, en las que se usa agua caliente o vapor como medio de calentamiento, puede que no sea el caso de las operaciones térmicas en las que el alimento se calienta por otros medios, como por ejemplo infrarrojos, microondas, calentamiento solar directo, calentamiento por radiación, calentamiento por inducción o calentamiento por resistencia. Además de la variación de temperatura en el interior de una partícula individual, los diferentes tipos de partículas fluirán a diferentes velocidades en el seno de la fracción líquida, a medida que todo el volumen del alimento es bombeado a través del sistema de procesado. Las partículas que fluyen más deprisa a través del sistema se someterán al tratamiento térmico durante menos tiempo.

Por lo general, el procesado térmico aséptico conlleva la esterilización continua del material alimentario mediante un intercambiador de calor adecuado. El tipo de intercambiador de calor que se emplea viene determinado por las propiedades del material alimentario, tales como, por ejemplo, la viscosidad, el tamaño de partícula y la homogeneidad. Algunos productos alimentarios, como el zumo, la leche y el caldo, son productos homogéneos y se pueden procesar en intercambiadores de calor de placas. Otros productos alimentarios, como por ejemplo las sopas que contienen partículas sólidas, se pueden procesar en intercambiadores de calor que admiten partículas, como los intercambiadores de calor tubulares. Para poder cuantificar el proceso térmico para un funcionamiento aséptico, sería necesario poder identificar la partícula cuyo núcleo se calienta más lentamente, evaluando características conocidas de las partículas, como el tamaño, la conductividad térmica o la densidad. Una vez que se ha identificado la partícula que se calienta más lentamente, se puede conocer la temperatura de esta partícula (en su punto más frío) a la entrada y la salida de los tubos de retención asociados con el sistema de calentamiento que se está usando, para garantizar un correcto tratamiento térmico, indicado por mediciones de diversos factores decisorios tales como el valor de cocción, la letalidad, etc. En la actualidad, la técnica carece de un sistema que pueda monitorizar condiciones de proceso como la temperatura directa de las partículas, al menos casi en tiempo real durante un tratamiento térmico de flujo continuo.

Los científicos e ingenieros especialistas en alimentos han estado experimentando con diversas tecnologías para cuantificar y validar procesos de elaboración de alimentos. Estos intentos convencionales se pueden clasificar generalmente en dos categorías: distribución de tiempo de residencia de diferentes partículas componentes y datos de temperatura de las partículas componentes en determinadas ubicaciones críticas del sistema.

Por ejemplo, en la patente de EE. UU. n.º 5.261.282, de Grabowski y col., se describe el uso de transpondedores de radiofrecuencia implantados (en forma de chips RFID) para identificar los tiempos de residencia de partículas simuladas que pasan a través de un sistema de procesamiento continuo. En la patente de EE. UU. n.º 5.741.979, de Arndt y col., se describe el uso de implantes marcadores de antenas bipolares en las partículas y transductores detectores de microondas para medir los tiempos de residencia de las partículas. No obstante, este tipo de sistemas no proporciona información relativa a la temperatura de las partículas de interés y no puede proporcionar información relevante del procesado acerca de la temperatura relativa a la partícula o partículas de un sistema que se calientan más lentamente y que se mueven más rápido.

Se han llevado a cabo otros intentos convencionales de medir solo la temperatura o la temperatura y el tiempo de residencia de partículas de alimentos en un sistema de procesado continuo. La termometría mediante la formación de imágenes por resonancia magnética, tal como describen Kantt y col. en «Temperature Mapping of Particles During Aseptic Processing with Magnetic Resonance Imaging», *Journal of Food Science*, volumen 63, n. 2 (1998), constituye un procedimiento no obstructivo y sin contacto, pero no resulta suficientemente rápido para proporcionar mediciones en línea en tiempo real. Se tardó ocho segundos en formar una única imagen de un mapa de temperatura de 64x64 en corte transversal. Sin embargo, durante este tiempo, una cantidad considerable de producto puede pasar por el detectar sin ser monitorizada. De este modo, el número de cortes transversales que se pueden observar es muy limitado, es decir, cabe la posibilidad de que la detección del punto inicial en el que se lleva a cabo el tratamiento térmico letal no pueda determinarse para todos los casos posibles.

Otras metodologías convencionales, con sus inconvenientes asociados, incluyen aquellas en las que se aplican implantes termorresistivos. Uno ejemplo lo constituye la solución de medición de temperatura magnética local descrita en la patente de EE. UU. n. 5.722.317, de Ghiron y col., que está dedicada al uso de partículas paramagnéticas esféricas para los implantes y unas bobinas detectoras alrededor de las tuberías a modo de sensores. En esta solución se aplica una correlación entre el debilitamiento del campo magnético y el aumento de temperatura para calcular la temperatura del implante a partir de las señales de tres sensores de bobina. No obstante, la correlación negativa entre el campo magnético medido y el aumento de temperatura empleada en esta solución puede dar lugar a una estimación de temperatura no conservadora, es decir, el cálculo obtenido puede indicar una temperatura superior a la que verdaderamente existe en el implante. Esto se debe al hecho de que la reducción del campo magnético puede estar provocada por diversos factores distintos al aumento de la temperatura en el implante, como por ejemplo la obstrucción

de la detección por parte de otros materiales (p. ej., otras partículas de alimentos que se hallen presentes). Además, la solución de la termometría magnética puede ser muy sensible a las interferencias electromagnéticas, por lo que aumenta enormemente la complejidad en la adquisición de datos o la veracidad de los datos adquiridos.

En la patente de EE. UU. n.º 7.112.954 de Palazoglu y col., se describe otra metodología, que emplea el cambio en la intensidad del campo magnético de dos o más imanes unidos entre sí a lo largo del mismo polo y fijados en una partícula portadora que emula las propiedades de una partícula de alimento real. Los imanes están colocados en una disposición sencilla y forzada mediante un adhesivo con una temperatura de desprendimiento específica. Cuando el adhesivo se derrite, a un umbral de temperatura preestablecido, al menos uno de los imanes gira hacia el polo opuesto, con lo que se crea un cambio detectable en el campo magnético. Se supone que la ubicación en el sistema de procesado en la que se detecta este cambio en el campo magnético, para un par de imanes dado, es el punto en el que la partícula simulada alcanza el umbral de temperatura. El inconveniente de esta metodología reside en que, de forma similar a lo que ocurre con el procedimiento descrito por Ghiron y col., no se proporciona una medición directa de la temperatura. Además, la indicación de temperatura que se obtiene es simplemente la de haber superado el umbral de temperatura predeterminado del adhesivo, en lugar de un valor de temperatura numérico y directo. Además, no existe ninguna manera de identificar de forma inequívoca un par de imanes cuando se introducen múltiples pares de imanes en el sistema al mismo tiempo.

Por lo tanto, existe la necesidad en la técnica de disponer de sistemas y procedimientos para monitorizar directamente la temperatura de las partículas de fluidos heterogéneos sometidos a tratamiento térmico que contienen una pluralidad de partículas componentes de alimento.

Resumen de la invención

La presente invención se refiere a un sistema para monitorizar al menos una condición de proceso de un tratamiento térmico continuo de una corriente de líquido procesada en un intercambiador de calor según la reivindicación 1 y a un procedimiento para medir al menos una condición de proceso de un tratamiento térmico continuo o por lotes según la reivindicación 9. De acuerdo con la presente invención, se describen procedimientos y aparatos que usan circuitos integrados de aplicación específica (ASIC) para proporcionar datos relativos al proceso para tratamientos térmicos continuos o por lotes, tales como los procesos de esterilización, pasteurización y/o conservación. Los circuitos van incorporados preferentemente en una partícula sometida a dicho tratamiento, y se describen procedimientos para proporcionar el control del proceso al menos casi en tiempo real, obtenido a partir de los datos del proceso proporcionados por los circuitos mientras se encuentran sometidos a dicho tratamiento.

Un sistema preferido para monitorizar condiciones de proceso de un tratamiento térmico continuo emplea al menos un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) identificable mediante una señal de radiofrecuencia, conectado con al menos un sensor capaz de medir al menos una condición de proceso. El sistema cuenta además con un transpondedor capaz de comunicarse con el circuito y al menos una partícula con el circuito incorporado. La partícula atraviesa un fluido heterogéneo que posee una pluralidad de partículas componentes de alimento sometidas a un tratamiento térmico directo, un tratamiento térmico indirecto u otros tratamientos de procesado de alimentos. Se pueden emplear procesos asépticos o procesos no asépticos, según el caso. La partícula con el circuito incorporado puede ser una partícula componente real o una partícula que simula un número cualquiera de propiedades de las partículas componentes.

Algunos sistemas preferidos en la actualidad utilizan un circuito colocado en una partícula componente original. Otros sistemas preferidos en la actualidad utilizan un circuito colocado en el interior de una partícula simulada que atraviesa el sistema de procesado continuo. Dichos circuitos pueden quedar al descubierto en la superficie de la partícula o pueden estar colocados en el interior de la partícula, preferentemente al menos cerca del centro de la partícula, de manera que la partícula emule al menos una característica física, térmica o dieléctrica de una partícula componente original.

Las características físicas de interés pueden incluir, entre otras, el contenido de humedad, contenido de sal, forma y/o densidad. Las propiedades dieléctricas pueden incluir, entre otras, solo a modo de ejemplo, la conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, constante dieléctrica relativa, factor de pérdida dieléctrica relativo y/o ángulo de pérdida dieléctrica.

Otros procedimientos preferidos incluyen además un sistema de registro secuencial de datos para medir y almacenar información relativa a al menos una condición de proceso, medida por al menos una partícula con circuito incorporado. Dicho registro secuencial de datos puede darse a lo largo de al menos una parte de la ruta del proceso, en al menos una ubicación discreta a lo largo de la ruta del proceso, o en ambas.

Las condiciones de proceso que se pueden medir mediante dicho sistema pueden incluir, a modo de ejemplo y no de limitación: pH del líquido, temperatura de las partículas, temperatura del líquido, velocidad de las partículas, ubicación de las partículas, rotación de las partículas, velocidad del líquido, características nutricionales del líquido, características químicas, presión del sistema, orientación de las partículas, posición de las partículas y/o salinidad del líquido. La medición de los nutrientes puede, por ejemplo, identificar las cantidades, concentraciones o proporciones de azúcar, proteína, almidón y/o diversas vitaminas o minerales que pueden estar presentes en la fracción líquida del fluido heterogéneo. Además, la medición de los nutrientes puede incluir la identificación de las cantidades, concentraciones o proporciones de diversas sustancias fitoquímicas, como, entre otras: fitoesteroles, carotenoides, tocotrienoles, isoflavonas, ácidos grasos omega-3, fosfolípidos, nucleósidos, nucleótidos, glucosamina, ácido ferúlico y/o ácido cumárico.

Se pueden realizar mediciones de la temperatura de las partículas o del líquido desde -40 ºC hasta aproximadamente 200 ºC, preferentemente entre 100 ºC y 140 ºC. Los sistemas preferidos pueden medir la temperatura con una precisión de 1 ºC. Se pueden realizar mediciones de la presión del sistema de hasta ~69 bares (1 kpsi) preferentemente hasta 10,3 kbar (150 kpsi).

Otro procedimiento preferido para medir las condiciones de proceso emplea al menos un circuito integrado de aplicación específica identificable mediante una señal de radiofrecuencia y provisto de al menos un sensor capaz de medir al menos una condición de proceso, proporciona el circuito integrado de aplicación específica en un fluido heterogéneo, y mide al menos una condición de proceso, determinada por el circuito en la al menos una ubicación en el interior del sistema de procesado. La ubicación se sitúa a lo largo de al menos una parte de la ruta del proceso, en una sección discreta de la ruta del proceso que está sometida a un transductor, o en ambas. De este modo, se puede medir, por ejemplo, la orientación de las partículas, la posición de las partículas o ambas, en relación con el espacio de procesado.

En todas las formas de realización se selecciona, preferentemente, al menos una condición de proceso de entre el grupo formado por: pH del líquido, temperatura de las partículas, temperatura del líquido, velocidad de las partículas, velocidad del líquido, características nutricionales del líquido, presión del sistema, orientación de las partículas, posición de las partículas y salinidad del líquido.

Preferentemente, al menos una condición de proceso es la temperatura de las partículas o la temperatura del líquido, y dicha temperatura se mide desde aproximadamente -40 ºC a aproximadamente 200 ºC.

La condición de proceso puede ser la temperatura de las partículas o la temperatura del líquido, y la temperatura se puede medir desde 100 ºC a 140 ºC.

También puede ser que la condición de proceso sea la temperatura de las partículas o la temperatura del líquido, y la medición de la temperatura puede tener una precisión de 1 ºC.

En todos los casos, puede ser que la condición de proceso sea la presión del sistema, y que la presión del sistema se mida hasta ~69 bares (1 kpsi).

Preferentemente, la condición de proceso es la presión del sistema y la presión del sistema se mide hasta ~10,3 kbar (150 kpsi).

En todas las formas de realización, la característica física se puede seleccionar entre el grupo formado por geometría, densidad y volumen.

Preferentemente, el circuito está ubicado en el interior de dicha partícula, y dicha partícula emula al menos una característica térmica de una partícula de alimento componente original.

La característica térmica se puede seleccionar entre el grupo formado por difusividad térmica, conductividad térmica y calor específico.

En todas las formas de realización, el procedimiento para medir condiciones de proceso puede estar asociado con un proceso aséptico.

La condición de proceso medida también puede estar asociada con un proceso no aséptico.

Se puede seleccionar una característica dieléctrica. Preferentemente, se selecciona la conductividad eléctrica como

característica dieléctrica.

Breve descripción de los dibujos

La fig. 1 es una vista esquemática que muestra diversos componentes de un sistema de procesado térmico.

La fig. 2 es una vista esquemática que muestra una partícula con circuito incorporado, provista de un transductor incorporado, comparada con una auténtica partícula de alimento original.

La fig. 3 es una vista esquemática que muestra una sección transversal plana de una partícula con circuito incorporado, comparada con una auténtica partícula de alimento original.

La fig. 4 es una vista esquemática aumentada que muestra un transductor incorporado.

La fig. 5 es una vista esquemática despiezada que muestra una antena transceptora conectada con un tubo de procesado.

La fig. 6 es una vista esquemática que muestra la medición a lo largo de al menos una parte de la ruta del proceso, y una medición de un plano espacial discreto de la ruta del proceso.

Descripción detallada de las formas de realización preferidas

Se describen procedimientos y aparatos preferidos de acuerdo con la presente invención, en relación con un proceso para la esterilización de alimentos que comprenden partículas en un intercambiador de calor de flujo continuo. Debe entenderse que la invención posee un amplio campo de aplicación para cualquier tipo de monitorización de procesos, incluido un procesado continuo, particularmente cuando se va a medir un parámetro de proceso mediante un pequeño dispositivo de un tamaño de aproximadamente 5 mm (o menos) en cualquier dimensión.

Se emplean circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), que por lo demás son conocidos y usados en diversas industrias, para diversas aplicaciones de detección. Dependiendo de la aplicación, un conjunto de placas de circuitos impresos (PCBA) adecuado puede tener diferentes componentes y puede funcionar mediante diferentes protocolos. Cuando se desea obtener una identificación (ID) además de la detección, se puede usar un dispositivo de memoria en chip para almacenar una ID exclusiva. En dicho sistema, los datos de detección comunicados por el circuito integrado (IC) se acompañan de la ID del chip. El protocolo de comunicación puede utilizar cables o ser inalámbrico. Para aplicaciones inalámbricas, dicha comunicación se puede establecer mediante señales de radio, de manera similar a los protocolos de comunicación que se encuentran en los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID). En algunos casos, se emplea una antena conectada al IC para recibir y enviar las señales de radio a un transceptor. Dicha unidad, incluida la antena, suele recibir el nombre de transductor.

En la figura 1 se muestra un aparato 1 que constituye un ejemplo de un proceso de cocción continua en el que las partículas de alimentos, como, por ejemplo verduras en una sopa con tropezones, se esterilizan en una corriente en movimiento. Debe entenderse que el aparato 1 que se muestra en la figura 1 tiene un fin meramente ilustrativo y que se puede utilizar de manera similar uno cualquiera entre varios sistemas distintos, capaces de procesar uno cualquiera entre varios productos alimentarios distintos, de acuerdo con la presente invención.

En el aparato 1 que se ilustra, y que, por lo demás, es conocido y convencional en la industria, una sopa se mezcla en una marmita mezcladora 2, y la sopa mezclada se bombea hacia los tubos de un intercambiador de calor tubular a través de una bomba de sincronización 3. La velocidad de la bomba se puede ajustar mediante un accionamiento de frecuencia variable para mantener un caudal preestablecido, que se puede medir mediante un caudalímetro 4. La sopa mezclada pasa al intercambiador de calor esterilizador a través de la descarga de la bomba de sincronización 3, atravesando una sección de calentamiento 5, una sección de retención 6 y una sección de enfriamiento 7, y después pasa a rellenar un recipiente. Dependiendo del diámetro de los diversos tubos que forman el aparato 1, se puede ajustar la longitud total del tubo de retención y el caudal del producto para que se alcance un tiempo de retención predeterminado. Preferentemente, se coloca una bomba de desplazamiento positivo 25 entre la descarga de la sección de enfriamiento 7 y el equipo de rellenado situado más adelante y se puede usar para regular la contrapresión a lo largo de los diversos tubos controlando la velocidad de la bomba 25.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona una partícula de alimento con circuito incorporado 8 que puede pasar a través del aparato 1 durante la preparación activa del producto alimentario. La partícula de alimento con circuito

incorporado 8 está configurada preferentemente para monitorizar el avance de la partícula de alimento que se calienta más lentamente y que fluye con mayor rapidez entre las que atraviesan el aparato 1, y se puede aplicar con una partícula de alimento original o con una partícula de alimento simulada con la forma de una partícula de alimento original.

En referencia a la figura 2, la partícula de alimento con circuito incorporado 8 puede incluir un transductor encapsulado 10 en una partícula de alimento componente original o una partícula de alimento simulada, preferentemente en el centro de la partícula de alimento 8 o al menos cerca del centro de la partícula de alimento 8. Como mejor se muestra en la figura 4, el transductor 10 incluye un conjunto de placas de circuitos impresos (PCBA) 18 que cuenta con un ASIC incorporado con un sensor integrado para monitorizar el parámetro deseado, por ejemplo la temperatura y/o la presión. Para la comunicación, una antena 19 está conectada con el PCBA, y preferentemente está enrollada alrededor del PCBA. Para evitar descargas eléctricas, el transductor 10 también está encapsulado en un material aislante 17 adecuado, que, por lo demás, se conoce y se usa en la industria. Para una partícula de alimento con circuito incorporado 8 utilizada en forma de partícula de alimento simulada, el transductor 10 está rodeado preferentemente por un material de encapsulado 9 que puede escogerse de manera que coincida con ciertas propiedades físicas, térmicas y/o dieléctricas de una partícula de alimento original, incluidas, entre otras: geometría, volumen, densidad, difusividad térmica, conductividad térmica, calor específico y/o conductividad eléctrica.

La partícula que fluye más deprisa en el sistema de procesado será, por lo general, la que posea una flotabilidad neutra con respecto a la corriente de líquido. Un modo práctico de lograr la flotabilidad neutra es el de hacer coincidir la densidad de la partícula con la densidad del líquido. Para igualar la densidad de una partícula de alimento original, la densidad del material de encapsulado 9 de una partícula de alimento simulada debería escogerse de manera que se tengan en cuenta la densidad y el volumen del transductor 10.

Para determinar la difusividad térmica del material de encapsulado 9, la primera etapa consiste en determinar qué partícula de alimento original se calentará más lentamente en su punto más frío. Se puede determinar de manera experimental, exponiendo todas las partículas de alimento originales reales a las mismas condiciones de contorno, al tiempo que se monitoriza su temperatura en sus puntos centrales. También se puede determinar de forma teórica si se conocen las difusividades térmicas de todas las partículas de alimento originales reales. En este caso, se puede usar un *software* de modelado que emplee un método de elementos finitos (FEM) para determinar la partícula de alimento que se calienta más lentamente. Una vez que se determina la partícula de alimento que se calienta más lentamente, se puede determinar la difusividad térmica del material de encapsulado 9.

En la figura 2 se muestran tanto la partícula de alimento que se calienta más lentamente 11, como la partícula de alimento con circuito incorporado 8. Para la partícula de alimento con circuito incorporado 8, el transductor encapsulado 10 se coloca en el medio y se rodea el transductor 10 con el material de encapsulado 9. Si la forma de la partícula no es una forma irregular, se puede usar la simetría para determinar la difusividad térmica del material de encapsulado. En esta forma de realización ejemplar, la partícula de alimento que se calienta más lentamente 11 y la partícula de alimento con circuito incorporado tienen forma de prisma rectangular, como puede ser el caso, por ejemplo, de una zanahoria cortada en dados. Debe entenderse que la forma de la partícula de alimento con circuito incorporado 8 puede ser tan variada como se desee, y puede incluir formas tanto regulares como irregulares.

En la figura 3, se muestra tanto una partícula de alimento simulada 15 como una partícula de alimento componente original 16 que ha sido cortada por la mitad a lo largo de los planos para hacer uso de la simetría. El punto central de la partícula de alimento 12 es su punto más frío. Para la partícula de alimento simulada 15, el punto correspondiente 13 se encuentra dentro del volumen del transductor y el mecanismo de transferencia de calor contenido en el volumen del transductor resulta complejo debido a su naturaleza heterogénea. Por lo tanto, se formula una hipótesis prudente de que la temperatura medida por el transductor 10 es igual a la temperatura en la superficie del transductor 10 cuya distancia a la superficie externa del material de encapsulado 9 es más corta. En la forma de realización ilustrativa que se muestra en la figura 3, la distancia 14 es la distancia más corta. De este modo, se llega a la hipótesis de que la temperatura medida por el transductor 10 es la misma que la temperatura en la ubicación 25. Se trata de una hipótesis prudente, ya que el sensor de temperatura contenido en el transductor 10 se encuentra en una capa interna del transductor y la medida de su temperatura será inferior a la temperatura en la ubicación 25, mientras se esté calentando el transductor. Para sacar provecho de esta hipótesis prudente, la difusividad térmica del material de encapsulado 9 se escoge de manera que cuando la partícula de alimento 16 y la partícula de alimento simulada 15 se expongan a la misma condición de contorno, la temperatura en el punto 12 sea igual o ligeramente superior a la temperatura real en la ubicación 25, y se pueda determinar mediante ensayo y error, usando FEM, u otro *software* adecuado.

La difusividad térmica es una función de la conductividad térmica, la densidad y el calor específico, y se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{\kappa}{\rho\, C_p}$$

en la que α es la difusividad térmica, κ es la conductividad térmica, ρ es la densidad y Cp es el calor específico. Ya que la densidad del material de encapsulado 9 se determinó con anterioridad, la relación de la conductividad térmica con respecto al calor específico se puede calcular mediante los resultados del análisis FEM. El modo en que se aplicará el material de encapsulado depende del material escogido. Es posible usar diferentes materiales de encapsulado y, por lo tanto, diferentes procedimientos de aplicación para el encapsulado. Independientemente de la manera en que se aplica el material de encapsulado 9, el transductor 10 se puede colocar dentro del encapsulado a discreción del usuario. Preferentemente, el transductor encapsulado 10 se coloca al menos cerca del centro del encapsulado. Además, el transductor encapsulado 10 se puede dejar, según se desee, al descubierto en la superficie del encapsulado, o dentro del encapsulado.

La partícula de alimento con circuito incorporado 8 se puede detectar mediante una antena transceptora 24 próxima a la partícula de alimento con circuito incorporado 8 en ciertos puntos. Debido a que el transductor encapsulado 10 se desplazará en los tubos de procesado del aparato 1 movido por la bomba de sincronización 3, y termina en el puesto de rellenado, la antena transceptora 24 se sitúa preferentemente en las proximidades de los tubos de producto del aparato 1 en ciertas ubicaciones seleccionadas. Debido a que los tubos de procesado convencionales usados en la industria alimentaria están hechos de acero inoxidable, que bloqueará las señales de radiofrecuencia (RF), los tubos de producto están provistos preferentemente de un tubo equivalente transparente a la RF, tal como un tubo de vidrio o de polímero, allá donde se vaya a colocar una antena de RF. El material para el tubo transparente a la RF también debería ser resistente a altas temperaturas y presiones. A modo de ejemplo, la figura 5 muestra unos extremos 20 de acero inoxidable (SS) en relación con un tubo transparente a las señales de RF 21.

La figura 5 continúa ilustrando un ejemplo de una antena transceptora de RF 24 adecuada. Se puede usar al menos una estructura de antena 23 dentro de una única antena transceptora de RF 24. En este ejemplo ilustrativo, la estructura de antena 23 incluye una antena primaria para proporcionar potencia al transductor 10 y una antena receptora para recibir la señal devuelta por el transductor 10, para desarrollar una estructura de antena 23 que funciona como un transceptor. Para maximizar la intensidad de la señal entre la estructura de antena 23 y la antena del transductor 19, las antenas primaria y receptora están enrolladas alrededor de un tubo hueco 22 con un diámetro ligeramente mayor que el diámetro del tubo de producto que la recibe. Después, el tubo hueco 22 se aloja preferentemente en una caja impermeable 26 para protegerlo del ambiente.

Una antena transceptora 24 se coloca alrededor de los tubos de procesado del aparato 1 siempre que se necesite monitorizar una partícula de alimento 8 para medir una condición (p. ej., para ID y temperatura). En la figura 1, se muestra una forma de realización ilustrativa que incluye cinco antenas transceptoras 24, aunque hay otras configuraciones igualmente posibles.

La colocación adecuada de las antenas transceptoras 24 facilita la comunicación correcta y repetible entre cada antena transceptora 24 y un transductor encapsulado 10 que se desplaza en el interior de una mezcla de alimentos que pasa a través de los tubos de procesado y con los caudales observados normalmente en aplicaciones de esterilización de alimentos. Estas ubicaciones se encuentran preferentemente a lo largo de una parte de la ruta del proceso, en un corte transversal concreto de la ruta de proceso sometido a un transceptor, o ambos. Por consiguiente, dichas ubicaciones pueden encontrarse en la entrada de la sección de calentamiento 5, en la mitad de la sección de retención 6 (salida de la sección de calentamiento 5), en la salida de la sección de retención 6 (entrada de la sección de enfriamiento 7) y en la salida de la sección de enfriamiento 7, tal como se muestra en la figura 1, o en cualquier otra combinación que se desee. El número y la ubicación de las antenas transceptoras 24 pueden variar según se desee.

Preferentemente, se proporciona un sistema de registro secuencial de datos para medir, y opcionalmente almacenar o grabar, información relativa a al menos una condición de proceso, medida mediante al menos una partícula de alimento con circuito incorporado 8. Dicho registro secuencial de datos puede ser continuo, intermitente o presentar combinaciones de ambos, y se prevén otras formas de realización de ubicación y registro secuencial. Por ejemplo, se puede grabar información del proceso para ciertas partes de la ruta de proceso y leerla en ubicaciones preestablecidas, o grabarla y almacenarla para una mayoría de las rutas de proceso y leerla en un transceptor tras finalizar el proceso y a cierta distancia del espacio de procesado.

En la figura 6 y en la figura 1, se muestran ciertas formas de realización de ubicación y registro secuencial. Cuando una

partícula de alimento 8 para medir una condición pasa por una antena transceptora 24, el momento del paso, la temperatura del transductor 10 y la ID del transductor 10 se comunican a un ordenador 28 para la monitorización y el almacenamiento de datos en tiempo real mediante, por ejemplo, un módulo de comunicación 27 capaz de comunicarse con un transceptor inalámbrico 29 correspondiente. Como alternativa, se pueden usar comunicaciones por cable de manera similar. Cada antena transceptora 24 está conectada preferentemente a un módulo de comunicación 27 distinto.

Cuando se transmiten datos al ordenador 28 mediante un módulo de comunicación 27, el ordenador captura la ID de la antena transceptora 24 por la que está pasando el transductor 10 en ese momento. El ordenador 28 también puede capturar la identificación (ID) del módulo de comunicación, si se desea. Estos datos permiten la creación de un historial de tiempo-temperatura-ubicación para cada uno de los transductores 10 que pasaron a través del sistema de procesado. Los datos compilados se pueden usar después para analizar la variación en el tiempo de residencia (RTD) y en la temperatura para partículas de simulación similares. Esto puede utilizarse para desarrollar un proceso programado para la esterilización o la pasteurización de productos alimentarios, preferentemente empleando la letalidad acumulada en la sección de calentamiento 5 del aparato 1, así como la letalidad acumulada en la sección de retención 6. Además, la condición de proceso medida se puede usar para proporcionar un retorno de información al menos casi en tiempo real, de manera que se pueda controlar la bomba de sincronización 3 o la bomba de contrapresión 25 para variar el tiempo de procesado experimentado por una partícula de alimento con circuito incorporado 8. De este modo, se pueden evitar ciertas hipótesis excesivamente prudentes relativas a las características de calentamiento y flujo de alimentos que comprenden partículas, lo que puede minimizar la cantidad de carga térmica presente en el producto más allá del punto necesario para lograr una esterilidad comercial, lo que mejora potencialmente la calidad organoléptica y el valor nutritivo del producto alimentario. Esto permite optimizar un producto alimentario mediante el uso de los datos de proceso monitorizados.

Se pueden lograr otras optimizaciones del proceso mediante el anterior sistema de procesado. Por ejemplo, ciertas formas de realización de la presente invención pueden resultar adecuadas para monitorizar procesos de panadería y pastelería para la elaboración de productos horneados tales como bollería, galletas, pan y similares, en hornos de funcionamiento continuo. Durante las operaciones, las partículas con circuito incorporado 8 se pueden colocar en la superficie de los productos horneados o bajo la misma. De este modo, los datos adquiridos se podrían usar para optimizar procesos térmicos tales como los ciclos de calentamiento, enfriamiento y congelación, y para identificar la variabilidad térmica en forma de puntos calientes y fríos en el producto y/o el horno.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para monitorizar al menos una condición de proceso de un tratamiento térmico continuo de una corriente de fluido heterogéneo en movimiento procesada en un intercambiador de calor, y dicho sistema comprende al menos un circuito identificable mediante una señal de radiofrecuencia, al menos un transceptor capaz de comunicarse con dicho circuito, y al menos una partícula con dicho circuito incorporado, siendo dicha partícula una de entre una pluralidad de partículas componentes que fluyen dentro de dicha corriente de fluido heterogéneo, **caracterizado porque**:

dicho circuito es un circuito integrado de aplicación específica provisto de un sensor de temperatura para medir temperaturas en diferentes ubicaciones en el interior de dicha corriente de fluido heterogéneo;

dicho circuito está conectado a una antena para enviar una señal de temperatura de radiofrecuencia a dicho al menos un transceptor; y,

dicha al menos una condición de proceso es la temperatura.

2. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha al menos una condición de proceso incluye además una condición de proceso seleccionada ente el grupo formado por: pH del líquido, velocidad de las partículas, velocidad del líquido, características nutricionales del líquido, presión del sistema, orientación de las partículas, posición de las partículas y salinidad del líquido.

3. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicha al menos una condición de proceso es la temperatura de las partículas o la temperatura del líquido.

4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicha partícula posee un centro, y en el que dicho circuito está ubicado al menos cerca del centro de dicha partícula.

5. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho circuito está ubicado en el interior de una partícula de alimento componente original.

6. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que dicho circuito está ubicado en el interior de dicha partícula, y dicha partícula emula al menos una característica física, térmica o dieléctrica de una partícula de alimento componente original.

7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende un sistema de registro secuencial de datos para medir y almacenar información relativa a dicha al menos una condición de proceso a lo largo de al menos una parte de una ruta del proceso definida por dicho tratamiento térmico, en al menos una ubicación discreta a lo largo de dicha ruta del proceso, o a lo largo de al menos dicha parte de dicha ruta del proceso definida para dicho tratamiento térmico y dicha al menos una ubicación discreta a lo largo de dicha ruta del proceso.

8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que dicho circuito está configurado para enviar mediciones de dicha al menos una condición de proceso a dicho transceptor para proporcionar un retorno de información al menos casi en tiempo real, para controlar al menos una condición de proceso.

9. Procedimiento de medición de al menos una condición de proceso de un tratamiento térmico continuo, en el que dicho procedimiento comprende las etapas de: provisión de al menos un circuito identificable mediante una señal de radiofrecuencia; y, disposición de dicho circuito en el interior de una corriente de fluido heterogéneo en movimiento, asociada con dicho tratamiento térmico continuo o por lotes, **caracterizado porque:**

dicho al menos un circuito es un circuito integrado de aplicación específica provisto de un sensor de temperatura integrado y dicho circuito está conectado con al menos una antena; y

dicho procedimiento comprende la medición de temperaturas en diferentes ubicaciones dentro de dicha corriente de fluido heterogéneo en movimiento y el envío de señales de radiofrecuencia que contienen información relativa a dichas temperaturas medidas.

10. El procedimiento de la reivindicación 9, que además incluye la etapa de utilización de dichas temperaturas medidas para proporcionar información de retorno al menos casi en tiempo real para controlar dicha al menos una condición de proceso.

11. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 10, que incluye además la etapa de medición de dicha al menos una condición de proceso en un proceso de calentamiento por resistencia o radiación.

12. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, que incluye además la etapa de incorporación de al menos un circuito en al menos una partícula en el interior de dicha corriente de fluido heterogéneo en movimiento, y en el que dicha corriente de fluido heterogéneo en movimiento posee una pluralidad de partículas componentes.

13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que dicha partícula emula al menos una característica de una partícula componente original, seleccionada entre el grupo formado por características físicas, térmicas y dieléctricas.

14. El procedimiento de la reivindicación 9, en el que dicho tratamiento térmico se selecciona entre el grupo formado por el tratamiento de esterilización, el tratamiento de pasteurización y el tratamiento de conservación.

15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, que además incluye la etapa de registro secuencial de dichas temperaturas medidas a lo largo de al menos una parte de una ruta del proceso definida para dicho tratamiento térmico, en al menos una ubicación discreta a lo largo de dicha ruta del proceso, o a lo largo de dicha parte de dicha ruta del proceso definida para dicho tratamiento térmico y dicha al menos una ubicación discreta a lo largo de dicha ruta del proceso.

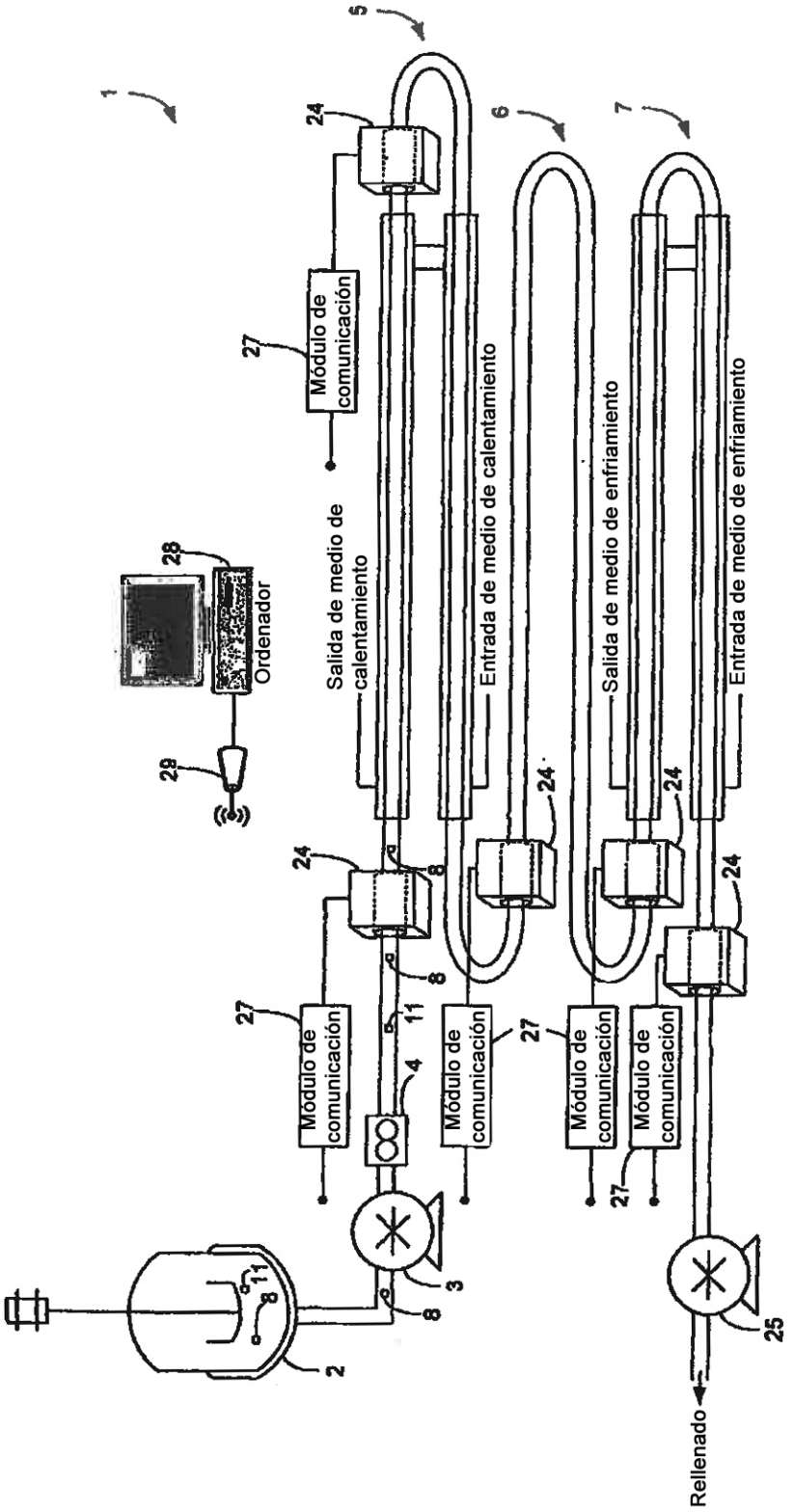
1
5
6
7
24
27
Módulo de comunicación
Salida de medio de calentamiento
Entrada de medio de calentamiento
Salida de medio de enfriamiento
Entrada de medio de enfriamiento
28
Ordenador
29
8
11
4
3
2
25
Rellenado

Figura 1

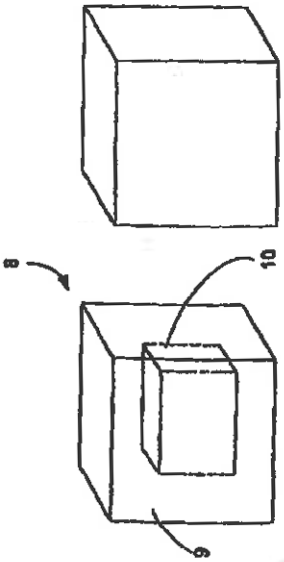

Figura 2

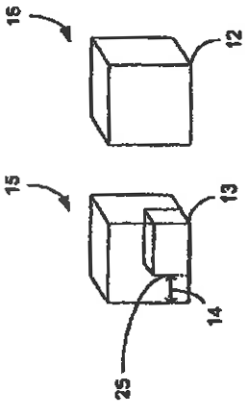

Figura 3

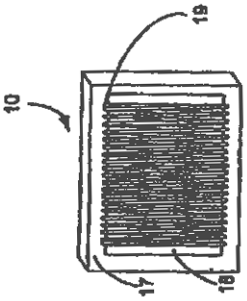

Figura 4

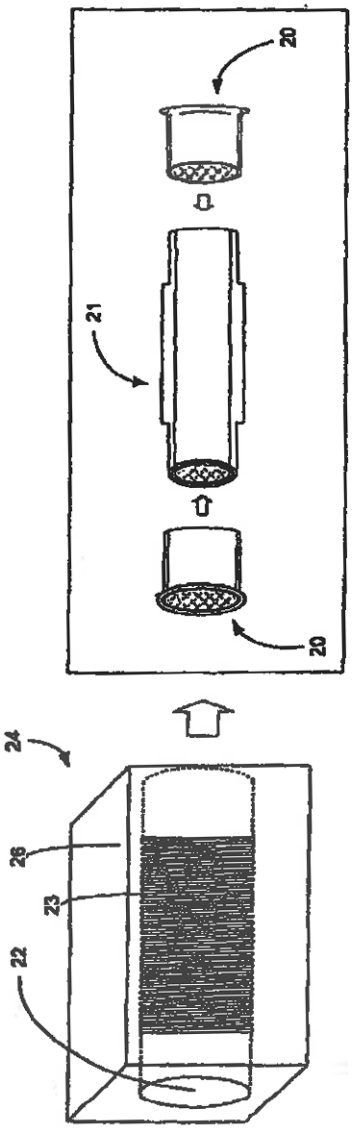

Figura 5

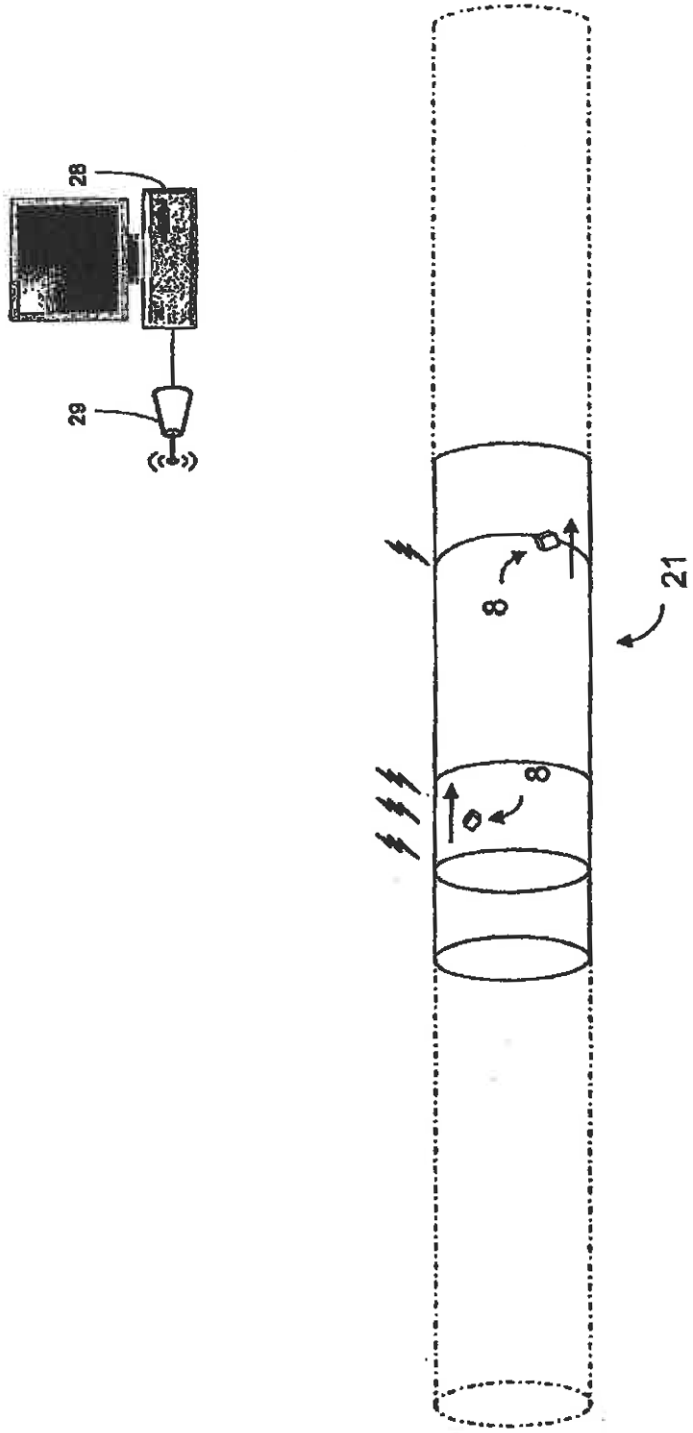

Figura 6