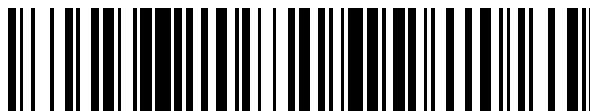


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 280**

21 Número de solicitud: 201301058

51 Int. Cl.:

G01N 27/02 (2006.01)

G01N 33/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

05.11.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.05.2015

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA (80.0%)
Vicerrectorado de Investigación. Transferencia e
Innovación. Avda. de Elvas, s/n
06006 Badajoz ES y
BIOBEE TECHNOLOGIES S.L. (20.0%)

72 Inventor/es:

DUQUE CARRILLO, Juan Francisco;
AUSÍN SÁNCHEZ, José Luis y
RAMOS MAGANÉS, Javier

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ LENA, Manuel Adolfo

54 Título: **Método, dispositivo y sistema de control de calidad alimentaria**

57 Resumen:

Método, dispositivo y sistema de análisis de calidad alimentaria basado en la medida de espectros de bioimpedancia de una muestra (10), y la comparación de dichos espectros con un modelo de calibración de referencia. La medida del espectro se realiza en un dispositivo de medida (20), conectado inalámbricamente con unos medios de procesado encargados de realizar la comparación. Los medios de procesado son instalables en un dispositivo portátil con capacidad de comunicación con un servidor externo desde el que se pueden descargar y actualizar los modelos de calibración propios de cada tipo de muestra.

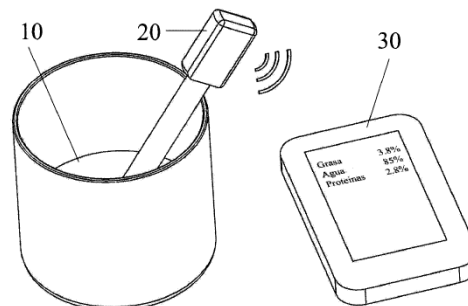


Fig. 1

DESCRIPCIÓN

Método, dispositivo y sistema de control de calidad alimentaria

5 **Objeto de la invención**

La presente invención se refiere al campo de la seguridad alimentaria, y más concretamente a un método, dispositivo y sistema con alta portabilidad de control de calidad de alimentos y bebidas.

10

Antecedentes de la invención

El consumidor de hoy día, en general, ha cambiado su comportamiento respecto a los hábitos de alimentación. Los nuevos estilos de vida saludable, basados en buena parte en el hecho de que una alimentación adecuada se considera la mejor forma de prevenir enfermedades y ganar en bienestar, están introduciendo nuevos hábitos en la alimentación. Derivado de ello, se aprecia una preocupación creciente en los ciudadanos por el aporte calórico de los alimentos, el contenido en grasas y el valor nutricional, a los que se le unen otros factores cada vez más en alza como el origen de los ingredientes de elaboración y el reconocimiento de la tradición artesanal entre otros.

20

El concepto de calidad en la industria alimentaria abarca una doble dimensión. La primera identifica el concepto de calidad con la seguridad alimentaria. La segunda, en cambio, está relacionada con la satisfacción del consumidor. En cualquier caso, la responsabilidad de la garantía de calidad recae fundamentalmente en la vertiente empresarial. Esto se traduce en la existencia de un gran interés por parte de dicho segmento industrial en la búsqueda de soluciones para el control de materias primas, procesos y productos terminados, así como para el establecimiento de sus propios mecanismos de trazabilidad, autocontrol y eficacia de los muestreos.

30

La realización de muestreos aleatorios de productos, o mejor aún la introducción de sistemas de monitorización y control de calidad en la industria, otorga un gran valor añadido al minimizar los costes de la 'no calidad'. Este término se refiere al coste que soporta cualquier organización como consecuencia de errores internos –aquellos que deben ser detectados antes de servir el producto y son provocados por rechazos, reinspecciones, reprocesados, etc.– y externos –aquellos que son originados porque no satisfacen las

35

expectativas del cliente y derivan en devoluciones y reclamaciones—.

Por todo ello, en la actualidad existe un reto tecnológico atractivo para la industria alimentaria en la incorporación de tecnologías en las cadenas productivas de elaboración y control de los productos y de forma paralela, para los consumidores en el sentido de garantizar que sean satisfechas sus expectativas, que son en definitiva las especificaciones por la que éstos pagan.

Una solución capaz de satisfacer las expectativas tanto de consumidores como de fabricantes/productores, al igual que al resto de agentes de la cadena de valor – distribuidores, intermediarios y mayoristas—, pasa necesariamente por la disponibilidad de dispositivos tecnológicos –económicos, con alta portabilidad (tamaño de bolsillo y ligeros), autónomos, basados en técnicas inocuas con ensayos rápidos y no destructivos– capaces de determinar, directa o indirectamente, la composición de los productos alimenticios.

Muchas de las técnicas biofísicas de análisis que se aplican en la evaluación de alimentos en general, además de costosas, lentas y a menudo destructivas, requieren equipos voluminosos y sofisticados, de manera que tienen que ser llevadas a cabo por personal altamente especializado. Algunos equipos generalmente se emplean para inspecciones/controles aleatorios de muestras y en ocasiones, lógicamente con ensayos no destructivos, para el control en línea de alguna variable y/o proceso en plantas industriales.

La espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIRS) es una de las técnicas de aplicación más utilizadas en este campo. Los ensayos correspondientes son no destructivos y ni siquiera invasivos, ya que los análisis pueden llevarse a cabo sin contacto con las muestras o simplemente en contacto con la superficie de las mismas. Además, la disponibilidad de los resultados de los ensayos es casi inmediata y el coste analítico por muestra es reducido. En la dirección de dotar a los espectrómetros NIRS de alta portabilidad y flexibilidad, los avances realizados en óptica y microelectrónica han propiciado progresos importantes. Sin embargo, la reducción en el tamaño de dichos equipos se encuentra actualmente en la categoría de instrumentos de mano (portátiles), lejos de poder ser considerados de elevada portabilidad (tamaño de bolsillo), con un coste medio elevado, de manera que ambas circunstancias le restan atractivo a la incorporación de estos dispositivos por parte de numerosos agentes de la cadena de valor y por supuesto, totalmente inapropiados para la incorporación al ámbito del consumidor.

La espectroscopía de bioimpedancia es otra técnica que está recibiendo atención por parte de la industria alimentaria, puesto que favorece el control de procesos de fabricación y la evaluación de calidad de los productos. Estas circunstancias la convierten en una atractiva alternativa a los planteamientos clásicos de control de la industria alimentaria. La técnica es no destructiva, económica y el usuario no requiere adiestramiento previo alguno para su utilización. Los ensayos son rápidos y el coste analítico también es casi inexistente, si bien son invasivos en el sentido que para ser realizados se necesita entrar en contacto con una muestra del producto. En la evaluación de la calidad, la espectroscopía de bioimpedancia se ha utilizado para analizar las propiedades fisicoquímicas de materiales a través de la correlación de las mismas con la respuesta dieléctrica en un determinado rango de frecuencias. En particular y dentro del campo alimentario, la técnica, como se describe a continuación, se ha aplicado a la evaluación de diferentes propiedades.

US 6,265,882 B1 describe un aparato de mano para la medida del contenido en grasa intramuscular en carne mediante la espectroscopía de bioimpedancia. Se basa, como la mayoría de las técnicas, en medidas indirectas, en particular y en este caso en la correlación de las propiedades eléctricas del medio, plasmadas en los parámetros de magnitud y fase de la bioimpedancia, con el contenido en grasa intramuscular. La evaluación de la bioimpedancia en el rango de frecuencias de operación del dispositivo (25 Hz-100 KHz), se realiza simultáneamente en dos zonas de la muestra próximas entre sí. Con ello, se trata de reducir el impacto en el resultado de la aleatoriedad de la zona de la medida si se realizara una única medida. Para ello, el dispositivo utiliza seis electrodos de punción. Dos de ellos para la corriente de excitación y los otros cuatro (dos pares de electrodos de sensado) para la medida simultánea de la bioimpedancia en dos zonas próximas.

WO 2010/044080 A3 presenta un dispositivo portable para la estimación de los parámetros organolépticos de los tejidos del animal en origen, así como para la medida de la dureza (terneza) o el tono muscular. El dispositivo se basa en la medida de la permitividad dieléctrica en un determinado rango de frecuencia (0.1 Hz a 10 MHz) a través del cálculo de un índice que refleja la anisotropía eléctrica del músculo. Se lleva a cabo midiendo el módulo y fase de la impedancia eléctrica en las direcciones transversal y paralela a la dirección de las fibras musculares. Para ello, una muestra del músculo se coloca entre dos electrodos metálicos y se recurre a un equipo comercial para la medida de la bioimpedancia.

En un sentido similar al anterior de evaluar la anisotropía de la carne a través de un análisis de bioimpedancia mediante un sistema multielectrodo es descrito por WO 2006/070169 A1,

aunque el objetivo específico y final consiste en la determinación del grado de madurez en carne. El músculo es un medio altamente anisótropo, de manera que la conductividad eléctrica en la dirección de la fibra es mucho mayor que en la dirección transversal. A medida que avanza el estado de madurez el medio se vuelve más isótropo.

5

WO 2006/041927 A3 describe un dispositivo de bolsillo para evaluar la frescura de productos alimenticios perecederos. El principio de operación del dispositivo corresponde al de una nariz electrónica y proporciona los resultados de una forma rápida y simple. El dispositivo está provisto de un sensor que reacciona variando una propiedad eléctrica (resistencia y/o capacidad) cuando se expone a determinadas moléculas, partículas, virus y bacterias contaminantes que desprenden los alimentos en su proceso hacia la descomposición. El resultado proporcionado es discreto entre varios estados posibles desde la máxima frescura hasta el estado de desecho.

10

15

US 2010/0237850 A1 presenta un dispositivo portátil para medir el grado de frescura de una gran variedad de alimentos. Se basa en una punta de prueba formada por dos metales concéntricos de diferente naturaleza, que forman una celda galvánica cuando se inserta en el alimento y un instrumento de medida del potencial eléctrico. La comparación del decrecimiento del potencial eléctrico con unas referencias previamente establecidas de esta variable proporciona de una manera indirecta el estado de frescura del alimento.

20

US 7,493,798 B2 describe de una técnica para la detección de la adulteración y la medida de la calidad en líquidos en cierto sentido similar a la anterior. Consiste básicamente en comparar la constante de tiempo asociada a la relajación con un valor de referencia previamente caracterizado y almacenado. La constante de relajación asociada al fluido se determina generando primero una carga estática, después inyectándola en el medio y finalmente colectándola para realizar el cálculo.

25

No obstante, todos los dispositivos y técnicas presentados anteriormente presentan limitaciones en términos de portabilidad y versatilidad, debido a su tamaño y a su diseño específico para un tipo concreto de productos o elementos a analizar. Existe por lo tanto la necesidad en el estado de la técnica de un método y dispositivo portátil de análisis de calidad alimentaria.

30

35

Descripción de la invención

La presente invención soluciona los problemas anteriormente descritos mediante una técnica basada en la medida de espectros de bioimpedancia de muestras tanto sólidas
5 como líquidas a través de un dispositivo de medida, siendo dichos espectros comparados en unos medios de procesado externos al dispositivo de medida con unos modelos de calibración almacenados previamente.

En un primer aspecto de la invención se presenta un sistema de medida de calidad
10 alimentaria que comprende un dispositivo de medida adaptado para entrar en contacto con una muestra bajo análisis, y unos medios de procesado adaptados para ser instalados en un dispositivo de procesado, externo y portátil, como por ejemplo un teléfono móvil. El dispositivo de medida comprende a su vez un espectrómetro de bioimpedancia, y opcionalmente, un sensor de temperatura. Asimismo, el dispositivo de medida comprende
15 medios de comunicación adaptados para enviar los datos de las medidas (espectros de bioimpedancia, y en su caso, temperatura) a los medios de procesado. Los medios de procesado reciben dichas medidas y las comparan con un modelo de calibración, previamente almacenado en el dispositivo de procesado, determinando así la calidad de la muestra. En el caso preferente en el que el dispositivo de medida comprende un sensor de
20 temperatura, dicha temperatura se utiliza para corregir desviaciones en el espectro de bioimpedancia medido, a la hora de determinar la calidad de la muestra. Esta realización preferente de la invención no excluye la posibilidad de incorporar los medios de procesado en el propio dispositivo de medida para efectuar la comparación con el modelo de calibración.

Una particularidad de la técnica de espectroscopía de bioimpedancia, común también a la espectroscopía en el infrarrojo cercano, consiste en que su utilización para la caracterización de la composición de productos precisa previamente de un método analítico secundario o de referencia. Dicho método analítico de referencia facilita la correlación de las propiedades
30 dieléctricas recogidas en el espectro de bioimpedancia de la muestra con la composición de la misma. Preferentemente dichas propiedades dieléctricas comprenden información de magnitud y ángulo de fase, utilizándose para su análisis un modelo de calibración multivariante y de toma de decisiones.

35 Preferentemente, los medios de procesado tienen acceso a una red de comunicaciones, como por ejemplo internet, a través del dispositivo portátil en el que se instalan. Los medios

de procesado están conectados a través de dicha red con un servidor externo desde el que descargan los modelos de calibración asociados a cada tipo de muestra que se desea analizar. De acuerdo con una opción preferente, los resultados de los análisis realizados por los medios de procesado pueden ser almacenados en dicho servidor externo.

5 Preferentemente, los modelos de calibración descargados desde el servidor externo se utilizan también para que los medios de procesado configuren el espectrómetro del dispositivo de medida. En una opción preferente, dicho espectrómetro comprende cuatro electrodos de medida.

10 En un segundo aspecto de la invención, se presenta un método de control de calidad alimentaria de una muestra, que comprende los siguientes pasos:

- Medir espectros de bioimpedancia de una muestra alimenticia mediante un dispositivo de medida, y en particular, mediante un espectrómetro de bioimpedancia comprendido en dicho dispositivo de medida. Preferentemente, los espectros comprenden información de magnitud y ángulo de fase y son procesados de acuerdo con un modelo de calibración multivariante y de toma de decisiones. También los espectros se pueden medir mediante el uso conjunto de cuatro electrodos de medida.

- Preferentemente, medir también una temperatura de la muestra mediante un sensor de temperatura comprendido en el dispositivo de medida. Dicha medida de temperatura permite compensar las desviaciones en el espectro de bioimpedancia causadas por fluctuaciones en la temperatura de la muestra.

- Transmitir los datos medidos (espectro de bioimpedancia y temperatura) a unos medios de procesado, adaptados para ser instalados en un dispositivo externo de procesado. Dicha transmisión de datos se realiza a través de una conexión inalámbrica.

- Comparar en los medios de procesado los datos medidos con un modelo de calibración de referencia previamente almacenado en el dispositivo de procesado. Preferentemente, dicho modelo de calibración, independiente para cada tipo de muestra bajo análisis, se descarga de un servidor externo al que los medios de procesado acceden a través de una red de comunicaciones a la que el dispositivo de procesado está conectado. Mediante dicha comparación, se determina la calidad

alimentaria de la muestra.

- Preferentemente, y previamente a la realización de las medidas utilizadas en el análisis de calidad alimentaria, configurar el espectrómetro de acuerdo con el modelo de calibración descargado del servidor externo para el tipo de muestra bajo análisis.

En un tercer aspecto de la invención se presenta un dispositivo de medida de calidad alimentaria que comprende un espectrómetro de bioimpedancia, preferentemente con cuatro electrodos de medida, y medios de comunicación adaptados para transmitir los espectros de bioimpedancia medidos a un dispositivo externo para su análisis. Preferentemente, el dispositivo de medida comprende también un sensor de temperatura, permitiendo así compensar las derivas en los espectros producidas por variaciones en la temperatura de la muestra.

Finalmente, en un cuarto aspecto de la invención se presenta un programa de ordenador que comprende instrucciones ejecutables por ordenador para implementar el método descrito, al ejecutarse en un ordenador, un procesador digital de la señal, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable. Dichas instrucciones pueden estar almacenadas en un medio de almacenamiento de datos digitales.

Además de las ventajas inherentes a la técnica de la bioimpedancia –ensayos rápidos, no destructivos, económicos y fáciles de llevar a cabo–, la presente invención aporta otras ventajas importantes como son una elevada portabilidad y versatilidad. La elevada portabilidad deriva del reducido tamaño y peso del dispositivo de medida, gracias a que el tratamiento de la información y la interacción con el usuario (muestra de resultados e introducción de instrucciones) se realiza en unos medios de procesado instalados en un dispositivo externo. La versatilidad resulta del hecho de que el mismo dispositivo permite operar sobre un catálogo abierto de productos, sin más que descargarse en un dispositivo de comunicaciones móviles el modelo de calibración oportuno o versiones mejoradas de estos que vayan estando disponibles. Por todo lo anterior, junto con un coste reducido, el dispositivo resulta de utilidad no sólo para todos los agentes de la cadena de valor sino también para los consumidores. Éstas y otras ventajas de la invención serán aparentes a la luz de la descripción detallada de la misma.

Descripción de las figuras

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

La Figura 1 ilustra una implementación particular del dispositivo de acuerdo a una realización de la presente invención y su aplicación en la caracterización de una muestra de un líquido.

La Figura 2 corresponde a una implementación particular de los electrodos del espectrómetro de bioimpedancia de acuerdo a una realización de la presente invención.

La Figura 3 presenta un diagrama de bloques de una implementación particular del espectrómetro inalámbrico de bioimpedancia de acuerdo a una realización de la presente invención, con capacidad de registrar la temperatura del producto bajo test.

La Figura 4 ejemplifica un diagrama de Nyquist (parte reactiva imaginaria frente a parte resistiva real de la impedancia para diferentes frecuencias) correspondiente a soluciones con distintas concentraciones de etanol.

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo del procedimiento utilizado para la caracterización de la composición de productos alimenticios, de acuerdo con una implementación particular del método de acuerdo a una realización de la presente invención.

Realización preferente de la invención

En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (como "comprendiendo", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

La Figura 1 ilustra la operación de caracterización de una muestra (10) alimenticia con una realización particular del sistema de control de calidad alimentaria de la invención, que a su vez sigue los pasos de una realización particular del método de control de calidad

alimentaria de la invención. La muestra (10) puede ser tanto una muestra líquida como una muestra sólida. El sistema comprende un dispositivo de medida (20) que comprende a su vez un espectrómetro de bioimpedancia y un sensor de temperatura. El dispositivo de medida está comunicado inalámbricamente con unos medios de procesamiento, instalados en un dispositivo de procesado (30), como por ejemplo un *smart phone*. Nótese que los medios de procesado pueden ser una aplicación informática instalable en cualquier soporte programable portable, como por ejemplo tabletas electrónicas, ordenadores portátiles, dispositivos programables diseñados específicamente para dicha aplicación, etc.

El espectrómetro, a través de un conjunto de cuatro electrodos, entra en contacto con la muestra (10) y genera un espectro de bioimpedancia en la banda de frecuencia comprendida entre 100 Hz y 3 MHz. Este rango de frecuencia abarca la banda de frecuencias de dispersión " β ", que es una de las bandas donde las propiedades eléctricas –permitividad y conductividad– en el caso de tejidos biológicos cambian significativamente de valor. En concreto, la medida en esta banda de frecuencia es una evaluación directa del comportamiento de la membrana celular, lo cual a su vez revela información útil acerca del estado de la muestra. Nótese que otras realizaciones con un número distinto de electrodos son posibles dentro del marco de la invención tal y como ha sido reivindicada, así como otras realizaciones con distintos rangos frecuenciales para el análisis de bioimpedancia.

El espectro de bioimpedancia medido comprende información de magnitud y ángulo de fase de dicha bioimpedancia en la banda de frecuencias de análisis. Adicionalmente, el sensor de temperatura mide la temperatura de la muestra (10) bajo análisis. La información capturada por el dispositivo de medida (20), es decir la temperatura de la muestra (10) y su espectro de bioimpedancia, es transmitida al dispositivo de procesado (30) por un enlace inalámbrico regido por un protocolo de comunicaciones común a los dos dispositivos. La configuración del dispositivo de medida (20), y en particular del espectrómetro de bioimpedancia, se realiza de forma inalámbrica desde el dispositivo de procesamiento (30).

En una realización alternativa del sistema de la invención, que no implica ninguna alteración relevante en el principio de operación del mismo, la comunicación entre el dispositivo de medida (20) y el dispositivo de procesado (30) se realiza mediante una conexión física –a través de cualquier entrada como por ejemplo de un puerto USB (*Universal Serial Bus*) o de un conector de señal de audio–, en lugar de mediante un enlace de comunicaciones inalámbricas.

En la realización de la Figura 1, el conjunto de electrodos que entra en contacto con la muestra bajo caracterización se considera que reside en la base inferior del dispositivo de medida (10). Un sistema de medida de la bioimpedancia basado en cuatro electrodos o tetrapolar –que utiliza dos electrodos para inyectar la corriente de excitación en la muestra y
5 otros dos electrodos para recoger el voltaje–, presenta como ventaja respecto al correspondiente bipolar –que utiliza los mismos dos electrodos para la inyección de la corriente de excitación y para recoger los voltajes de respuesta– en que en el primer caso la medida de la bioimpedancia no se ve afectada por la impedancia de las interfases electrodo-producto alimenticio.

La Figura 2 corresponde a una posible realización de los electrodos del espectrómetro de bioimpedancia. En este caso particular, consiste en cuatro electrodos concéntricos en forma de anillos en la base inferior, estando dichos electrodos separados entre sí por un material aislante. En esta arquitectura, la corriente eléctrica de muy baja intensidad que se utiliza
15 para excitar a la muestra (10) se aplica entre un electrodo externo (24) y un electrodo interno (21), que actúan como electrodos de excitación. La frecuencia de esta corriente eléctrica de excitación varía secuencialmente en un determinado rango. Dos electrodos concéntricos intermedios (23) y (22) actúan como electrodos de sensado, recogiendo el potencial cuya diferencia se pretende medir. Los cuatro electrodos se encuentran eléctricamente
20 conectados, a través del interior del vástago, a la circuitería del espectrómetro de bioimpedancia, que reside en el extremo opuesto a los electrodos concéntricos en el dispositivo de medida (20). Nótese que otras arquitecturas diferentes para los electrodos pueden ser adoptadas dentro del marco de la invención tal y como ha sido reivindicada. Asimismo, es posible optar por arquitecturas de electrodos intercambiables en función del
25 tipo de producto, sin que ello altere el concepto de la operación del sistema propuesto.

La Figura 2 muestra adicionalmente un sensor de temperatura (25), en este caso particular ubicado en el interior de los electrodos concéntricos del dispositivo de medida (20). La medida de la temperatura a través de dicho sensor de temperatura (25) permite
30 posteriormente compensar en el dispositivo de procesado (30) las desviaciones que dicha temperatura puede inducir en los espectros de bioimpedancia, y por lo tanto, en la caracterización de la composición de la muestra (10).

El dispositivo de medida (20) es el encargado de obtener los parámetros de bioimpedancia
35 de la muestra (10) alimenticia –magnitud y ángulo de fase para diferentes frecuencias de la corriente de excitación en la banda de operación–, además de la temperatura de la misma, y

transmitirlos al dispositivo de procesado (30) para su procesamiento. La Figura 3 muestra el diagrama de bloques del dispositivo de medida (20) con capacidad de medida de espectros de bioimpedancia y de temperatura de la muestra. El dispositivo de procesado (30) comprende un primer bloque (26), que a su vez comprende un circuito integrado de aplicación específica junto con un circuito generador de corriente de excitación programable en magnitud y frecuencia. Asimismo, el dispositivo de medida comprende un microcontrolador (27), medios de radiofrecuencia (29) con capacidades de transmisión y recepción, y un circuito de acondicionamiento de señal (28) conectado al sensor de temperatura (25). Nótese que otros medios de transmisión y recepción de datos pueden ser utilizados, como por ejemplo, una conexión *bluetooth* o cualquier otro sistema de comunicación alternativo, siendo preferible que dicha comunicación tenga carácter inalámbrico para facilitar el uso y portabilidad del sistema.

El circuito generador de la corriente de excitación está controlado por el microcontrolador (27). La corriente de excitación, de carácter sinusoidal, se aplica a la muestra (10) alimenticia a través de los electrodos de excitación (21, 24). El voltaje resultante se recoge a través de los electrodos de sensado (22, 23). La diferencia entre los voltajes medidos por los electrodos de sensado se procesa en una sección de entrada analógica implementada en el circuito integrado de aplicación específica. La sección de entrada analógica suministra como salidas sendos voltajes de continua (DC), proporcionales a la magnitud y ángulo de fase, respectivamente, de la bioimpedancia de la muestra biológica (10).

La operación del circuito integrado de aplicación específica descrito, encargado de la medida de la bioimpedancia de la muestra alimenticia, se basa en la detección de la relación de magnitudes y diferencia de fases. No obstante, cualquier realización basada en otro principio de medida de espectro de bioimpedancia puede utilizarse dentro del alcance de la invención tal y como ha sido reivindicada. Una descripción más detallada de una posible implementación de la estructura y operación del circuito integrado de aplicación específica puede encontrarse en una solicitud de Patente WO 2013/030425 A1, donde concretamente dicho circuito integrado específico corresponde a la subunidad 9 de la Figura 1.

La temperatura es una de las variables más influyentes en el comportamiento dieléctrico de un medio, jugando un importante papel en el valor de las magnitudes eléctricas medidas. Por ello, el dispositivo de medida (20) está provisto de un sensor de temperatura (25) (por ejemplo, un termistor) y una sección de acondicionamiento de señal (28). El voltaje de salida del circuito (28), que es proporcional a la temperatura de la muestra, se transmite al

microcontrolador (27) para su conversión a un código digital y para su posterior transmisión, junto con el espectro de bioimpedancia, al dispositivo de procesado (30) a través de la sección de radiofrecuencia (29).

- 5 El microcontrolador (27) controla la fuente de corriente de excitación que se aplica a la muestra de acuerdo con una configuración almacenada en un modelo de calibración que es transmitido desde la unidad de comunicaciones móviles (30). Dicho modelo de calibración comprende información de frecuencia e intensidad de la corriente para cada análisis que conforma el espectro, y es dependiente del tipo de muestra (10) bajo análisis.
- 10 Adicionalmente, el microcontrolador (27) convierte a un código digital los voltajes correspondientes a la magnitud y ángulo de fase de la bioimpedancia para cada uno de los análisis de bioimpedancia que conforman el espectro. De esta manera, en su modo de recepción, la sección de radiofrecuencia (29) recibe del dispositivo de procesado (30) los parámetros de configuración del espectrómetro para la adecuada generación del espectro
- 15 de bioimpedancia correspondientes al tipo de muestra alimenticia bajo test. En su modo de transmisión, la sección de radiofrecuencia (29) transmite al dispositivo de procesado (30), junto con la temperatura de la muestra, las medidas obtenidas de bioimpedancia que conforman el espectro.
- 20 El dispositivo de procesado (30) realiza una doble función. En primer lugar, previamente a la realización de medidas de bioimpedancia del dispositivo de medida (20), configura el espectrómetro de acuerdo con el correspondiente modelo de calibración. En segundo lugar, una vez recibido el espectro de bioimpedancia y la temperatura, el dispositivo de procesado (30) se encarga de procesar e interpretar las medidas, mostrar los resultados de la
- 25 caracterización en una pantalla y, opcionalmente, almacenar dichos resultados en el propio dispositivo de medida (30) y/o transmitirlos a un servidor remoto.

A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra el diagrama de Nyquist –parte reactiva imaginaria $X(\Omega)$ frente a parte resistiva real $R(\Omega)$ de la impedancia para diferentes frecuencias– correspondiente a soluciones de etanol con distintos valores de concentración (C). El diámetro de cada semicírculo decrece a medida que hace lo propio el valor (C) de la concentración de alcohol. En concreto, existe una elevada correlación, con un coeficiente de regresión lineal de aproximadamente 0.98, entre la concentración y el diámetro del semicírculo de Nyquist. En la práctica, el desarrollo del modelo de calibración/predicción

30 para cada tipo de producto requiere un análisis de referencia con un método analítico secundario. El propósito general de un modelo de calibración consiste en correlacionar

35

determinadas propiedades del mismo –en este caso propiedades eléctricas que tienen su reflejo en el espectro de bioimpedancia– con las propiedades fisicoquímicas o parámetros de interés. En cualquier caso, los modelos son modelos estadísticos basados en técnicas multivariante. Una vez generado el modelo estadístico se emplea posteriormente en la predicción de las propiedades de nuevas muestras a partir de su espectro de bioimpedancia. El desarrollo de modelos multivariantes requiere la participación de personal técnico cualificado.

Los modelos de calibración usados en la presente invención se pueden generar usando distintas técnicas que son ampliamente conocidas y usadas en el estado de la técnica (por ejemplo, en espectrometría de infrarrojo cercano).

En el sistema propuesto, la unidad de procesado (30) dispone de una memoria en la que se almacena el modelo de calibración correspondiente al tipo de producto que se pretende caracterizar, previamente a la aplicación del sistema sobre la muestra (10). El modelo de calibración puede descargarse, por ejemplo, desde un servidor externo a través de redes de comunicación, como por ejemplo internet. La conectividad a Internet del dispositivo de procesado (30) proporciona al dispositivo de medida (20) una elevada versatilidad, derivada de la posibilidad de realizar descargas de modelos de calibración de otros productos alimenticios o nuevas versiones mejoradas de modelos ya existentes. Los modelos de calibración, además de proporcionar una referencia con la que comparar los espectros de bioimpedancia medidos por el espectrómetro, proporcionan parámetros de configuración del espectrómetro específicos para cada tipo de producto, como por ejemplo frecuencias e intensidades de la corriente de excitación para los análisis.

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo del procedimiento utilizado por el sistema de la invención para la caracterización de la composición de productos alimenticios. Nótese que es posible variar el orden de algunas etapas dependiendo de la implementación particular del sistema, siempre dentro del alcance de la invención tal y como ha sido reivindicada. El procedimiento comprende las etapas siguientes:

a) Descarga (40) del modelo de calibración en el dispositivo de procesado (30) correspondiente al tipo de muestra (10) alimenticia que se pretenda caracterizar. Este paso sólo es necesario si el modelo de calibración no se encuentra previamente almacenado en el dispositivo de procesado (30).

b) Configuración remota (41) del espectrómetro de bioimpedancia. Para ello, se ejecuta

el modelo de calibración en los medios de procesamiento instalados en el dispositivo de procesamiento (30) y se transmiten a través del protocolo inalámbrico los parámetros específicos de configuración del espectrómetro de bioimpedancia. Dichos parámetros de configuración son, típicamente, los valores correspondientes a las frecuencias de la corriente eléctrica de excitación y la intensidad de la misma para cada análisis de bioimpedancia que conforma el espectro del tipo de muestra.

c) Disponer en contacto (42) la muestra (10) con los electrodos (21, 22, 23, 24) y con el sensor de temperatura (25) del dispositivo de medida.

d) Activación remota del espectrómetro desde el dispositivo de procesamiento (30), y medida (43) el espectro de bioimpedancia y la temperatura de la muestra (10).

e) Transmisión (44) de las medidas que conforman el espectro de bioimpedancia de la muestra y la temperatura de la misma a la unidad de procesamiento (30).

f) Comparación (45) del modelo de calibración con las medidas recibidos en el dispositivo de procesamiento (30), toma de decisiones acerca de la composición y calidad alimentaria de acuerdo con las variables consideradas en el modelo específico de calibración y muestra de resultados.

g) Repetición (46) del ensayo sobre una nueva muestra (10) del mismo tipo, si así lo indica el usuario. En caso afirmativo se procede de nuevo con el paso de disponer en contacto (42) la nueva muestra (10). En caso negativo, se procede con el paso de almacenar (47) o desechar los resultados.

h) Almacenar (47) o desechar los resultados obtenidos, según indique el usuario, y finalmente, salir (48) del proceso.

A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin salir del objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control de calidad alimentaria caracterizado porque comprende:

- 5 – un dispositivo de medida (20) que entra en contacto con una muestra (10) alimenticia; comprendiendo a su vez dicho dispositivo de medida (20):
 - 10 – un espectrómetro de bioimpedancia configurado para medir al menos un espectro de bioimpedancia de la muestra (10);
 - medios de comunicación adaptados para transmitir el espectro de bioimpedancia a un dispositivo externo de procesado (30);
 - 15 – medios de procesado configurados para ser instalados en el dispositivo externo de procesado (30), recibir el espectro de bioimpedancia medido, y determinar la calidad alimentaria de la muestra (10) comparando el espectro de bioimpedancia medido con un modelo de calibración de referencia previamente almacenado en el dispositivo de procesado (30).

20 2. Sistema según la reivindicación 1 caracterizado porque el espectro de bioimpedancia medido comprende información de magnitud y ángulo de fase, y porque dicha información de magnitud y ángulo de fase es procesada por los medios de procesado de acuerdo con un modelo de calibración multivariante y de toma de decisiones.

25 3. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque el dispositivo de medida (20) comprende además un sensor de temperatura (25) adaptado para medir la temperatura de la muestra (10), y porque los medios de procesado aplican la temperatura de la muestra (10) para corregir desviaciones en el espectro de bioimpedancia medido.

30 4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado porque los medios de procesado están adaptados para ser instalados en un dispositivo portátil con conectividad a un servidor externo desde el que se descargan los modelos de calibración correspondientes a distintos tipos de muestras.

35 5. Sistema según la reivindicación 4 caracterizado porque los medios de procesado

están configurados para almacenar resultados referentes a la calidad alimentaria de la muestra en el servidor externo.

6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 4 y 5 caracterizado porque el espectrómetro es configurado por los medios de procesado en función del tipo de muestra (10) a analizar de acuerdo con un modelo descargado del servidor externo.

7. Método de control de calidad alimentaria caracterizado porque comprende:

– medir (43) al menos un espectro de bioimpedancia de una muestra (10) alimenticia mediante un espectrómetro de bioimpedancia comprendido en un dispositivo de medida (20) que entra en contacto con dicha muestra (10);

– transmitir (44) el espectro de bioimpedancia a unos medios de procesado adaptados para ser instalados en un dispositivo de procesado (30) externo;

– determinar en los medios de procesado la calidad alimentaria de la muestra (10) comparando (45) el espectro de bioimpedancia medido con un modelo de calibración de referencia previamente almacenado en el dispositivo de procesado (30).

8. Método según la reivindicación 7 caracterizado porque comprende medir información de magnitud y ángulo de fase del espectro de bioimpedancia y procesar dicha información de magnitud y ángulo de fase de acuerdo con un modelo de calibración multivariante y de toma de decisiones.

9. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 y 8 caracterizado porque comprende además para medir la temperatura de la muestra (10) y aplicar dicha temperatura de la muestra (10) para corregir desviaciones en el espectro de bioimpedancia medido.

10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9 caracterizado porque comprende además descargar (40) los modelos de calibración correspondientes a distintos tipos de muestras desde un servidor externo.

11. Método según la reivindicación 10 caracterizado porque comprende además

configurar remotamente (41) el espectrómetro desde los medios de procesado en función del tipo de muestra (10) a analizar de acuerdo con un modelo de calibración descargado del servidor externo.

5 12. Dispositivo de medida (20) de calidad alimentaria caracterizado porque comprende:

– un espectrómetro de bioimpedancia configurado para medir al menos un espectro de bioimpedancia de una muestra (10);

10 – medios de comunicación adaptados para transmitir el espectro de bioimpedancia a un dispositivo externo de procesado (30) y para recibir instrucciones de configuración del espectrómetro de bioimpedancia desde dicho dispositivo externo de procesado (30).

15 13. Dispositivo según la reivindicación 12 caracterizado porque el espectrómetro de bioimpedancia comprende cuatro electrodos (21, 22, 23, 24) de medida.

20 14. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 12 y 13 caracterizado porque comprende además un sensor de temperatura adaptado para medir la temperatura de la muestra (10).

25 15. Programa de ordenador que comprende medios de código de programa de ordenador adaptados para realizar las etapas del método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 14, cuando el mencionado programa se ejecuta en un ordenador, un procesador digital de la señal, un circuito integrado específico de la aplicación, un microprocesador, un microcontrolador o cualquier otra forma de hardware programable.

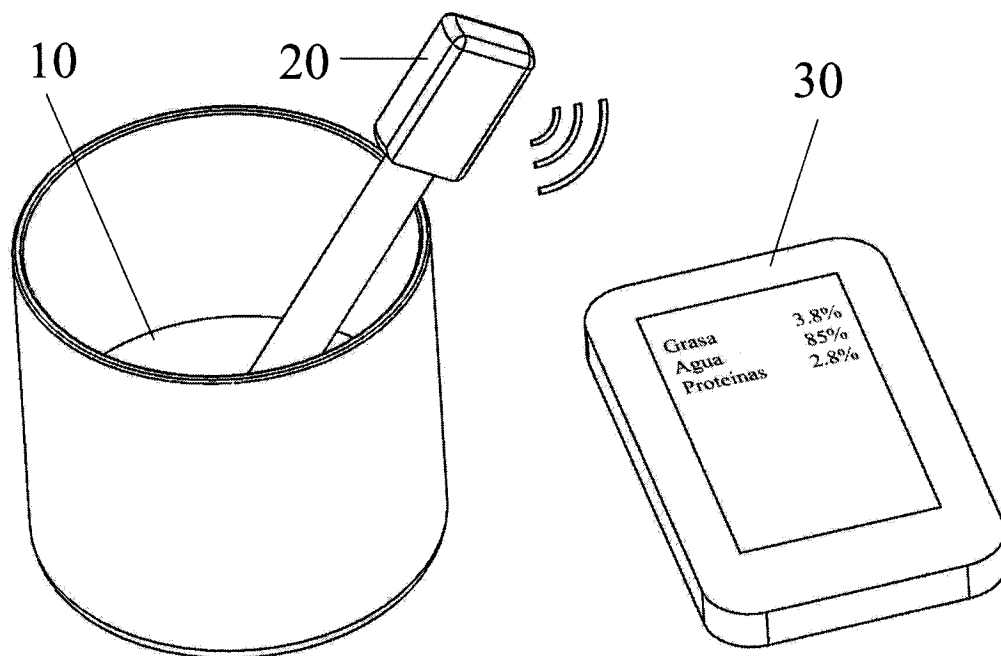


Fig. 1

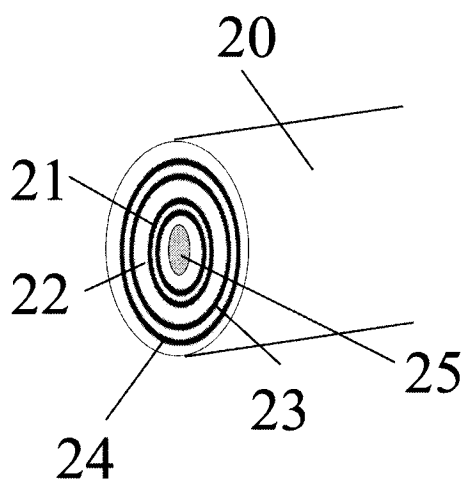


Fig. 2

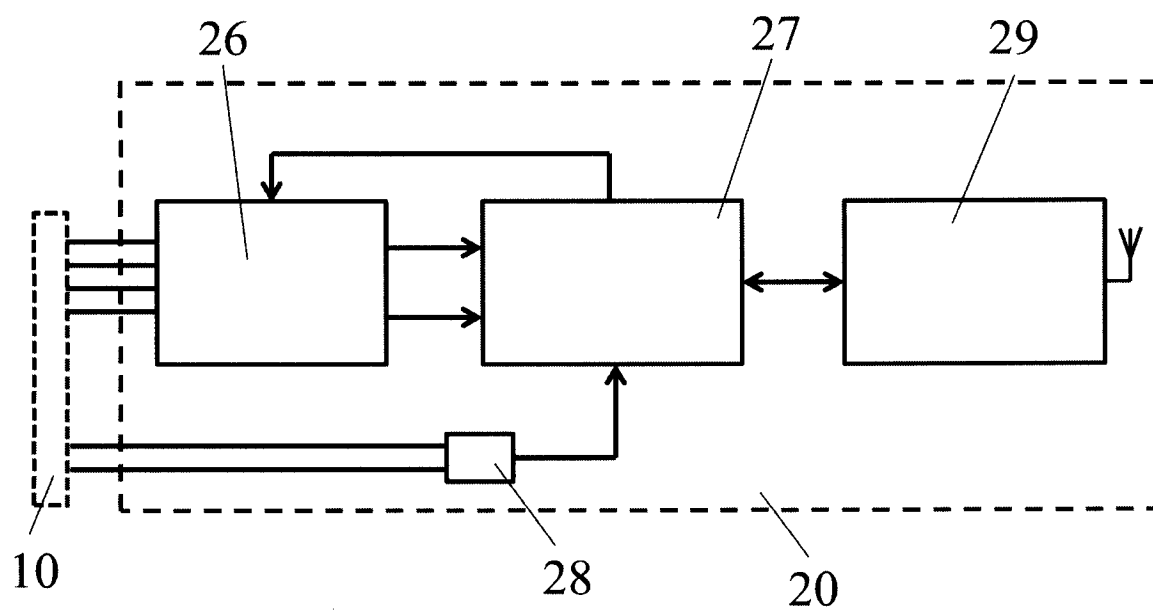


Fig. 3

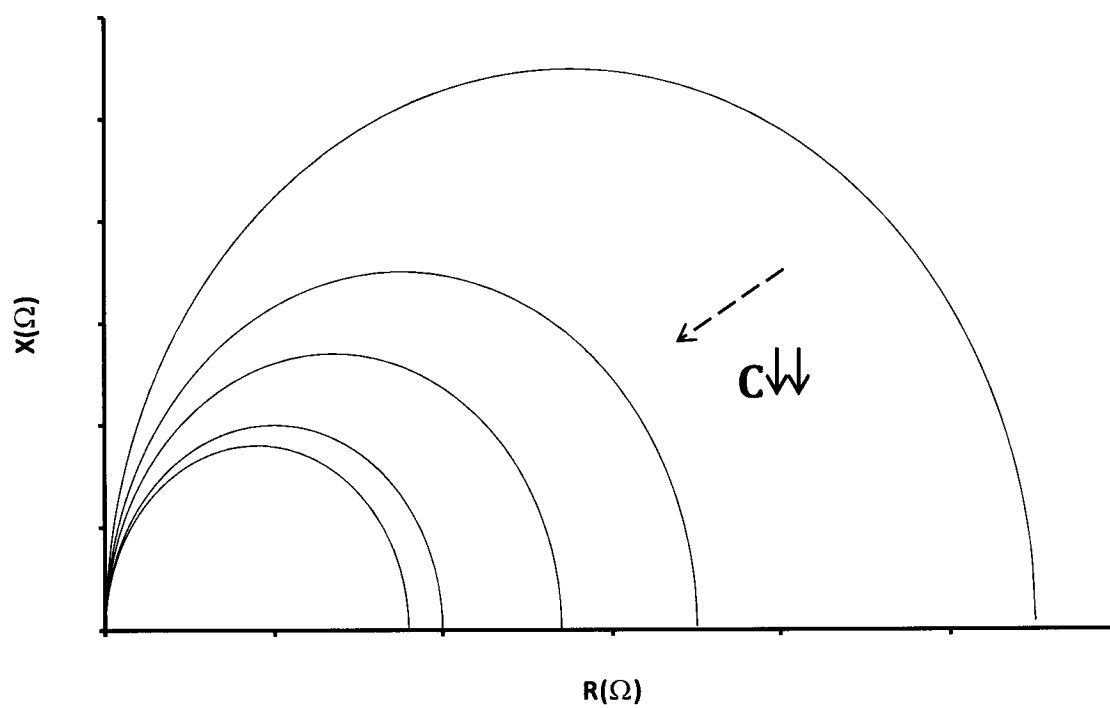


Fig. 4

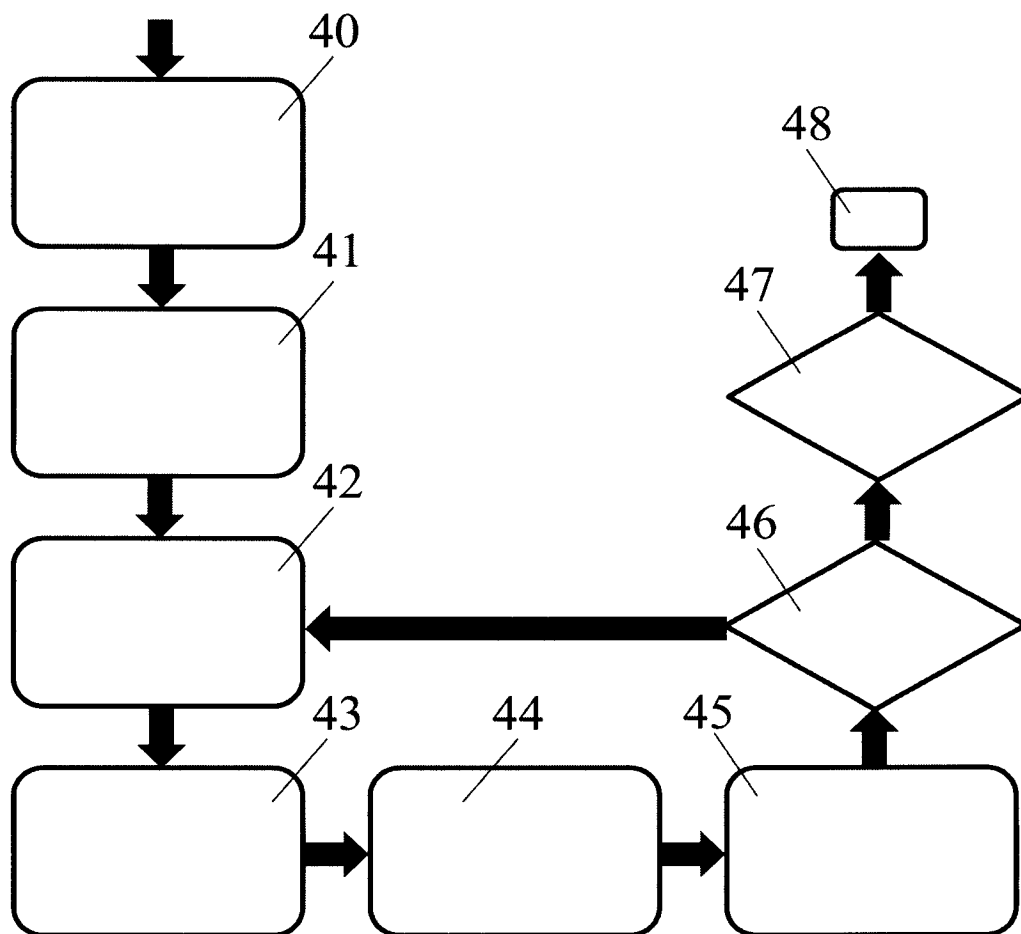


Fig. 5