

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 938 902**

21 Número de solicitud: 202100105

51 Int. Cl.:

<b>A21D 8/02</b>	(2006.01)
<b>A21C 14/00</b>	(2006.01)
<b>G01R 27/16</b>	(2006.01)
<b>G01R 27/14</b>	(2006.01)
<b>G01R 27/02</b>	(2006.01)
<b>G01R 31/396</b>	(2009.01)
<b>G01R 27/28</b>	(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:  
**13.10.2021**

43 Fecha de publicación de la solicitud:  
**17.04.2023**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:  
**19.04.2024**

Fecha de concesión:  
**29.05.2024**

45 Fecha de publicación de la concesión:  
**05.06.2024**

73 Titular/es:  
**UNIVERSIDADE DE VIGO (100.0%)  
Campus Universitario de Vigo s/n  
36310 Vigo (Pontevedra) ES**

72 Inventor/es:  
**NOVOA RODRÍGUEZ, Xosé Ramón y  
PINTOS ALONSO, Aránzazu**

54 Título: **Método de impedancia eléctrica para la determinación del estado de fermentación de la masa de pan**

57 Resumen:

La invención se refiere a un método electroquímico para controlar el estado de fermentación de masas de pan en la etapa previa a la cocción. La resistividad de la masa de pan evoluciona con el grado de fermentación. Esa variación es el parámetro que se utiliza para establecer el momento óptimo de horneado. La medida de resistividad puede realizarse en corriente alterna o corriente continua y en configuraciones de 2 o 4 electrodos. Se recomienda la medida en corriente alterna a 1 kHz y en configuración de 4 electrodos.

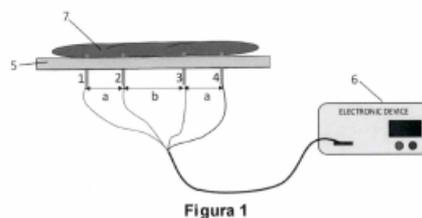


Figura 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 938 902 B2

## DESCRIPCIÓN

Método de impedancia eléctrica para la determinación del estado de fermentación de la masa de pan

5

### Sector de la técnica

La siguiente invención se refiere a un método electroquímico para controlar el estado de fermentación de masas de pan en la etapa previa a la cocción. Para un correcto crecimiento de la barra de pan en el proceso de horneado es necesario introducir la masa de pan en el horno en un momento determinado de la etapa de fermentación. Mediante este método es posible controlar el proceso de fermentación de las masas de pan y determinar el momento óptimo para su introducción en el horno.

### 15 Antecedentes de la invención

El proceso de fermentación en las masas de pan es un parámetro crítico en el sector de la panadería y es muy importante realizar un correcto seguimiento de la transformación reológica de las masas de pan. Las masas de pan deben introducirse en el horno en un momento determinado de fermentación. Actualmente, la forma de determinar el estado de fermentación de la masa de pan es un proceso totalmente dependiente de la vista y el tacto del operador. Es un proceso totalmente manual, siempre dependiente de un maestro panadero, evitando que el proceso de elaboración del pan se lleve a cabo de forma completamente automática.

Existen numerosos estudios científicos sobre el proceso de producción del pan, incluido el proceso de elaboración de la masa, el horneado y su posterior almacenamiento. J. P. Ploteau y col. [1] compararon la eficiencia de un horneado operado con hornos tradicionales. Los registros de temperatura en diferentes secciones de la masa de pan permitieron concluir que el uso de emisores de infrarrojos reduce el consumo de energía al hornear a una temperatura más baja. L. J. Verde y col. [2] también estudiaron la diferencia entre hornear masa de pan en un horno tradicional versus un horno de resistencia eléctrica. El horno eléctrico genera una distribución homogénea de temperatura en toda la masa, tanto en la corteza como en el interior, mientras que en el horno tradicional existen diferencias entre ambas zonas. Posteriormente, midieron el grado de humedad durante los cinco días siguientes a la cocción, etapa en la que el pan permanece almacenado. Se observó que, en las barras horneadas en horno de resistencia eléctrica, los valores de humedad se mantienen prácticamente sin cambios, al contrario de lo que sucedió con las barras de pan horneadas en horno tradicional.

C. M. Bhatt y col. [3] también estudiaron la etapa de almacenamiento del pan. Para ello, utilizaron un dispositivo multicanal de electrodos concéntricos para estudiar, mediante espectroscopia de impedancia electroquímica, la evolución de la impedancia en pan de trigo durante cinco días y la relacionaron con la cantidad de agua presente en las diferentes partes de la barra de pan, desde la corteza al interior, determinando que cuando la humedad aumenta también lo hace la impedancia, y viceversa.

También se estudió el tiempo de horneado. E. Purlis [4] determinó el tiempo mínimo de horneado para obtener un producto aceptable para los consumidores y el tiempo óptimo para obtener barras de pan de la más alta calidad. Para ello, se simuló la cocción de la masa de pan mediante modelos matemáticos de transferencia de masa y energía en la cinética de gelatinización del almidón y la cinética del tostado de la corteza del pan.

Las propiedades organolépticas de una barra de pan, como el color, la textura y el sabor, son parámetros muy importantes para el consumidor. E. Purlis y col. [5] propusieron un modelo

matemático sencillo que, mediante visión artificial, relacionaba la pérdida de peso con el cambio de color durante la cocción.

5 En resumen, existen una serie de estudios sobre diferentes etapas en la elaboración del pan, analizando diferentes parámetros como el contenido de agua, la temperatura e incluso la impedancia del sistema (barra de pan), pero no se conocen estudios sobre la etapa de fermentación, aunque este es uno de los pasos más críticos en el proceso de elaboración del pan.

10 Así, la técnica aquí descrita representa una nueva metodología capaz de seguir la evolución del proceso de fermentación y así determinar automáticamente el momento óptimo en el que se debe cortar la masa de pan e introducirla en el horno.

15 Para ello, se propone el uso de la técnica de impedancia electroquímica. Aunque se han descrito algunas aplicaciones para la industria alimentaria [6], no se han encontrado informes (artículos o patentes) para la aplicación prevista.

20 Nomenclatura: En este texto se utiliza el término "impedancia" para designar genéricamente tanto a la medida física de la "impedancia eléctrica" como al fenómeno electroquímico que representa y que es objeto de la patente, al que corresponde el término "impedancia electroquímica". Cuando en la impedancia electroquímica se realiza un barrido en frecuencias, el término asociado es "espectroscopia de impedancia electroquímica".

## 25 Referencias

[1] J. P. Ploteau, P. Glouannec, V. Nicolás, A. Magueresse, Experimental investigation of French bread baking under conventional conditions or short infrared emitters, *App.d Therm. Eng.*, 75, 22 (2015) 461-467.

30 [2] L. J. Verde, S. V. Gomand, C. M. Courtin, J. A. Delcour, Moisture Distribution during Conventional or Electrical Resistance Oven Baking of Bread Dough and Subsequent Storage, *J. Agric. Food Chem.* 62, 27 (2014) 6445-6453.

35 [3] C. M. Bhatt, J. Nagaraju, Studies on electrical properties of wheat bread as a function of moisture content during storage, *Sens. & Instrumen. Food Qual.* 4 (2010) 61-66.

[4] E. Purlis, Baking process design based on modelling and simulation: Towards optimization of bread baking, *Food Control* 27, 1 (2012) 45-52.

40 [5] E. Purlis, V. O. Salvadori, Bread browning kinetics during baking, *J. Food Eng.*, 80, 4, (2007) 1107-1115.

[6] M. Grossi, Bruno Riccò, Electrical impedance spectroscopy (EIS) for biological analysis and food characterization: a review, *J. Sens. Sens. Syst.*, 6 (2017) 303-325.

45

## Explicación de la invención

La siguiente invención proporciona un método para la determinación del estado de fermentación de masas de pan mediante la técnica de impedancia electroquímica. Este documento hace referencia a parámetros para masa de pan blanco, pero el método es aplicable a otros tipos de masa de pan realizando las correcciones necesarias en los parámetros.

50

El dispositivo recomendado para medir la impedancia electroquímica es el método de cuatro electrodos de Wenner, cuyo diagrama se muestra en la Figura 1, pero también es posible realizar las mediciones en una configuración de dos electrodos (electrodos en ambos extremos de la barra de pan), o cuatro electrodos en la posición superior con respecto a la masa de pan.

5 Para obtener mejores resultados, el dispositivo de cuatro puntos debe cubrir toda la longitud de la barra para que la corriente eléctrica fluya a través de casi todo el volumen de la misma. La separación entre electrodos puede ser la misma o, como se muestra en la Figura 1, los de los lados pueden ser iguales (distancia "a" en la Figura 1) y diferentes del centro (distancia "b" en la Figura 1). La corriente se aplica entre los electrodos terminales (1 y 4 en la Figura 1) y el potencial se lee entre los dos electrodos centrales (2 y 3 en la Figura 1), lo que permite obtener el valor de impedancia de la masa de pan como el cociente entre potencial y corriente.

15 La medición se puede realizar con corriente continua; sin embargo, se recomienda una corriente alterna para minimizar el daño de los electrodos y evitar que se manchen la masa de pan. La señal recomendada es sinusoidal de 20 mV rms. de amplitud y frecuencia de 1 kHz. El módulo de impedancia medida es directamente proporcional a la resistividad de la masa de pan en barra según la ecuación 1, que es el parámetro de interés.

20

$$\rho = \frac{\pi \cdot a \cdot R}{\left(1 - \frac{a}{a+b}\right)} \cdot f$$

25 En la ecuación 1  $\pi = 3.1416$ , "a" corresponde a la distancia entre el electrodo externo y el electrodo interno más próximo (Figura 1), "b" corresponde a la distancia entre el par de electrodos internos (Figura 1), R es la resistencia medida (en corriente continua) o módulo de impedancia (en corriente alterna), y "f" es un factor de forma que depende de las dimensiones de la masa de pan, pero no es relevante aquí debido al procedimiento empleado.

30 La evolución de la resistividad de la masa de pan, normalizada al valor inicial, sigue una tendencia desde el amasado hasta su entrada al horno que está directamente relacionada con la evolución del proceso de fermentación. A medida que aumenta el tiempo de fermentación, la resistividad disminuye hasta alcanzar un mínimo. A partir de ese punto, comienza a aumentar nuevamente. Para anular la constante que relaciona

35 R y  $\rho$  en la ecuación 1, se considera la variación de resistividad relativa ( $\rho(t) / \rho(0)$ ), que imita el perfil de resistividad / tiempo.

40 El momento en que la variación de resistividad alcanza su máximo es el momento óptimo para proceder al corte de las barras de masa de pan y posterior introducción en el horno. La Figura 2 muestra un esquema de la evolución de la variación de resistividad ( $100 \rho(t) / \rho(0)$ ) con el tiempo de fermentación. El punto marcado como "max" se refiere al momento óptimo de fermentación en el que se debe cortar la masa de pan e introducirla en el horno. La Figura 3 corresponde a un ejemplo que compara la evolución de la resistividad relativa para tres masas de pan diferentes. Los datos de las Figuras 2 y 3 también se pueden presentar como conductividad, que es la inversa de la resistividad, por lo que el máximo en la variación de resistividad corresponde a una conductividad mínima.

50 Los perfiles representados en las Figuras 2 y 3 corresponden a temperaturas de la masa de pan  $\leq 15^\circ \text{C}$  en el momento inicial del proceso de fermentación. Para temperaturas iniciales superiores a  $15^\circ \text{C}$ , los perfiles de resistividad no son tan marcados.

### Breve descripción de los dibujos

5 **Figura 1:** Imagen genérica del método Wenner de cuatro electrodos para realizar mediciones de impedancia electroquímica. (1) y (4) son los electrodos accionados por corriente, (2) y (3) son los electrodos sensores, (5) es el soporte (eléctricamente aislante), (7) barra de masa de pan bajo prueba, (6) el dispositivo electroquímico (medidor de resistividad).

10 **Figura 2:** Dibujo para mostrar la evolución típica de la resistividad relativa de las masas de pan durante la fermentación, alcanzando un punto máximo "max" que corresponde al tiempo óptimo para proceder con el corte e introducción en el horno.

15 **Figura 3:** Ejemplo real que muestra la evolución de la resistividad relativa de tres masas de pan con el tiempo durante la etapa de fermentación. Se observa claramente el máximo referido en la Figura 2, el correspondiente al momento óptimo para proceder al corte y cocción de la masa.

## REIVINDICACIONES

1. Método para la determinación del estado de fermentación de la masa de pan mediante la técnica de impedancia electroquímica a frecuencia fija o corriente continua que utiliza un dispositivo de cuatro sondas en disposición lineal o disposición cuadrada, o en disposiciones de dos electrodos.

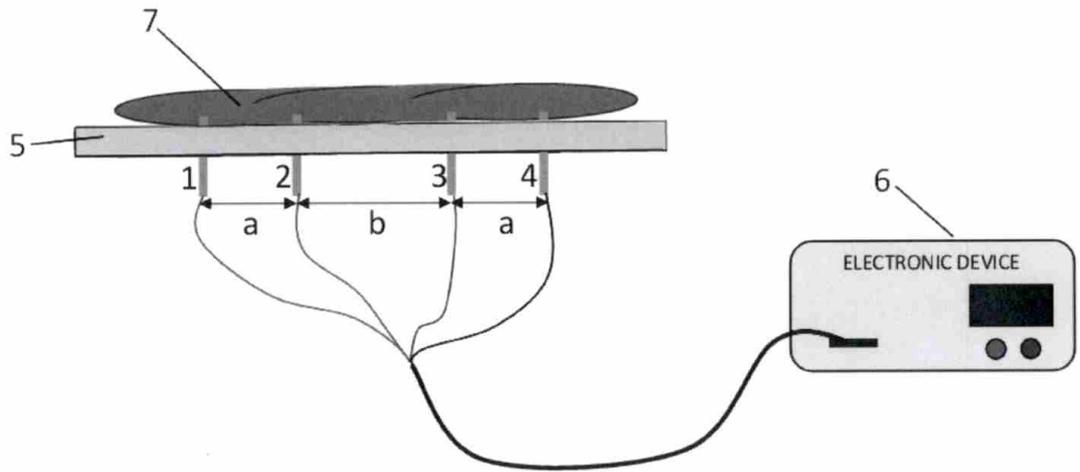


Figura 1

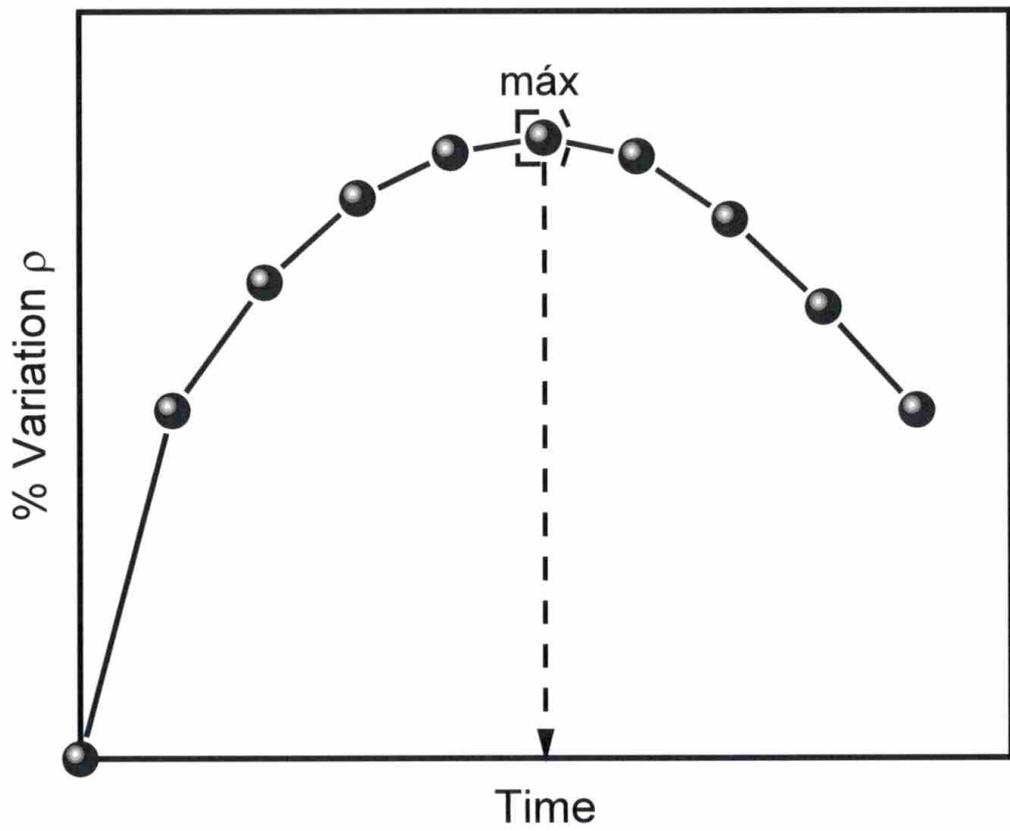
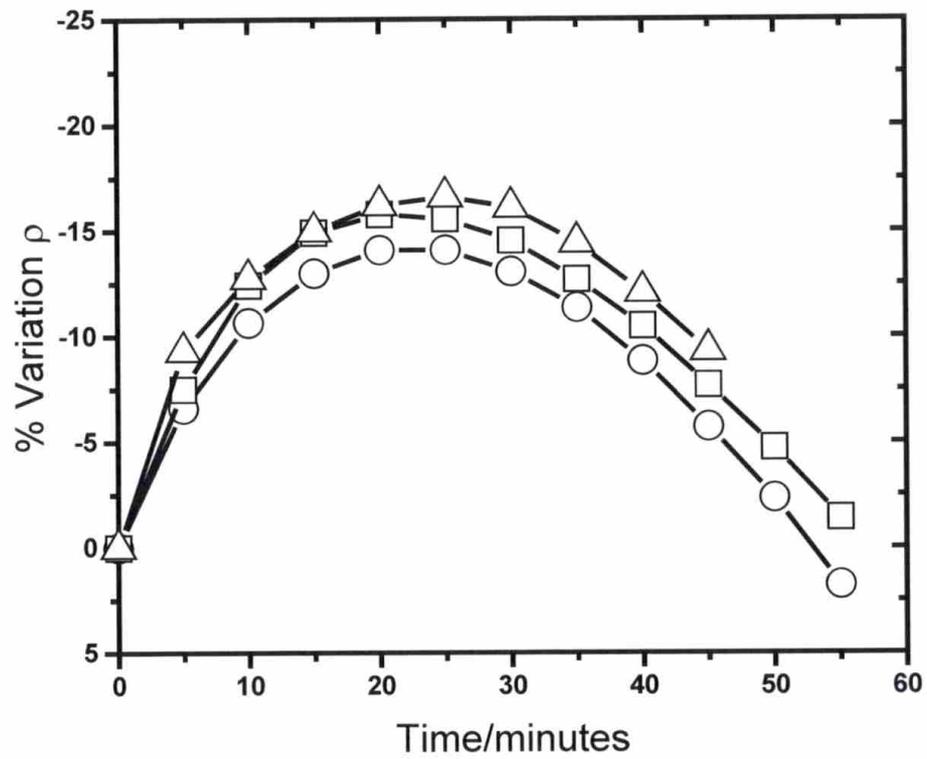


Figura 2

**Figura 3**