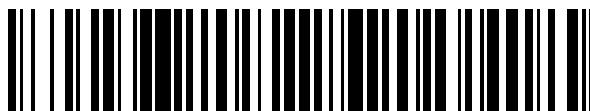


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 544 272**

51 Int. Cl.:

A23B 7/148 (2006.01)

A23L 3/3418 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2011** **E 11708501 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2015** **EP 2547213**

54 Título: **Almacenamiento de productos que respiran**

30 Prioridad:

25.06.2010 GB 201010704

17.03.2010 GB 201004359

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

28.08.2015

73 Titular/es:

KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN (50.0%)
K.U. Leuven R&D Minderbroedersstraat 8A - bus
5105
3000 Leuven, BE y
VLAAMS CENTRUM VOOR BEWARING VAN
TUINBOUWPRODUCTEN (50.0%)

72 Inventor/es:

DELELE, MULUGETA ADMASU;
NICOLAÏ, BART;
VERBOVEN, PIETER y
VERLINDEN, BERT

74 Agente/Representante:

ILLESCAS TABOADA, Manuel

ES 2 544 272 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

Almacenamiento de productos que respiran

5 **Campo de la invención**

Esta invención se refiere a un método y sistema dinámico para el almacenamiento de productos que respiran y, en general, se refiere al control algorítmico de la composición gaseosa en la atmósfera de entornos confinados, por ejemplo, entornos de almacenamiento de productos que respiran, tales como frutas, verduras y plantas. Más particularmente, se refiere a un método y aparato para controlar dinámicamente la composición de gas en el entorno de almacenamiento a través de supervisión asistida por software de las tasas de consumo de oxígeno y cambio de dióxido de carbono en un sistema donde el producto puede almacenarse durante periodos de tiempo prolongados. Tal sistema puede comprender ventajosamente un modelo matemático que determina las tasas respiratoria y fermentativa reales del producto.

15 **Antecedentes de la invención**

Los productos que respiran (frutas, verduras y plantas) se almacenan comúnmente a baja temperatura (típicamente cercana a 0 °C) en combinación con una presión parcial de O₂ reducida y de CO₂ aumentada (lo que se denomina "almacenamiento en atmósfera controlada" (AC)) para reducir su tasa de respiración y, de esta manera, prolongar su vida de almacenamiento. Sin embargo, la composición de gas óptima es crítica, puesto que una presión parcial de O₂ demasiado baja en combinación con una presión parcial de CO₂ demasiado alta induce un metabolismo fermentativo en la fruta (Beaudry, Postharvest Biol Technol, 15: 293-303, 1999). Esto provoca sabores desagradables (por ejemplo, etanol) y trastornos de almacenamiento (por ejemplo, pardeamiento y degradación del núcleo). Por esta razón, la presión parcial de O₂ y CO₂ en los almacenes comerciales refrigerados se mantiene a un valor seguro y estacionario. Tales sistemas se han desarrollado bajo la Patente de Estados Unidos N° 5.333.394, "Controlled atmosphere container system for perishable products", la Patente de Estados Unidos N° 6.092.430, "Oxygen/carbon dioxide detector and controller for a refrigerated controlled atmosphere shipping container" y la Patente de Estados Unidos N° 6.615.908, "Method of transporting or storing perishable product". Estas patentes tratan del control de la atmósfera, el uso de membranas y el uso de detectores. La Solicitud de Patente de Estados Unidos US2007/0144638 se posicionó como una mejora respecto a estos sistemas, siendo más económica (energéticamente eficiente) y no dando como resultado un aumento de presión en los recipientes (debido a la regulación de los gases de los métodos entonces actuales). La Patente Europea EP0457431 describe un sistema para controlar las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en un recipiente refrigerado para productos perecederos que respiran para controlar dinámica y continuamente las concentraciones de gas. La Solicitud de Patente Europea EP2092831 describe un sistema similar. Todos estos métodos tienen como objetivo obtener valores predeterminados de concentraciones de gas. La Patente de Estados Unidos N° 5.333.394 describe un recipiente de AC con un controlador que implementará ráfagas de suministro de gas que están preprogramadas basándose en una aplicación particular; no usa tasas medidas de producción y consumo de gas.

Adicionalmente, la Patente de Estados Unidos N° 7.208.187 divulga un método de control de una atmósfera controlada donde se mide al menos un gas de referencia en una concentración de menos del 1 % al menos en dos momentos diferentes, y donde las variables de control se determinan sobre la tasa de cambio en la concentración del gas de referencia, que después se usa como una medida de la tasa de producción del gas de referencia. Los mencionados gases de referencia son etileno, etanol, etano, acetaldehído y dióxido de carbono. El método no considera gases que se consumen debido a la respiración, es decir, oxígeno. El método tampoco considera la proporción de la tasa de cambio de dos gases como una medida del estado fisiológico.

Convencionalmente, el almacenamiento en atmósfera controlada (AC) de productos que respiran usa por tanto puntos de referencia estáticos y fijos que se recomiendan como condiciones de almacenamiento óptimas. Aunque las concentraciones se ajustan a niveles seguros, aún puede ocurrir una pérdida de firmeza significativa. Además, se ha informado del desarrollo de trastornos post-recolección, incluso en condiciones de AC óptimas (Peppelenbos & Oosterhaven, Acta Hort 464: 381-386, 1998; DeLong et al., Acta Hort 737: 31-37, 2007). Debido a la elevada variabilidad biológica de los productos hortícolas, las condiciones de almacenamiento óptimas recomendadas pueden ser muy diferentes de la condición de almacenamiento óptima real (Saltveit, Postharvest Biol Technol 27: 3-13, 2003; Veltman et al., Postharvest Biol Technol 27: 79-86, 2003).

Los sistemas de almacenamiento de AC adaptativa (ACA) pueden adaptar la composición de gas atmosférico basándose en el estado fisiológico real de la fruta (Veltman et al., Postharvest Biol Technol 27: 79-86, 2003; Zanella et al., Acta Hort 796, 77-82, 2008) como una función del lote de fruta y el tiempo, de manera que pueden tenerse en cuenta las variaciones debidas a factores tales como localización geográfica, variedad cultivada, mutación, efectos del huerto, fecha de recolección y duración del almacenamiento. El almacenamiento ACA puede mantener la calidad de la fruta en mayor extensión que las instalaciones de almacenamiento de AC convencional y de oxígeno ultra bajo (ULO) (Gasser et al., Acta Hort 796 69-76: 2008; Zanella et al., Acta Hort 796, 77-82, 2008) y se ha propuesto como una opción viable para productores de manzanas orgánicas que no están usando productos químicos preventivos (DeLong et al., Acta Hort 737: 31-37, 2007). Veltman et al. Postharvest Biol Technol 27: 79-86 (2003) mostraron que

las ACA dieron como resultado una mejora de la calidad de las manzanas 'Elstar', con mejor retención de firmeza e inhibición del defecto 'manchas en la piel'. Otras aplicaciones de la ACA han sido satisfactorias para el almacenamiento de variedades de cultivo de manzana 'Granny Smith' y 'Delicious' (Hoehn et al., In (M.M. Yahia): Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities, CRC Press, 42, 2009).

Se han desarrollado sistemas de supervisión para ACA basados en la fluorescencia de la clorofila (Prange et al., Solicitud de Patente Internacional N° WO02/06795) y la supervisión de la liberación de acetaldehído o etanol (Veltman et al., 2003).

El principio detrás del almacenamiento ACA es el almacenamiento de la fruta en una atmósfera con el menor nivel posible de oxígeno que es tolerado por la fruta. Por debajo de este nivel la fermentación comienza a ser importante y pueden desarrollarse los trastornos fisiológicos tales como pardeamiento interno. En la práctica, se usa una señal de respuesta de la fruta que se genera en tales condiciones para supervisar la tensión por oxígeno. Realmente se están usando dos sistemas. Los sistemas que usan fluorescencia de clorofila como la señal de respuesta de la fruta se han divulgado en la Solicitud de Patente Internacional WO02/06795. La atmósfera controlada (AC) que usa fluorescencia de clorofila requiere varios detectores caros por cada estancia fría, y tiene restricciones metodológicas tales como el punto de medición (se requiere una distancia constante del detector a las manzanas). Veltman et al. Postharvest Biol Technol 27: 79-86 (2003) usaron la producción de etanol fermentativa como la señal de respuesta de la fruta. Las mediciones de etanol se realizan fuera de línea en frutas muestreadas del almacén o del aire de la estancia. El sistema basado en etanol se divulga en la Solicitud de Patente Internacional WO02/06795 y en la Patente Europea EP0798962. El primer método es un procedimiento que no hace coincidir las características de un indicador dinámico de la mercancía como parte de un sistema de control automatizado. El último es poco fiable debido a la posible interacción del equipo de detección con gases tales como etileno, que puede estar presente en el aire de la muestra (Hoehn et al., In (M.M. Yahia): Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities, CRC Press, 42, 2009).

Ambos métodos se han equiparado frente a mediciones de respiración. El comienzo de las condiciones de estrés indicadas por una concentración de etanol aumentada o una señal de fluorescencia de clorofila concurre con la menor tasa de respiración aceptable que puede obtenerse por medición de los cambios de concentración de oxígeno O₂ y/o CO₂ en la atmósfera alrededor de la fruta (Veltman et al. Postharvest Biol Technol 27: 79-86, 2003; Gasser et al., Acta Hort 796: 69-76, 2008). La medición de la tasa de respiración en almacenes no se ha encontrado práctica (Hoehn et al., In (M.M. Yahia): Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities, CRC Press, 42, 2009).

Yearsly et al., Postharvest Biol Technol 8: 95-109 (1996) y Gasser et al., Acta Hort 796: 69-76 (2008) demostraron en pequeños lotes de manzanas en frascos que el coeficiente de respiración RQ (tasa de producción de CO₂ por tasa de consumo de O₂) aumenta drásticamente por debajo de la tasa de respiración más baja, debido al comienzo de la fermentación. Esto demostró que la RQ concurre con la fluorescencia de la clorofila y los métodos que usaban etanol.

Sin embargo, los experimentos en frasco en el laboratorio excluyen importantes factores influyentes sobre los almacenes reales (tamaño y forma de la estancia, fugas, condiciones climáticas, patrón de apilamiento, almacenamiento de gases dentro de las fruta) que evita la determinación exacta de RQ y, por lo tanto, hace imposible el control preciso en sistemas reales. En particular, los frascos proporcionan un sistema hermético al aire que excluye fugas y que puede controlarse para evitar fluctuaciones de temperatura y presión.

En los recipientes, cámaras o estancias, la determinación precisa de la tasa de fuga de gas es esencial para corregir las mediciones de procesos fisiológicos tales como respiración y fermentación (Hoehn et al., In (M.M. Yahia): Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities, CRC Press, 42, 2009). Los métodos existentes usan gases marcadores no reactivos para este fin en ensayos separados (Baker et al., Environ Exp Bot 51: 103-110, 2004) o reducción de la presión en estancias vacías a temperatura ambiente (Bartsch, Cornell Fruit Handling and Storage Newsletter, 16-20, 2004; Raghaven et al., In (D.M. Barrett, L. Somogy, H. Ramaswamy): Processing Fruits, CRC Press, 23-52, 2005). Las fugas dependen del diseño y construcción de la estancia, condiciones climáticas, carga, y cambios con el tiempo. Se recomienda la realización de ensayos anuales (Hoehn et al., In (M.M. Yahia): Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities, CRC Press, 42, 2009).

La Solicitud de Patente Internacional WO91/11913 divulga un método para supervisar y controlar las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera de un recipiente de almacenamiento o almacén refrigerado. La invención usa un conocimiento de las tasas de uso de oxígeno y de producción de dióxido de carbono de los productos almacenados y el volumen de huecos y la tasa de fuga de aire del recipiente o el almacén refrigerado para determinar un caudal de gas de purga y la concentración de oxígeno que mantendrá las presentes concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono.

Hay aún una necesidad de mejorar los almacenes y los sistemas de control para los mismos.

Sumario de la invención

- 5 Un objeto de las realizaciones de la presente invención es proporcionar buenos métodos de control y sistemas para controlar el almacenamiento de productos que respiran. Es una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención que se proporcionan sistemas y métodos que permiten el control dinámico del almacenamiento de productos que respiran.
- 10 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan sistemas y métodos que permiten el control proactivo del almacenamiento de los productos que respiran. Tal control proactivo del almacenamiento de productos que respiran puede permitir un almacenamiento mejorado.
- 15 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan métodos y sistemas que realizan un control basándose en el coeficiente de la tasa de intercambio de gas GERQ teniendo en cuenta la dinámica de intercambio de gas de los productos, así como la dinámica de intercambio de gas del entorno de almacenamiento.
- 20 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan métodos y sistemas que realizan un control basado en un modelo matemático que calcula las tasas de respiración y fermentación de los productos y la tasa de intercambio de gas del sistema de almacenamiento con el entorno externo.
- 25 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan métodos y sistemas que permiten el autoaprendizaje, sin necesidad de mediciones previas sobre los productos o el sistema de almacenamiento. Los parámetros de control se determinan como una parte del algoritmo de control.
- 30 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan métodos y sistemas que permiten una adaptación automática de las concentraciones de gas en el entorno de almacenamiento cuando ocurre un cambio en el comportamiento respiratorio de los productos, cuando cambia la cantidad de productos en el entorno de almacenamiento, cuando cambian las condiciones de gas y temperatura en el entorno del almacenamiento o cuando cambia el diseño o estructura del entorno de almacenamiento.
- 35 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que el sistema de control puede aplicarse a cualquier producto que respira y cualquier sistema de almacenamiento. El sistema de control no está limitado por restricciones respecto a temperatura, humedad, concentraciones de gas, cantidad y tipo de producto o las dimensiones del entorno de almacenamiento.
- 40 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan sistemas y métodos que permiten la medición automática de fugas, permitiendo de esta manera una carga de trabajo reducida, una automatización de la gestión del almacén y una implementación de una atmósfera controlada dinámica (ACD).
- 45 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan sistemas y métodos que permiten la corrección automática del efecto de fugas, sin necesidad de sistemas o ensayos adicionales.
- 50 Una ventaja de acuerdo con las realizaciones de la presente invención es que se proporcionan sistemas y métodos para medición automática del coeficiente de respiración (RQ), permitiendo una reducción de la carga de trabajo y una gestión automatizada del almacén.
- 55 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que la atmósfera de control puede realizarse dinámicamente, dando como resultado de esta manera una atmósfera controlada dinámica en lugar de una atmósfera controlada ajustada.
- 60 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se proporcionan métodos y sistemas que usan un paradigma de control, usando el paradigma de control el cociente de la tasa de intercambio de gas total (GERQ) en el entorno de almacenamiento y determinando mediante un modelo matemático del sistema la tasa de respiración real del producto.
- 65 Una ventaja de las realizaciones de acuerdo con la presente invención es que se usa la medición dinámica y precisa de los niveles de O₂ y CO₂ como una función del tiempo en la estancia así como la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y la acumulación de los gases se tiene en cuenta para el control dinámico de los entornos de almacenamiento de AC.
- El objetivo anterior se consigue mediante un método y dispositivo de acuerdo con la presente invención.
- 65 La presente invención se refiere a un sistema de control para controlar el almacenamiento de productos que respiran en un entorno de almacenamiento confinado definido, comprendido dicho sistema de control al menos un medio de

análisis de gas que comprende una unidad de control para determinar una composición del medio gaseoso ajustado del entorno de almacenamiento confinado para proteger el producto frente a la fermentación y el sistema de control comprende al menos un medio de operación/actuación para adaptar el medio gaseoso en el entorno de almacenamiento confinado basándose en dicha composición determinada del medio gaseoso ajustado, en el que la unidad de control está adaptada para determinar la composición del medio gaseoso ajustado basándose en un modelo matemático del sistema que determina las tasas respiratoria y fermentativa reales de los productos y en la evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento que comprende la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior. La composición del medio gaseoso ajustado se determina como una función del cociente de la tasa calculada de intercambio total de gas (GERQ) en el entorno de almacenamiento confinado, con lo que GERQ se calcula como

$$GERQ = \frac{\left(\frac{dCO_2}{dt} + k\Delta CO_2 \right)}{\left(-\frac{dO_2}{dt} + k\Delta O_2 \right)}$$

en condiciones aerobias y anaerobias, con lo que $\frac{d}{dt}$ es la tasa de cambio con el

tiempo t , O_2 y CO_2 son la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, k la constante de tasa de transferencia de fuga característica del entorno de almacenamiento en el momento del almacenamiento, y ΔO_2 o ΔCO_2 la diferencia de O_2 y CO_2 en el almacén y el entorno, respectivamente.

La unidad de control puede adaptarse para determinar la composición del medio gaseoso ajustado, como una función de la proporción de los niveles medidos de la tasa de cambio de la concentración de dióxido de carbono en el entorno de almacenamiento a la tasa de cambio de la concentración de oxígeno en el entorno de almacenamiento.

La unidad de control puede adaptarse para determinar la composición del medio gaseoso ajustado, como una función del cociente de la tasa calculada de intercambio total de gas (GERQ) en el entorno de almacenamiento confinado.

La unidad de control puede adaptarse para determinar continuamente la composición del medio gaseoso ajustado, usando dicho modelo matemático por evaluación del estado fisiológico de los productos que respiran por el modelo matemático de la respiración y fermentación de los productos en el sistema de almacenamiento combinado con las tasas medidas continua y dinámicamente del cambio de las concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno, y teniendo en cuenta el sistema de almacenamiento completo incluyendo la atmósfera de almacenamiento y el exterior, por ejemplo la fuga de gas hacia o desde el exterior.

La unidad de control puede estar adaptada para determinar la composición del medio gaseoso ajustado, teniendo en cuenta los niveles medidos de la tasa de intercambio de gas del entorno de almacenamiento confinado con el entorno externo y la acumulación de gases en dichos productos que respiran.

La unidad de control puede estar adaptada para comparar el GERQ calculado con el valor del punto de referencia de GERQ, su integral o su diferencial, y en el que la unidad el control está adaptada para comparar el nivel de CO_2 con la máxima concentración tolerable de la fruta. La unidad de control puede estar adaptada para comparar el GERQ calculado con el valor del punto de referencia del GERQ, su integral o su diferencial, y en el que la unidad de control está adaptada para comparar el nivel de O_2 con la mínima concentración tolerable de la fruta.

El al menos un medio de análisis de gas puede comprender medios detectores para detectar valores de concentración de O_2 y para detectar valores de concentración de CO_2 y está adaptado para proporcionar una señal desde una unidad de control para controlar dicho medio de operación/actuación para proporcionar a los productos un medio atmosférico definido.

La unidad de control puede estar adaptada para calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración del producto a niveles seguros y para proporcionar una señal de control desde la unidad de control para controlar el medio de operación o actuación del almacén para adaptar la composición de gas y/o para aplicar un control automatizado de la composición de gas en el entorno de almacenamiento.

La unidad de control puede estar adaptada para predecir la fermentación.

La unidad de control puede estar basada en un sistema de medición asistido por software y algoritmo de control.

La unidad de control puede comprender un modelo de control predictivo (MCP) para calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración del producto a niveles seguros.

La unidad de control puede comprender un controlador PID para calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración del producto a niveles seguros.

El medio de operación o actuación para adaptar la composición de gas en el entorno de almacenamiento confinado

puede comprender un medio para hacer fluir el gas en dicho entorno de almacenamiento confinado y/o un medio para lavar un gas (por ejemplo CO₂) de dicho entorno de almacenamiento confinado.

5 El medio de análisis de gas puede estar adaptado para evaluar la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento completo que comprende los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento, el diseño de la estancia y la fuga de gas al exterior.

10 La variación debida a factores para la variación de los productos que respiran puede ser uno o más del grupo que consiste en el lote de productos que respiran, condiciones del entorno de confinamiento, tiempo, localización geográfica, variedad de cultivo, cepa de cultivo, fecha de recolección y duración del almacenamiento.

El sistema de control puede comprender válvulas para el control del flujo, que por ejemplo son parte del medio de operación/actuación.

15 El medio de análisis de gas y el medio de operación o actuación pueden estar adaptados para proporcionar un control automatizado de la composición de gas en el entorno de almacenamiento.

20 El sistema puede ser estable a los cambios en la hermeticidad y temperatura del entorno de almacenamiento y los cambios en el estado de madurez del producto que respira. El sistema de control puede estar adaptado para medir las concentraciones de O₂ y CO₂ en el entorno de almacenamiento como una función del tiempo y para adaptar la concentración de O₂ y CO₂ en el entorno confinado mediante el flujo de oxígeno hacia el entorno de almacenamiento confinado, lavando el entorno de almacenamiento con nitrógeno gas, por lavado del CO₂ y/o por respiración del producto, usando la medición de las fugas del entorno de almacenamiento y el cociente de la tasa de intercambio de gas total instantánea (GERQ) y usando la tasa de cambio con el tiempo de GERQ,

25 con lo que GERQ se calcula como
$$\text{GERQ} = \frac{\left(\frac{d\text{CO}_2}{dt} + k\Delta\text{CO}_2 \right)}{\left(-\frac{d\text{O}_2}{dt} + k\Delta\text{O}_2 \right)}$$
 en condiciones aerobias y condiciones

anaerobias, con lo que $\frac{d}{dt}$ es la tasa de cambio con el tiempo t , O₂ y CO₂ son la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, k es la constante de la tasa de transferencia de fuga, característica del entorno de almacenamiento en el momento del almacenamiento y ΔO_2 o ΔCO_2 es la diferencia de O₂ y CO₂ en el almacén y el entorno, respectivamente.

30 El sistema de control también puede comprender el entorno de almacenamiento, al menos un lavador de CO₂, al menos una bomba de muestreo de gas, al menos una bomba de gas para el lavador, al menos un suministro de aire, al menos un suministro de N₂ y válvulas para control de flujo.

35 El al menos un medio de análisis de gas puede estar adaptado para medir, cuando está operativo, las concentraciones de O₂ (a) y CO₂ (b), con lo que los resultados de O₂ y CO₂ medidos se usan para calcular el GERQ y el GERQ calculado se compara con el valor máximo permisible de GERQ (c) y con lo que se usa la válvula de suministro de aire y/o un lavador y al menos una bomba de gas (d) para reducir el nivel de O₂ en el entorno de almacenamiento o aumentar el nivel de CO₂, por lo que $\text{GERQ} < \text{GERQ}_{\text{máx}}$ o $d\text{GERQ}/dt < (d\text{GERQ}/dt)_{\text{máx}}$ (el subíndice indica el valor máximo).

El sistema de control puede estar adaptado para regenerar al menos un lavador de CO₂ mediante chorro de N₂.

45 El entorno de almacenamiento confinado puede ser del grupo que consiste en una estancia, un recipiente, una caja, una lata, una bolsa, una cesta, un muelle de almacenamiento acondicionado en un barco, un remolque acondicionado y un camión.

50 Un aspecto de la presente invención se refiere a un sistema control para controlar el almacenamiento de productos que respiran, particularmente frutas, verduras y plantas, en un entorno de almacenamiento confinado definido en cada caso por el factor de variación del producto que respira, de la condición del entorno confinado y/o del tiempo de almacenamiento, con lo que dicho sistema de control comprende al menos un medio de operación o actuación para adaptar la composición de gas en el entorno de almacenamiento confinado, al menos un medio de análisis de gas para determinar un medio gaseoso ajustado, del entorno de almacenamiento confinado y al menos una unidad de control que tiene un medio legible por ordenador que establece de forma tangible un código informático ejecutable en un procesador, caracterizado por que dicho medio gaseoso ajustado que se determina por sistemas de evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento completo incluye la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior (fuga de gas al exterior).

5 Un aspecto adicional de la presente invención se refiere a un sistema de control para controlar el almacenamiento de productos que respiran, en particular frutas, verduras y plantas en un entorno de almacenamiento confinado definido en cada caso por el factor de variación de productos que respiran, de la condición de almacenamiento confinado y/o del tiempo de almacenamiento, con lo que dicho sistema de control comprende al menos un medio de operación o actuación para adaptar la composición del gas en el entorno de almacenamiento confinado, al menos un medio de análisis de gas para determinar y ajustar el medio gaseoso del entorno de almacenamiento confinado y al menos una unidad de control que tiene un medio legible por ordenador que establece de forma tangible un código informático ejecutable en un procesador de dicho sistema, caracterizado por que el medio gaseoso ajustado se está determinando como una función de la proporción de la tasa de retirada de dióxido de carbono por el producto en el entorno de almacenamiento a la tasa de captación de oxígeno por el producto desde el entorno de almacenamiento.

15 Otro aspecto de la presente invención se refiere también a un sistema de control para controlar el almacenamiento de productos que respiran, particularmente frutas, verduras y plantas, en un entorno de almacenamiento confinado definido en cada caso por el factor de variación de los productos que respiran, la condición del entorno confinado y/o el tiempo de almacenamiento, con lo que dicho sistema de control comprende al menos un medio de operación o actuación para adaptar la composición de gas en el entorno de almacenamiento confinado, al menos un medio de análisis de gas para determinar un medio gaseoso ajustado del entorno de almacenamiento confinado y al menos una unidad de control que tiene un medio legible por ordenador que establece de forma tangible un código informático ejecutable en un procesador de dicho sistema, caracterizado por que el medio gaseoso ajustado se está determinando como una función del cociente de la tasa calculada de intercambio total de gas (GERQ) en el entorno de almacenamiento confinado.

25 El medio gaseoso ajustado puede determinarse teniendo en cuenta los niveles medios de O_2 y CO_2 como una función del tiempo, mediante la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y por la acumulación de los gases en dicho producto que respira.

30 El GERQ calculado puede compararse con un valor del punto de referencia de GERQ, o su diferencial, y el nivel de CO_2 puede compararse con la máxima concentración tolerable de la fruta.

El medio gaseoso ajustado puede determinarse mediante un modelo matemático del sistema que también determina la tasa respiratoria real del producto.

35 El sistema de control puede ser para controlar el almacenamiento de productos que respiran, particularmente frutas, verduras y plantas, en un entorno de almacenamiento confinado definido en cada caso por el factor de variación de los productos que respiran, la condición del entorno confinado y/o el tiempo de almacenamiento, con lo que dicho sistema de control comprende medios de operación o actuación para adaptar la composición de gas en el entorno de almacenamiento confinado, comprende además al menos un medio de análisis de gas para determinar un medio gaseoso ajustado del entorno de almacenamiento confinado y adicionalmente una unidad de control que tiene un medio legible por ordenador que establece de forma tangible en un código informático ejecutable en un procesador de dicho sistema.

45 El sistema de control puede ser para controlar el almacenamiento de productos que respiran, particularmente frutas, verduras y plantas, en un entorno de almacenamiento confinado, definido en cada caso por el factor de variación de los productos que respiran, la condición del entorno confinado y/o el tiempo de almacenamiento, con lo que el sistema comprende al menos un medio de accionamiento para adaptar la composición de gas en el entorno de almacenamiento confinado controlado por dicha unidad de control, al menos un medio de análisis de gas para las válvulas de detección de concentración de O_2 (a) y para detectar valores de concentración de CO_2 (b) para proporcionar una señal a dicha unidad de control que tiene un medio legible por ordenador que establece de forma tangible un código informático que es ejecutable en un procesador de dicho sistema para controlar dicho medio de operación o actuación para proporcionar el producto con un medio atmosférico definido requerido.

50 El controlador puede calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros y avisa a los operarios del almacén para adaptar la composición del gas, o aplica un control automatizado de la composición del gas en el entorno de almacenamiento.

El controlador puede programarse para predecir la fermentación.

60 La unidad de control o el controlador pueden estar basados en un sistema de medición asistido por software y un algoritmo de control.

La unidad de control puede comprender un controlador basado en modelo (MPA) para calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros.

65 La unidad de control puede comprender un controlador PID para calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros.

5 El medio de operación o actuación para adaptar la composición de gas en el entorno de almacenamiento confinado puede ser un medio para hacer fluir un gas en dicho entorno de almacenamiento confinado, por ejemplo, un suministro de aire o suministro de O₂ y/o un suministro de N₂ y/o un medio para lavar un gas (por ejemplo, CO₂) de dicho entorno de almacenamiento confinado.

10 El medio de análisis de gas puede evaluar la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento completo, incluyendo los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento, el diseño de la estancia y las fugas de gas al exterior.

15 La variación debido a factores puede comprender uno o más del grupo de lote de productos que respiran, tiempo, localización geográfica, variedad de cultivo, cepa de cultivo, fecha de recolección y duración del almacenamiento.

El sistema de control puede comprender válvulas para el control de flujo.

El medio de análisis de gas puede proporcionar un control automatizado de la composición de gas en el entorno de almacenamiento.

20 El sistema puede ser estable o controlable en el caso de cambios en la hermeticidad al aire y temperatura del entorno de almacenamiento y cambios en el estado de madurez de los productos que respiran.

25 El sistema de control puede adaptarse para medir las concentraciones de O₂ y CO₂ en el entorno de almacenamiento, como una función del tiempo, y puede adaptarse para ajustar la concentración de O₂ y CO₂ en el entorno confinado introduciendo oxígeno en el entorno de almacenamiento confinado, por lavado del entorno de almacenamiento con nitrógeno gas, por lavado del CO₂ y/o por respiración de los productos usando la medición de las fugas del entorno de almacenamiento y el cociente de la tasa de intercambio de gas total instantáneo (GERQ) y

usando la tasa de cambio con el tiempo de GERQ, con lo que GERQ se calcula como
$$GERQ = \frac{\left(\frac{dCO_2}{dt} + k\Delta CO_2 \right)}{\left(-\frac{dO_2}{dt} + k\Delta O_2 \right)}$$

en condiciones aerobias y condiciones anaerobias,

30 con lo que $\frac{d}{dt}$ es la tasa de cambio con el tiempo t , O₂ y CO₂ son la concentración de oxígeno y dióxido de carbono y k es la constante de la tasa de transferencia de fuga, característica del entorno de almacenamiento en el momento del almacenamiento.

35 El sistema de control puede comprender además un entorno de almacenamiento, al menos un medio de análisis de gas, al menos un lavador de CO₂, al menos una bomba de muestreo de gas, al menos una bomba de gas para el lavador, al menos un suministro de aire, al menos un suministro de N₂ y válvulas para el control de flujo.

40 Cuando está operativo, el al menos un medio de análisis de gas puede medir las concentraciones de O₂ y CO₂, con lo que los resultados de O₂ y CO₂ medidos pueden usarse para calcular el GERQ y el GERQ calculado se compara con el valor del punto de referencia de GERQ, y con lo que la válvula de suministro de aire puede usarse para mantener el nivel de O₂ requerido en el entorno de almacenamiento, de manera que GERQ < GERQ_s o dGERQ/dt < (dGERQ/dt)_s (el subíndice s significa punto de referencia) y si la concentración de O₂ es mayor que la concentración de almacenamiento óptima que se recomienda para el entorno de almacenamiento estático y con lo que si la concentración de CO₂ es mayor que el valor de punto de referencia de CO₂ (d), el gas del entorno de almacenamiento se hace circular a través del lavador usando la al menos una bomba de gas, hasta que alcanza la concentración de CO₂ requerida.

45 El al menos lavador de CO₂ puede regenerarse mediante chorro de N₂.

50 El entorno de almacenamiento confinado puede ser del grupo que consiste en una estancia, un recipiente, una caja, una lata, una bolsa, una cesta, un muelle de almacenamiento acondicionado en un barco, un remolque acondicionado y un camión.

55 La presente invención se refiere también al uso de un sistema de control como se describe en este documento para supervisar con precisión la actividad respiratoria de los productos.

La presente invención se refiere también al uso de un sistema de control como se describe en este documento para controlar la concentración de oxígeno de forma dinámica al menor valor posible permitido por los productos que respiran.

60 La presente invención se refiere también al uso de un sistema de control como se describe en este documento para proteger los productos que respiran almacenados frente a la degradación fermentativa.

La presente invención se refiere también al uso de un sistema de control como se describe en este documento para modificar el entorno de almacenamiento a un nivel adecuado para el lote particular de frutas en el entorno de almacenamiento a medida que este cambia con el tiempo de almacenamiento.

5 La presente invención se refiere también al uso de un sistema de control como se describe en este documento para controlar dinámicamente la composición de gas en la atmósfera del entorno de almacenamiento confinado.

10 La presente invención se refiere también al uso de un sistema de control como se describe en este documento para controlar dinámicamente a través de una supervisión asistida por software las tasas de consumo de oxígeno y de cambio de dióxido de carbono.

15 La presente invención se refiere también a un método para supervisar y controlar un proceso de almacenamiento de productos que respiran para supervisar y controlar la actividad respiratoria de los productos en un entorno de almacenamiento confinado, comprendiendo el método determinar una composición del medio gaseoso ajustado para el entorno de almacenamiento confinado basada en un modelo matemático del sistema que determina la tasa respiratoria y fermentativa real de los productos y en la evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento que comprende la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior de la composición del medio gaseoso ajustado que se determina como una función del cociente de la tasa calculada de intercambio total de gas (GERQ) en el entorno de almacenamiento confinado, con lo que

GERQ se calcula como
$$\text{GERQ} = \frac{\left(\frac{d\text{CO}_2}{dt} + k\Delta\text{CO}_2 \right)}{\left(-\frac{d\text{O}_2}{dt} + k\Delta\text{O}_2 \right)}$$
, con lo que $\frac{d}{dt}$ es la tasa de cambio con el tiempo t , O_2 y

25 CO_2 son la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, k es una constante de tasa de transferencia de fuga característica del entorno de almacenamiento en el momento del almacenamiento y ΔO_2 o ΔCO_2 es la diferencia de O_2 y CO_2 en el almacén y el entorno, respectivamente, y usando dicho medio gaseoso ajustado determinado para controlar la composición de gas en el entorno de almacenamiento.

30 El método puede comprender calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros.

El método puede comprender usar dicho modelo matemático para supervisar automáticamente el cociente de la tasa de intercambio de gas total (GERQ) teniendo en cuenta factores del diseño y funcionamiento de la estancia.

35 Usar dicho medio gaseoso ajustado determinado para controlar la composición de gas en el dispositivo de almacenamiento puede comprender el control automatizado de la composición de gas en el dispositivo de almacenamiento.

40 El método puede comprender medir los niveles de O_2 y CO_2 como una función en el tiempo en el entorno de almacenamiento confinado, medir la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y medir la acumulación de gases para determinar la tasa respiratoria real de los productos.

45 El método puede comprender medir los niveles de O_2 y CO_2 como una función del tiempo en el entorno de almacenamiento confinado, medir la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y medir la acumulación de gases para determinar el cociente de la tasa de intercambio de gas total (GERQ) en el entorno de almacenamiento y RQ (tasa de producción de CO_2 por tasa de consumo de O_2).

50 La presente invención se refiere además a un método para supervisar y controlar un proceso de almacenamiento de un producto que respira (por ejemplo frutas, verduras u otras plantas de cultivo) para supervisar y/o controlar con precisión la actividad respiratoria de los productos, con lo que el método comprende las etapas de:

55 evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema completo de almacenamiento (por ejemplo incluyendo la fruta, la atmósfera de almacenamiento, el diseño de la estancia y las fugas de gas al exterior) para supervisión automática del cociente de la tasa de intercambio de gas total (GERQ) que tiene en cuenta factores de diseño y funcionamiento de la estancia, y calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros y para controlar de forma automática la composición de gas en el entorno de almacenamiento avisando a los operarios del almacén para adaptar la composición de gas.

60 El método puede comprender medir los niveles de O_2 y CO_2 como una función del tiempo en el entorno de almacenamiento confinado, medir la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y medir la acumulación de

gases para determinar mediante un modelo matemático la tasa respiratoria real del producto.

El método puede comprender medir los niveles de O₂ y CO₂ como una función del tiempo en el entorno de almacenamiento confinado, medir la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y medir la acumulación de gases para determinar mediante un modelo matemático el cociente de la tasa de intercambio de gas total (GERQ) en el entorno de almacenamiento y RQ (tasa de producción de CO₂ por tasa de consumo de O₂). Las realizaciones de la presente invención incluyen un sistema e instrumentación asociada para supervisión automática de GERQ que tiene en cuenta factores del diseño y funcionamiento de la estancia. Las realizaciones de la presente invención demuestran claramente que la evaluación de la dinámica de intercambio de gases del sistema de almacenamiento completo (incluyendo la fruta, la atmósfera de almacenamiento, el diseño de la estancia y la fuga de gases al exterior) teniendo en cuenta las condiciones climáticas proporciona un medio para supervisar con precisión la actividad respiratoria de los productos. Las realizaciones de la presente invención permiten también calcular automáticamente la composición futura de gas requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros. Las realizaciones de la presente invención dan como resultado sistemas que proporcionan información o avisan a los operarios del almacén para adaptar la composición de gas o proporcionar un control automatizado de la composición de gas en el entorno de almacenamiento.

Los aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones adjuntas dependientes e independientes. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden combinarse con características de las reivindicaciones independientes y con características de otras reivindicaciones dependientes según sea apropiado y no meramente como se expone explícitamente en las reivindicaciones. Estos y otros aspectos de la invención resultarán evidentes a partir de y se elucidarán con referencia a la realización o realizaciones descritas a continuación en este documento.

De esta manera, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada se incorporan en este documento expresamente en esta descripción detallada, sirviendo cada reivindicación como una realización diferente de esta invención.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista esquemática que muestra un ejemplo de sistema de control para almacenamiento en atmósfera controlada dinámica de productos que respiran, con el entorno de almacenamiento (1), un medio de análisis de gas (2), un lavador de CO₂ (3), una bomba de muestreo de gas (4), una bomba de gas para el lavador (5), un suministro de aire (6), un suministro de N₂ (7) y válvulas para control de flujo (8-13), de acuerdo con una realización de la presente invención.

La FIG. 2 es una vista esquemática que muestra los detalles de un sistema de control basado en un sistema de medición asistido por software y algoritmo de control de acuerdo con una realización de la presente invención, en el que el medio de análisis de gas mide de las concentraciones de O₂ (a) y CO₂ (b) y estos resultados de O₂ y CO₂ medidos se usan para calcular el GERQ. De acuerdo con una realización de la presente invención, el GERQ calculado se compara con el valor de punto de referencia de GERQ, o su diferencial, (c) y el nivel de CO₂ se compara con la máxima concentración tolerable de la fruta (d).

La FIG. 3 representa el cociente de la tasa de intercambio de gas producto, de manzanas Kanzi, como una función de la concentración de oxígeno en el entorno de almacenamiento; se muestran valores experimentales en frasco y teóricos, ilustrando las características del coeficiente de la tasa de intercambio de gas producto que pueden usarse en las realizaciones de la presente invención.

La FIG. 4 representa el cociente de la tasa de intercambio de gas producto, de manzanas Jonagold, como una función de la concentración de oxígeno, ilustrando características del coeficiente de la tasa de intercambio de gas producto, que pueden usarse en las realizaciones de la presente invención.

La FIG. 5 representa el cociente de la tasa de intercambio de gas de manzanas en un almacén con grandes fugas, que ilustra que para el control dinámico de la concentración de oxígeno se tiene en cuenta ventajosamente la dinámica de almacenamiento debido a las grandes tasas de fuga, de acuerdo con una realización de la presente invención.

La FIG. 6 representa el cociente de la tasa de intercambio de gas de manzanas en un almacén con pequeñas fugas, que ilustra que para el control dinámico de la concentración de oxígeno se tienen en cuenta ventajosamente la dinámica de almacenamiento debido a las grandes tasas de fuga de acuerdo con una realización de la presente invención.

La FIG. 7 demuestra un ejemplo de un control de conexión/desconexión de almacenamiento de manzanas Jonagold en un recipiente con fugas donde el estado fisiológico de la manzana cambia en el momento 5 x 10⁵ s, ilustrando características de realizaciones de acuerdo con la presente invención. La línea continua (-) es el control cuando la fuga no está incluida en el control, la línea de puntos (...) representa los valores cuando sí está incluida la fuga. El punto de referencia de control en el presente ejemplo está basado en la derivada del cociente

de la tasa de intercambio de gas $\frac{dRQ_p}{dt} = 1 \times 10^{-5}$

La FIG. 8 muestra un ejemplo de un control PID de almacenamiento de manzanas Jonagold en un recipiente con fugas donde el estado fisiológico de las manzanas cambia en el momento 5 x 10⁵ s, ilustrando las características

de las realizaciones de acuerdo con la presente invención. La línea continua (-) es la acción de control cuando la fuga no está incluida, la línea de puntos (...) representa los valores cuando la fuga sí está incluida y se alcanzan los niveles apropiados de oxígeno. El punto de referencia de control en el presente ejemplo usa un valor umbral de GERQ; $GERQ = 1,2$.

5 La FIG. 9 representa las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono como una función del tiempo para una muestra de un recipiente con 80 kg de manzanas Jonagold y el valor correspondiente del cociente de la tasa de intercambio de gas. Se implementa una estrategia de control de conexión-desconexión de acuerdo con una realización de la presente invención que abre la válvula de aire cuando $GERQ > 2$.

10 Los dibujos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y puede que no estén dibujados a escala por fines ilustrativos.

Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe considerarse limitativo del alcance.

15 En los diferentes dibujos, los mismos signos de referencia se refieren a elementos similares o análogos.

Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas

20 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos pero la invención no está limitada a los mismos sino solo por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no corresponden a las reducciones reales en la práctica de la invención.

25 Debe observarse que el término "que comprende", usado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como que restringe los medios listados detrás del mismo; no excluye otros elementos o etapas. Debe interpretarse, por tanto, que especifica la presencia de los elementos, enteros, etapas o componentes indicados a los que se hace referencia, pero que no excluye la presencia o adición de uno o más elementos, enteros, etapas o componentes distintos o grupos de los mismos. De esta manera, al alcance de la expresión "un dispositivo que comprende medios A y B" no debería limitarse a dispositivos que consisten solo en los componentes A y B. Esto significa que, con respecto a la presente invención, los únicos componentes pertinentes del dispositivo son A y B.

35 La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a "una realización" o "la realización" significa que un elemento, estructura, o característica particular descrito en relación con la realización está incluido en al menos una realización de la presente invención. De esta manera, la aparición de frases "en una realización" o "en la realización" en diversos lugares a lo largo de esta memoria descriptiva no implica necesariamente que todos se refieran a la misma realización, aunque podrían. Adicionalmente, los elementos, estructuras o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada, como resultará evidente para un experto en la materia a partir de esta divulgación, en una o más realizaciones.

40 Análogamente debe apreciarse que en la descripción de las realizaciones ejemplares de la invención, diversos elementos de la invención en ocasiones se agrupan juntos en una única realización, figura o descripción de los mismos con el fin de racionalizar la divulgación y ayudar en la comprensión de uno o más de los diversos aspectos inventivos. Este método de divulgación, sin embargo, no debe interpretarse como que refleja una intención de que la invención reivindicada requiere más elementos que los citados expresamente en cada reivindicación. No obstante, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos radican en menos de la totalidad de las características de una única realización divulgada anteriormente. De esta manera, las reivindicaciones se incorporan expresamente después de la descripción detallada en este documento en esta descripción detallada, representando cada reivindicación por sí misma una realización diferente de esta invención.

50 Adicionalmente, aunque algunas realizaciones descritas en este documento incluyen algunos aunque no otros elementos incluidos en otras realizaciones, se entiende que las combinaciones de elementos de diferentes realizaciones están dentro del alcance de la invención y forman diferentes realizaciones, como entenderán los expertos en la materia. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas puede usarse en cualquier combinación.

60 Adicionalmente, el alcance de la aplicabilidad de la presente invención resultará evidente a partir de la descripción detallada dada a continuación en este documento. Sin embargo, debe entenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos, aunque indicativos de las realizaciones preferidas de la invención, se dan a modo de ilustración únicamente, puesto que diversos cambios y modificaciones dentro del espíritu y alcance de la invención resultarán evidentes para los expertos en la materia a partir de esta descripción detallada. Debe entenderse que tanto la descripción general anterior como la siguiente descripción detallada son ejemplares y explicativas únicamente y no restrictivas de la invención, como se reivindica. Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a un "producto que respira", se hace referencia a un sistema vivo completo o parte del mismo, tal como órganos, tejidos, que tienen un metabolismo respiratorio; este producto puede ser, por ejemplo, de plantas, frutas, verduras, animales, hongos y microorganismos.

Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a un entorno de almacenamiento, se hace referencia a cualquier recinto físico en el que pueden colocarse los productos que respiran.

- 5 Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a "coeficiente de respiración" o "RQ", se hace referencia a la proporción de la tasa de producción de dióxido de carbono frente a la tasa de consumo de oxígeno para la reacción metabólica que convierte a los carbohidratos y oxígeno en agua y dióxido de carbono. RQ tiene un valor de 1 para la respiración, siempre y cuando se considere el nivel bioquímico de la reacción.
- 10 Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a "coeficiente de la tasa de intercambio de gas" o "GERQ", se hace referencia a la proporción de la tasa de retirada de dióxido de carbono por los productos en el entorno de almacenamiento frente a la tasa de captación de oxígeno por los productos desde el entorno de almacenamiento. El GERQ puede tener valores de 0,7 hasta infinito.
- 15 Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a una "unidad de control" o "controlador", se hace referencia a un dispositivo para controlar la transferencia y/o procesamiento de datos desde un dispositivo de cálculo hasta un dispositivo periférico y viceversa, que por ejemplo recibe y procesa los datos adquiridos desde el entorno de almacenamiento confinado. Cuando en las realizaciones de la presente invención se hace referencia a "medio de operación/actuación" o "medio de operación" o "medio de actuación", se hace referencia a un medio para
- 20 adaptar o controlar un medio gaseoso en el entorno de almacenamiento confinado, por ejemplo de acuerdo con una determinada composición del medio gaseoso ajustado. Dicho sistema puede hacerse funcionar de una manera automatizada basándose en señales de control desde la unidad de control o puede hacerse funcionar por un operario basándose en la salida de las señales de control desde la unidad de control.
- 25 La siguiente descripción detallada de la invención se refiere a los dibujos adjuntos. Los mismos números de referencia en los diferentes dibujos identifican elementos iguales o similares. Asimismo, la siguiente descripción detallada no limitada la invención. No obstante, el alcance de la invención se define por las reivindicaciones adjuntas y los equivalentes de las mismas.
- 30 En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un sistema de control y un método para controlar el almacenamiento de productos que respiran en un entorno de almacenamiento confinado definido. El entorno de almacenamiento confinado definido puede ser, por ejemplo, una estancia, un recipiente, una caja, una lata, una bolsa, una cesta, un muelle de almacenamiento acondicionado en un barco, un remolque acondicionado y un camión. Los productos que respiran pueden ser cualquiera de los descritos anteriormente, tal como por ejemplo
- 35 órganos de plantas tales como frutas, verduras y flores o plantas enteras. El entorno de almacenamiento confinado puede estar sometido a variación debido al factor de variación de los productos que respiran, debido a la condición del entorno confinado o una variación del mismo y/o debido al tiempo de almacenamiento. El sistema comprende al menos un analizador de gas o un medio de análisis de gas para determinar una composición del medio gaseoso ajustado del entorno de almacenamiento confinado, en el que el al menos un medio de análisis de gas comprende
- 40 una unidad de control. El sistema de control comprende también al menos un medio de operación/actuación para adaptar el medio gaseoso en el entorno de almacenamiento confinado, basado en dicha composición determinada de medio gaseoso ajustado. De esta manera, la unidad de control está adaptada para determinar la composición del medio gaseoso ajustado, basándose en un modelo matemático del sistema que determina las tasas respiratoria y fermentativa reales de los productos y en la evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de
- 45 almacenamiento que comprende la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior. Cuando se hace referencia a la dinámica de intercambio de gas del exterior, se hace referencia a las fugas de gas desde el entorno de almacenamiento confinado al exterior. El sistema de control puede comprender también el entorno de almacenamiento confinado, formando de esta manera un sistema de almacenamiento o cooperando con el mismo. Haciendo referencia ahora específicamente a los dibujos, en la FIG. 1 se ilustra el sistema de almacenamiento de acuerdo con un ejemplo de una realización de la presente invención, y en la FIG. 2 se detalla el sistema de control. El sistema de la FIG. 1 tiene aplicación particular en un almacenamiento de atmósfera controlada de cualquier tipo de productos que respiran. El sistema comprende el entorno de
- 50 almacenamiento 1, un medio de análisis de gas, en ocasiones denominado también analizador de gas 2, un lavador de CO₂ 3, una bomba de muestreo de gas 4, una bomba de gas para el lavador 5, un suministro de aire 6, un suministro de N₂ 7 y válvulas para el control de flujo 8, 9, 10, 11, 12, 13. El medio de análisis de gas de acuerdo con las realizaciones de la presente invención comprende una unidad de control 20. El sistema de control puede ser un sistema de medición asistido por software y un algoritmo de control. En algunas realizaciones, el medio de análisis de gas mide las concentraciones de O₂ (a) y CO₂ (b). Estos resultados de O₂ y CO₂ medidos en algunas realizaciones se usan para calcular el GERQ. El GERQ calculado se compara con el valor del punto de referencia de GERQ (c). Se usa la válvula de suministro de aire (d) para mantener el nivel de O₂ requerido en el entorno de
- 60 almacenamiento; de manera que $GERQ < GERQ_s$ o $dGERQ/dt < (dGERQ/dt)_s$ y la concentración de O₂ no debería ser mayor que la concentración de almacenamiento óptima que se recomienda para el entorno de almacenamiento estático. El subíndice s se refiere al punto de referencia. En cualquier caso en el que la concentración de CO₂ sea mayor que el valor del punto de referencia de CO₂ (d), el gas del entorno de almacenamiento se hace circular a través de lavador usando la bomba de gas (5), hasta que se alcanza la concentración de CO₂ requerida. Durante el lavado, las válvulas 10, 11 y 13 están cerradas. El lavado de CO₂ va seguido de regeneración del lavador usando un
- 65

chorro de N₂. Durante el periodo de regeneración las válvulas 11 y 13 están abiertas mientras que las válvulas 9, 10 y 12 están cerradas. Cuando surge la necesidad, se usa la válvula 10 para lavar el recipiente con N₂, particularmente durante la puesta en marcha del experimento para una reducción rápida de la concentración de O₂ desde la condición atmosférica.

A modo de ilustración, los elementos y ventajas de al menos algunas realizaciones de la presente invención se analizan adicionalmente más adelante, no estando limitadas las realizaciones de la presente invención a éstas. A modo de ilustración, se ilustra a continuación un posible algoritmo que puede usarse o en el que pueden basarse algunos elementos, no estando limitadas las realizaciones de la presente invención a éste.

Las realizaciones de la presente invención permiten reducir dinámicamente la concentración de oxígeno en el entorno de almacenamiento a un valor tan cercano a 0 % como sea posible y que sea permitido por los productos que respiran, a través del control asistido por software de la concentración de O₂ en el entorno de almacenamiento, basado en el metabolismo respiratorio de los productos y la dinámica de intercambio de gas del entorno de almacenamiento con el entorno externo:

$$V \frac{dO_2}{dt} = -m_p \overline{r_{O_2}} + L_{O_2}$$

$$V \frac{dCO_2}{dt} = m_p \overline{r_{CO_2}} - L_{CO_2}$$
[1]

donde V es el volumen de aire encerrado dentro del entorno de almacenamiento, $\frac{d}{dt}$ es la tasa de cambio con el tiempo t, O₂ y CO₂ son la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, $\overline{r_{O_2}}$ y $\overline{r_{CO_2}}$ son las tasas de captación de O₂ y de liberación de CO₂ por los productos, respectivamente y L_{O2} y L_{CO2} son las tasas de intercambio (fugas) de los gases entre el entorno ambiente externo y el entorno de almacenamiento. RQ se define como la relación de la producción de CO₂, r_{CO_2} , a la tasa de consumo de O₂, r_{O_2} debido a las reacciones metabólicas dentro de los productos:

$$RQ = \frac{r_{CO_2}}{r_{O_2}}$$
[2]

y es igual a 1 para la respiración, un principio que se ha divulgado en la bibliografía y se que mantiene al nivel bioquímico de la reacción. La bibliografía previa ha considerado solo el control adaptativo (manual) basado en el coeficiente RQ_{ef}, y fija un valor de 1 como el umbral entre la respiración (RQ_{ef} = 1) y la fermentación (RQ_{ef} > 1):

$$RQ_{ef} = \frac{\frac{dCO_2}{dt}}{\frac{dO_2}{dt}} = \frac{m_p \overline{r_{CO_2}} - L_{CO_2}}{m_p \overline{r_{O_2}} - L_{O_2}}$$
[3]

Como indica la parte exterior derecha de esta ecuación, RQ_{ef} realmente es una función de fugas. Por lo tanto, RQ_{ef} siempre puede ser mayor que uno, también en condiciones de respiración aerobias seguras (RQ = 1), cuando existen fugas de oxígeno. Tal sistema de control trabaja entonces en condiciones subóptimas.

Por tanto, es necesario tener en cuenta la dinámica de fugas y productos para un control de almacenamiento óptimo. Para el producto en su conjunto, GERQ se define como las tasas promedio de captación de O₂ y liberación de CO₂ por los productos:

$$GERQ = \frac{\overline{r_{CO_2}}}{\overline{r_{O_2}}}$$
[4]

y es diferente de la RQ bioquímica, porque también tiene en cuenta la acumulación de gases dentro de las frutas. En el caso dinámico, el valor de GERQ es realmente menor que 1 debido a la constante de tiempo de difusión relativamente grande de los productos y la absorción de los gases (en particular CO₂ debido a su alta solubilidad) en las frutas y otro material. De esta manera, incluso en condiciones de bajo oxígeno donde ocurre la fermentación, el GERQ aún puede ser menor que uno. Adicionalmente, se ha observado que GERQ aumenta gradualmente de

condiciones aerobias de oxígeno ambiente a concentraciones de oxígeno bajas. Aunque la bibliografía previa ha fallado a la hora de considerar los efectos de las fugas y GERQ reales del producto sobre la dinámica de intercambio de gas en el entorno de almacenamiento, la presente invención sí tiene estos aspectos en cuenta para un control óptimo usando las ecuaciones de conservación de masa anteriores para O₂ y CO₂.

5

El sistema de ecuaciones [1] se convierte en:

$$\begin{aligned} V \frac{dO_2}{dt} &= -m_p \overline{r_{O_2}} + L_{O_2} \\ V \frac{dCO_2}{dt} &= m_p \overline{GERQ r_{O_2}} - L_{CO_2} \end{aligned} \quad [5]$$

10 Una realización de la presente invención es un sistema de control que adapta el flujo de oxígeno en el entorno de almacenamiento usando la medición de fugas y GERQ en condiciones aerobias y condiciones anaerobias. Este sistema puede adaptar continuamente el caudal de oxígeno en el almacén. El sistema de control del presente ejemplo funciona de la siguiente manera.

- 15 1. Se cargan los productos en el entorno de almacenamiento y la temperatura se disminuye hasta un valor estacionario bajo.
 2. Cuando la temperatura es estacionaria, las concentraciones de O₂ y CO₂ en el entorno de almacenamiento se miden como una función del tiempo. Al menos a 2 niveles de concentración diferentes de O₂ en el intervalo aerobio superior (>10 % de O₂), se resuelve el siguiente sistema de ecuaciones para obtener las tasas de fuga L/V y el valor aerobio de GERQ
- 20

$$\begin{aligned} L_{O_2}/V &= k(O_2^{ext} - O_2^{int}) = k\Delta O_2 \\ L_{CO_2}/V &= k(CO_2^{int} - CO_2^{ext}) = k\Delta CO_2 \end{aligned} \quad [7]$$

25 siendo *k* la constante de la tasa de transferencia de fuga, característica del entorno de almacenamiento en el momento del almacenamiento. Usando las ecuaciones (5), *k* es igual a

$$k = \frac{\frac{dCO_2}{dt} + \overline{GERQ} \frac{dO_2}{dt}}{\overline{GERQ} \Delta O_2 - \Delta CO_2} \quad [8]$$

y se calcula usando las concentraciones y tasas medidas, junto con el valor aerobio promedio de GERQ en el intervalo de medición.

- 30 3. Se permite que la concentración de oxígeno en el entorno de almacenamiento disminuya adicionalmente (naturalmente usando la respiración de los productos o, preferentemente porque es más rápido, lavando mecánicamente el entorno de almacenamiento con gas nitrógeno).

- 35 4. A una concentración de oxígeno baja (>1 %), se usa la respiración de los productos para permitir que la concentración de oxígeno disminuya adicionalmente. Los valores y tasas de cambio de la concentración de oxígeno y dióxido de carbono con el tiempo se miden y registran continuamente. El GERQ instantáneo se calcula como

$$GERQ = \frac{\left(\frac{dCO_2}{dt} + k\Delta CO_2 \right)}{\left(-\frac{dO_2}{dt} + k\Delta O_2 \right)} \quad [9]$$

- 40 5. Un algoritmo de control calcula la tasa de suministro de oxígeno en la estancia cuando el cociente de la tasa de intercambio de gas se desvía mucho del GERQ aerobio. El algoritmo puede usar tanto el valor calculado de GERQ como la tasa de cambio con el tiempo de GERQ. El CO₂ se lava regularmente del aire en el entorno de almacenamiento para mantener éste a un nivel seguro.

45 El sistema de control es robusto frente a factores de complicación (cambios en la temperatura, humedad, envejecimiento de los productos).

La implementación real de este sistema es una reducción considerable en los esfuerzos de gestión del almacén.

La implementación real de este sistema de control puede usarse para todo tipo de entorno de almacenamiento tales como estancias, recipientes, cajas, latas, bolsas, cestas, muelles de almacenamiento acondicionado en barcos, remolques acondicionados y camiones de cualquier dimensión.

5 Un aspecto, la presente invención también se refiere al uso de un sistema de control como se ha descrito en el primer aspecto o en una realización particular del mismo. Tal uso puede ser para supervisar la actividad de respiración y/o fermentación de los productos, para controlar dinámicamente la concentración de oxígeno al menor valor posible que es permitido por los productos que respiran o controlar dinámicamente la concentración de CO₂ al mayor valor posible que es permitido por los productos que respiran, para proteger los productos que respiran
10 almacenados frente a la degradación fermentativa, para modificar el entorno de almacenamiento a un nivel adecuado para el lote particular de frutas en el entorno de almacenamiento a medida que éste cambia con el tiempo de almacenamiento, para controlar dinámicamente la composición del gas en la atmósfera del entorno de almacenamiento confinado o para controlar dinámicamente mediante supervisión asistida por software las tasas de consumo de oxígeno y de cambio de dióxido de carbono.

15 Un aspecto de la presente invención también se refiere a un método de supervisión y control de un proceso de almacenamiento de productos que respiran para supervisar y controlar la actividad de respiración de los productos. El método comprende determinar un medio gaseoso ajustado para el entorno de almacenamiento confinado basado en un modelo matemático del sistema que determina la tasa respiratoria y fermentativa real de los productos y la evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento que comprende la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior, por ejemplo fugas de gas al exterior. El método también comprende usar dicha composición determinada de medio gaseoso ajustado para controlar la composición de gas en el dispositivo de almacenamiento.

25 Un aspecto de la presente invención también se refiere a un método implementado por ordenador para realizar al menos parte de los métodos como se ha descrito anteriormente o los productos de programa informático correspondientes. En una realización tal producto de programa informático puede ser una unidad de control o un controlador desarrollado como software. El producto de programa informático también puede ser un dispositivo de cálculo que comprende un código ejecutable por ordenador en tal procesador. Los métodos implementados en ordenador pueden implementarse en un sistema de cálculo de este tipo, tal como por ejemplo un ordenador de propósito general. El sistema de cálculo puede comprender un medio de entrada para recibir datos. El sistema puede ser o comprender un procesador de datos para procesar datos, por ejemplo un modelo matemático para determinar las tasas respiratorias y fermentativas reales de los productos o un algoritmo para determinar y/o evaluar la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento. El sistema de cálculo puede incluir un procesador, un sistema de memoria que incluye por ejemplo ROM o RAM, un sistema de salida tal como por ejemplo una unidad de CD-rom o DVD o medios para llevar la información a una red. Los componentes de ordenador convencionales tales como por ejemplo el teclado, monitor, dispositivo de señalización, puertos de entrada y salida, etc. también pueden estar incluidos. El transporte de datos puede proporcionarse basándose en buses de datos. La memoria del sistema de cálculo puede comprender un conjunto de instrucciones que, cuando se implementan en el sistema de cálculo, dan como resultado la implementación de parte o todas las etapas convencionales de los métodos expuestos anteriormente y, opcionalmente, de las etapas opcionales como se ha expuesto anteriormente. Por lo tanto, un sistema de cálculo que incluye instrucciones para implementar parte o todo un método como se ha descrito anteriormente no es parte de la técnica anterior.

45 Un aspecto adicional de las realizaciones de la presente invención abarca productos de programa informático representados en un código legible por una máquina que lleva un medio de soporte para la ejecución en un dispositivo de cálculo, los productos de programas informáticos así como el soporte de datos tales como un dispositivo de dvd, cd-rom o memoria. Los aspectos de las realizaciones abarcan adicionalmente la transmisión del producto de programa informático sobre una red, tal como por ejemplo una red local o una red de área amplia, así como las señales de transmisión correspondientes a las mismas.

Resultará evidente para los expertos en la materia que pueden hacerse diversas modificaciones y variaciones en la construcción del sistema y el método sin alejarse del alcance o espíritu de la invención.

55 Por ejemplo, la presente invención se refiere también a un sistema de control para controlar el almacenamiento de productos que respiran, particularmente frutas, verduras y plantas, en un entorno de almacenamiento confinado definido en cada caso por el factor de variación de los productos que respiran, de la condición del entorno confinado y/o del tiempo de almacenamiento; el sistema de control comprende un medio de operación/actuación para adaptar la composición de gas en el entorno de almacenamiento confinado y al menos un medio de análisis de gas para determinar un medio gaseoso ajustado del entorno de almacenamiento confinado, en el que el medio de análisis de gas comprende al menos unidad de control que tiene un medio legible por ordenador que establece de forma tangible un código informático ejecutable en un procesador. El medio gaseoso ajustado de esta manera puede determinarse mediante sistemas de evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento completo incluyendo la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior (fugas de gas al exterior). En otro ejemplo, la presente invención se refiere a un sistema en el que el medio gaseoso ajustado se está determinando como una función de la proporción de la tasa de
60
65

retirada de dióxido de carbono por los productos hacia el entorno de almacenamiento a la tasa de captación de oxígeno por los productos desde el entorno de almacenamiento. En otro ejemplo más, la presente invención se refiere a un sistema de control en el que el medio gaseoso ajustado se está determinando como una función del cociente de la tasa de intercambio de gas total calculado (GERQ) en el entorno de almacenamiento confinado.

Otras realizaciones de la invención resultarán evidentes para los expertos en la materia tras la consideración de la memoria descriptiva y la práctica de la invención divulgada en este documento. Se pretende que la memoria descriptiva de los ejemplos se considere únicamente ejemplar, estando indicado el verdadero alcance y espíritu de la invención por las siguientes reivindicaciones.

Ejemplo 1. Variación del GERQ con la disminución de la concentración de oxígeno

Este ejemplo demuestra la diferencia entre RQ de la reacción bioquímica y el cociente de la tasa de intercambio de gas, GERQ. Se midieron la respiración y los parámetros de difusión y permeación de gas de pequeñas muestras de corteza y tejido de la piel de la variedad de manzana de cultivo Kanzi y se dan en las tablas 1 y 2. El RQ medido era igual a 1. A continuación, se realizaron experimentos de respiración en fruta intacta en frascos herméticos (sin fugas) para determinar el GERQ usando el método de medición de la presente invención. Las mediciones confirmarán la respuesta del producto entero, incluyendo la difusión y absorción de gases que se confirma con un modelo teórico de la reacción de difusión-permeación dentro de los productos usando los parámetros tisulares en las tablas 1 y 2 con RQ igual a 1. Se realizaron dos repeticiones. La Fig. 3 muestra el GERQ medido en el frasco como una función de la concentración de oxígeno.

El valor del GERQ es menor que 1 a una alta concentración de O₂, aumenta estacionariamente con la disminución de la concentración de O₂ y aumenta significativamente cuando la concentración de O₂ disminuye por debajo del 1 %, mientras que el RQ bioquímico (véase la tabla) es constante e igual a 1. El GERQ medido tiene en cuenta la dinámica de los productos y predice el comienzo de la fermentación correctamente; la medición confirma la respuesta teórica.

Tabla 1. Estimaciones del parámetro del modelo de respiración para respiración de la corteza y su intervalo de confianza al 95 % (V_{m,O_2} y V_{m,f,CO_2} , resultados medidos a 293 °K)

Parámetros	Corteza Kanzi
V_{m,O_2} ($\times 10^4$ mol m^{-3} s^{-1})	1,7 \pm 0,12
E_{a,Vm,O_2} (kJ mol ⁻¹)	77,8 \pm 16
K_{m,O_2} (kPa)	0,61 \pm 0,24
K_{mn,CO_2} (kPa)	168 \pm 212
V_{m,f,CO_2} ($\times 10^4$ mol m^{-3} s^{-1})	2,1 \pm 0,16
E_{a,Vm,f,CO_2} (kJ mol ⁻¹)	68,4 \pm 1,14
K_{m,f,O_2} (kPa)	0,78 \pm 0,37
RQ	1,03 \pm 0,1
R^2_{adj}	0,94

Tabla 2. Difusividad media de gas D y permeabilidad a gas K de gases de respiración en corteza y piel de manzana Kanzi e intervalo de confianza al 95 % de la media

Tejido	posición radial x con respecto al diámetro R	D_{O_2} ($\times 10^{-9}$ m ² s ⁻¹)	D_{CO_2} ($\times 10^{-9}$ m ² s ⁻¹)	K ($\times 10^{-17}$ m ²)
Corteza	0,35 < x/R < 0,65	2,73 \pm 1,50	18,1 \pm 7,8	6,94 \pm 5,77
	x/R > 0,65	5,05 \pm 1,14	25,0 \pm 9,11	
Piel	$x/R = 1$	0,31 \pm 0,11	0,98 \pm 0,44	0,27 \pm 0,12

Ejemplo 2. Teniendo en cuenta la dinámica del entorno de almacenamiento

Se ilustra la invención caracterizada por que tiene en cuenta el estado de funcionamiento del entorno de almacenamiento como parte del sistema de control. A este extremo se considera el almacenamiento de manzanas en un almacén de 10 m de profundidad, 5 m de anchura y 5 m de altura, en el que se almacenan 50 toneladas de manzanas (variedad de cultivo Jonagold). La cinética de respiración verdadera de las manzanas se determinó por ensayo en frascos herméticos y el análisis GC de las concentraciones de gas en el espacio de cabeza. Las manzanas se caracterizaron por una inhibición no competitiva de la cinética de Michaelis-Menten:

$$R_{O_2} = \frac{V_{m,O_2} \cdot P_{O_2}}{(K_{m,O_2} + P_{O_2}) \cdot \left(1 + \frac{P_{CO_2}}{K_{mn,CO_2}}\right)}$$

siendo V_{m,O_2} ($\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$) la tasa máxima de consumo de oxígeno, P_{O_2} (kPa) la presión parcial de O_2 , P_{CO_2} (kPa) la presión parcial de CO_2 , K_{m,O_2} (kPa) la constante de Michaelis-Menten para el consumo de O_2 , K_{mn,CO_2} (kPa) la constante de Michaelis-Menten para la inhibición no competitiva de CO_2 , y R_{O_2} ($\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$) la tasa de consumo de O_2 de las manzanas. La ecuación para la tasa de producción de CO_2 comprende una parte de respiración oxidativa y una parte fermentativa:

$$R_{CO_2} = -r_{q,ox} \cdot R_{O_2} + \frac{V_{m,f,CO_2}}{\left(1 + \frac{P_{O_2}}{K_{m,f,O_2}}\right)}$$

siendo V_{m,f,CO_2} ($\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$) la tasa máxima de producción fermentativa de CO_2 , K_{m,f,O_2} (kPa) la constante de Michaelis-Menten de la inhibición de O_2 en la producción fermentativa de CO_2 , $r_{q,ox}$ el cociente de respiración a una presión parcial de O_2 alta y R_{CO_2} ($\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$) la tasa de producción CO_2 de la muestra.

El efecto de la temperatura se describió mediante la ley de Arrhenius:

$$V_{m,O_2} = V_{m,O_2,ref} \exp \left[\frac{E_{a,VmO_2}}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

$$V_{m,f,CO_2} = V_{m,f,CO_2,ref} \exp \left[\frac{E_{a,VmfCO_2}}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

siendo $V_{m,O_2,ref}$ ($\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$) y $V_{m,f,CO_2,ref}$ ($\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$) la tasa máxima de consumo de O_2 y la tasa máxima de producción fermentativa de CO_2 a $T_{ref} = 293 \text{ K}$, respectivamente; E_{a,VmO_2} (kJ mol^{-1}) las energías de activación para consumo de O_2 ; $E_{a,VmfCO_2}$ (kJ mol^{-1}) las energías de activación para la producción fermentativa de CO_2 ; T (K) temperatura; y R ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) la constante universal de los gases. Se estimaron los parámetros del modelo de respiración ajustando las ecuaciones del modelo a los datos experimentales usando una estimación por mínimos cuadrados no lineal (Tabla 3). Se observa que $r_{q,ox}$ es el coeficiente de respiración agrupado de las manzanas intactas, determinado para experimentos en frasco de respiración. Es constante, pero menor que 1 (0,875).

Tabla 3. Estimaciones del parámetro de modelo de respiración para respiración de manzanas Jonagold y su intervalo de confianza al 95 % (V_{m,O_2} y V_{m,f,CO_2} resultados medidos a 274 °K)

Parámetros	manzana Jonagold
V_{m,O_2} ($\times 10^5 \text{ mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$)	$5,5 \pm 0,16$
E_{a,VmO_2} (kJ mol^{-1})	$52,9 \pm 4,1$
K_{m,O_2} (kPa)	$0,23 \pm 0,04$
K_{mn,CO_2} (kPa)	188 ± 217
V_{m,f,CO_2} ($\times 10^5 \text{ mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$)	$9,4 \pm 0,68$
E_{a,Vmf,CO_2} (kJ mol^{-1})	$52,3 \pm 7,8$
K_{m,f,O_2} (kPa)	$0,16 \pm 0,03$
RQ	$0,87 \pm 0,05$

El GERQ para este lote de manzanas era menor que 1 en condiciones de gas ambiente (GERQ = 0,888 al 21 % de O_2 y 1 °C) y aumentó de forma estacionaria con la disminución de la concentración de O_2 . Se observó un aumento exponencial en GERQ por debajo del 0,5 % de O_2 (FIG. 4). Se cargaron 50 toneladas de manzanas en un almacén de AC que estaba equipado con el sistema de control. La constante de la tasa de transferencia de fugas de la estancia era igual a $1,78 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$. La tasa de fugas es igual al 6 % del consumo de O_2 de los productos al 20 % de O_2 , pero mayor del 60 % al 10 % de O_2 y por encima del 100 % por debajo del 4 % de O_2 . Este ejemplo demuestra que la presente invención controlará las condiciones óptimas de la fruta, sin verse afectada por las fugas. Para demostrar esta característica única, se aplican dos sistemas de control; el primero que no tiene en cuenta las características del almacén (sin tener en cuenta las fugas), el segundo es el de la presente invención.

La FIG. 5 representa el GERQ como una función de la concentración de O_2 y los valores calculados de 2 sistemas de control. No tener en cuenta las fugas conducirá a resultados gravemente erróneos que no pueden usarse para un control de almacenamiento óptimo. En el ejemplo, el controlador sin la dinámica de almacenamiento mantendrá la

concentración de oxígeno por encima del 5 % o fallará.

Incluso cuando las fugas son pequeñas, contribuyen significativamente a una menor dinámica de oxígeno del entorno de almacenamiento. La FIG. 6 ilustra que solo la presente invención conducirá a un control óptimo en la región crítica de concentraciones de oxígeno ultra bajas (constante de la tasa de fuga = $1,78 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$).

Ejemplo 3. Almacenamiento de manzanas controlado dinámicamente en un recipiente usando la tasa de cambio de GERQ con un controlador de conexión-desconexión.

Este ejemplo ilustra el uso de un controlador de conexión-desconexión basado en la tasa de cambio de GERQ. El nivel de CO_2 se mantiene a un nivel de constante del 2,9 % por lavado del aire en el recipiente. Se cargan 80 kg de manzanas Jonagold en un recipiente hermético de 500 l. El nivel de O_2 fluctúa entre el nivel ajustado máximo del 0,95 % y el nivel más bajo posible a $dRQ_p/dt < 1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. En lugar del valor estático recomendado del 1 % de O_2 , este sistema de control permite mantener un valor promedio del 0,62 % sin provocar el deterioro fermentativo de la fruta. La tasa de respiración promedio es igual a $4,70 \times 10^6 \text{ mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$, que es un 14,52 % menor que en el caso estático. La FIG. 7 muestra los perfiles de concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en el recipiente y el valor del cociente de la tasa de intercambio de gas que aumenta con la disminución del oxígeno. El controlador de conexión-desconexión asegura que los niveles de oxígeno no disminuyen por debajo de un nivel seguro de acuerdo con el estado dinámico de las manzanas: cuando el estado fisiológico cambia en el momento $5 \times 10^5 \text{ s}$, el controlador adapta la atmósfera para aumentar la concentración de oxígeno de acuerdo con el cambio en la señal de GERQ medida del producto. Sin tener en cuenta las fugas del entorno de almacenamiento se obtiene como resultado una concentración de oxígeno subóptima.

- Ejemplo 4. Almacenamiento de manzanas controlado dinámicamente en un recipiente usando un valor de referencia de GERQ con un controlador PID

Este ejemplo ilustra el uso de un controlador PID basado en un valor de punto de referencia para GERQ. El nivel de CO_2 se mantiene a un nivel constante del 2,9 % por lavado del aire en el contenedor. Se cargan 80 kg de manzanas Jonagold en un recipiente hermético de 500 l. El O_2 se mantiene al nivel más bajo posible a $RQ_p < 1,2$. En lugar del O_2 al 1 % estático recomendado, este sistema de control permite mantener un valor del 0,57 % sin provocar el deterioro fermentativo de la fruta. La tasa de respiración en este caso es igual a $4,52 \times 10^6 \text{ mol m}^{-3} \text{ s}^{-1}$, un 18,21 % menor que en el caso estático.

La FIG. 8 muestra los perfiles de las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en el recipiente y el valor del cociente de la tasa de intercambio aumenta con la disminución del oxígeno. El controlador PID mantiene niveles de oxígeno bajos y seguros de acuerdo con el estado dinámico de las manzanas: cuando el estado fisiológico cambia en el momento $5 \times 10^5 \text{ s}$, el controlador adapta la atmósfera para aumentar la concentración de oxígeno de acuerdo con el cambio en la señal de GERQ medida del producto. También es evidente a partir de la FIG. 7 que cuando no se tienen en cuenta las fugas, esto dará como resultado valores muy altos de GERQ estimados, con el resultado de que el controlador suministrará oxígeno adicional al recipiente. En este caso, los niveles de oxígeno estarán lejos del valor óptimo y tendrá lugar la degradación respiratoria.

Ejemplo 5. Almacenamiento de manzanas controlado dinámicamente en un recipiente usando un valor de referencia de GERQ con un controlador de conexión-desconexión

Este ejemplo ilustra el uso de un controlador de conexión-desconexión basado en un valor del punto de referencia para GERQ. El nivel de CO_2 se mantiene a un nivel constante por debajo del 3 % por lavado del aire en el recipiente. Se cargan 80 kg de manzanas Jonagold en un recipiente hermético de 500 l. El O_2 se mantiene al nivel más bajo posible a $RQ_p < 2,0$. En lugar del valor estático recomendado de O_2 al 1 %, este sistema de control permite conseguir un valor del 0,2 % sin provocar el deterioro fermentativo del lote de fruta (FIG. 9).

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de control para controlar el almacenamiento de productos que respiran en un entorno de almacenamiento confinado definido (1), comprendiendo dicho sistema de control:

- al menos un medio de análisis de gas (2) que comprende una unidad de control (20) para determinar una composición del medio gaseoso ajustado, del entorno de almacenamiento confinado (1), para proteger los productos frente a la degradación fermentativa;

- al menos un medio de operación/actuación para adaptar el medio gaseoso en el entorno de almacenamiento confinado, basado en dicha composición determinada del medio gaseoso ajustado;

- en el que la unidad de control (20) está adaptada para determinar la composición del medio gaseoso ajustado basándose en un modelo matemático del sistema que determina las tasas respiratoria y fermentativa reales de los productos y en la evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento, que comprende la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior,

la composición del medio gaseoso ajustado se determina como una función del cociente de la tasa calculada de intercambio total de gas (GERQ) en el entorno de almacenamiento confinado, con lo que GERQ se calcula como

$$\text{GERQ} = \frac{\left(\frac{d\text{CO}_2}{dt} + k\Delta\text{CO}_2 \right)}{\left(-\frac{d\text{O}_2}{dt} + k\Delta\text{O}_2 \right)}$$

en condiciones aerobias y anaerobias, donde $\frac{d}{dt}$ es la tasa de cambio con el

tiempo t , O_2 y CO_2 son la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, k es la constante de la tasa de transferencia de fuga característica del entorno de almacenamiento en el momento del almacenamiento y ΔO_2 o ΔCO_2 la diferencia de O_2 y CO_2 en el almacén y el entorno, respectivamente.

2. El sistema de control de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha unidad de control (20) está adaptada para determinar continuamente la composición del medio gaseoso ajustado, por evaluación del estado fisiológico de los productos que respiran, mediante el modelo matemático de respiración y fermentación de los productos en el sistema de almacenamiento combinado con las tasas de cambio medidas continua y dinámicamente, de concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno y teniendo en cuenta el sistema de almacenamiento completo, incluyendo la atmósfera de almacenamiento y el exterior.

3. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de control (20) está adaptada para determinar la composición del medio gaseoso ajustado, teniendo en cuenta los niveles medidos de la tasa de intercambio de gas del entorno de almacenamiento confinado, con el entorno externo y la acumulación de los gases en dichos productos que respiran.

4. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de control (20) está adaptada para comparar el GERQ calculado con el valor del punto de referencia de GERQ, su integral o su diferencial (c) y en el que la unidad de control está adaptada para comparar el nivel de CO_2 con la máxima concentración tolerable de la fruta (d) y/o para comparar el nivel de O_2 con la mínima concentración tolerable de la fruta (d) y/o para calcular automáticamente la composición futura media de gas requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros y para proporcionar una señal de control desde la unidad de control para controlar el medio de operación o actuación del almacén para adaptar la composición del gas y/o para aplicar un control automatizado de la composición del gas en el entorno de almacenamiento y/o en el que la unidad de control está adaptada para predecir la fermentación y/o en el que la unidad de control está basada en un sistema de medición asistido por software y un algoritmo de control.

5. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un medio de análisis de gas (2) comprende medios detectores para detectar valores de concentración de O_2 (a) y para detectar valores de concentración de CO_2 (b) y en el que el al menos un medio de análisis de gas está adaptado para proporcionar una señal desde la unidad de control (20) para controlar dicho medio de operación/actuación para proporcionar a los productos un medio atmosférico definido, y/ o en el que el medio de análisis de gas está adaptado para evaluar la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento que comprende los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento, el diseño de la estancia y las fugas de gas al exterior, y/o con lo que el medio de análisis de gas y el medio de operación/actuación están adaptados para proporcionar un control automatizado de la composición de gas en el entorno de almacenamiento y/o con lo que el al menos un medio de análisis de gas está adaptado para medir, cuando sea operativo, concentraciones de O_2 (a) y CO_2 (b), con lo que los resultados de O_2 y CO_2 medidos se usan para calcular el GERQ, y el GERQ calculado se compara con el valor permisible máximo de GERQ (c) y con lo que se usa la válvula de suministro de aire y/o un lavador y al menos una bomba de gas (d) para reducir el nivel de O_2 en el entorno de almacenamiento o aumentar el nivel de CO_2 de manera que $\text{GERQ} < \text{GERQ}_{\text{máx}}$ o $d\text{GERQ}/dt < (d\text{GERQ}/dt)_{\text{máx}}$.

6. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de control (20) comprende un control predictivo de modelo (MCP) para calcular automáticamente la composición futura del medio gaseoso, requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros, y/o en el que la unidad de control (20) comprende un controlador PID para calcular automáticamente la composición futura del medio gaseoso, requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros.

7. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con lo que el medio de operación o actuación para adaptar la composición del medio gaseoso en el entorno de almacenamiento confinado comprende un medio para hacer fluir un gas dentro de dicho entorno de almacenamiento confinado y/o un medio (3) para lavar un gas (por ejemplo CO₂) desde dicho entorno de almacenamiento confinado y/o con lo que la variación debido a factores para variación de los productos que respiran son uno o más del grupo que consiste en un lote de productos que respiran, condiciones de entorno confinado, tiempo, localización geográfica, variedad de cultivo, cepa de cultivo, fecha de recolección y duración de almacenamiento y/o el sistema de control que comprende válvulas para control de flujo (8-13).

8. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con lo que el sistema es estable a los cambios en la hermeticidad al aire y temperatura del entorno de almacenamiento y los cambios en el estado de madurez de los productos que respiran, y/o con lo que el sistema de control está adaptado para medir las concentraciones de O₂ y CO₂ en el entorno de almacenamiento como una función del tiempo y para adaptar la concentración de O₂ y CO₂ en el entorno confinado mediante el flujo de oxígeno en el entorno de almacenamiento confinado, por lavado del entorno de almacenamiento con gas nitrógeno, lavando el CO₂ y/o por respiración de los productos, usando la medición para las fugas del entorno de almacenamiento y el cociente de la tasa de intercambio de gas total instantáneo (GERQ) y usando la tasa de cambio con el tiempo de GERQ, y/o con lo que el sistema de control comprende también el entorno de almacenamiento (1), al menos un lavador de CO₂ (3), al menos una bomba de muestreo de gas (4), al menos una bomba de gas para el lavador (5), al menos un suministro de aire (6), al menos un suministro de N₂ (7) y válvulas para el control de flujo (8-13).

9. El sistema de control de acuerdo con la reivindicación 8, con lo que el sistema de control está adaptado para regenerar el al menos un lavador de CO₂ mediante chorro de N₂.

10. El sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el entorno de almacenamiento confinado es del grupo que consiste en una estancia, un recipiente, una caja, una lata, una bolsa, una cesta, un muelle de almacenamiento acondicionado en un barco, un remolque acondicionado y un camión.

11. El uso del sistema de control de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, para supervisar la actividad de respiración y/o fermentación de los productos, y/o para controlar la concentración de oxígeno dinámicamente al valor más bajo posible permitido por los productos que respiran o la concentración de CO₂ dinámicamente al valor más alto posible permitido por los productos que respiran, y/o para proteger los productos que respiran almacenados frente a la degradación fermentativa, y/o para modificar el entorno de almacenamiento a un nivel adecuado para el lote particular de frutas en el entorno de almacenamiento a medida que éste cambia con el tiempo de almacenamiento y/o para controlar dinámicamente la composición de gas en la atmósfera del entorno de almacenamiento confinado y/o para controlar dinámicamente, a través de supervisión asistida por software, las tasas de consumo de oxígeno y de cambio de dióxido de carbono.

12. Un método para supervisar y controlar un proceso de almacenamiento de un producto que respira para supervisar y controlar la actividad de respiración de los productos en un entorno de almacenamiento confinado (1), comprendiendo el método: determinar una composición del medio gaseoso ajustado, para el entorno de almacenamiento confinado basado en un modelo matemático del sistema que determina la tasa respiratoria y fermentativa real de los productos y en la evaluación de la dinámica de intercambio de gas del sistema de almacenamiento que comprende la dinámica de intercambio de gas de los productos que respiran, la atmósfera de almacenamiento y el exterior, determinándose la composición del medio gaseoso ajustado como una función del cociente de la tasa calculada de intercambio total de gas (GERQ) en el entorno de almacenamiento confinado, con lo que GERQ se calcula como

$$GERQ = \frac{\left(\frac{dCO_2}{dt} + k\Delta CO_2 \right)}{\left(-\frac{dO_2}{dt} + k\Delta O_2 \right)}$$

con lo que $\frac{d}{dt}$ es la tasa de cambio con el tiempo t , O₂ y CO₂ son la

concentración de oxígeno y dióxido de carbono, k es una constante de la tasa de transferencia de fuga característica del entorno de almacenamiento en el momento del almacenamiento y ΔO_2 o ΔCO_2 la diferencia de O₂ y CO₂ en el almacén y el entorno, respectivamente, y usar dicha composición determinada del medio gaseoso ajustado, para controlar la composición de gas en el entorno de almacenamiento.

13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en el que el método comprende calcular automáticamente la composición futura de gas, requerida para mantener la respiración de los productos a niveles seguros y/o en el

método comprende usar dicho modelo matemático para supervisar automáticamente el cociente de la tasa de intercambio de gas total (GERQ) teniendo en cuenta factores del diseño y funcionamiento de la estancia.

5 14. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, en el que usar dicho medio gaseoso ajustado determinado para controlar la composición de gas en el dispositivo de almacenamiento comprende el control automatizado de la composición de gas en el dispositivo de almacenamiento.

10 15. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 o 14, comprendiendo el método medir los niveles de O_2 y CO_2 como una función del tiempo en el entorno de almacenamiento confinado, medir la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y medir la acumulación de los gases para determinar la tasa respiratoria real de los productos y/o comprendiendo el método medir los niveles de O_2 y CO_2 como una función del tiempo en el entorno de almacenamiento confinado, medir la tasa de intercambio de gas con el entorno externo y medir la acumulación de los gases para determinar el cociente de la tasa de intercambio de gas total (GERQ) en el entorno de almacenamiento y RQ (tasa de producción de CO_2 por tasa de consumo de O_2).

15

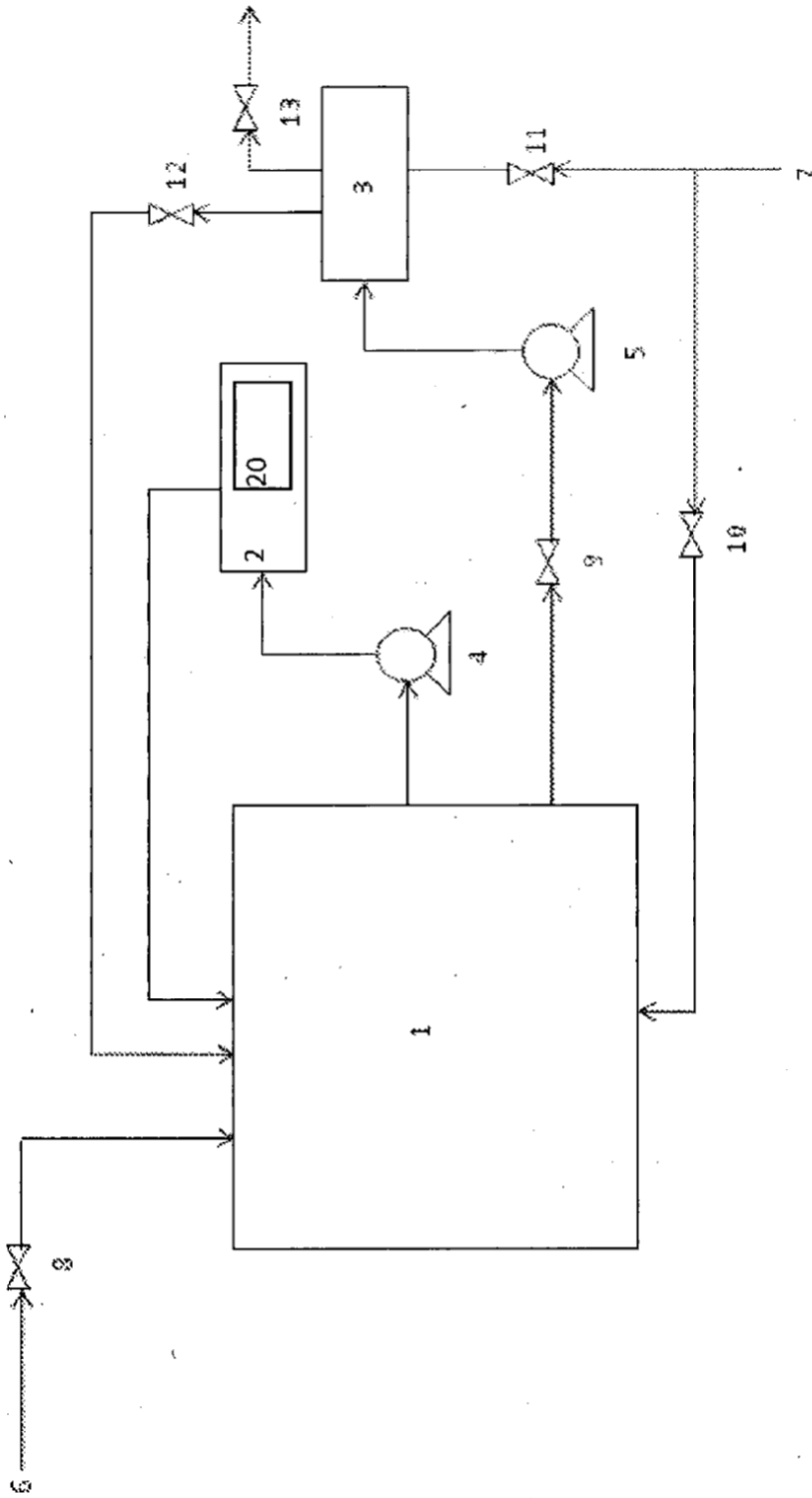


FIG.1

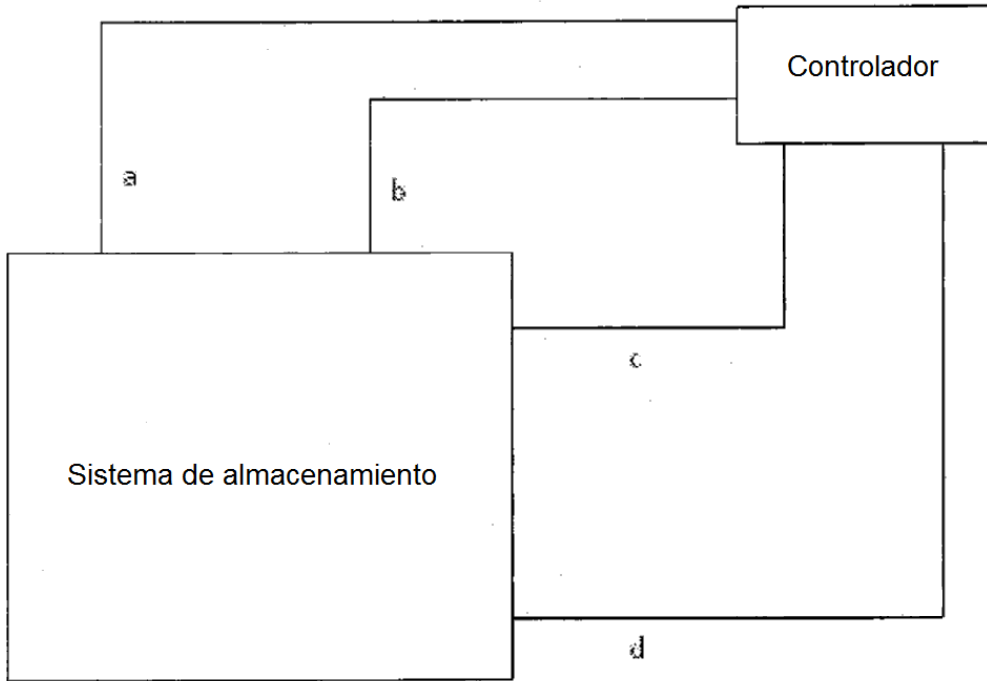


FIG. 2

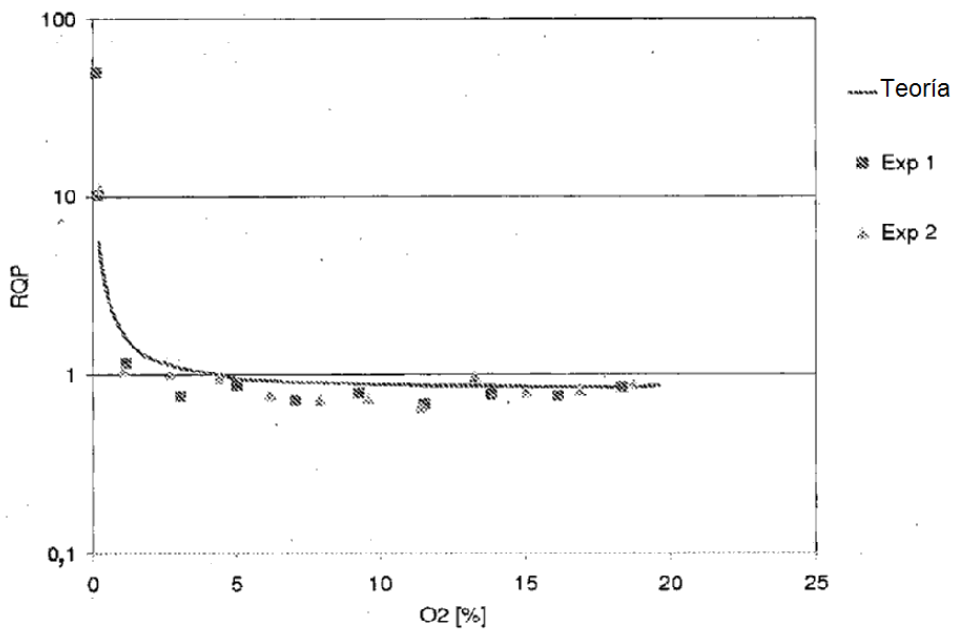


FIG. 3

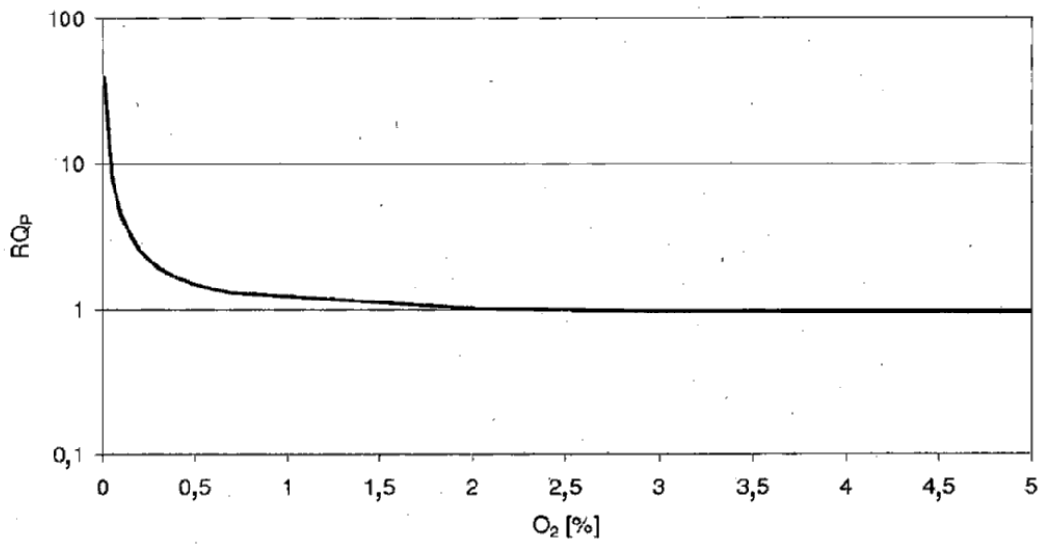


FIG. 4

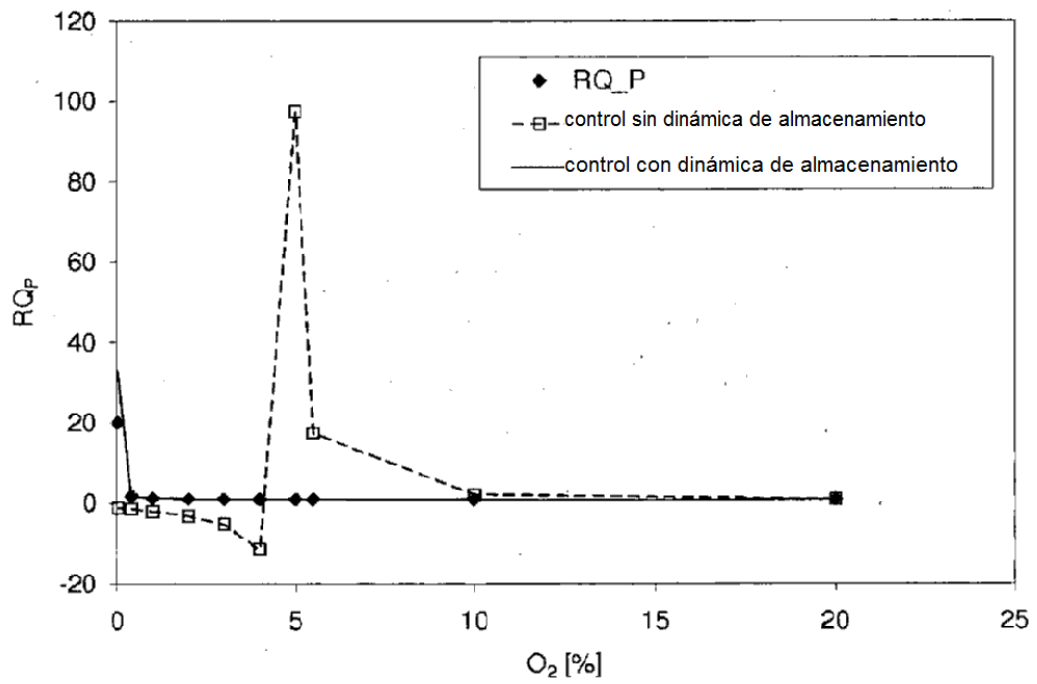


FIG. 5

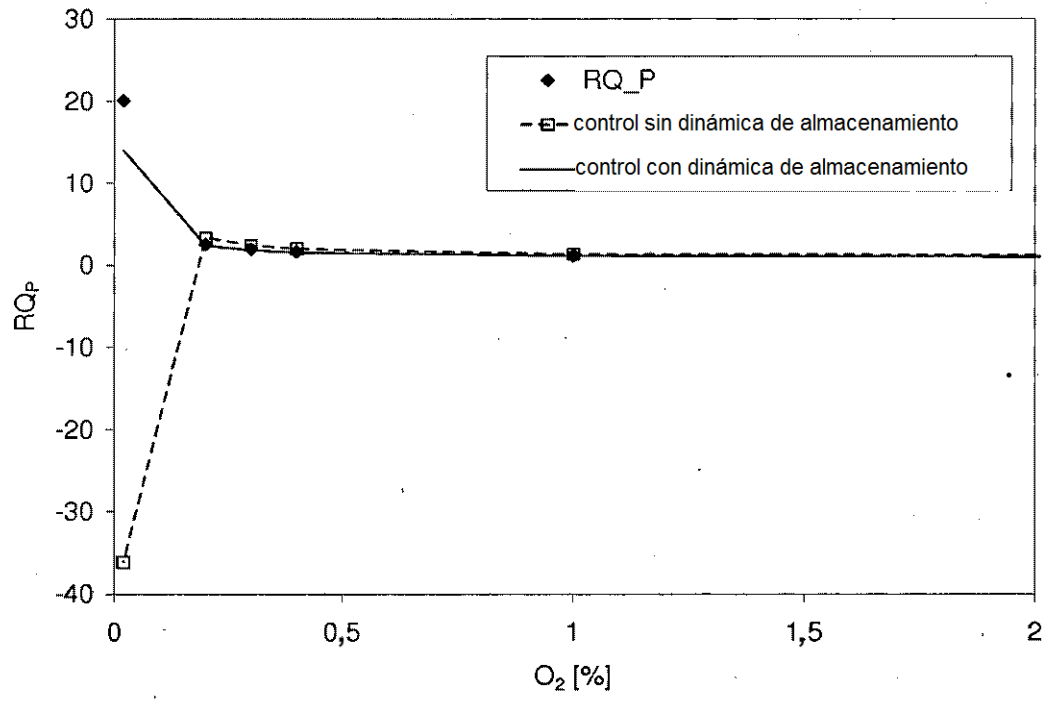


FIG. 6

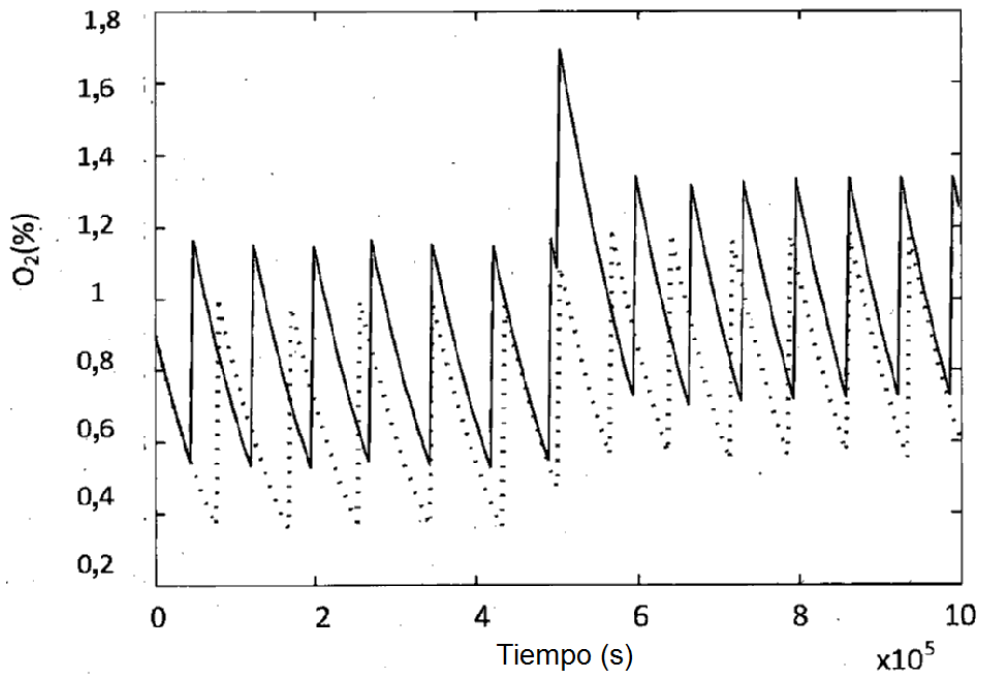


FIG. 7a

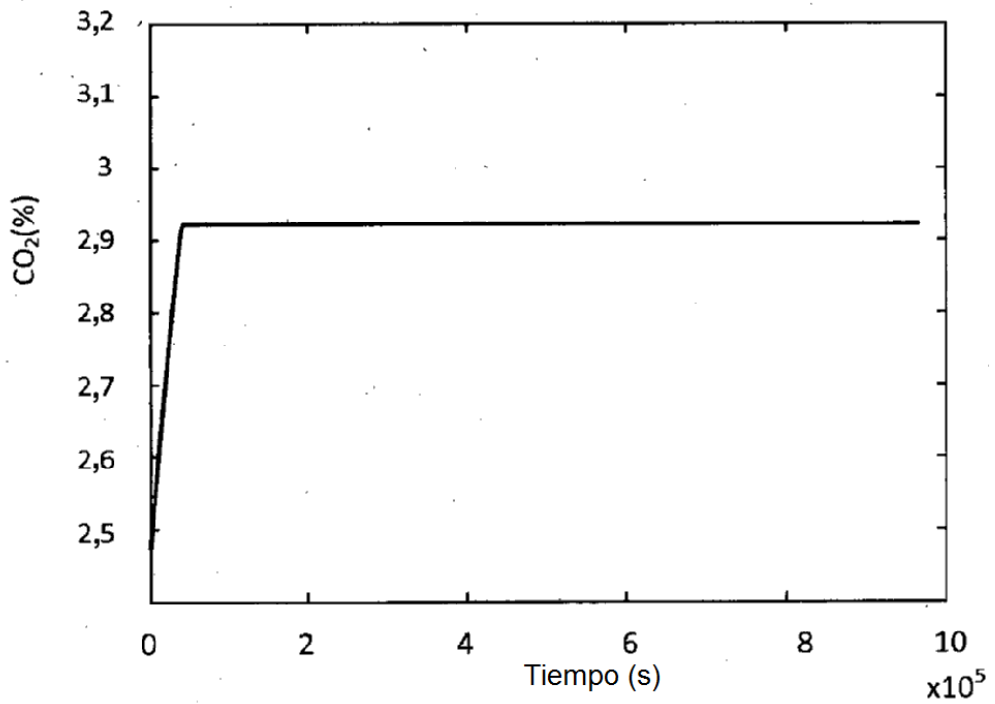


FIG. 7b

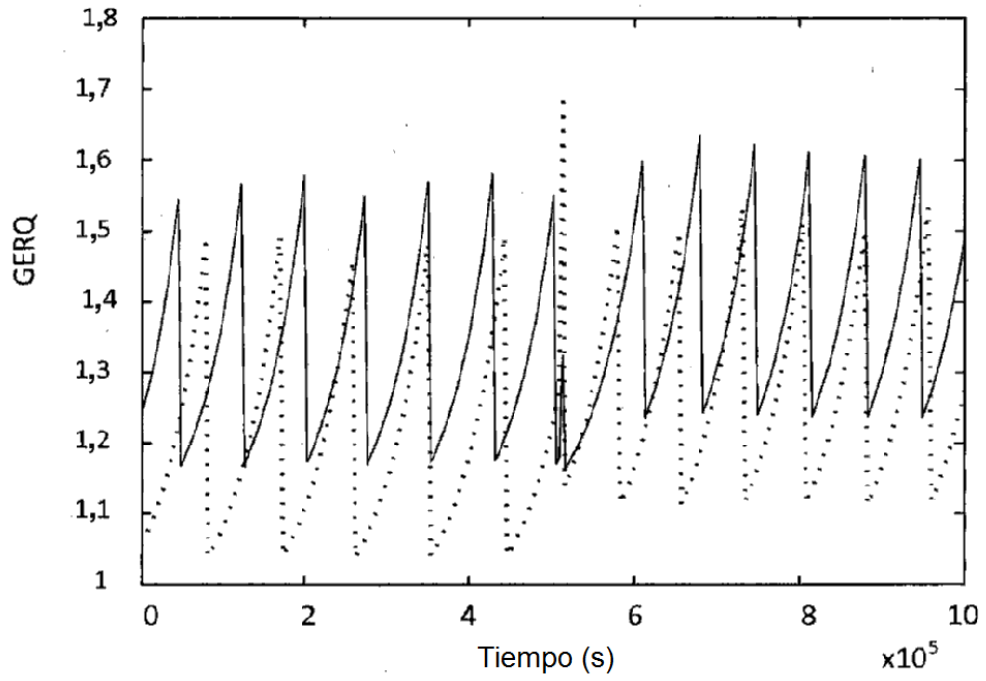


FIG. 7c

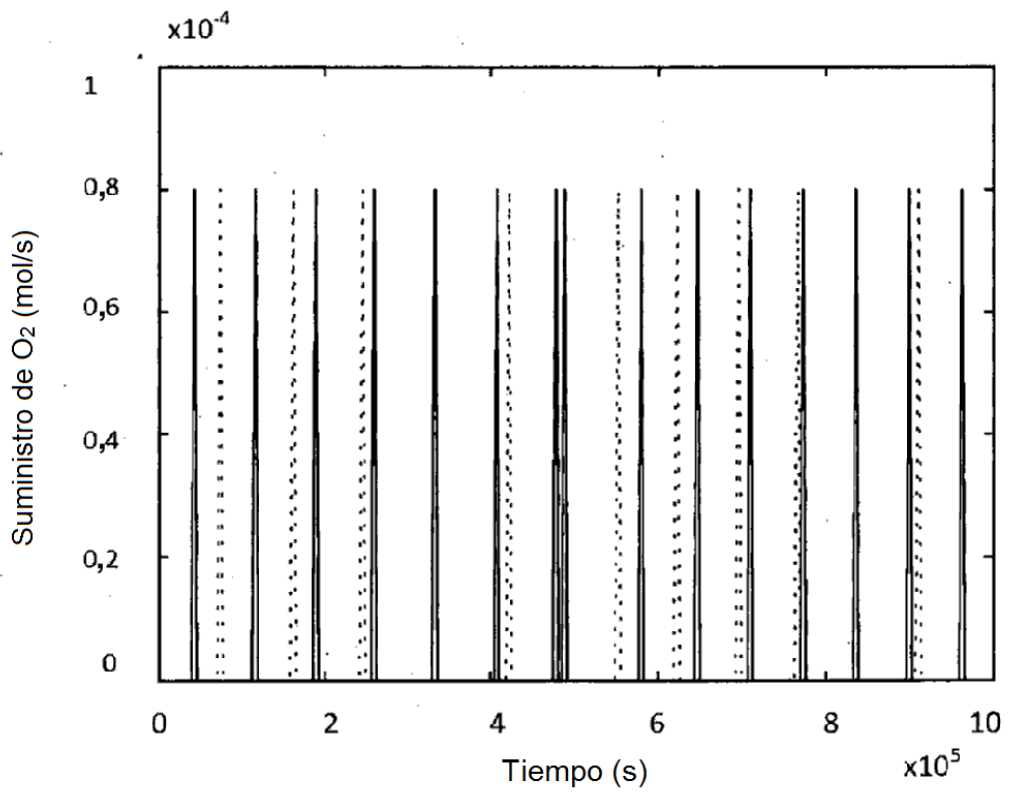


FIG. 7d

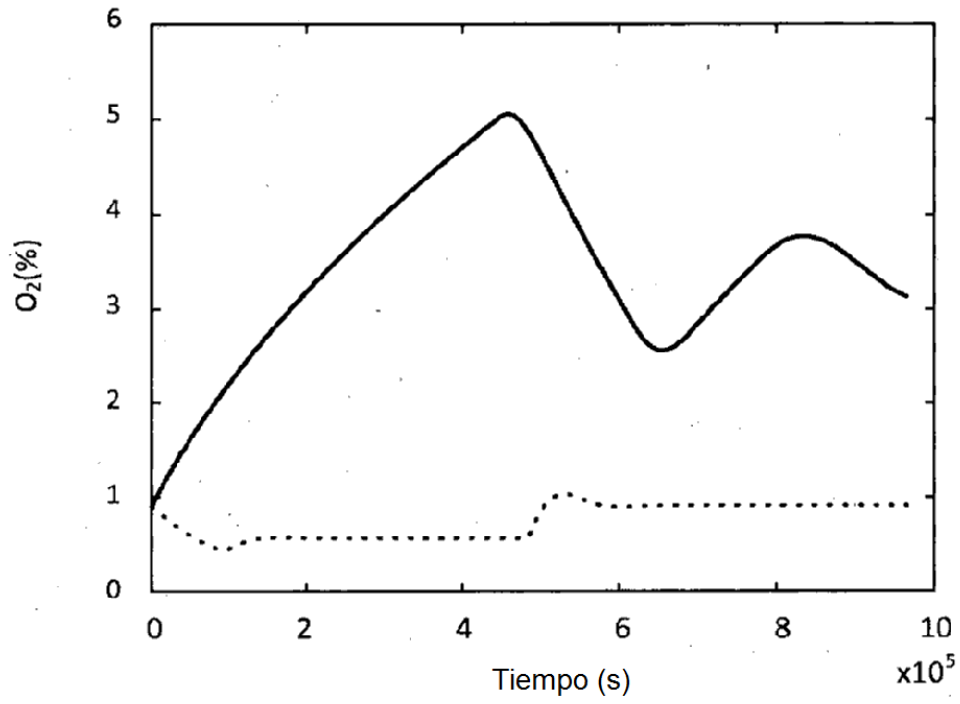


FIG. 8a

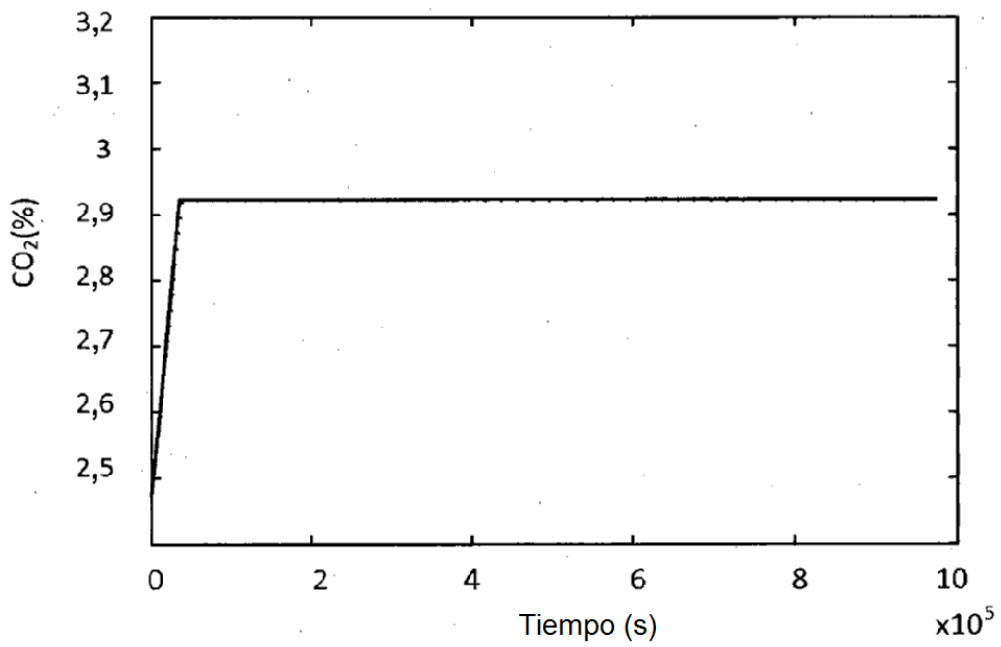


FIG. 8b

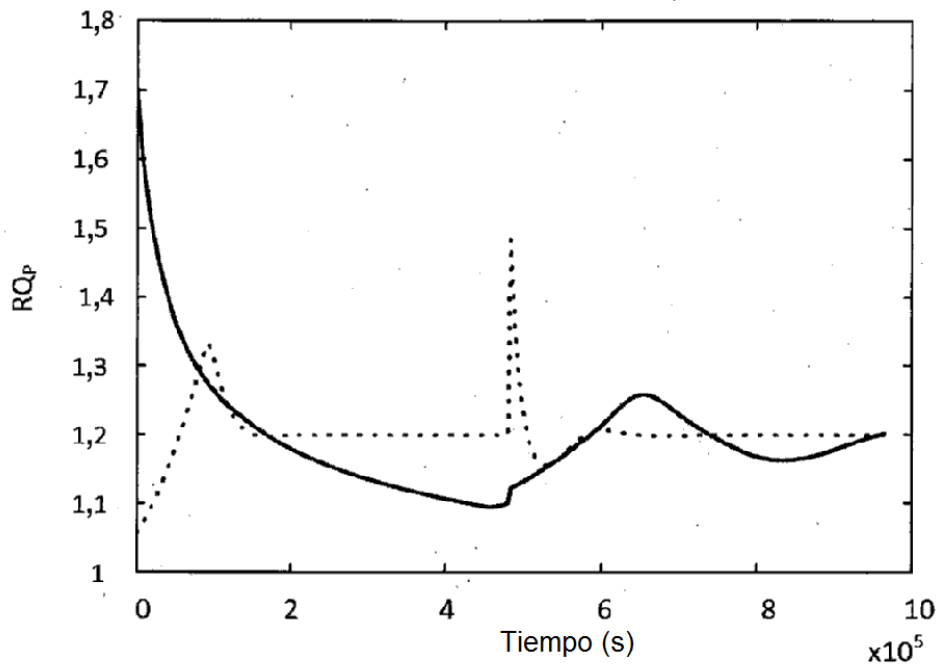


FIG. 8c

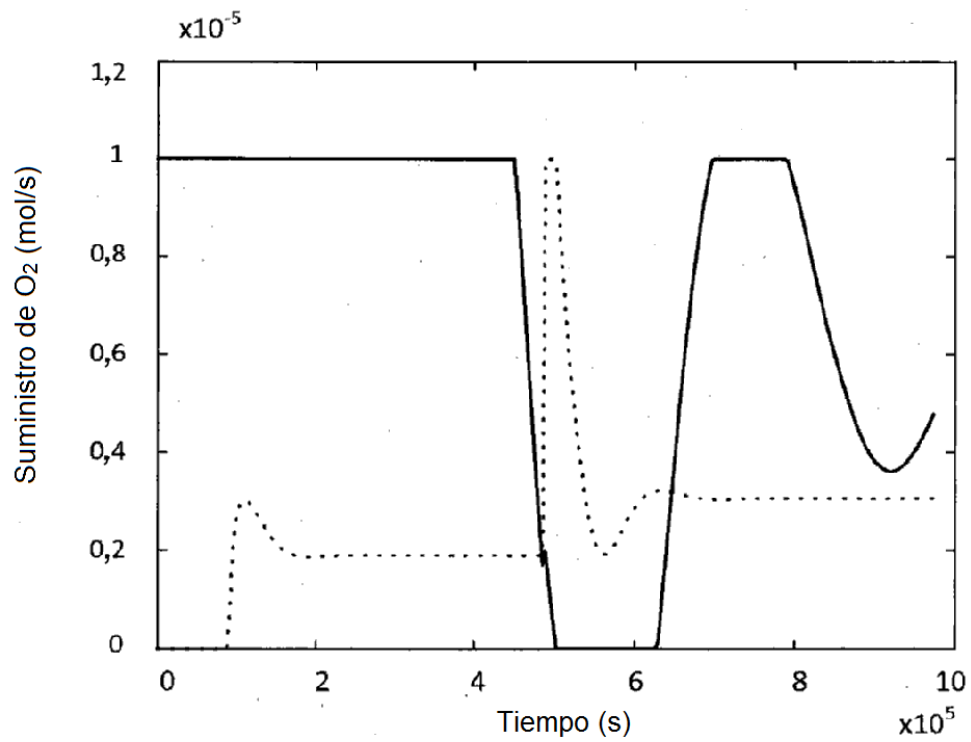


FIG. 8d

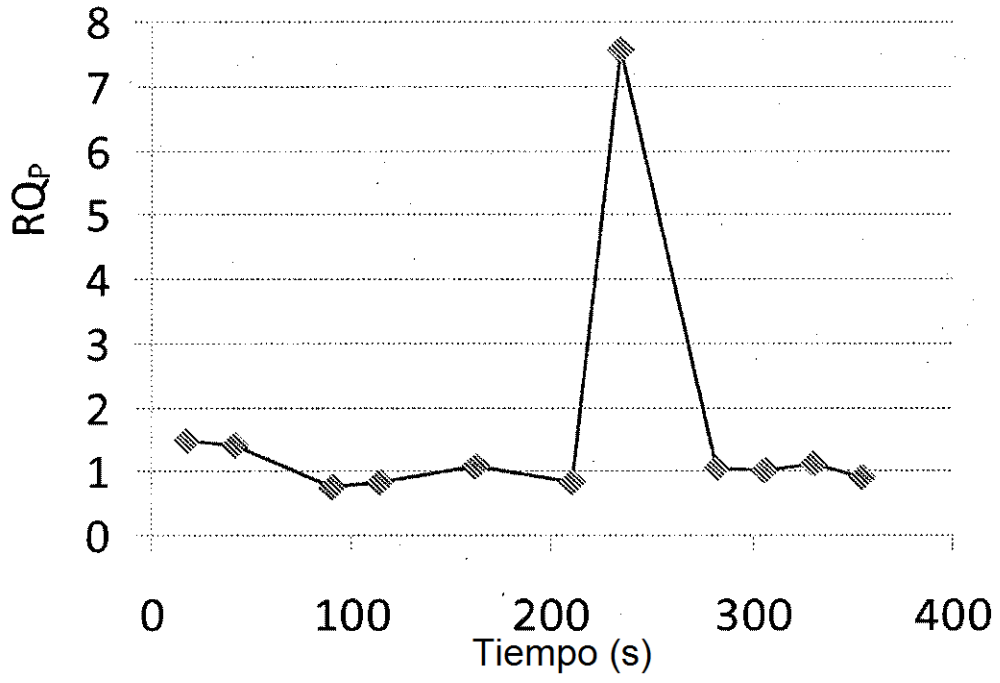


FIG. 9

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

La lista de referencias citadas por el solicitante es, únicamente, para conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente europea. Si bien se ha tenido gran cuidado al compilar las referencias, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP declina toda responsabilidad a este respecto.

5

Documentos de patente citados en la descripción

10

- US 5333394 A [0002]
- US 6092430 A [0002]
- US 6615908 B [0002]
- US 20070144638 A [0002]
- EP 0457431 A [0002]
- EP 2092831 A [0002]
- US 7208187 B [0003]
- WO 0206795 A, Prange [0006] [0007]
- EP 0798962 A [0007]
- WO 9111913 A [0012]

Documentos no literatura patente citados en la descripción

- **BEAUDRY**. *Postharvest Biol Technol*, 1999, vol. 15, 293-303 [0002]
- **PEPPELENBOS ; OOSTERHAVEN**. *Acta Hort*, 1998, vol. 464, 381-386 [0004]
- **DELONG et al.** *Acta Hort*, 2007, vol. 737, 31-37 [0004] [0005]
- **SALTVEIT**. *Postharvest Biol Technol*, 2003, vol. 27, 3-13 [0004]
- **VELTMAN et al.** *Postharvest Biol Technol*, 2003, vol. 27, 79-86 [0004] [0005] [0007] [0008]
- **ZANELLA et al.** *Acta Hort*, 2008, vol. 796, 77-82 [0005]
- **GASSER et al.** *Acta Hort*, 2008, vol. 796, 69-76 [0005] [0008] [0009]
- **HOEHN et al.** *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. CRC Press, 2009, vol. 42 [0005] [0007] [0008]
- **YEARSLY et al.** *Postharvest Biol Technol*, 2008, vol. 8, 95-109 [0009]
- **HOEHN et al.** *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*. CRC Press, vol. 42 [0011]
- **BAKER et al.** *Environ Exp Bot*, 2004, vol. 51, 103-110 [0011]
- **BARTSCH**. *Cornell Fruit Handling and Storage Newsletter*, 2004, 16-20 [0011]
- **RAGHAVEN et al.** *Processing Fruits*. CRC Press, 2005, 23-52 [0011]