

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 457 669**

21 Número de solicitud: 201200977

51 Int. Cl.:

H01M 8/16

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

28.09.2012

43 Fecha de publicación de la solicitud:

28.04.2014

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (100.0%)
Avenida Blasco Ibáñez 13
46010 Valencia ES**

72 Inventor/es:

**PORCAR MIRALLES, Manuel;
RODRÍGUEZ BARREIRO, Raúl;
VILANOVA SERRADOR, Cristina;
ABENDROTH, Christian y
MOYA SIMARRO, Andrés**

54 Título: **Dispositivo termoeléctrico microbiano y método asociado a dicho dispositivo.**

57 Resumen:

Dispositivo termoeléctrico microbiano y método asociado a dicho dispositivo.

La presente invención hace referencia a un dispositivo y a un método destinados a la generación de energía eléctrica a partir de cultivos microbiológicos. Más concretamente, la invención se refiere a un dispositivo y a un método asociado al mismo, destinados a la obtención de energía eléctrica a partir de la energía térmica producida en reacciones metabólicas, donde dicho dispositivo comprende un reactor configurado para alojar un cultivo microbiológico; un medio térmicamente aislante dispuesto como recubrimiento del reactor; y un medio de conversión termoeléctrica.

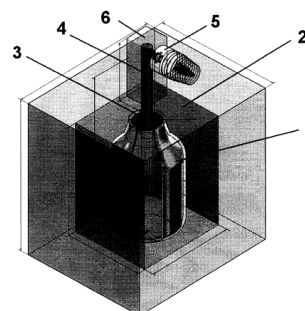


FIG. 1

DESCRIPCIÓN**DISPOSITIVO TERMOELÉCTRICO MICROBIANO Y MÉTODO ASOCIADO A DICHO DISPOSITIVO****CAMPO DE LA INVENCIÓN**

- 5 La presente invención hace referencia a un dispositivo y a un método destinados a la generación de energía eléctrica producida a partir de cultivos microbiológicos. Más concretamente, la invención se refiere a un dispositivo y a un método destinados a la obtención de energía eléctrica a partir de la conversión termoelectrónica de la energía térmica producida en reacciones metabólicas.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

- Actualmente, uno de los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad es el del gran crecimiento a escala mundial de la demanda energética. Teniendo en cuenta la naturaleza limitada de las reservas de petróleo, carbón y gas, la satisfacción de dicha demanda puede conducir, en un futuro, a una gran escasez de los combustibles convencionales (fósiles). La ausencia de sostenibilidad de las actuales estrategias energéticas centradas en los combustibles fósiles y nucleares, así como las graves consecuencias para la población y el medio ambiente de los accidentes ligados al transporte de productos petrolíferos y a la liberación accidental de isótopos radiactivos, han hecho aumentar las preocupaciones sobre las consecuencias económicas y medioambientales de depender de estos combustibles, lo que ha provocado un cambio drástico en las políticas energéticas de los países. Está ampliamente aceptado que el consumo masivo de combustibles fósiles, que provoca la producción de nueve billones de toneladas métricas de carbono atmosférico al año es, al menos, parcialmente responsable de la actual crisis de calentamiento global. Por lo tanto, las tecnologías alternativas no fósiles y no nucleares se ven como fuentes energéticas prometedoras, aunque todavía no completamente competitivas. Entre éstas, se ha sugerido la biomasa como una de las fuentes más relevantes de energía renovable. La biomasa de los cultivos; los residuos urbanos, industriales o agrícolas; los cultivos de algas verdes, cianobacterias u otros cultivos microbianos, son recursos orgánicos renovables, adecuados para la producción de energía como biocombustibles (principalmente, aunque sin limitación, bioetanol y biodiesel) y electricidad.

- Más allá de la producción de energía eléctrica basada en la combustión lignocelulósica, es conocida la existencia de sistemas microbiológicos que permiten la conversión directa de biomasa en electricidad. Por ejemplo, es posible la oxidación de una amplia gama de sustancias orgánicas mediante bacterias electrogénicas, que transfieren electrones a un ánodo, en los dispositivos conocidos como celdas de combustible microbianas (denominadas genéricamente como MFC's, del inglés "Microbial Fuel Cell"), pudiendo generarse, en el cátodo, otros productos útiles como hidrógeno, metano o peróxido de hidrógeno. El rendimiento energético en la tecnología de MFC's ha aumentado drásticamente en los últimos años, principalmente mediante el aumento de la proporción entre el área de los electrodos y volumen del reactor, alcanzando, actualmente, los mejores rendimientos hasta 2-7 W/m². Si bien los resultados más eficaces obtenidos en dichas tecnologías se han producido a pequeña escala (en dispositivos de volúmenes inferiores a 1 litro), el aumento de escala en volúmenes superiores presenta aún importantes retos, por lo que se hace necesario, en este campo técnico, el desarrollo de mejoras tecnológicas que permitan aumentar, o al menos mantener, los rendimientos conseguidos en volúmenes reducidos también en los dispositivos de mayor tamaño.

- Con relación a los microorganismos empleados en las tecnologías de MFC's, es conocido que muchas especies bacterianas presentan propiedades electroactivas, incluyendo miembros de géneros comunes, tales como *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Geobacter* o *Shewanella*. Se han ensayado también algunos microorganismos eucariotas para la producción de energía eléctrica en MFC. Por ejemplo, se ha demostrado que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es capaz de transferir electrones a un ánodo en una MFC obteniéndose valores de tensión "netos" de aproximadamente 0,33 V para dispositivos de 1 litro de volumen.

- Hasta la fecha, las MFC siguen siendo el único método directo para convertir la biomasa en electricidad de forma microbiológica. No obstante, dada la necesidad de obtención de nuevas y mejores fuentes de energía en nuestra sociedad, es necesario también plantear, dentro del campo perteneciente a la producción de energía basada en sistemas microbiológicos, soluciones tecnológicas complementarias o alternativas a las de las MFC's, que permitan obtener mayores rendimientos energéticos que los obtenidos en los dispositivos conocidos. La presente invención está orientada a satisfacer dicha necesidad.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LA INVENCIÓN

- 55 Tal y como se ha descrito en párrafos precedentes, un objeto de la presente invención se refiere a la obtención de soluciones tecnológicas complementarias o alternativas a las de los dispositivos MFC como medio de generación de energía.

- 60 Una de las fuentes de energía típicamente asociadas a las reacciones metabólicas es el calor que se produce como consecuencia del crecimiento microbiano (siendo éste un proceso exotérmico). Dicho calor es un subproducto que habitualmente pasa inadvertido en cultivos a escala de laboratorio, pero con una vasta influencia en el diseño y comportamiento de las fermentaciones microbianas a escala industrial. Por ejemplo, es conocido

que casi el 90% del calor producido en una fermentación microbiana es calor metabólico; y casi todo este calor ha de ser eliminado, industrialmente, a través de intercambio forzado de calor, para mantener la temperatura de crecimiento y fermentación de los microorganismos dentro de rangos óptimos para su actividad microbológica y, por ende, vital.

- 5 Así pues, el objeto de la presente invención es la obtención de alternativas tecnológicas a las MFC's, basadas en el aprovechamiento del calor metabólico producido en reactores microbiológicos para la obtención de energía eléctrica. Físicamente, la transformación de energía eléctrica (a través de diferencias de voltaje) en energía térmica (diferencias de temperatura) se conoce con el nombre efecto Peltier. Asimismo, el proceso inverso, esto es, la conversión de energía térmica en energía eléctrica, se conoce con el nombre de efecto Seebeck, denominándose a ambos efectos, genéricamente, como "efecto termoelectrico".

- 10 Para la consecución del objeto antes descrito, la presente invención se basa en el acoplamiento de cultivos microbiológicos exotérmicos con procesos endotérmicos o, como alternativa, disipadores térmicos, para producir corriente eléctrica a través de un dispositivo o celda termoelectrica (para el contexto de la presente invención, el término "cultivo microbiológico exotérmico" ha de interpretarse como un cultivo de microorganismos cuyo metabolismo es exotérmico, es decir, donde la actividad metabólica del cultivo microbiológico libera energía en forma calor"). Dicha conversión de la energía térmica procedente de cultivos microbianos exotérmicos en electricidad, permite diseñar y acoplar dispositivos productores de energía eléctrica a reactores microbianos existentes en diferentes aplicaciones, tales como fermentaciones alcohólicas, biorrecuperación, tratamiento de residuos, digestión aerobia térmica autotrófica, etc., proporcionando además un medio de producción energética
- 15 que puede incorporarse en el desarrollo futuro de instalaciones eléctricas celulares, basadas en microbiología, que podrían ser útiles para la producción local de electricidad y el reciclado de calor a partir de una amplia gama de procesos microbiológicos. Asimismo, es posible concebir medios de producción de energía termoelectrica microbiana de pequeño tamaño, inoculados con cultivos de partida, termófilos o hipertermófilos, adecuados para proporcionar energía eléctrica a dispositivos eléctricos pequeños. De este modo, como alternativa o complemento a la tecnología de MFC's, las celdas de la presente invención suponen una nueva línea de investigación tecnológica, a la que denominaremos, en adelante a lo largo del presente documento, como tecnología de celdas termoelectricas microbianas (o MTC's, del inglés "Microbial Thermoelectric Cell").

Más concretamente, la presente invención se refiere, preferentemente, a un dispositivo termoelectrico microbiano para producir energía eléctrica que comprende:

- 30 - un reactor configurado para alojar un cultivo microbiológico;
- un medio térmicamente aislante dispuesto como recubrimiento del reactor;
- un medio de transferencia térmica, configurado para transferir calor producido en el interior del reactor al exterior del mismo;
- 35 y donde dicho dispositivo comprende un medio de conversión termoelectrica acoplado al medio de transferencia térmica, configurado para convertir la energía térmica transferible por el medio de transferencia térmica en energía eléctrica.

- Se consigue con ello una alternativa energética a la tecnología de MFC's, basada en el aprovechamiento de los procesos exotérmicos en cultivos microbiológicos y capaz de generar tasas de producción de energía eléctrica comparables o superiores a las de las celdas MFC conocidas, en las que, generalmente, el calor metabólico se contempla como un subproducto indeseable de fermentaciones microbianas, y para las que se necesitan medios de refrigeración para mantener una temperatura óptima de los cultivos. La conversión de este calor en electricidad, por medio de la presente invención, ayuda a controlar las temperaturas internas en los procesos microbiológicos, y también contribuye a ahorrar energía en forma de co-generación.

- En una realización preferente de la invención, el medio de conversión termoelectrica comprende un termocolelector.
- 45 En el contexto de la presente invención, el término termocolelector (designado también por el término inglés "thermo-harvester") es interpretado genéricamente como un dispositivo termoelectrico configurado para la transformación sustancial o mayoritaria de la energía térmica en energía eléctrica, entendida dicha transformación sustancial o mayoritaria como aquella capaz de proporcionar electricidad suficiente para el almacenamiento de dicha energía y/o para la alimentación de sistemas eléctricos. Otros dispositivos termoelectricos, como por ejemplo los utilizados para la medición de actividad térmica a través del registro de una señal eléctrica (por ejemplo, un termopar), quedan fuera de la definición de termocolelector en el citado contexto de la invención.

- En otra realización preferente de la invención, el medio de transferencia térmica comprende también una cubierta térmicamente aislante. Con ello, en conjunción con el medio aislante del reactor, se garantiza la conservación de la energía producida en el interior del reactor, para su posterior aprovechamiento energético en forma de electricidad.
- 55 Más preferentemente, el medio térmicamente aislante y la cubierta aislante comprenden un recubrimiento de EPS y/o de poliuretano. El medio de transferencia térmica comprende, preferentemente, un elemento metálico (siendo, por ejemplo, una barra de cobre).

En otra realización de la invención, el reactor comprende una abertura a la que se acopla el medio de transferencia térmica, proporcionándose así una vía de salida al calor generado en el cultivo. En otras realizaciones de la

invención, el intercambio de calor se puede llevar a cabo a través de una membrana o un tabique del reactor, acoplable al medio de transferencia térmica.

- Preferentemente, el reactor comprende un matraz de vacío y, más preferentemente, comprende un volumen de entre 1,5 y 2,5 litros, con la posibilidad de incorporar también un agitador magnético, para poder agitar de forma sencilla el cultivo sin necesidad de manipulación interior del reactor.

- Tradicionalmente, la proporción volumétrica de los fermentadores microbianos es un factor que afecta a la pérdida de calor en el entorno y, por tanto, a la temperatura interna del cultivo. Los cultivos microbianos convencionales a escala de laboratorio producen calor, pero la mayor parte del mismo se pierde en el entorno debido a la alta proporción superficie a volumen, provocando la ausencia de aumentos apreciables en la temperatura interna. Sin embargo, se han caracterizado termodinámicamente biorreactores grandes, a escala de producción, y se ha demostrado que funcionan casi adiabáticamente debido a la proporción superficie a volumen muy inferior en comparación con los biorreactores no aislados a escala de laboratorio. Los resultados que aquí se presentan demuestran que cultivos relativamente pequeños (con volúmenes comprendidos entre 1 y 2 litros) también pueden funcionar adiabáticamente, si se establece un aislamiento apropiado y si dichos cultivos poseen capacidad de crecimiento autotérmico significativo. Esto implica que pueden concebirse celdas termoeléctricas microbianas portátiles para la producción de electricidad, ya que la mayor parte del calor metabólico del crecimiento microbiano puede mantenerse en el interior del reactor.

- Preferentemente, el cultivo alojable en el reactor es un cultivo microbiológico de levadura, proporcionando así un medio de generación de energía como consecuencia de procesos metabólicos altamente exotérmicos. Más preferentemente, el cultivo comprende una cepa diploide de *S. cerevisiae*, o una modificación genética de la misma, siendo por ejemplo una o más de las siguientes cepas de *S. cerevisiae*: EC118, L2056, 3aS2Δ, T73, D170, y TTRX2. Alternativamente, también es posible alojar en el reactor, por ejemplo, un cultivo microbiológico de bacterias termófilas y/o hipertermófilas.

- En una realización preferente adicional de la invención, el dispositivo comprende un sistema de refrigeración microbiológico con propiedades endotérmicas (por ejemplo, un cultivo de arqueobacterias metanogénicas). Se consigue con ello un medio microbiológico de refrigeración por medio de reacciones metabólicas endotérmicas, el cual, acoplado térmicamente al termocolelector (preferentemente a su placa fría), permite un mayor diferencial de temperatura entre las dos placas: la caliente en contacto con el cultivo exotérmico (por ejemplo, de levadura) y la fría en contacto con el cultivo endotérmico (por ejemplo, un cultivo con bacterias productoras de metano).

- Otro objeto de la presente invención se refiere a un método de producción de energía eléctrica a partir de energía térmica que comprende el cultivo de microorganismos alojados en un reactor, mediante un proceso exotérmico, y la conversión de la energía térmica generada en dicho proceso en energía eléctrica, a través de conversión termoeléctrica, preferentemente mediante el uso de un dispositivo según las realizaciones descritas en el presente documento.

- De este modo, en distintas realizaciones de la invención, el método comprende el recubrimiento del reactor con un medio térmicamente aislante, lo que permite un mayor aprovechamiento energético en el dispositivo, mediante el aumento de la temperatura en el interior del reactor. Por otra parte, con el objetivo de que dicha temperatura no aumente en exceso, y que pueda impedir el crecimiento microbiológico del cultivo (o incluso producir su muerte), el método comprende también la transferencia de energía térmica generada en el cultivo al exterior del reactor, mediante un medio de transferencia térmica. Preferentemente, la energía térmica que se transfiere al medio de transferencia térmica y que se disipa en el medio de conversión termoeléctrica, sumado al que se pierde por la superficie del dispositivo a través del medio térmicamente aislante, es sustancialmente igual al calor producido por el cultivo microbiológico, lo cual permite producir electricidad y mantener el cultivo a una temperatura constante. De esta forma, es posible ajustar el comportamiento del dispositivo, manteniendo el cultivo a la temperatura óptima para su crecimiento, y extrayendo a la vez energía térmica del reactor para su conversión en electricidad. Con ello, se facilita la actividad metabólica microbiana del cultivo (que puede estar generando energía térmica de forma indefinida a temperatura óptima sin peligro para su integridad, mientras cuente con un medio de cultivo suficiente para prolongar su actividad) y, al mismo tiempo, la producción de electricidad a partir de la energía térmica evacuada del reactor al exterior.

- Adicionalmente a las ya planteadas, otras características y ventajas de la invención se desprenderán de la descripción que sigue, así como de las figuras que acompañan al presente documento.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- La Figura 1 muestra un esquema de una realización preferente del dispositivo termoeléctrico microbiano de la invención.

- Las Figuras 2a-2c muestran representaciones gráficas de las temperaturas (en °C) alcanzadas por: (2a) agua caliente con un termocolelector TE-Power Probe; (2b) agua caliente sin termocolelector; (2c) calor con levadura sin termocolelector; representadas frente al tiempo de cultivo (en horas), en la caracterización de una realización preferente de la invención.

Las Figuras 3a y 3b muestran representaciones gráficas de: (3a) temperaturas interna, ambiente y de placas Peltier; producción de energía eléctrica de cultivo de levadura con la MTC implementada sin resistencia de carga; y (3b) un ensayo similar en presencia de una resistencia de carga, para una realización del dispositivo de la invención.

5

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- Según lo descrito en apartados anteriores, los dispositivos de la presente invención comprenden la implementación de generadores de energía eléctrica a partir de la energía térmica producida en reacciones metabólicas de cultivos microbiológicos. Para ello, las realizaciones preferentes de dicha invención se refieren principalmente a reactores microbiológicos capaces de (i) mantener el crecimiento microbiano de los cultivos; (ii) permanecer térmicamente aislados en la mayor parte de su superficie; y (iii) transferir de forma eficaz calor producido por los cultivos a través de un área relativamente pequeña a un generador termoelectrico. Denominamos genéricamente a estos dispositivos como celdas termoelectricas microbianas (o MTC's), para la producción de energía eléctrica a partir de un cultivo microbiano mediante el efecto Peltier-Seebeck. La Figura 1 del presente documento muestra un esquema de la estructura de una MTC, según una realización preferente de la invención. En ella, se muestra una región interior formada por un reactor (1), destinado a alojar los cultivos microbiológicos empleados para generar energía térmica. El reactor (1) puede estar formado, por ejemplo, por un recipiente o matraz de vacío comercial hecho de vidrio, con un volumen comprendido preferentemente entre 1,5-2,5 litros y, más preferentemente, siendo sustancialmente de 2 litros. Con el objetivo de aislar térmicamente el reactor (1) en el dispositivo, el recipiente o matraz se aloja en un medio aislante (2) que rodea dicho reactor. En una realización preferente de la invención, el recipiente se aloja en el interior de una primera caja de poliestireno expandido (EPS), rellenando el espacio comprendido entre ambos con una espuma de poliuretano pulverizada (Silicex Fischer, Fisher Ibérica, Tarragona, España) e insertándose la primera caja en una segunda caja de aislamiento, hecha también de EPS.
- El reactor (1) del dispositivo MTC de la invención comprende, preferentemente, una abertura (3) a la que se acopla un medio de transferencia térmica (4), destinado a transferir calor producido en el interior del reactor (1). En una realización preferente de la invención, dicho medio de transferencia térmica (4) es un elemento metálico y, más preferentemente, un elemento de cobre (por ejemplo, una barra de cobre de entre 15-25 mm de diámetro, acoplada en la abertura (3) del matraz).
- En una realización preferente de la invención, el medio de transferencia térmica (4) está conectado a un medio de conversión termoelectrica (5) destinado a convertir la energía térmica acumulada en el medio de transferencia térmica (4) en energía eléctrica, mediante la generación de una diferencia de potencial. Un ejemplo posible del medio de conversión termoelectrica (5) de la invención es un termocolelector TE-Power Probe (fabricado por la empresa MicroPelt, Alemania), acoplado al medio de transferencia térmica (4). El TE-Power Probe es un prototipo de un termocolelector de proximidad integrado, diseñado para remplazar las baterías de pilas en sistemas inalámbricos que funcionan en modo de régimen de trabajo. El elemento técnico esencial del medio de conversión termoelectrica (5) para las realizaciones de la presente invención es el de producir una cantidad sustancial de electricidad a partir de un gradiente de temperatura. En el ejemplo anterior, el calor en el TE-Power Probe se disipa a través de un disipador térmico de aluminio, y el gradiente de temperatura resultante permite la producción de energía eléctrica mediante el termogenerador de tipo MPG-D751.

- Con relación al montaje del dispositivo, la capa o capas de aislamiento del medio aislante (2) (capas de EPS en el ejemplo descrito) se montan, preferentemente, de modo que se ajusten a la superficie del reactor (1). Asimismo, el medio de transferencia térmica (4) se aísla también térmicamente del exterior, mediante una cubierta aislante (6) (hecha, por ejemplo, de EPS). Con el objetivo de permitir la agitación de los cultivos microbiológicos en el interior del reactor, en una realización preferente de la invención, el dispositivo comprende un agitador magnético (por ejemplo, se añade un imán en el interior del reactor (1), y se sitúa el dispositivo sobre un agitador magnético de laboratorio convencional, configurado a baja velocidad; posteriormente se añade el cultivo, y finalmente se instala el medio de transferencia térmica (4) conectado al medio de conversión termoelectrica (5)).

EJEMPLO DE UNA REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION:

Con relación a los cultivos microbiológicos utilizables en la presente invención y a los resultados de transferencia energética obtenidos, se incluye a continuación un ejemplo no limitativo de una realización preferente del dispositivo aquí descrito, referido al cultivo de cepas de levadura:

- Cepas empleadas: Se usan, a modo de prueba de concepto del funcionamiento de la invención, las siguientes seis cepas diploides de *S. cerevisiae*, empleadas en la industria vinícola, o modificaciones genéticas de las mismas, como: EC118, L2056, 3aS2Δ, T73, D170, y TTRX2. No obstante, en general cualquier microorganismo capaz de ser cultivado y de generar calor durante su cultivo, puede ser utilizado en la presente invención. Para evaluar las capacidades exotérmicas de las cepas, se establecen cultivos independientes en YPD (20 g/l de peptona, 10 g/l de extracto de levadura, con azúcar al 18%) esterilizado por filtración, y se mide de forma continua la temperatura interna de los cultivos (cultivados durante una noche en matraces de tipo Erlenmeyer no aislados). La termotolerancia se evalúa cultivando las cepas a 30, 37 y 41°C. Después de incubación durante una noche con agitación a baja velocidad, se miden las densidades ópticas a 600 nm (DO₆₀₀) de los seis cultivos de una noche.

- Caracterización del dispositivo termoelectrico microbiano y registro de la producción de energía eléctrica: El dispositivo se conecta a un ordenador para registrar las temperaturas interna y externa y la corriente de salida proporcionada por un termocolelector TE-Power Probe. La temperatura interna del dispositivo se mide mediante un termopar insertado en el cultivo microbiano y conectado al ordenador a través de un registrador de datos. También se instalan otros dos termopares para registrar la temperatura del disipador térmico y la temperatura ambiental. Los termopares se conectan a una tarjeta de captura insertada en el registrador de datos, que está conectada mediante un cable de tipo GPIB al ordenador, configurado con un software para la captura de datos de temperatura. La salida del TE-Power Probe también se conecta al ordenador, obteniéndose los registros de temperatura de la región fría y de la región caliente del termogenerador, así como la tensión de salida del mismo. Para tener en cuenta la tensión eléctrica de fondo debida a la unión de metales diferentes en la conexión termopar-registrador de datos, las conexiones entre los termopares y el registrador de datos se realizan en hielo en el interior de una caja de EPS. Finalmente, se inserta un termopar en la caja que contiene el hielo para verificar que la temperatura de las conexiones entre el registrador de datos y que los termopares se mantiene a 0°C. De este modo, se corrige mediante software cualquier tensión errónea inducida por las conexiones metálicas entre los termopares y el equipo de medida.

- Caracterización del dispositivo: Como prueba de referencia para su caracterización, el dispositivo MTC se carga con agua caliente (70°C) y se somete a agitación a baja velocidad, registrándose la evolución de su temperatura interna durante 72 h, en condiciones de laboratorio con el montaje de termopares descrito anteriormente. Este registro se realiza con y sin el TE-Power Probe (Figuras 2a y 2b del presente documento, respectivamente). Los gráficos resultantes muestran curvas de enfriamiento típicas con una baja pendiente. Cuando se instala el TE-Probe, se necesitan 8 h para que el agua caliente dentro del dispositivo MTC se enfríe de 55°C a 45°C; 12 h para enfriarse de 45°C a 35°C y aproximadamente dos días para enfriarse de 35°C a 25°C (Figura 2a). Cuando se ajusta el dispositivo MTC con el TE-Probe, el patrón es similar pero muestra menor aislamiento térmico, particularmente a temperaturas muy altas, como consecuencia de la pérdida de calor a través de la barra de cobre y el disipador térmico del TE-Power Probe (Figura 2b).

Con relación a la caracterización del dispositivo con cultivos de levadura, se precalienta YPD con sacarosa al 18%, a aproximadamente 29°C, se inocula con un precultivo de levadura de una noche 1:50, y se somete a agitación a baja velocidad durante aproximadamente 120 h. Se toman registros de temperatura (y, cuando está conectado el TE-Power Probe, también de energía eléctrica) cada 6 minutos durante todo el experimento.

- Resultados obtenidos: Todas las cepas de levadura muestran comportamientos similares en términos de potencial exotérmico y resistencia a altas temperaturas, presentando la cepa D170 una termorresistencia ligeramente más elevada seleccionando, por tanto, dicha cepa como cultivo de ensayo para el estudio de resultados de transferencia energética del dispositivo. Cuando se inocula la cepa de levadura D170 en un medio YPD con sacarosa al 18% precalentado y se cultiva en una MTC con la barra de cobre y el TE-Power Probe instalado, la temperatura interna baja lentamente (aproximadamente 1°C), se estabiliza y finalmente empieza a subir después de 6-7 h. La temperatura llega a su nivel más alto después de aproximadamente 24 h, alcanzando 41°C. La Figura 2c del presente documento muestra los resultados (de temperatura frente a tiempo de cultivo) en un experimento típico en el que la temperatura máxima es aproximadamente 12 grados más elevada que la temperatura inicial del cultivo. Después de alcanzar el nivel máximo, la temperatura de los cultivos de levadura empieza a bajar, llegando a la temperatura inicial después de aproximadamente 70-90 h. A pesar de los cambios (22°C-27°C) en la temperatura ambiente, la evolución de la temperatura interna del cultivo de levadura se ve afectada sólo levemente.

Con relación a los resultados de producción de electricidad con el dispositivo MTC de la invención, el calor metabólico producido por la cepa D170 en las condiciones de aislamiento del reactor del dispositivo se transforma parcialmente en electricidad, a través del termocolelector TE-Power Probe. Cuando se monta el TE-Power Probe en la MTC de cultivo de levaduras en condiciones de circuito abierto, la temperatura interna del cultivo aumenta hasta aproximadamente 35°C, siendo superior a 32°C durante aproximadamente 54 h (tal y como muestra la Figura 3a del presente documento). En estas condiciones, la tensión eléctrica producida es de aproximadamente 250 mV (valor neto) durante un periodo de dos días, con picos significativos de aproximadamente 350-600 mV netos asociados a una temperatura ambiente inferior (como se muestra en la Figura 3a). Se realiza el mismo experimento en condiciones de resistencia de carga (330 Ω , la misma que la del termogenerador MPG-D751), produciéndose un pico de temperatura interna de aproximadamente 32°C, permaneciendo el cultivo por encima de la temperatura ambiente (que se mantiene constante en el experimento) durante aproximadamente 110 h (Figura 3b). En estas condiciones, se obtiene un máximo de 290 mV en la carga, lo que correspondería con alrededor de 580 mV en la célula Peltier. La máxima potencia eléctrica obtenida, correspondiente a los valores de diferencia de temperatura ΔT máxima, alcanza aproximadamente 255 μW (valor neto), y es superior a 100 μW durante aproximadamente 40h (Figura 3b).

Los resultados presentados para la realización de la invención descrita en los párrafos precedentes, muestran que la naturaleza exotérmica del cultivo microbiano puede transformarse parcialmente en una tensión eléctrica significativa, plenamente aprovechable como fuente de energía. Ello supone que el desarrollo tecnológico de dispositivos termoelectricos microbianos (integrados por fermentadores térmicamente aislados y equipados con superficies de intercambio de calor sobre las cuales se monta un termogenerador termoelectrico) constituye una

mejora relevante en la obtención de nuevas fuentes energéticas. En el ejemplo de realización preferente descrito anteriormente, el termogenerador elegido está optimizado para eficiencias relativamente elevadas en la producción eléctrica a bajos valores de ΔT , tales como los existentes entre un cultivo de levadura aislado (41°C, en las condiciones descritas) y las temperaturas ambientales. Con un dispositivo MTC de tamaño medio (menos de dos litros), típicamente es posible obtener 150-600 mV. Estos valores son comparables o superiores a los obtenidos con tecnologías MFC basadas en levaduras, que presentan valores de tensión neta de aproximadamente 300 mV para reactores de 1 litro. Debe apreciarse, sin embargo, que los dispositivos MFC y MTC funcionan según fundamentos técnicos diferentes, aunque compatibles. Ello permitiría, también, combinar ambos tipos de tecnologías para un mayor aprovechamiento energético, lo que constituye una ventaja adicional de la invención.

Los dispositivos MFC producen electricidad de la transferencia electrónica directa, mediada de forma microbiana a partir de la oxidación de materia orgánica en un ánodo, mientras que los dispositivos MTC transforman parcialmente la energía térmica metabólica en electricidad mediante el efecto Seebeck.

Como en el caso de las celdas MFC, las celdas de tipo MTC pueden combinarse con otros procesos microbianos. Si bien en el ejemplo precedente se ha utilizado la levadura *S. cerevisiae*, a causa de su crecimiento exotérmico bien conocido en una diversidad de condiciones diferentes, sería también posible acoplar cualquier otro cultivo microbiano que provocara una importante producción de calor, tal como la fermentación etanólica (cerveza, pan, vino, biocombustibles), la digestión aerobia autotérmica (ATAD) o la biorrecuperación y bioaumentación de suelos contaminados por hidrocarburos, con las MTC en un único dispositivo, con la producción de electricidad como subproducto valioso del propósito biotecnológico principal.

Además de las levaduras, otros cultivos podrían ser adecuados como productores de calor en una MTC. Por ejemplo, las bacterias termófilas e hipertermófilas de origen natural tales como *Bacillus coagulans*, *Bacillus licheniformis* o muchas cepas de *Geobacillus spp.*, muchas de las cuales pueden aislarse de entornos extremos tales como pozos petrolíferos profundos y cuya temperatura óptima de crecimiento es 50-60°C. Además, se ha informado de que estas bacterias son capaces de calentar su propio cultivo hasta 50-55°C. En distintas realizaciones preferentes de la invención, es posible emplear cualquier cultivo microbiológico que cumpla los siguientes criterios: (i) termorresistencia; (ii) capacidad exotérmica; (iii) crecimiento fácil y rápido; y (iv) capacidad de crecer y de degradar altas concentraciones de fuentes de carbono.

Como alternativa a los ejemplos descritos, donde la región fría del dispositivo se fija a un disipador térmico, también es posible, en otra realización preferente de la invención, implementar un sistema de refrigeración microbiológico para optimizar el rendimiento eléctrico (aumentando la diferencia de temperatura ΔT), en lugar de generar la pérdida de calor a causa de la convección. Por ejemplo, es posible emplear sistemas microbiológicos que presenten crecimiento endotérmico, tales como, por ejemplo, las arqueobacterias metanogénicas. Estos microorganismos pueden combinarse con aquellos que producen calor (exotérmicos), a través de un elemento termoelectrónico para aumentar la producción de electricidad. Dichas arqueobacterias tienen un crecimiento óptimo a temperaturas de aproximadamente 37°C, y esto implica que el sistema completo debe ajustarse para regular la transferencia de calor a través del elemento termoelectrónico, permitiendo tanto el crecimiento microbiano óptimo, como el mantenimiento de un ΔT lo más elevado posible.

En conclusión, los dispositivos termoelectrónicos microbianos de la invención permiten convertir la energía metabólica en electricidad de forma eficiente, y proporcionan una importante mejora tecnológica para el desarrollo de celdas termoelectrónicas microbianas. Los resultados aquí descritos muestran que, incluso pequeños volúmenes de caldo de cultivo, son capaces de mostrar un comportamiento autotérmico significativo y de producir electricidad cuando están apropiadamente aislados y configurados de un modo que el intercambio de calor se minimiza en toda la superficie, excepto en el área en la que se monta el termocolelector. Los valores de energía eléctrica obtenidos contribuyen al planteamiento de nuevas estrategias para recoger el calor excedente en la industria biotecnológica, y de aprovecharlo en dispositivos termoelectrónicos de alta eficiencia.

Finalmente, una vez descrita la presente invención y algunas de sus realizaciones preferentes, junto con sus principales ventajas sobre el estado de la técnica, cabe resaltar, de nuevo, que su aplicación no ha de ser entendida como limitada necesariamente a una configuración determinada de los componentes descritos, ni a las realizaciones referidas en los ejemplos de la invención, sino que resulta aplicable también a otro tipo de configuraciones y procedimientos, mediante las adecuadas variaciones en sus elementos, siempre que dichas variaciones no alteren la esencia de la invención, así como el objeto de la misma.

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo termoeléctrico microbiano para producir energía eléctrica que comprende:

- un reactor (1) configurado para alojar un cultivo microbiológico;

5 - un medio térmicamente aislante (2) dispuesto como recubrimiento del reactor (1);

- un medio de transferencia térmica (4), configurado para transferir calor producido en el interior del reactor (1) al exterior del mismo;

caracterizado dicho dispositivo porque comprende un medio de conversión termoeléctrica (5) acoplado al medio de transferencia térmica (4), y donde dicho medio de conversión termoeléctrica (5) comprende un termocolelector configurado para convertir la energía térmica transferible por el medio de transferencia térmica (4) en energía eléctrica.

10

2.- Dispositivo según la reivindicación anterior, donde el medio de transferencia térmica (4) comprende una cubierta térmicamente aislante (6).

15

3.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el reactor (1) comprende una abertura (3) a la que se acopla al medio de transferencia térmica (4).

4.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, donde el reactor (1) comprende una membrana o un tabique acoplable al medio de transferencia térmica (4).

20

5.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el medio de transferencia térmica (4) comprende un elemento metálico.

25

6.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el cultivo microbiológico es exotérmico.

7.- Dispositivo según la reivindicación anterior, donde el cultivo microbiológico se selecciona entre un cultivo de levadura, un cultivo microbiológico de bacterias mesófilas, termófilas o un cultivo microbiológico de bacterias hipertermófilas.

30

8.- Dispositivo según la reivindicación anterior, donde el cultivo microbiológico comprende un cultivo de levadura de una cepa diploide de *S. cerevisiae*, o una modificación genética de la misma.

35

9.- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un sistema de refrigeración acoplado al termocolelector.

10.- Dispositivo según la reivindicación anterior, donde el sistema de refrigeración comprende un cultivo microbiológico con propiedades endotérmicas.

40

11.- Método de producción de energía eléctrica a partir de energía térmica, que comprende el uso de un dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-10.

12.- Método según la reivindicación anterior, donde:

- se realiza un cultivo microbiológico exotérmico de microorganismos alojados en el reactor (1) del dispositivo, y donde

45

- la energía térmica que se transfiere desde dicho reactor (1) al medio de transferencia térmica (4) y que se disipa en el medio de conversión termoeléctrica (5), sumado al que se pierde por la superficie del dispositivo a través del medio térmicamente aislante (2), es sustancialmente igual al calor producido en el cultivo microbiológico.

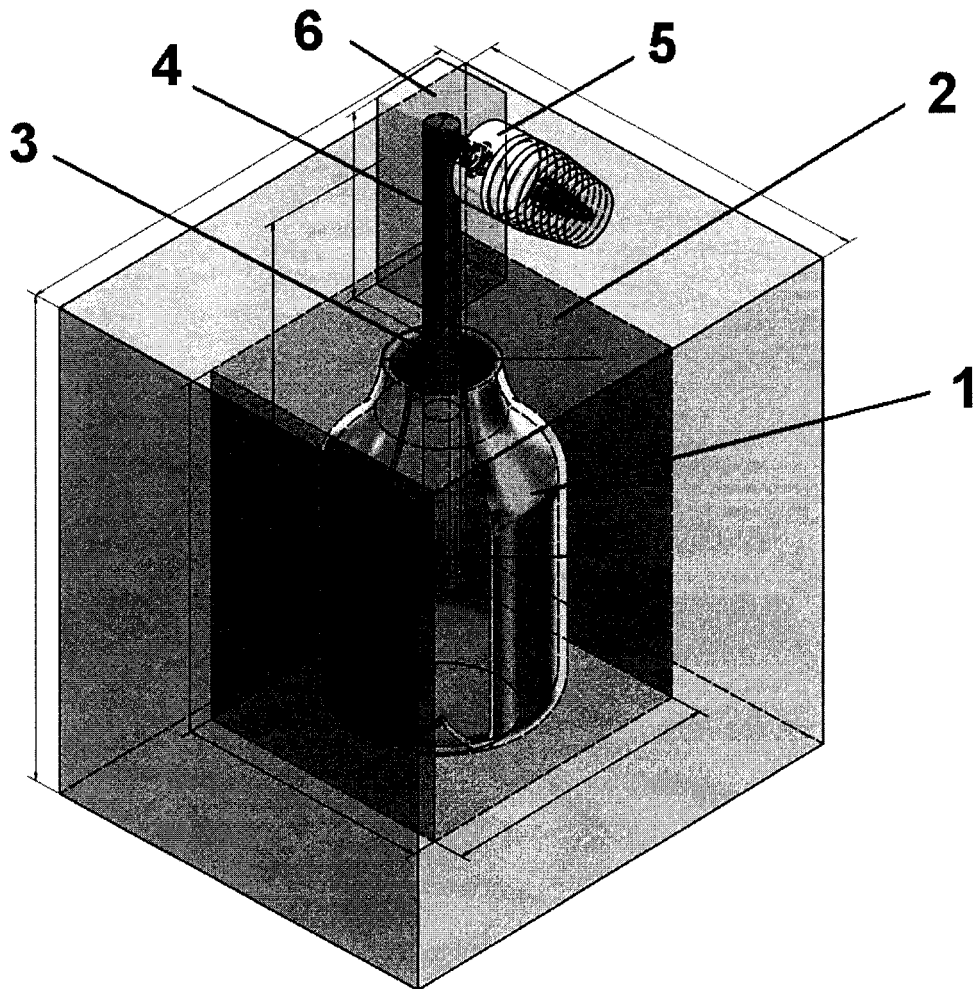


FIG. 1

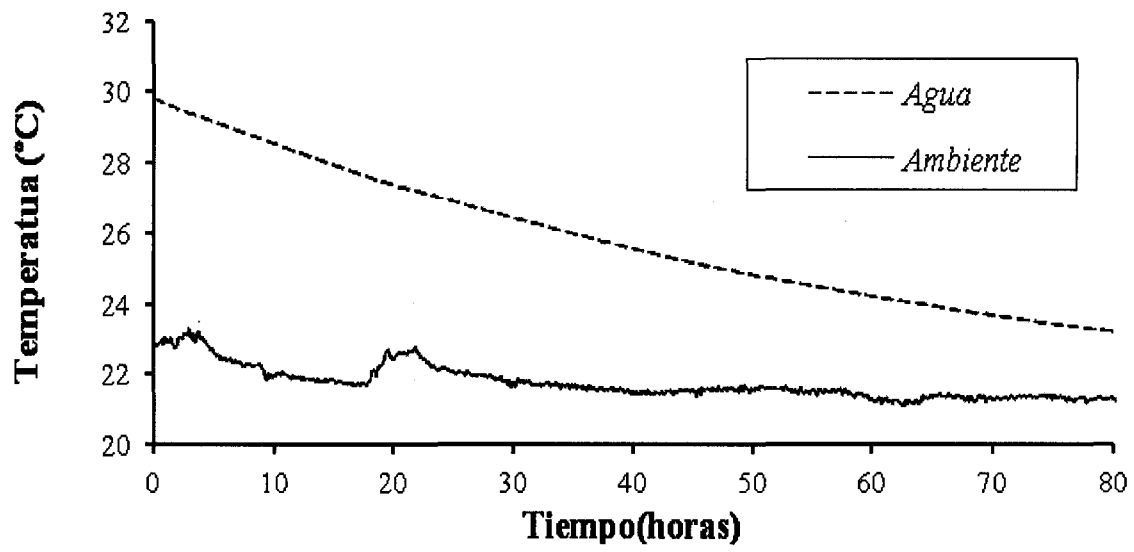


FIG. 2a

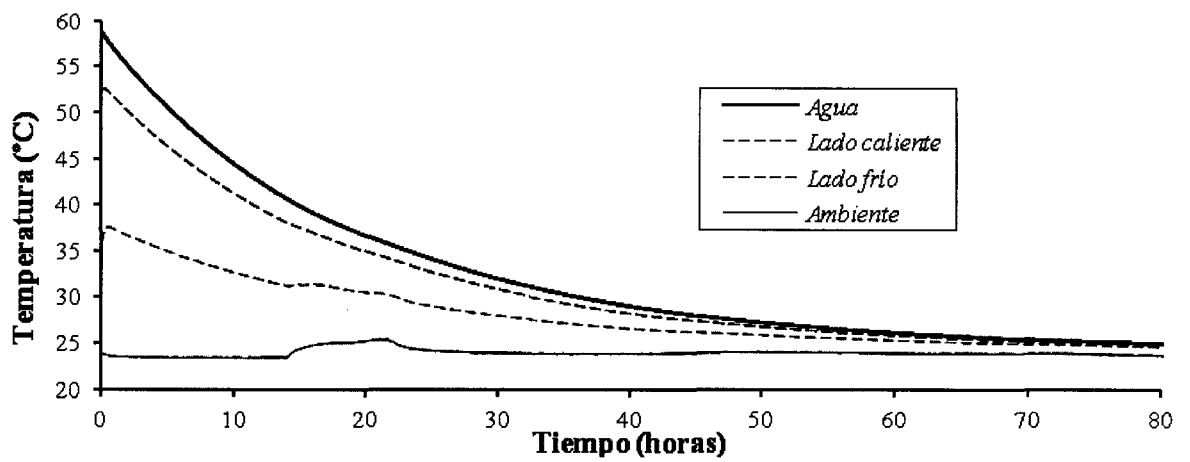


FIG. 2b

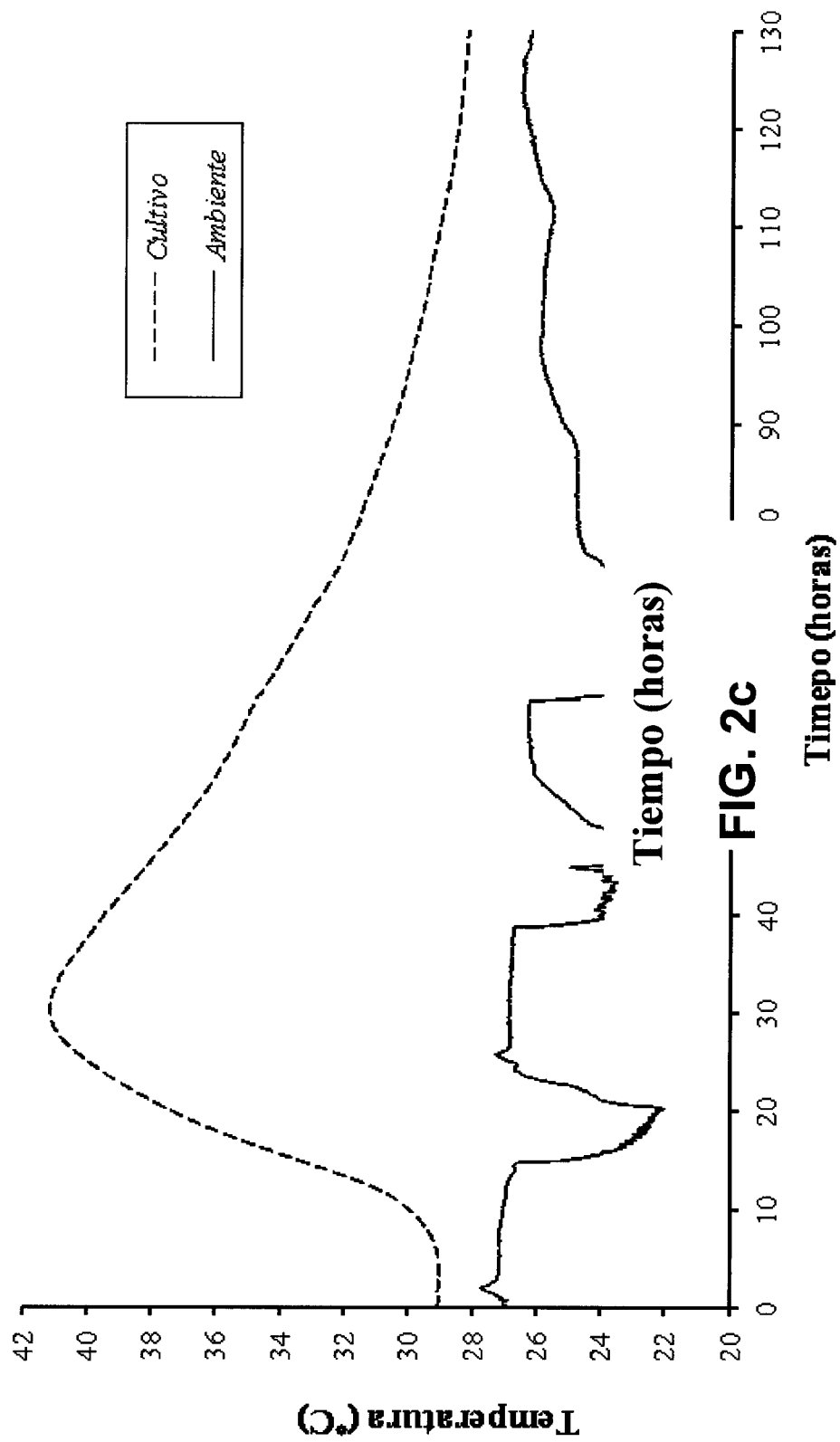
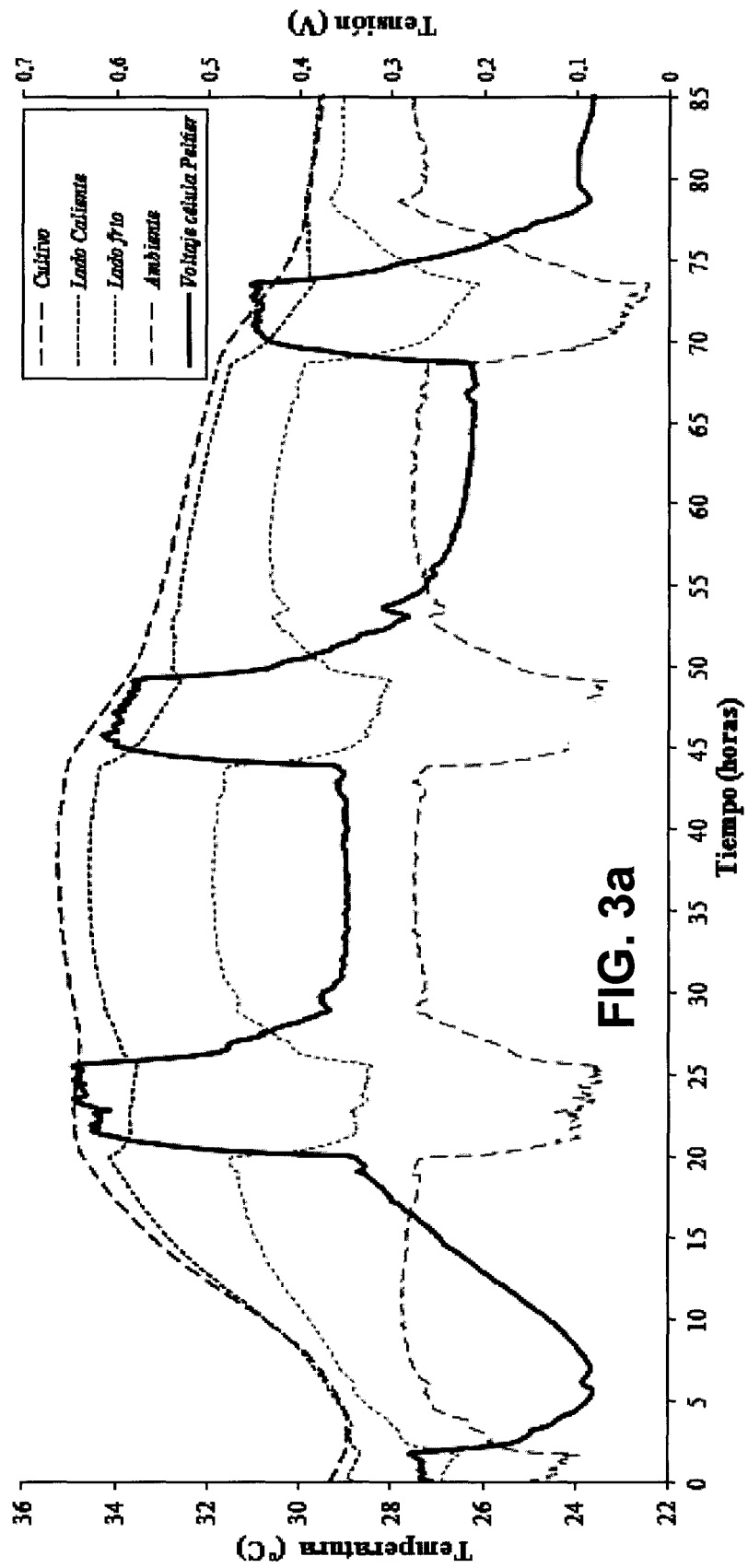
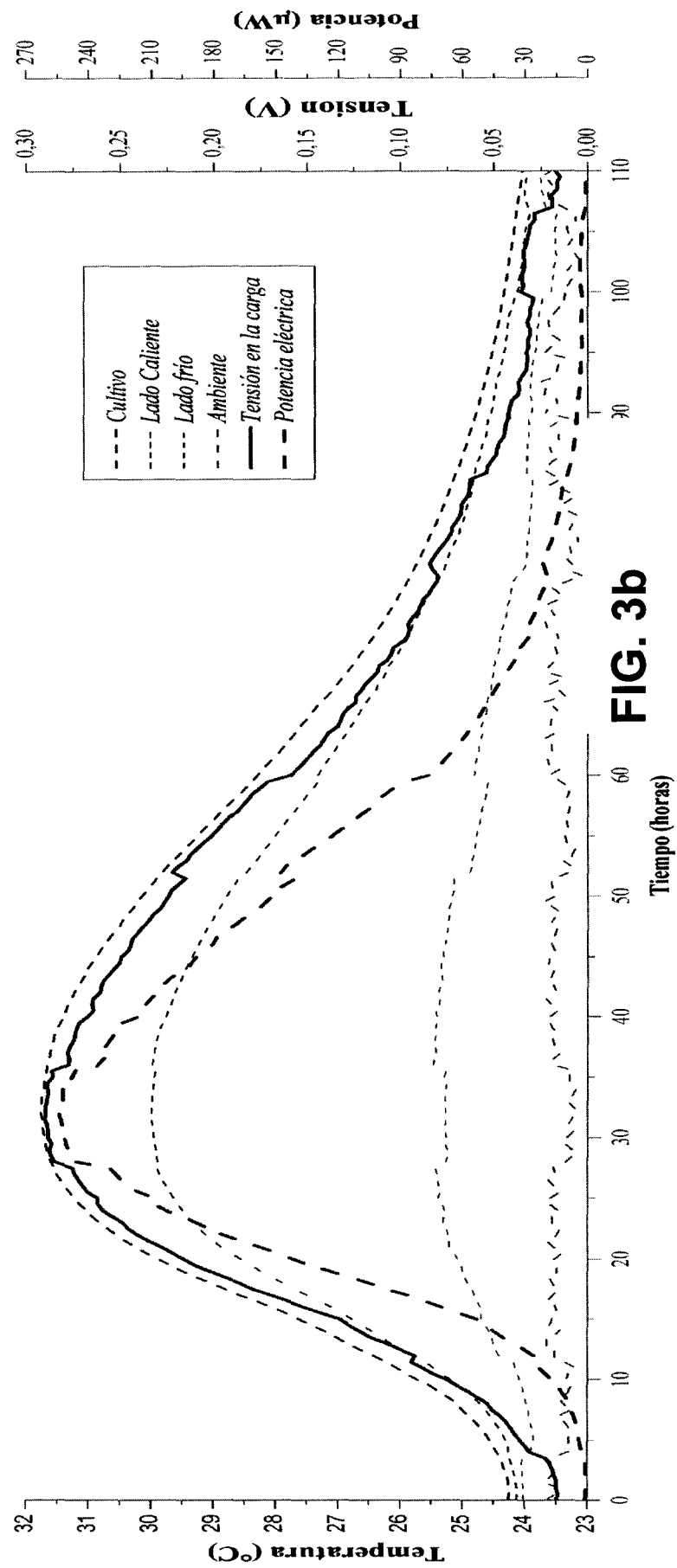


FIG. 2c







- ②① N.º solicitud: 201200977
②② Fecha de presentación de la solicitud: 28.09.2012
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **H01M8/16** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 2010089741 A1 (BENGURION UNIVERSITY [IL/IL]) 12.08.2010, página 3, párrafo [0011] – página 5, párrafo [0042]; figura 1; reivindicación 1.	1-12
A	US 20080138663 A1 (KUBO et al.) 12.06.2008, página 1, párrafos [0011]-[0017]; figuras 1-8; reivindicaciones 1-6.	1-12
A	WO 2010117844 A2 (UNIVERSITY OF MARYLAND BIOTECHNOLOGY INSTITUTE [US/US]) 14.10.2010, página 3, párrafo [0009] – página 4, párrafo [0012]; figura 1; reivindicación 1.	1-12
A	US 20110300411 A1 (MATERI WP.) 08.12.2011, resumen; figura 1; reivindicación 1.	1-12

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
20.05.2013

Examinador
M. D. García Grávalos

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01M

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, BIOSIS, MEDLINE, EMBASE, USPTO PATENT DATABASE, GOOGLE ACADEMICO.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 20.05.2013

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-12	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-12	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	WO 2010089741 A1 (BENGURION UNIVERSITY [IL/IL])	12.08.2010
D02	US 20080138663 A1 (KUBO et al.)	12.06.2008
D03	WO 2010117844 A2 (UNIVERSITY OF MARYLAND BIOTECHNOLOGY INSTITUTE [US/US])	14.10.2010
D04	US 20110300411 A1 (MATERI WP.)	08.12.2011

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La presente invención divulga un dispositivo termoelectrico para producir energía eléctrica a partir de cultivos microbiológicos, preferentemente de *S. cerevisiae*. Está formado por un reactor configurado para alojar un cultivo microbiológico; un medio térmicamente aislante, como recubrimiento del reactor; y, un medio de conversión termoelectrica, (reivindicaciones 1-10). Se refiere también a un método, asociado a dicho dispositivo para la obtención de energía eléctrica a partir de la energía térmica producida en las reacciones metabólicas (reivindicaciones 11-12).

El documento D01 divulga un dispositivo y un método para producción de bioelectricidad. El sistema incluye una celda de combustible microbiana donde el compartimento del ánodo contiene células de un microorganismo, bacteria o levadura, productoras de una enzima que oxida el sustrato y genera electrones (ver página 3, párrafo [0011] - página 5, párrafo [0042]; figura 1; reivindicación 1).

El documento D02 divulga un electrodo microbiano formado por una parte electroconductiva y un microorganismo que expresa una enzima, en la capa superficial de la pared o membrana celular, funcionando como catalizador de electrodo. Se refiere también a un dispositivo que contiene el electrodo microbiano de la invención y una solución electrolítica con sustancias requeridas para proliferación del microorganismo y a su uso en una celda de combustible que lleva un ánodo y un cátodo, así como un sensor y una unidad para aplicación de una diferencia de potencial o voltaje en el electrodo microbiano (ver página 1, párrafos [0011] - [0017]; figuras 1-8; reivindicaciones 1-6).

El documento D03 divulga un dispositivo para producción de energía eléctrica a partir de celdas de combustible microbianas, fotosintéticas. Está formado por un recipiente con un ánodo en el fondo y un cátodo en la superficie, ambos comunicados, y una solución acuosa con un cultivo microbiano fotosintético capaz de incorporar electrones de la cadena de transferencia electrónica, así como una fuente de energía electromagnética que emite energía diurna (ver página 3, párrafo [0009] - página 4, párrafo [0012]; figura 1; reivindicación 1).

El documento D04 divulga un dispositivo de celda de combustible microbiano para el procesamiento de un flujo dióxido de carbono en electricidad y metano. Está formado por a) media celda de combustible microbiana, para cultivo de microorganismos fotosintéticos, que tiene un ánodo conductor de electrones; b) media celda de combustible microbiana, para cultivo de microorganismos metanogénicos, con un cátodo conductor de electrones; c) una interconexión de acoplamiento eléctrico de las dos medio-celdas de combustible microbianas y un acoplamiento iónico con un separador de interconexión (ver resumen; figura 1; reivindicación 1).

1. NOVEDAD Y ACTIVIDAD INVENTIVA (Art. 6.1 y Art. 8.1 LP 11/1986)

La presente invención divulga un dispositivo termoelectrico para producir energía eléctrica a partir de cultivos microbiológicos, de levaduras o bacterias, preferentemente de *S. cerevisiae*. Está formado por un reactor configurado para alojar un cultivo microbiológico; un medio térmicamente aislante, como recubrimiento del reactor; y, un medio de conversión termoelectrica. Se refiere también a un método, asociado a dicho dispositivo para la obtención de energía eléctrica a partir de la energía térmica producida en las reacciones metabólicas

1.1. REIVINDICACIONES 1-12

En el estado de la técnica se encuentran dispositivos para producción de energía eléctrica a partir de cultivos de microorganismos. Los documentos D01-D04 anticipan dispositivos, celdas de combustible microbianas y métodos para producción de bioelectricidad, pero sus características no coinciden con las reivindicadas en la presente invención y no se consideran relevantes a efectos de la valoración de la novedad y actividad inventiva de la presente solicitud.

En consecuencia, las reivindicaciones 1-12 cumplen el requisito de novedad y actividad inventiva (Art. 6.1 y Art. 8.1 LP 11/1986).