

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 997 432**

51 Int. Cl.:

C23F 13/02 (2006.01)

C23F 13/06 (2006.01)

C02F 1/46 (2013.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.06.2022 E 22177625 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024 EP 4101944**

54 Título: **Dispositivo de protección catódica de una estructura metálica contra la corrosión**

30 Prioridad:

08.06.2021 FR 2106008

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.02.2025

73 Titular/es:

**CORROHM (20.00%)
10 avenue de l'Europe, Parc Technologique du
Canal
31520 Ramonville Saint Agne, FR;
INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES
APPLIQUÉES DE TOULOUSE (20.00%);
INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE
TOULOUSE (20.00%);
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (20.00%) y
UNIVERSITÉ TOULOUSE III-PAUL SABATIER
(20.00%)**

72 Inventor/es:

**GARCIA, DAVID;
DUBUIT, JULIE;
BERTRON, ALEXANDRA;
LAURENS, STÉPHANE;
ERABLE, BENJAMIN y
ETCHEVERRY, LUC**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 997 432 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

Dispositivo de protección catódica de una estructura metálica contra la corrosión

5 Campo técnico de la invención

La invención divulga dispositivos/procedimientos de protección de estructuras metálicas contra la corrosión. Esta se enmarca en el ámbito de las protecciones catódicas, y se refiere, más específicamente, a un dispositivo y un procedimiento de protección catódica contra la corrosión de una estructura metálica en contacto con un medio electrolítico.

Técnica anterior

15 La corrosión constituye la principal causa de degradación acelerada de estructuras metálicas en contacto directo con un entorno electrolítico. En el ámbito de las soluciones preventivas y curativas asociadas a esta patología, la protección catódica se desarrolla desde muchos años en todos los sectores industriales interesados por este problema.

20 El principio de base de la protección catódica consiste simplemente en suministrar una cantidad suficiente de electrones al metal protegido. La cantidad de electrones a suministrar depende de factores adicionales, como:

- la cinética y el aspecto de la corrosión del metal, medidos o supuestos,
- el contexto ambiental del metal a proteger, en los sentidos físico, químico y mecánico, etc.

25 Los electrones necesarios se suministran mediante un dispositivo o sistema anódico. Según el tipo de sistema anódico, se distinguen dos grandes familias de técnicas de protección catódica.

30 La primera familia corresponde a la protección catódica por corriente galvánica (PCCG). Esta protección implica un sistema anódico que está constituido por un metal de sacrificio menos noble que el metal a proteger (por ejemplo, zinc o magnesio para la protección de estructuras en acero al carbono). Se realiza un acoplamiento galvánico entre el metal a proteger y el metal de sacrificio. Este acoplamiento es favorable para el metal a proteger ya que el metal de sacrificio (menos noble) se consume por corrosión galvánica y alimenta así el metal a proteger con electrones. La energía se suministra de manera natural (es decir, espontáneamente) mediante el consumo (por corrosión) del metal de sacrificio con beneficio del metal a proteger. La duración de la vida del sistema de protección está condicionada por la cantidad de metal de sacrificio utilizada y por la velocidad de consumo de esta última. La prolongación de la duración de la vida de un sistema de protección requiere un reabastecimiento periódico de metal de sacrificio. Los inconvenientes de esta solución de protección residen en el consumo de recursos metálicos naturales (consumibles metálicos) y la liberación de óxidos metálicos al medio ambiente.

45 Un ejemplo de PCCG se da en la solicitud de patente JP 6 071053 B2 que divulga un dispositivo de protección catódica de un material metálico de una estructura en contacto con el agua que comprende al menos un ánodo de sacrificio dispuesto en el agua cerca de la estructura cuyo material metálico se va a proteger. Este ánodo de sacrificio está conectado a un circuito eléctrico de material metálico de la estructura y tiene una tendencia a la ionización superior a la del material metálico. El dispositivo de protección catódica también comprende un segundo ánodo instalado en el suelo anaeróbico del fondo del agua presente en la estructura. Este segundo ánodo está conectado al ánodo de sacrificio o al material metálico de la estructura por el circuito eléctrico y mediante un dispositivo reparador que solo se activa cuando el segundo ánodo se encuentra a un bajo potencial en comparación con el ánodo de sacrificio o el material metálico. Además, el uso del electrodo de sacrificio puede ser reducido y la duración de la vida de la protección catódica puede ser prolongada. El segundo ánodo recupera los electrones liberados por los microorganismos presentes en el suelo anaeróbico y los transfiere al ánodo de sacrificio o al material metálico de la estructura.

55 Otro ejemplo se proporciona en la patente US 9 365 936 B2 que divulga un sistema de semicircuito, un procedimiento y un aparato destinado a proteger los elementos metálicos sumergidos en un fluido electrolítico contra la corrosión electroquímica. El aparato incluye una carcasa a la que está fijado un ánodo de sacrificio, un cordón eléctrico conductor conectado eléctricamente al ánodo y un conector eléctrico que permite conectar el cordón a una estructura metálica para proteger contra la corrosión. La carcasa puede tener flotabilidad positiva, lo que permite proteger estructuras cercanas contra daños causados por golpes, al mismo tiempo que protege el componente del ánodo de la luz solar, lo que ayuda a reducir la tasa de desarrollo de incrustaciones de origen marino en dicho componente.

65 Aún otro ejemplo se proporciona en la solicitud de patente US 2012/234692 A1 que divulga un ánodo para la protección catódica de un equipo submarino. El ánodo incluye un cuerpo de soporte, un material de sacrificio retenido por el cuerpo de soporte y un mecanismo de fijación para fijar de manera extraíble el ánodo al equipo

submarino. El cuerpo de soporte puede comprender los medios de flotación para permitir una selección de la densidad del ánodo y facilitar la manipulación de esta última en los grandes fondos submarinos.

La segunda familia corresponde a la protección catódica por corriente impuesta (PCCI). En esta protección, el sistema anódico está constituido por un metal o un complejo metálico inerte, generalmente más noble que el metal a proteger. Los electrones no se forman aquí por la oxidación de un metal, sino por una reacción electroquímica que se produce en la interfaz entre el medio electrolítico y el sistema anódico. Al no ser espontáneo este proceso, es necesario un generador de corriente continua (transformador-rectificador) y su conexión a la red de distribución eléctrica para forzar el transporte de electrones hacia el metal a proteger. La energía se produce mediante una conexión permanente a la red de distribución eléctrica durante toda la duración de la vida del sistema de protección. La duración de la vida de un sistema PCCI es en teoría más elevada que un sistema PCCG. El inconveniente de las soluciones de PCCI radica en el consumo eléctrico necesario para proporcionar continuamente electrones al metal a proteger.

La protección catódica de una estructura metálica representa un coste económico importante debido a los pesados y complejos procesos de implementación in situ, las materias primas consumidas (particularmente en el caso de los metales de sacrificio utilizados en PCCG) o incluso a una conexión a la red de distribución eléctrica durante toda la vida útil del sistema en el caso de la PCCI. Por esta razón, la implementación de una protección catódica sigue estando relativamente limitada a los casos:

- de estructuras metálicas sensibles para las cuales no existe otra solución eficiente,
- de estructuras metálicas específicas para las cuales se requiere la protección catódica como norma.

Por tanto, hoy parece necesario encontrar una solución de protección catódica más económica y ecológica.

Ciertos dispositivos de protección catódica no requieren materiales de sacrificio ni conexión a una red de distribución eléctrica.

Por ejemplo, la solicitud de patente CN 111 534 822 A describe un dispositivo de protección catódica para equipos en alta mar, comprendiendo dicho dispositivo de protección catódica equipos en alta mar, un soporte de fondo dispuesto debajo del equipo en alta mar y uno o más bioánodos dispuestos debajo del soporte de fondo. El bioánodo está formado por escobillas de carbón que están en contacto con bacterias generadoras de electricidad y dicho bioánodo está parcialmente insertado en los sedimentos del fondo marino. El bioánodo está conectado al equipo de alta mar mediante un cable y las bacterias generadoras de electricidad reaccionan con los sedimentos del fondo marino para proporcionar protección catódica al equipo. Cuando el equipo de alta mar esté instalado en el fondo marino, el soporte de fondo sostiene el equipo de alta mar y evita el contacto directo de este último con el fondo marino. Insertadas en los sedimentos marinos, las bacterias productoras de electricidad en el bioánodo de carbono pueden utilizar de forma permanente la materia orgánica biodegradable de los sedimentos marinos para proporcionar de forma permanente una corriente de protección catódica al equipo de alta mar.

Otro ejemplo se encuentra en la solicitud de patente CN 110 257 832 A que divulga un dispositivo bioelectroquímico de protección catódica de una tubería enterrada en sedimentos que permite la liberación del ánodo de sacrificio. La tubería juega el papel del cátodo del dispositivo y dicho dispositivo comprende un ánodo en forma de una envoltura alrededor de la tubería, el ánodo y el cátodo están separados por un medio de intercambio de protones tal como una membrana de intercambio de protones. El ánodo y el cátodo están conectados por un circuito externo. El ánodo se enriquece con microorganismos electrogenos capaces de degradar la materia orgánica y suministrar electrones al ánodo que también se transmiten al cátodo a través del circuito externo, protegiendo así el cátodo contra la corrosión. Los protones generados en el nivel del ánodo y los microorganismos se transmiten al cátodo a través del medio de intercambio de protones. Los microorganismos utilizados para enriquecer el ánodo son preferiblemente los microorganismos presentes en los sedimentos en los que están enterrados la tubería y el dispositivo.

Tales dispositivos son más económicos y ecológicos que los de las familias PCCI y PCCG, sin embargo, sería conveniente mejorar estos dos aspectos para evitar consumir los recursos naturales que estos utilizan para su funcionamiento.

Presentación de la invención

Para ello, la presente invención pretende superar los inconvenientes antes mencionados proponiendo un dispositivo de protección catódica contra la corrosión de al menos una estructura metálica en contacto con un medio electrolítico que comprende un suelo sedimentario, dicho dispositivo protector prescinde de la necesidad de un metal de sacrificio y medios de conexión a una red de distribución eléctrica y comprende:

- al menos dos sistemas anódicos microbianos, cada uno de los cuales comprende microorganismos y un electrodo configurado para estar en contacto con dichos microorganismos y dicho medio electrolítico,

teniendo dichos microorganismos la capacidad de suministrar electrones al electrodo mediante la degradación de recursos ambientales oxidables después de reacciones de redox, el electrodo de cada sistema anódico microbiano estando configurado para ser enterrado al menos parcialmente en dicho suelo sedimentario del medio electrolítico y siendo el potencial electroquímico libre de dicho sistema anódico microbiano menor que el potencial electroquímico libre del metal de dicha al menos una estructura metálica a proteger;

- al menos un medio de conexión configurado para unir cada sistema anódico microbiano a dicha al menos una estructura metálica y configurado para permitir que los electrones circulen desde el electrodo de cada sistema anódico microbiano a dicha al menos una estructura metálica;

de modo que se aplica una corriente galvánica de protección a través del medio electrolítico desde al menos uno de los sistemas anódicos microbianos a dicha al menos una estructura metálica cuando dicho al menos un sistema anódico microbiano está en contacto con dicho medio electrolítico y está unido por dicho al menos un medio de conexión a dicha al menos una estructura metálica, caracterizándose dicho dispositivo de protección porque comprende, además:

- un sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión que permite conocer las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano al sistema anódico microbiano al que está unido el medio de conexión,
- un sistema de control que permite detener y activar la circulación de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión.

Se entiende por sistema anódico microbiano, un sistema de diseño cercano a la parte anódica de las baterías microbianas, también llamadas biopilas o pilas de combustible microbianas, y que genera electricidad de forma autónoma a partir de reacciones de oxidación llevadas a cabo por microorganismos y conocidas por el experto en la técnica. Cada uno de los sistemas anódicos microbiológicos utilizados en la presente invención comprenden microorganismos y un electrodo que desempeña el papel del ánodo en el dispositivo de protección de la presente invención. Este electrodo es un ejemplo de grafito.

El potencial electroquímico libre de dicho sistema anódico microbiano es menor que el potencial electroquímico libre del metal de dicha al menos una estructura metálica a proteger. El potencial electroquímico libre de dicho sistema anódico microbiano depende, entre otros, de los microorganismos que comprendan el sistema microbiano anódico. De este modo, los microorganismos que comprende cada sistema microbiano anódico son seleccionados entre los microorganismos que permiten al sistema anódico microbiano tener un potencial electroquímico libre inferior al potencial electroquímico libre de metal de dicha al menos una estructura metálica a proteger.

Los microorganismos, por ejemplo, de las bacterias, a partir de las reacciones de oxidación-reducción implícitas en la degradación de los recursos oxidables ambientales (por ejemplo, de las moléculas químicas orgánicas), liberan los electrones que son transferidos al electrodo (ánodo), este último unido por el medio de conexión a al menos una estructura metálica a proteger, que juega el papel de cátodo. Los microorganismos de los sistemas anódicos microbianos de la presente invención comprenden los microorganismos presentes en el suelo sedimentario del medio electrolítico. El suelo sedimentario de medios electrolíticos, preferentemente medios electrolíticos naturales tales como un mar, un océano, un lago o un río, está compuesto por sedimentos ventajosamente ricos en microorganismos y sustratos biodegradables (recursos oxidables) donde una parte de la energía disponible es transformada en electricidad por los microorganismos.

Por medio electrolítico nos referimos a cualquier medio acuoso que contenga iones móviles. Ejemplos de entornos electrolíticos en los que se puede utilizar el dispositivo objeto de la presente invención son los mares, océanos, ríos, efluentes agrícolas, aguas residuales domésticas e industriales, suelos y biorresiduos.

En el dispositivo de protección catódica que comprende varios sistemas anódicos microbianos significa mediante "al menos un medio de conexión" que o bien el dispositivo de protección catódica comprende un único medio de conexión que conecta todos los sistemas anódicos microbianos y la estructura metálica, o que el dispositivo de protección catódica comprende varios medios de conexión, y para cada conexión entre un sistema anódico microbiano y la estructura metálica, se utiliza un único medio de conexión distinto.

En presencia de más estructuras metálicas a proteger, se entiende por "al menos un medio de conexión" que el dispositivo de protección catódica comporte un medio de conexión distinto que conecta cada estructura metálica con dichos al menos dos sistemas anódicos microbianos.

Por estructura metálica nos referimos a cualquier estructura que comprenda metal. Las estructuras metálicas tal como se utilizan en la presente invención son, por ejemplo, una tablestaca, un pilote, un flotador de turbina eólica marina, un pilar de puente o de muelle, un muro o vela contención, una caja, una viga de muelle, un espigón, una barcaza, un elemento de infraestructura sanitaria, cualquier elemento estructural de hormigón armado, etc...

Este sistema de protección permite crear una corriente galvánica de protección que se cambia naturalmente a través del medio electrolítico bajo forma de flujo iónico entre el sistema anódico microbiano y cada estructura metálica unida a este último. Por tanto, la o las estructuras metálicas están ventajosamente protegidas de la corrosión.

5

La distancia de posicionamiento de cada sistema anódico microbiano en relación con la estructura metálica a proteger depende directamente de la conductividad del medio electrolítico. Cuanto más conductor sea el medio, más lejos se podrán colocar los sistemas anódicos microbianos de la estructura metálica a proteger. A una distancia equivalente, un sistema anódico protege «una cantidad» más importante de la estructura metálica a proteger cuando aumenta la conductividad del medio electrolítico. En la presente invención, cada sistema anódico microbiano está colocado a una distancia de la estructura metálica para protegerlo en función de la conductividad del medio electrolítico de manera que permita la creación de una corriente galvánica de protección a través de dicho medio electrolítico.

10

15

Las ventajas conferidas por el dispositivo de la presente invención son múltiples, tanto del punto de vista económico (para un maestro de obra) como ambiental. En efecto, este dispositivo aprovecha ventajosamente una fuente de energía eléctrica renovable gratuita. Además, no es perjudicial para el medio ambiente ya que no utiliza consumibles metálicos ni provoca liberación de óxidos metálicos al medio ambiente, a diferencia de la protección catódica que implica un metal de sacrificio. Otro punto ventajoso del punto de vista ambiental es que no implica ninguna conexión a la red de distribución eléctrica, contrariamente a la protección catódica por corriente impuesta. Este dispositivo es ventajosamente fácil de implementar y su costo de instalación está reducido con respecto a los sistemas de protección catódica conocidos de la técnica anterior.

20

25

La presencia de varios sistemas anódicos microbianos dentro del dispositivo de protección catódica permite ventajosamente su uso de manera alternativa de modo que esto permita no agotar los recursos oxidables ambientales que se encuentran en el entorno cercano a un sistema anódico microbiano y que los microorganismos de dicho sistema anódico microbiano se degraden. En efecto, es así posible hacer funcionar el dispositivo de protección catódica con un primer sistema anódico microbiano durante un tiempo determinado y, cuando se constata que los recursos oxidables ambientales naturales que se encuentran en el entorno cercano a este primer sistema anódico microbiano han superado un cierto umbral de agotamiento, dejar de operar el dispositivo de protección catódica con este primer sistema anódico microbiano y operarlo con un segundo sistema anódico microbiano colocado en una ubicación distinta al primer sistema anódico microbiano, hasta que el entorno cercano al primer sistema anódico microbiano sea natural o artificial reabastecido con recursos oxidables ambientales. También es posible utilizar más sistemas anódicos microbianos simultáneamente.

30

35

Analizando la corriente de electrones que circula en un medio de conexión, el sistema de medición también permite ventajosamente conocer las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano a un sistema anódico microbiano al que está unido el medio de conexión. Este análisis puede ser automatizado y para ello, según una realización preferida, el dispositivo de protección catódica comprende, en lugar del sistema de medición de la corriente de electrones que circula en cada medio de conexión, un sistema de medición de la corriente de electrones que circula en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano a cada sistema anódico microbiano al que está unido dicho al menos un medio de conexión. El sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables, permite así determinar si se alcanza un umbral predeterminado de agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano de cada sistema anódico microbiano.

40

45

50

Ventajosamente, el sistema de control permite detener o activar la protección catódica deteniendo o activando respectivamente la circulación de la corriente de electrones en un medio de conexión. Al detener la circulación de la corriente de electrones en un medio de conexión, el sistema de control permite no agotar o reducir significativamente el agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano de un sistema anódico microbiano al que se unen los medios de conexión y que son degradados por los microorganismos incluidos en el sistema anódico microbiano. Detener la circulación de la corriente de electrones que circula en un medio de conexión permite también medir la despolarización de la estructura metálica para evaluar las prestaciones del dispositivo de protección catódica en el sentido de la norma EN ISO 12696.

55

60

El sistema de control también puede configurarse para detener la circulación de electrones en un medio de conexión que conecta un sistema anódico microbiano a la estructura metálica a proteger, cuando se alcanza un umbral predeterminado de agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano de dicho sistema anódico microbiano y se determina gracias al sistema de medición o gracias al sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el ambiente cercano a cada sistema anódico microbiano.

65

Gracias al sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en un medio de conexión o de medición la corriente de electrones que circulan en un medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables, y al sistema de control, el dispositivo de protección catódica es ecológico porque respeta el medio ambiente evitando agotar los recursos oxidables de los sedimentos que son importantes para muchos organismos y microorganismos que viven en el medio electrolítico.

En los modos particulares de realización, la invención responde además a las siguientes características, implementadas separadas o en cada una de sus combinaciones técnicamente operativas.

Según una realización, los microorganismos de los sistemas anódicos microbianos son al menos microorganismos presentes en el medio electrolítico y en particular microorganismos presentes en los sedimentos. Los microorganismos pueden así, a partir de las reacciones redox implicadas en la degradación de los recursos oxidables ambientales presentes naturalmente en el medio electrolítico, liberar electrones que se transfieren al electrodo de cada sistema anódico microbiano. En determinadas realizaciones, los microorganismos de los sistemas anódicos microbianos comprenden microorganismos presentes en el medio electrolítico, en particular microorganismos presentes en los sedimentos, y otros microorganismos previamente seleccionados por el usuario del dispositivo de protección catódica. Estos otros microorganismos son preferiblemente en forma de biopelícula de microorganismos. Los microorganismos son por ejemplo bacterias y pueden proporcionarse en forma de biopelícula bacteriana. La biopelícula está preferiblemente unida al electrodo del sistema anódico microbiano.

En realizaciones particulares de la invención, al menos un sistema anódico microbiano comprende una cámara que comprende el electrodo y los microorganismos, estando dicha cámara configurada para recibir recursos oxidables que son degradables por los microorganismos del sistema anódico microbiano. Esta realización tiene la ventaja de permitir que un operador del dispositivo de protección catódica lleve recursos oxidables a la cámara para los microorganismos que contiene.

Según las realizaciones, la cámara es permeable al medio electrolítico. En estas realizaciones, los microorganismos del sistema anódico microbiano son al menos aquellos presentes de forma natural en el medio electrolítico, particularmente los sedimentos, y la cámara también incluye recursos oxidables ambientales (oxidación de moléculas químicas) presentes de forma natural en el medio electrolítico.

Según una realización preferida de la presente invención, el sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión o de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones del agotamiento de los recursos ambientales oxidables, y el sistema de control, están incluidos en un aparato de control para el dispositivo de protección catódica.

En realizaciones particulares de la invención, la corriente galvánica de protección se distribuye en la estructura metálica a una densidad de entre 0,2 mA/m² y 100 mA/m², preferiblemente entre 0,2 mA/m² y 20 mA/m². Tal distribución de la corriente galvánica de protección en la estructura metálica cubre ventajosamente el campo de la prevención catódica contra la corrosión (0,2 a 2 mA/m²) así como el campo de la protección catódica contra la corrosión (2 a 20 mA/m²).

En las realizaciones particulares de la invención, al menos un sistema anódico microbiano está conectado a un dispositivo de flotación que flota sobre la superficie del medio electrolítico. El hecho de que un sistema anódico microbiano esté conectado a un dispositivo de flotación que flota sobre la superficie del medio electrolítico proporciona la ventaja de facilitar el acceso al sistema anódico microbiano para un administrador de la estructura metálica a proteger que desee intervenir en el sistema anódico microbiano, por ejemplo, para cambiar los microorganismos o proporcionar a los microorganismos presentes en el sistema anódico microbiano nuevos recursos oxidables para degradar o incluso cambiar la posición del sistema anódico microbiano.

En realizaciones particulares de la presente invención, el medio de conexión es un cable que comprende al menos un material conductor de electrones que permite la circulación de electrones desde dicho sistema anódico microbiano hasta la estructura metálica que se va a proteger. El cable es preferentemente un cable metálico.

La presente invención también se refiere a un método de protección catódica contra la corrosión de al menos una estructura metálica en contacto con un medio electrolítico que comprende un suelo sedimentario implementando el dispositivo de protección catódica objeto de la presente invención y que comprende las siguientes etapas de:

- implementar varios sistemas anódicos microbianos, comprendiendo cada sistema anódico microbiano un electrodo en contacto con el medio electrolítico y los microorganismos, estando configurado cada sistema anódico microbiano para suministrar electrones a su electrodo mediante la degradación de recursos

ambientales oxidables llevada a cabo por dichos microorganismos, el electrodo de cada sistema anódico microbiano está enterrado al menos parcialmente en dicho suelo sedimentario del medio electrolítico y siendo el potencial electroquímico libre de cada sistema anódico microbiano menor que el potencial electroquímico libre del metal de dicha al menos una estructura metálica a proteger;

- conectar cada sistema anódico microbiano a dicha al menos una estructura metálica con al menos un medio de conexión configurado para permitir que los electrones circulen desde el electrodo de cada sistema anódico microbiano hasta dicha al menos una estructura metálica;
- activar de manera alterna en el tiempo la circulación de electrones entre los electrodos de los sistemas anódicos bacterianos y dicha al menos una estructura metálica.

Por activación alternada en el tiempo de la circulación de electrones entre los electrodos de los sistemas anódicos bacterianos y la estructura metálica se entiende que la circulación de electrones en los medios de conexión se activa alternativamente en el tiempo (un medio de conexión tras otro).

Una ventaja de tal modo de implementación del método en el que la circulación de electrones en los medios de conexión se activa de manera alterna y por lo tanto en el que el dispositivo de protección catódica alterna de un sistema anódico microbiano a otro para autoabastecerse de electrones, es que permite no agotar los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano de cada sistema anódico microbiano y da tiempo para que estos recursos ambientales oxidables se regeneren cuando no se utiliza un sistema anódico microbiano.

En un modo preferido de implementación del método de protección catódica, la etapa de activación alterna comprende las siguientes subetapas, preferiblemente repetidas:

- activación de la circulación de electrones en al menos un medio de conexión que conecta al menos un sistema anódico microbiano a la estructura metálica;
- detención de la circulación de electrones en dicho al menos un medio de conexión que une dicho al menos un sistema anódico microbiano a la estructura metálica cuando se alcanza un umbral de agotamiento de los electrones que circulan en dicho al menos un medio de conexión, y activación de la circulación de electrones en al menos un medio de conexión que conecta al menos otro sistema anódico microbiano a la estructura metálica.

La activación de la circulación de electrones en al menos un medio de conexión que conecta al menos otro sistema anódico microbiano a la estructura metálica puede realizarse, por ejemplo, unos minutos u horas antes de que se alcance el umbral de agotamiento de electrones o cuando se alcance este último o después de alcanzar este último.

El umbral de agotamiento de los electrones que circulan en dichos medios de conexión se determina de antemano y demuestra que se alcanza un cierto umbral de agotamiento de los recursos ambientales oxidables en el entorno cercano al sistema anódico microbiano. Así, el cese de la circulación de electrones en dicho medio de conexión que conecta el sistema anódico microbiano a la estructura metálica se logra cuando se alcanza un umbral de agotamiento de los recursos ambientales oxidables en el entorno cercano al sistema anódico microbiano. El término entorno cercano a un sistema anódico microbiano significa un volumen de entorno alrededor del sistema anódico microbiano cuya composición química probablemente se vea afectada por reacciones electroquímicas y microbianas en la interfaz entre el sistema anódico microbiano y el medio electrolítico.

Breve descripción de las figuras

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la siguiente descripción, dada a título de ejemplo no limitativo, y realizada con referencia a las figuras que representan:

[Figura 1] La Figura 1 ilustra un diagrama de una realización del dispositivo de protección catódica que es el objeto de la presente invención que comprende dos sistemas anódicos microbianos;

[Figura 2] La Figura 2 ilustra un diagrama de una realización del dispositivo de protección catódica que es el objeto de la presente invención que comprende tres sistemas anódicos microbianos;

[Figura 3] La Figura 3 ilustra un diagrama de una realización del dispositivo de protección catódica que es el objeto de la presente invención que comprende interruptores en los medios de conexión y un sistema para medir continuamente la corriente que circula en cada medio de conexión.

[Figura 4] La Figura 4 representa un dispositivo de protección catódica objeto de la presente invención en el que la estructura metálica a proteger es un pilar de puente de hormigón armado;

[Figura 5] La Figura 5 ilustra el dispositivo de protección catódica mostrado en la Figura 4 con una curva de distribución de la densidad de la corriente galvánica de protección en función de la altura de la estructura metálica.

En estas figuras, las referencias numéricas idénticas de una figura a otra designan elementos idénticos o similares. Además, por motivos de claridad, los dibujos no están a escala, salvo que se indique lo contrario.

Descripción de las realizaciones

5

La Figura 1 ilustra un diagrama del dispositivo 100 de protección catódica contra la corrosión de una estructura metálica 101 en contacto con un medio electrolítico 102 que comprende un suelo 107 sedimentario, según una realización de la presente invención, en el que el dispositivo 100 de protección catódica además comprende dos sistemas anódicos microbianos 103 dispuestos en contacto con el medio electrolítico 102 y configurados para proporcionar electrones mediante biodegradación de recursos ambientales oxidables (oxidación de moléculas químicas), siendo el potencial electroquímico libre de cada sistema anódico microbiano 103 menor que el potencial electroquímico libre del metal de la estructura metálica 101 a proteger.

10

15

Cada sistema anódico microbiano 103 comprende microorganismos. Estos microorganismos son al menos los presentes de forma natural en el medio electrolítico 102 y pueden complementarse con microorganismos proporcionados, por ejemplo, en forma de una biopelícula 104 de microorganismos como se presenta en la Figura 1. Cada sistema anódico microbiano 103 también incluye un electrodo 105 que actúa como ánodo en el dispositivo 100 de protección catódica. El electrodo 105 está enterrado al menos parcialmente en el suelo 107 sedimentario del medio electrolítico 102 natural de manera que los microorganismos incluidos en el sistema anódico microbiano 103 sean al menos los de dicho suelo 107. La estructura metálica 101 desempeña el papel de cátodo en el dispositivo 100 de protección.

20

25

Cada sistema anódico microbiano 103 es capaz de generar electricidad de forma autónoma a partir de reacciones de oxidación de recursos oxidables ambientales (moléculas químicas) llevadas a cabo por los microorganismos que contiene. De hecho, dichas reacciones de oxidación dan como resultado la liberación y transferencia de electrones al electrodo 105 que comprende el sistema anódico microbiano 103, generando así una corriente eléctrica en el electrodo 105.

30

El suelo 107 sedimentario de un medio electrolítico 102 (generalmente un medio electrolítico natural) está compuesto de microorganismos y sedimentos ricos en recursos oxidables que representan un sustrato objetivo para la biodegradación llevada a cabo por los microorganismos para crear electricidad.

35

En algunas realizaciones, al menos uno de los sistemas anódicos microbianos 103 incluye una cámara 106 que incluye la biopelícula 104 de microorganismos y el electrodo 105. Esta cámara 106 está configurada para que los microorganismos presentes en la biopelícula 104 de microorganismos estén en contacto con el medio electrolítico 102 y preferiblemente con el suelo 107 sedimentario. Una configuración de este tipo corresponde, por ejemplo, al hecho de que la cámara 106 es permeable al medio electrolítico 102. La cámara 106 también está configurada para recibir recursos oxidables por los microorganismos del sistema anódico microbiano 103. Esto tiene la ventaja de permitir a un operador del dispositivo 100 de protección catódica traer recursos oxidables a la cámara 106 para alimentar los microorganismos que incluye además de los recursos oxidables presentes en el medio electrolítico 102 y el suelo 107 sedimentario con los que están en contacto.

40

45

El dispositivo 100 de protección catódica comprende además un medio de conexión 108 entre cada sistema anódico microbiano 103 y la estructura metálica 101. Este medio de conexión 108 está configurado para permitir que los electrones circulen desde dicho sistema anódico microbiano 103 hasta la estructura metálica 101. El medio de conexión 108 comprende, por supuesto, un material conductor de electrones, por ejemplo, un metal. El medio de conexión 108 puede, por ejemplo, ser un cable que comprende un núcleo conductor de electrones. Por "un medio de conexión 108 entre cada sistema anódico microbiano 103 y la estructura metálica 101" se entiende que el dispositivo 100 de protección catódica comprende un único medio de conexión 108 que realiza una conexión entre todos los sistemas anódicos microbianos y la estructura metálica 101 (no ilustrado en las figuras) o que el dispositivo 100 de protección catódica comprende varios medios de conexión 108, y para cada conexión entre un sistema anódico microbiano 103 y la estructura metálica 101, se utiliza un único medio de conexión 108 distinto (como se ilustra en las figuras).

50

55

El medio de conexión 108 está en contacto con el electrodo 105. Los electrones procedentes de la degradación por oxidación de las moléculas químicas (recursos ambientales oxidables) presentes en el medio electrolítico 102 y en particular de los sedimentos llevados a cabo por los microorganismos del sistema anódico microbiano 103 se transfieren al electrodo 105. Luego, los electrones pasan desde el electrodo 105 al medio de conexión 108 y circulan en dicho medio de conexión 108 para entrar en la estructura metálica 101.

60

Una corriente galvánica 109 de protección también está creada a través del medio electrolítico 102 entre cada sistema anódico microbiano 103 y la estructura metálica 101. Esta corriente galvánica 109 protege ventajosamente la estructura metálica 101 contra la corrosión.

65

La alimentación de un dispositivo de protección catódica por corriente biogalvanizada, si está empleada sin discernimiento, puede conducir al agotamiento de los recursos ambientales oxidables. Una corriente

insuficiente no permitiría proteger la estructura contra la corrosión; por el contrario, el exceso de corriente puede provocar un agotamiento innecesario del recurso microbiano. La presente invención permite ventajosamente controlar la corriente suministrada por uno o varios sistemas anódicos microbianos.

- 5 El dispositivo 100 de protección catódica ilustrado en la Figura 1 también comprende un dispositivo de control 110 que comprende un sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en los medios de conexión 108 o de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión y de determinación de variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables, así como un sistema de control que permite detener y activar la circulación de la corriente de electrones que circula en los medios de conexión 108. Después de detener la circulación de la corriente de electrones gracias al sistema de control, un operador del dispositivo 100 de protección catódica podrá, utilizando el sistema de medición, medir ventajosamente la despolarización de la estructura metálica para evaluar el rendimiento del dispositivo de protección catódica en el sentido de la norma EN ISO 12696.
- 10
- 15 El número exacto de sistemas anódicos microbianos se calcula en función de la cinética de regeneración de los recursos ambientales oxidables. El control del dispositivo de protección catódica (alternancia de funcionamiento entre los sistemas anódicos microbianos) se basa en dos elementos que son el cumplimiento de los criterios normativos de funcionamiento (potencial de corte y despolarización) y el cumplimiento de un criterio de corriente (umbral predeterminado para no exceder) para prevenir el agotamiento de los recursos ambientales oxidables (anticipación del incumplimiento de los criterios normativos).
- 20

Según una realización de la presente invención, ilustrada en la Figura 2, el dispositivo 100 de protección catódica comprende varios sistemas anódicos microbianos 103 en contacto con el medio electrolítico 102, preferiblemente al menos tres. Un primer sistema anódico microbiano 103A no incluye una cámara 106, mientras que un segundo sistema anódico microbiano 103B y un tercer sistema anódico microbiano 103C comprenden una cámara 106 que comprende microorganismos preferiblemente en forma de biopelícula 104 de microorganismos y un electrodo 105. El dispositivo 100 de protección catódica comprende un medio de conexión 108 entre cada sistema anódico microbiano 103 y dicha estructura metálica 101, estando configurado dicho medio de conexión 108 para permitir que circulen electrones desde el electrodo 105 del sistema anódico microbiano 103 que conecta a la estructura metálica 101 hasta este último. Cada medio de conexión 108 está en contacto con el electrodo 105 del sistema anódico microbiano 103 que conecta a la estructura metálica 101.

25

30

De este modo se crea una corriente galvánica 109 de protección a través del medio electrolítico 102 entre cada sistema anódico microbiano 103 y la estructura metálica 101.

35

Cada sistema anódico microbiano 103A, 103B y 103C comprende un electrodo 105 enterrado al menos parcialmente en el suelo 107 sedimentario del medio electrolítico 102 de modo que los microorganismos incluidos en los sistemas anódicos microbianos 103 son al menos los de dicho medio electrolítico 102 y en particular los de los sedimentos del suelo 107. El tercer sistema anódico microbiano 103C está conectado a un dispositivo de flotación 111 configurado para flotar en el medio electrolítico 102, preferiblemente en la superficie del mismo. Un dispositivo de flotación 111 de este tipo puede ser por ejemplo una boya. Esto tiene la ventaja de facilitar el acceso al sistema anódico microbiano 103C si un operador del dispositivo 100 de protección catódica desea acceder al mismo para realizar, por ejemplo, una operación de mantenimiento o un suministro de recursos oxidables por microorganismos o incluso un suministro de microorganismos, por ejemplo, un reemplazo de la biopelícula 104.

40

45

El dispositivo 100 de protección catódica ilustrado en la figura 2 incluye además un dispositivo de comando 110 que incluye un sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión 108 o de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables, además de un sistema de control que permite detener y activar la circulación de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión 108. Además, el operador del dispositivo puede medir la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión 108 y también puede elegir detener o activar dicha corriente de electrones en cada medio de conexión 108, lo que respectivamente detiene o activa la corriente galvánica 109 de protección entre el sistema anódico 103 y la estructura metálica 101 unidas por dicho medio de conexión 108 en el que la corriente se detiene o se activa. Ventajosamente, esto permite activar la circulación de corriente en los medios de conexión 108 de manera alterna y por lo tanto hacer funcionar el dispositivo 100 de protección catódica alternando de un sistema anódico microbiano 103 a otro para no agotar los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano de un sistema anódico microbiano 103.

50

55

60

Ya sean los microorganismos presentes en el medio electrolítico 102, por ejemplo en el suelo sedimentario 107, o los microorganismos traídos por el usuario a un sistema anódico microbiano 103, durante el funcionamiento del dispositivo 100 de protección catódica dichos microorganismos formarán gradualmente una biopelícula 104 de microorganismos en la superficie del electrodo 105, lo que da como resultado un aumento progresivo de la corriente que circula en los medios de conexión 108 que conectan dicho electrodo 105 a la estructura metálica 101 hasta un valor máximo. El consumo local de los recursos ambientales oxidables del

65

medio electrolítico 102, en particular los sedimentos, realizado por los microorganismos del sistema anódico microbiano 103, conduce a una caída de la corriente que circula en los medios de conexión 108 conectados al electrodo 105 de dicho sistema anódico microbiano 103. Entonces es relevante cambiar el sistema anódico microbiano 103 a través del sistema de control (por ejemplo, interruptores o relés controlados electrónicamente) cuyo control se guía según los dos criterios citados anteriormente (criterio de rendimiento normativo y criterio de corriente con previsión de un agotamiento de los recursos ambientales oxidables). Con respecto al criterio de corriente, este puede ser un valor umbral predeterminado para el agotamiento de la corriente (electrones) que circula en los medios de conexión 108. Este valor umbral es, por ejemplo, una reducción porcentual de la corriente que circula en los medios de conexión 108 evaluada con relación al valor máximo. Cuando se alcanza el valor umbral, el sistema de control detiene la circulación de corriente en el medio de conexión 108 en cuestión, permitiendo así la parada del sistema anódico microbiano 103 al que está vinculado y por tanto la renovación natural de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano a este último. En paralelo o con antelación, o aún después, el sistema de control activa la circulación de corriente en un medio de conexión 108 dependiendo de otro sistema anódico microbiano 103 en la estructura metálica 101 de forma que la protección catódica contra la corrosión de esta última continúa.

La Figura 3 ilustra un diagrama de una realización del dispositivo 100 de protección catódica que es el objeto de la presente invención. El dispositivo 100 de protección comprende varios sistemas anódicos microbianos 103A, 103B y 103C enterrados al menos parcialmente en el suelo 107 sedimentario del medio electrolítico 102. El dispositivo 100 de protección comprende un medio de conexión 108 que comprende una línea principal 108P conectada a la estructura metálica 101 y que comprende una línea de conexión 108A, 108B y 108C para cada sistema anódico, estando conectada cada línea de conexión a la línea principal 108P de modo que cada sistema anódico microbiano 103 está conectado a la estructura metálica 101. En esta realización, el sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión 108 o de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables comprende un amperímetro 114 dispuesto en cada línea de conexión 108A, 108B y 108C. Por lo tanto, es posible medir continuamente la corriente que circula en cada línea de conexión 108A, 108B y 108C, lo que indica continuamente la corriente entregada por cada sistema anódico microbiano 103 y permite determinar la tasa de agotamiento de los recursos ambientales oxidables para cada sistema anódico microbiano 103. Opcionalmente, el sistema de medición de la corriente de electrones que circula en cada medio de conexión 108 o de medición de la corriente de electrones que circula en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables también incluye un amperímetro 114 dispuesto en la línea principal 108P.

El dispositivo 100 de protección comprende un sistema de control que permite detener y activar la circulación de la corriente de electrones que circula en el medio de conexión 108. El sistema de control incluye un interruptor 115 dispuesto en cada línea de conexión 108A, 108B y 108C. Por lo tanto, es posible cortar (interrupción del flujo de corriente) y cerrar (paso de corriente) los interruptores 115 para preservar los sistemas anódicos microbianos 103 más débiles y cuyos recursos ambientales oxidables se están agotando y permitirles su regeneración dejándoles reposar. Esto también hace posible regular la corriente activando o desactivando ciertos sistemas anódicos microbianos 103 según un punto de ajuste predefinido con el fin de proteger la estructura metálica 101. En una configuración con dos sistemas anódicos microbianos 103, el dispositivo 100 de protección permite así alternar la activación y la desactivación de los sistemas anódicos microbianos 103. En una configuración adicional de dos sistemas anódicos microbianos 103, la posibilidad se ofrece no solo para conservar los sistemas anódicos microbianos 103 y los recursos ambientales oxidables de su entorno cercano, sino que también para regular la corriente según la cantidad de un sistema anódico microbiano 103.

Opcionalmente, el sistema de control puede incluir en lugar de los interruptores 115 o además de cada interruptor 115, una resistencia variable (no ilustrada en las figuras) que permite así variar la intensidad de la corriente que llega a la estructura metálica 101 desde cada sistema anódico microbiano 103.

El sistema de control y el sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión 108 o de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión y de determinación de las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables, pueden ser ventajosamente automatizados y confiados a un dispositivo de control 110 tal como un controlador programable o un ordenador industrial. En este caso los interruptores 115 pueden ser reemplazados por relés programables y los amperímetros 114 por los convertidores analógicos numéricos. El sistema de medición puede incluir en particular una resistencia colocada en derivación ("shunt" en terminología inglesa) en cada línea de conexión 108A, 108B y 108C para medir la intensidad de la corriente en cada una de estas líneas de conexión.

La protección catódica obtenida con la presente invención se probó con una realización particular de la invención, proporcionada aquí a modo de ilustración y no de limitación. Se trata de un dispositivo 100 de protección catódica según la invención utilizado para la protección de una estructura metálica 101 que es un pilote de puente de hormigón armado en contacto con un medio electrolítico 102, que es un medio marino, que comprende un suelo 107 sedimentario. Este pilote de puente es un elemento de hormigón de 25 m de altura, con una sección de 3x3 m² y reforzado con 76 refuerzos longitudinales de acero de 32 mm de diámetro (figura

4). La estructura metálica 101 está sumergida en agua de mar (medio electrolítico 102) a una profundidad de alrededor de 18 m y descansa sobre un fondo marino (suelo sedimentario 107) formado por sedimentos ricos en recursos oxidables para los microorganismos de los sistemas anódicos microbianos 103, sólo uno de estos últimos se muestra en la Figura 4. En este tipo de configuración, la zona de hormigón atmosférico o zona emergida 112 está sujeta a los mayores niveles de daño, debido a una fuerte contaminación por cloruros, hormigón parcialmente saturado con agua y una fuerte disponibilidad de oxígeno. Esta zona constituye el objetivo prioritario del dispositivo 100 de protección catódica. La zona de marea 113, que es una zona parcialmente sumergida y parcialmente emergida debido a la diferencia de nivel del agua dependiendo de las mareas, desciende hasta unos pocos metros por debajo del nivel del agua (hasta aproximadamente 3,7 metros por debajo del nivel del agua). La zona de marea 113 es también una zona sujeta a fuertes niveles de daños. Esta vulnerabilidad de la zona de mareas está ligada al problema de la interfaz agua/aire con una alta disponibilidad de oxígeno, cuya reducción interviene en el fenómeno de corrosión. El resto de la estructura metálica 101 sumergida más profundamente está muy poco sujeta a corrosión debido al muy bajo contenido o ausencia de oxígeno en el medio electrolítico 102.

Uno de los sistemas anódicos microbianos 103 está colocado al pie de la estructura metálica 101, a una profundidad de 18 m, enterrado en la capa sedimentaria y conectado a la red de refuerzos de acero del pilote del puente mediante un medio de conexión 108 que aquí es un cable eléctrico.

Se observan las líneas de corriente galvánica 109 de protección (en gris claro) en la Figura 4, naturalmente intercambiadas entre el sistema anódico microbiano 103 y la red de refuerzos de acero del pilote del puente de hormigón armado. Observamos que, debido a la ausencia de oxígeno en profundidad, las líneas de corriente galvánica 109 se elevan verticalmente y entran en el hormigón cerca de la superficie del agua.

La figura 5, ilustra la distribución de corriente galvánica 109 de protección en función de la altura en el pilote de puente. Por las razones mencionadas anteriormente, observamos que la corriente de protección tiende a concentrarse en las zonas ricas en oxígeno, que también corresponden a las zonas emergidas 112 y de marea 113, cuya protección es prioritaria.

La prueba se reprodujo con varias profundidades para el posicionamiento del sistema anódico microbiano 103, sin impacto significativo en la cantidad y distribución de la corriente galvánica 109 de protección hacia las zonas emergidas 112 y las zonas de marea 113, cuya protección es prioritaria.

De manera más general, cabe señalar que los modos de implementación y realización de la invención considerados anteriormente se han descrito a modo de ejemplos no limitativos y que, por lo tanto, son posibles otras variantes dentro del alcance definido por las reivindicaciones.

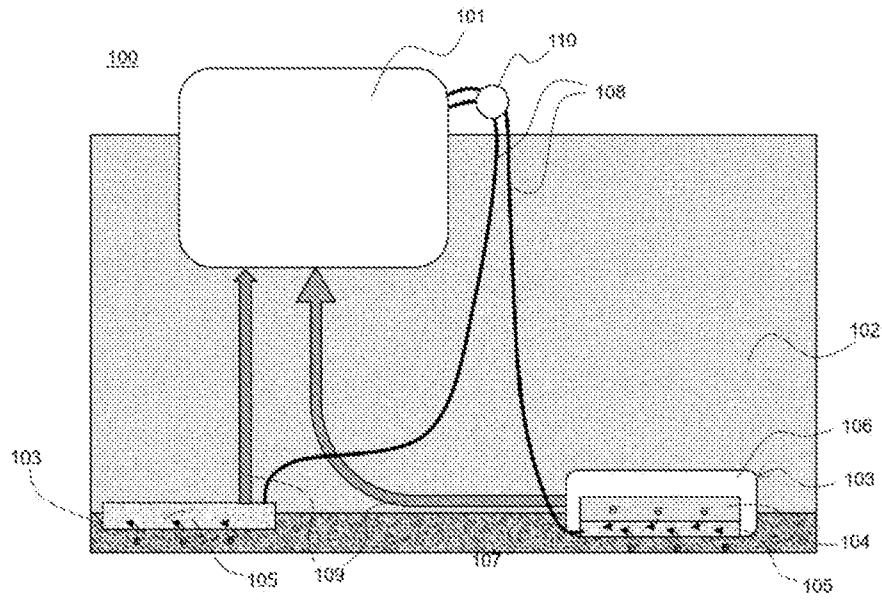
REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de protección catódica contra la corrosión de al menos una estructura metálica en contacto con un medio electrolítico que comprende un suelo sedimentario, dicho dispositivo de protección prescinde de la necesidad de un metal de sacrificio y de medios de conexión a una red de distribución eléctrica, dicho dispositivo de protección que comprende:
 - al menos dos sistemas anódicos microbianos, cada uno de los cuales comprende microorganismos y un electrodo configurado para estar en contacto con dichos microorganismos y dicho medio electrolítico, teniendo dichos microorganismos la capacidad de suministrar electrones al electrodo mediante la degradación de recursos ambientales oxidables después de reacciones de redox, estando configurado el electrodo de cada sistema anódico microbiano para ser enterrado al menos parcialmente en dicho suelo sedimentario del medio electrolítico y siendo el potencial electroquímico libre de cada sistema anódico microbiano menor que el potencial electroquímico libre del metal de dicha al menos una estructura metálica a proteger;
 - al menos un medio de conexión configurado para unir cada sistema anódico microbiano a dicha al menos una estructura metálica y configurado para permitir que los electrones circulen desde el electrodo de cada sistema anódico microbiano a dicha al menos una estructura metálica;
- de modo que se aplica una corriente galvánica de protección a través del medio electrolítico desde al menos uno de los sistemas anódicos microbianos a dicha al menos una estructura metálica cuando dicho al menos un sistema anódico microbiano está en contacto con dicho medio electrolítico y está unido por dicho al menos un medio de conexión a dicha al menos una estructura metálica, dicho dispositivo de protección se caracteriza porque comprende, además:
 - un sistema de medición de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión que permite conocer las variaciones en el agotamiento de los recursos ambientales oxidables que se encuentran en el entorno cercano al sistema anódico microbiano al que está unido el medio de conexión,
 - un sistema de control que permite detener y activar la circulación de la corriente de electrones que circulan en cada medio de conexión
2. Dispositivo de protección según la reivindicación 1, en el que los microorganismos del sistema anódico microbiano son al menos microorganismos presentes en el medio electrolítico.
3. Dispositivo de protección según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que al menos un sistema anódico microbiano comprende una cámara que comprende el electrodo y los microorganismos, estando configurada dicha cámara para recibir recursos oxidables que son degradables por los microorganismos del sistema anódico microbiano.
4. Dispositivo de protección según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la corriente galvánica de protección se distribuye en la estructura metálica con una densidad comprendida entre 0,2 mA/m² y 100 mA/m², preferiblemente entre 0,2 mA/m² y 20 mA/m².
5. Dispositivo de protección según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que al menos un sistema anódico microbiano está conectado a un dispositivo de flotación que flota sobre la superficie del medio electrolítico.
6. Método de protección catódica contra la corrosión de al menos una estructura metálica en contacto con un medio electrolítico que implementa el dispositivo de protección catódica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 y que comprende los siguientes pasos de:
 - establecer varios sistemas anódicos microbianos comprendiendo cada uno de ellos microorganismos y un electrodo en contacto con dichos microorganismos y el medio electrolítico, estando configurado el sistema anódico microbiano para suministrar electrones al electrodo mediante la degradación de recursos ambientales oxidables llevada a cabo por dichos microorganismos, el electrodo de cada el sistema anódico microbiano está enterrado al menos parcialmente en dicho suelo sedimentario del medio electrolítico y el potencial electroquímico libre de dicho sistema anódico microbiano es menor que el potencial electroquímico libre del metal de dicha al menos una estructura metálica a proteger;
 - conectar dicha al menos una estructura metálica con cada sistema anódico microbiano con al menos un medio de conexión configurado para permitir que los electrones circulen desde el electrodo de cada sistema anódico microbiano hasta dicha al menos una estructura metálica;
 - activar de manera alterna en el tiempo la circulación de electrones entre cada electrodo de sistemas anódicos bacterianos y dicha al menos una estructura metálica que comprende las subetapas de:

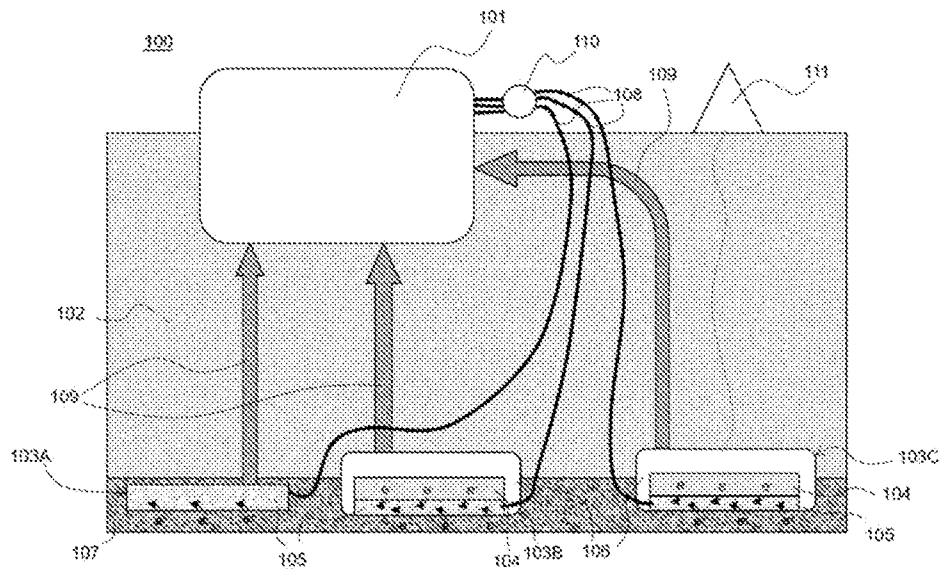
◦ activar la circulación de electrones en al menos un medio de conexión que conecta al menos un sistema anódico microbiano a la estructura metálica de modo que se aplica una corriente galvánica de protección a través del medio electrolítico desde dicho al menos un sistema anódico microbiano hasta dicha al menos una estructura metálica;

◦ detener la circulación de electrones en dicho al menos un medio de conexión que conecta al menos un sistema anódico microbiano a la estructura metálica cuando se alcanza un umbral previamente determinado de agotamiento de los electrones que circulan en dicho al menos un medio de conexión, dicho umbral previamente determinado refleja un umbral de agotamiento de recursos ambientales oxidables en el entorno cercano a dicho al menos un sistema anódico microbiano, y activar la circulación de electrones en al menos un medio de conexión que conecta al menos otro sistema anódico microbiano a la estructura metálica.

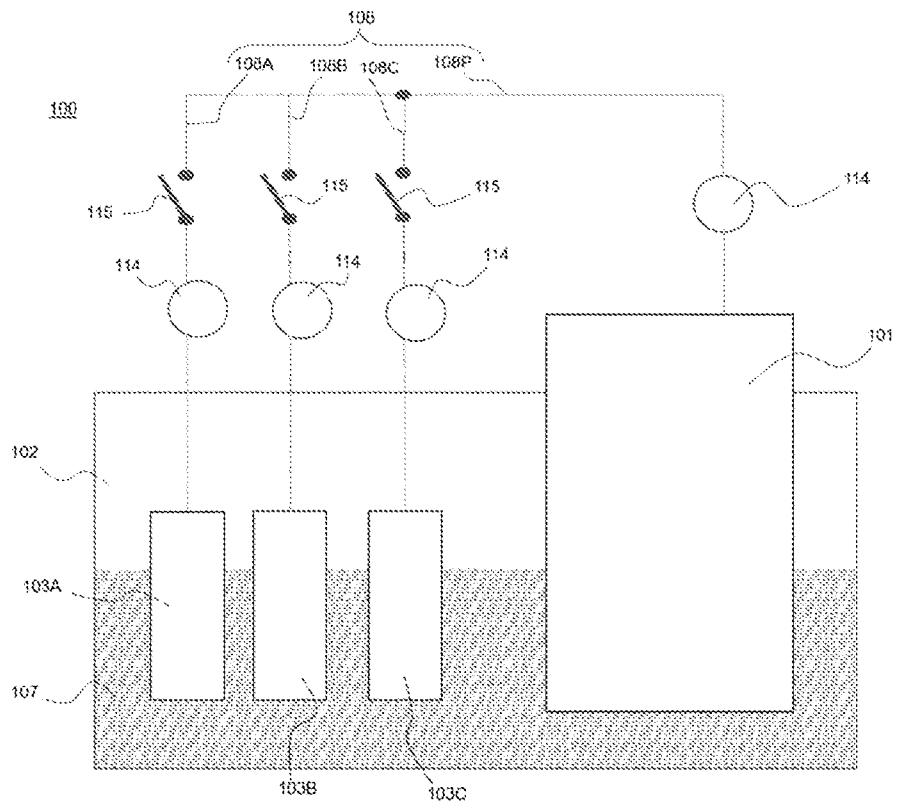
[Figura 1]



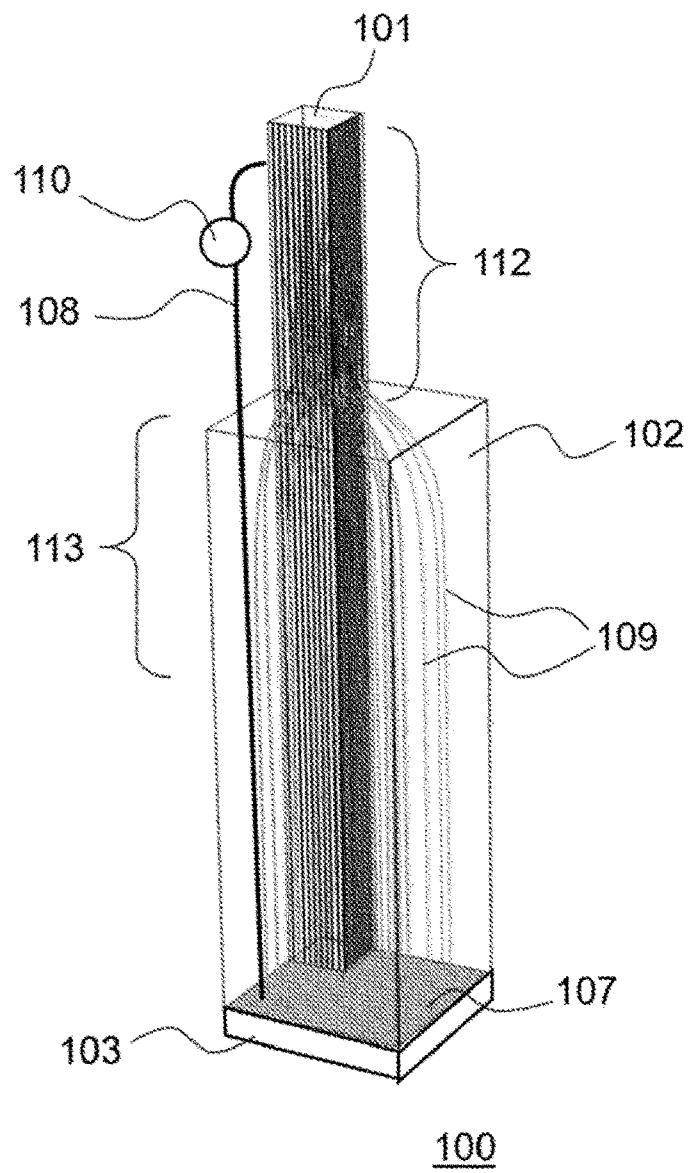
[Figura 2]



[Figura 3]



[Figura 4]



[Figura 5]

