

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 981 237**

51 Int. Cl.:

**H05B 7/12** (2006.01)  
**C09K 5/00** (2006.01)  
**C11D 1/825** (2006.01)  
**C11D 10/02** (2006.01)  
**C21B 13/12** (2006.01)  
**C21C 5/52** (2006.01)  
**H05B 7/06** (2006.01)  
**F27B 3/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2019 E 23162177 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2024 EP 4216671**

54 Título: **Electrodos de horno para enfriamiento por aspersion con líquido enfriador que contiene tensioactivos**

30 Prioridad:

**15.10.2018 US 201862745729 P**

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

**07.10.2024**

73 Titular/es:

**CHEMTREAT, INC. (100.0%)  
5640 Cox Road  
Glen Allen, VA 23060, US**

72 Inventor/es:

**STRASSER, JOSEPH S. y  
TANSKI, JEFFREY R.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 981 237 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**

Electrodos de horno para enfriamiento por aspersión con líquido enfriador que contiene tensioactivos

Campo de divulgación

La presente solicitud es una solicitud divisional de la solicitud de patente europea No.19874104.2

- 5 Esta divulgación se refiere a la mejora de las capacidades de enfriamiento de electrodos, incluidos electrodos de horno de arco eléctrico (EAF) y electrodos de horno de metalurgia de cuchara (LMF), o cualquier electrodo refrigerado por agua que se utilice en el proceso de fabricación de acero. La oxidación de las paredes laterales del electrodo puede ser reducida y, por tanto, resultar en una prolongación de la vida útil del electrodo.

Antecedentes

- 10 Los productores de acero EAF utilizan energía eléctrica para fundir materias primas y producir de 1 a 420 toneladas métricas de acero en buques. La potencia eléctrica puede ser suministrada al horno como corriente alterna (AC) o corriente continua (DC). La energía eléctrica suministrada a las materias primas puede alcanzar los 200 MWh en el caso de los mayores buques EAF. Esta fuente de alimentación crea un arco eléctrico que genera el calor necesario para elevar el lote de acero a temperaturas tan altas como 1800 °C y permitir un mayor refinamiento y procesamiento en el LMF y las posteriores operaciones de fundición y conformado.

La potencia eléctrica se suministra al acero a través de electrodos de grafito. El grafito es el material elegido para los electrodos debido a las siguientes características: bajo coeficiente de expansión térmica (CTE), alta resistencia a la tracción, alta resistencia específica, resistencia eléctrica relativamente independiente de la temperatura y nobleza (catódica con respecto a otros materiales).

- 20 Los electrodos son consumibles utilizados en el proceso de fabricación de acero eléctrico y representan un coste sustancial para el fabricante de acero. El ambiente en el horno de arco eléctrico es violento y duro, y provoca un consumo de electrodos en un rango de aproximadamente 1 kg/tonelada métrica de acero producido a 2.5 kg/tonelada métrica. Las causas del consumo incluyen: arco eléctrico en la punta del electrodo donde la temperatura localizada es de aproximadamente 3000°C; rotura debido al movimiento de materias primas; choque térmico y posterior pérdida de la punta del electrodo; y oxidación de las superficies del electrodo a lo largo de la columna debido al duro entorno del horno. La oxidación del electrodo crea la forma cónica de los electrodos que están en uso y puede representar casi el 50% del consumo del electrodo.

- 30 Durante décadas, los productores de acero y los productores de electrodos para hornos han intentado reducir la tasa de oxidación de los electrodos de grafito y carbono a través de muchos medios diferentes. Un ejemplo es el uso de electrodos que tienen superficies recubiertas con capas formadas de grafito, metal, aleaciones de aluminio y aluminio puro. Sin embargo, estos recubrimientos sólo se aplican una vez (por ejemplo, sólo durante la fabricación de los electrodos) y los recubrimientos son susceptibles a daños químicos y físicos que los vuelven ineficaces. Por lo tanto, estos tipos de recubrimientos pueden tener una vida útil corta.

- 35 Los cambios en el proceso de fabricación de electrodos, en la tecnología de acoplamiento de electrodos, en la receta de los electrodos de grafito y en los procedimientos operativos como la escoria espumosa han reducido sustancialmente el consumo de electrodos desde 1985, cuando el consumo de electrodos era de entre 5 y 6 kg/tonelada métrica de acero por 1 a 2.5 kg/tonelada métrica de acero en 2018. Si bien esto ha sido una reducción impresionante, las fuerzas del mercado han aumentado la sensibilidad a la tasa de consumo. Incluso las disminuciones incrementales en la tasa de consumo tienen un impacto sustancial para el fabricante de acero.

- 40 La oxidación del electrodo es una reacción química. La velocidad de oxidación del electrodo aumenta con el aumento de las temperaturas porque las moléculas reactantes tienen más energía cinética a temperaturas más altas. La velocidad de reacción (es decir, la velocidad de oxidación) se rige por la ecuación de Arrhenius que en casi todos los casos muestra un aumento exponencial en la velocidad de reacción en función de la temperatura.

$$k = \frac{-E_a}{k_B T}$$

- 45 Dónde:

k = la constante de velocidad

k<sub>B</sub> = constante de Boltzmann

T = temperatura absoluta

A = una constante para cada reacción química

- 50 E<sub>a</sub> = la energía de activación

R = la constante universal de los gases

5 Por lo tanto, se han desarrollado muchos diseños para enfriar la mayor parte del electrodo (es decir, reducir la temperatura del electrodo), pero se han abandonado debido a preocupaciones de seguridad. La aplicación de agua de enfriamiento al electrodo debajo del baño de acero fundido crea una condición muy peligrosa en el caso de una rotura del electrodo o fallo del canal de agua de enfriamiento. La liberación de agua de enfriamiento debajo del baño de acero crea una explosión debido a la rápida expansión a medida que el agua cambia de fase de agua a vapor con una expansión volumétrica aproximada de 1.100 veces. Los electrodos utilizados en la fabricación comercial de acero actualmente están compuestos exclusivamente de grafito y no contienen canales de agua de enfriamiento.

10 Para reducir aún más la oxidación del electrodo, se introdujo en la industria el enfriamiento por aspersión y se diseñaron diseños específicos para enfriar el electrodo utilizando cabezales de aspersión circulares con múltiples cabezales de aspersión verticales ubicados en múltiples ubicaciones alrededor de la circunferencia del electrodo.

15 Se ha empleado la investigación de la aplicación de agua para mejorar la seguridad, así como mitigar la oxidación del electrodo. Se han evaluado mejoras, tal como proporcionar aire para atomizar el agua a medida que se descarga de la boquilla rociadora. El flujo de agua de enfriamiento de los electrodos, en algunas instalaciones, varía dependiendo de las condiciones del horno, lo que proporciona un nivel adicional de seguridad.

El documento EP 1591738 A1 divulga un electrodo de grafito para horno de arco eléctrico utilizado para la fabricación de acero que comprende una ranura en espiral formada en la superficie del electrodo, mediante la cual el electrodo se enfría mediante el uso de una mezcla de agua o solución acuosa de un antioxidante y un tensioactivo. También se puede aplicar un tensioactivo a la superficie del electrodo.

20 El documento US 4476687 A divulga un método para enfriar superficies calentadas mediante la aspersión de una corriente de líquido de bajo volumen sin espuma sobre una superficie calentada que no sólo conserva el volumen de fluido utilizado. El método utiliza una composición formada a partir de un concentrado que comprende uno o más tensioactivos no iónicos que tienen un punto de turbidez combinado de 20°C - 100°C y agua suficiente para formar una solución concentrada de no mayor que 30% en peso del tensioactivo. La composición final de enfriamiento de superficie calentada se forma a partir del concentrado que se va a pasar a través de una bomba convencional con no más del 0.2% en volumen del tensioactivo para no provocar formación de espuma o cavitación indeseables de la bomba debido a la baja concentración del tensioactivo. La solución de enfriamiento de superficies calentadas en esta forma se asperja sobre las superficies calientes de chapa metálica o elementos estructurales para enfriar estas superficies metálicas a una temperatura que puede ser tan baja como aproximadamente 60°C.

30 El documento US 9452306 B1 divulga una composición y un método para la remediación de sustancias contaminadas con metales pesados. Más particularmente, la divulgación se refiere a una composición y un método para la remediación de suciedad, virutas de pintura, polvos de pintura, superficies y otras sustancias contaminadas con metales pesados mediante la aplicación de una suspensión acuosa de un compuesto de fosfato. Aún más particularmente, la divulgación se refiere a la remediación de suciedad, virutas de pintura, polvos de pintura, superficies y otras sustancias contaminadas con plomo mediante al menos una aplicación de una suspensión acuosa de fosfato tricálcico, tensioactivo, hidroxietilcelulosa modificada hidrófobamente y una fuente de cloruro.

#### Resumen

Un objetivo de la presente divulgación es reducir la oxidación del electrodo durante el proceso de fabricación de acero.

40 Por consiguiente, la presente divulgación se refiere a un método para enfriar un electrodo de horno hecho de grafito que tiene los pasos descritos en la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes describen formas ventajosas de llevar a cabo el método.

#### Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema de enfriamiento por aspersión para un solo electrodo en un horno de corriente continua.

45 La FIG. 2 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema de enfriamiento por aspersión con retroalimentación y control de bancos de enfriamiento de electrodos individuales para cada uno de los tres electrodos en un horno de corriente alterna.

50 LA FIG. 3 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema de enfriamiento por aspersión con retroalimentación y control de bancos de enfriamiento de electrodos individuales y un patín de medición química para los electrodos en un horno de corriente alterna.

La FIG. 4 es un gráfico que muestra el consumo relativo de electrodos en peso del acero producido.

La FIG. 5 es un gráfico que muestra el consumo relativo de electrodos en peso del acero producido.

#### Descripción detallada de realizaciones

Los métodos de enfriamiento divulgados se pueden utilizar para enfriar cualquier electrodo de horno de alta temperatura que se enfríe convencionalmente utilizando agua. A diferencia de las técnicas conocidas, y como se divulga en el presente documento, el proceso de agregar un tensioactivo al sistema de agua de aspersión puede reducir sorprendentemente el consumo oxidativo del electrodo. Los métodos de enfriamiento divulgados pueden utilizarse para enfriar electrodos de grafito en hornos y/o procesos de fabricación de acero tales como horno de arco eléctrico, hornos de inducción, fusión por inducción al vacío, descarburación con oxígeno y argón, horno cuchara, desgasificación con oxígeno al vacío, desgasificación por vacío, la refundición por arco en vacío y refundición por electroescoria. Cuando el electrodo del horno está en uso, una superficie del electrodo del horno puede tener una temperatura de al menos 700°C, al menos 1000°C, al menos 1200°C, al menos 1800°C o al menos 3000°C.

El agua tiene una tensión superficial de 73.2 dinas/cm o 73.2 mN/m a 25°C en un límite interfacial con el aire. Esta tensión superficial es mayor en comparación con la de otros líquidos. Además, esta tensión superficial varía ligeramente entre 0 °C y 100 °C, cayendo de 75.6 mN/m a 56.9 mN/m sobre el rango. Esta tensión superficial existe porque el agua es una molécula polar debido a un momento dipolar de enlace que apunta desde cada átomo de hidrógeno al átomo de oxígeno en la molécula de agua. El momento dipolar del enlace acumulativo crea una carga ligeramente negativa en el átomo de oxígeno y una carga ligeramente positiva en cada átomo de hidrógeno. Esta polaridad del agua puede crear un gran ángulo de contacto que se mide a través del líquido, donde una interfaz líquido-vapor se encuentra con una superficie sólida. Los ángulos de contacto altos indican una baja humectabilidad para una superficie sólida determinada. Como resultado, es posible que el agua no se distribuya uniformemente en la superficie del electrodo caliente para enfriar uniformemente el electrodo. Por lo tanto, utilizar agua sola para enfriar los electrodos tiene sus inconvenientes.

Tal como se utiliza en el presente documento, el término "tensioactivo" se refiere a una sustancia que tiende a reducir la tensión superficial de un líquido en el que se disuelve, y el término singular "tensioactivo" puede referirse a un tensioactivo o a combinaciones de dos o más tensioactivos. Mezclar un tensioactivo, como un aditivo, con agua para formar un líquido de enfriamiento puede reducir la tensión superficial del agua, así como afectar la humectabilidad del agua de enfriamiento sobre una superficie sólida. En el enfriamiento por aspersión de electrodos, las moléculas tensioactivas pueden reemplazar las moléculas de agua en la interfaz sólido-líquido entre la superficie del electrodo y el líquido de enfriamiento y, por lo tanto, pueden crear una mayor concentración de moléculas tensioactivas en el límite interfacial. En términos de humectabilidad, la presencia de un tensioactivo puede reducir la energía libre del líquido de enfriamiento, permitir que el líquido de enfriamiento se extienda sobre la superficie del electrodo y desplazar el aire en el límite interfacial. El desplazamiento de aire en el límite interfacial tendrá al menos tres ventajas: 1) un contacto más estrecho entre el electrodo y el líquido de enfriamiento puede mejorar la capacidad de enfriamiento del sistema debido a la transferencia de calor conductiva mejorada; 2) la formación de una fina película de líquido de enfriamiento en el electrodo puede reducir las áreas del electrodo que están expuestas al oxígeno atmosférico, reduciendo así el potencial de oxidación; y 3) controlar las características de ebullición del agua (es decir, la ebullición nucleada y en película), controlando así la dinámica de enfriamiento del fluido de enfriamiento. El líquido de enfriamiento puede ser predominantemente agua, por ejemplo, más del 95% en peso, más del 99% en peso o más del 99.5% en peso. En algunas realizaciones, el agua puede ser agua de proceso reciclada o agua municipal.

El método divulgado en el presente documento implica la aplicación de un tensioactivo o una mezcla de tensioactivos, que pueden incluir tensioactivos aniónicos, catiónicos, no iónicos y/o zwitteriónicos, incluyendo sustancias químicas de hidrocarburos, sustancias químicas de hidrocarburos bromados y sustancias químicas de hidrocarburos fluorados al líquido de enfriamiento del electrodo para aumentar la humectabilidad del agua de enfriamiento y para reducir la tensión superficial. Por ejemplo, el tensioactivo puede incluir una porción hidrófila y una porción hidrófoba. La porción hidrófila puede incluir grupos tales como carboxilatos ( $-\text{CO}_2^-$ ), sulfonatos ( $-\text{SO}_3^-$ ), sulfatos, y polialcoxilatos. La porción hidrófoba puede incluir grupos hidrocarburos que contienen de 10 a 40 átomos de carbono, por ejemplo, grupos estearilo, dodecilo, fenilo, y alquilfenilo. De acuerdo con la invención, el tensioactivo contiene alquilfenoles, tales como nonilfenol y octilfenol e isómeros de los mismos, y alcoxilatos (por ejemplo, etoxilatos o propoxilatos) de los mismos, tales como etoxilato de nonilfenol (también conocido como polietoxilato de nonilfenol). Los etoxilatos de nonilfenol de ejemplo incluyen Nonoxinol-4, Nonoxinol-7, Nonoxinol-9, Nonoxinol-14, Nonoxinol-15, Nonoxinol-18, Nonoxinol-40, Nonoxinol-30, Nonoxinol-50, polietilenglicol (PEG)-7 Nonilfeniléter, PEG-14 Nonilfeniléter, PEG-18 Nonilfeniléter y PEG-50 Nonilfeniléter. Un ejemplo de etoxilato de octilfenol es el polioxitileno octilfenil éter.

Además, el tensioactivo es una mezcla de un polímero de oxirano y al menos un alquilfenol. Como se usa en el presente documento, el término "polímero de oxirano" se refiere a un polímero elaborado polimerizando monómeros tales como óxido de etileno, óxido de propileno y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el polímero de oxirano es óxido de polietileno (también conocido como polietilenglicol, PEG). En algunas realizaciones, el polímero de oxirano es polipropilenglicol (PPG). En algunas realizaciones, el polímero de oxirano es un copolímero de óxido de etileno y óxido de propileno, y puede ser un copolímero aleatorio o un copolímero de bloque (por ejemplo, un copolímero dibloque o un copolímero tribloque). Los copolímeros tribloque de ejemplo incluyen PEG-PPG-PEG y PPG-PEG-PPG. Un peso molecular del polímero de oxirano puede oscilar entre 300 g/mol y 500.000 g/mol, entre 1.000 g/mol y 100.000 g/mol, o entre 2.000 g/mol y 10.000 g/mol.

Una relación entre el peso del polímero de oxirano y el peso de la cantidad total de alquilfenol presente en el líquido de enfriamiento está en el rango de 1: 100 a 100:1, de 1:50 a 50:1 o de 1:10 a 10:1. En una realización, el polímero de oxirano y nonilfenol se aplican al agua de enfriamiento del electrodo para formar un líquido de enfriamiento.

La concentración del tensioactivo en el líquido de enfriamiento puede estar presente en el rango de 10 mg/l a 5.000 mg/l, de 50 mg/l a 1.000 mg/l, de 100 mg/l a 700 mg/l o de 200 mg/l a 500 mg/l, o de 300 mg/l a 600 mg/l. En algunos aspectos, se añade una cantidad suficiente de tensioactivo al líquido de enfriamiento para reducir la tensión superficial del líquido de enfriamiento a temperatura ambiente (por ejemplo, a 25°C) a un rango de 54.9 mN/m a 69.5 mN/m. o de 58.5 mN/m a 65.8 mN/m, o de 60.0 mN/m a 63.0 mN/m. La tensión superficial del líquido de enfriamiento se puede medir mediante métodos conocidos por un experto en la técnica, por ejemplo, ASTM D1331.

La aplicación industrial de este método indica que se evita un consumo adicional de electrodos del 1.5 al 40 por ciento, del 2 al 30 por ciento, del 5 al 20 por ciento, del 5 al 15 por ciento o del 2.5 al 15 por ciento a través de la implementación de este método. Por ejemplo, la aspersión del líquido de enfriamiento puede reducir el consumo del electrodo oxidativo entre un 1.5 y un 30 por ciento en comparación con un método similar en el que sólo el agua enfría el electrodo del horno. Como se apreciaría en la técnica, una reducción en el consumo de electrodos oxidativos de incluso el 1.5 por ciento se considera significativa y puede proporcionar ahorros sustanciales. En algunas realizaciones, la reducción en el consumo de electrodos es evidente dentro de las 24 horas posteriores a la aspersión del líquido de enfriamiento.

El consumo de electrodos se determina normalmente durante un período de tiempo. Por ejemplo, en una realización, el consumo de electrodos se calcula como el consumo durante un período de una semana. En otras realizaciones, el consumo puede ser calculado durante un período de dos semanas. En otras realizaciones más, el consumo de electrodos se calcula durante un período de un mes. En otras realizaciones más, el consumo se calcula para períodos superiores a aproximadamente 3 días. En algunas realizaciones, el consumo se calcula a diario, semanal o mensualmente. El consumo de electrodos puede ser determinado mediante métodos conocidos por un experto en la técnica, por ejemplo, mediante la medición del valor de la corriente de Foucault en el electrodo, que puede ser correlacionada con la velocidad de consumo. Véase la patente US No. 4,048,556. En algunas realizaciones, el consumo real de electrodos se puede medir en el proceso de sustitución de los electrodos del horno por tonelada de acero producido. Por ejemplo, se puede medir el número de hornadas de una masa conocida de acero producida por el horno (por ejemplo, EAF o LMF) por electrodo. Como otro ejemplo, el consumo de electrodos se puede medir retirando el electrodo, pesando el electrodo y repitiendo este proceso para otros electrodos que se utilicen dentro de un período de tiempo específico.

La FIG. 1 ilustra un ejemplo de una disposición de enfriamiento por aspersión para un horno de corriente continua. El soporte 2 de electrodo sostiene el electrodo 1 de grafito que se extiende en el horno a través de la parte superior del horno 6. El tamaño del electrodo 1 de grafito normalmente varía de 75 mm a 700 mm de diámetro, aunque se encuentran disponibles electrodos de hasta 800 mm.

El sistema de enfriamiento por aspersión (es decir, el banco de enfriamiento) tiene un cabezal 3 de distribución de anillo circular y un cabezal 4 de distribución de aspersión vertical. El cabezal 4 de distribución de aspersión vertical incluye una pluralidad de boquillas 5a desde las que se asperja el líquido 5 de enfriamiento sobre la circunferencia exterior del electrodo 1. De esta manera, el enfriamiento del electrodo se produce desde el soporte 2 de electrodo hasta la parte superior del horno 6. En el punto de impacto, o donde el líquido de enfriamiento se encuentra con la superficie del electrodo, la temperatura del líquido de enfriamiento puede estar por debajo del punto de ebullición del líquido. Si el líquido de enfriamiento ingresa al horno durante el funcionamiento, se evaporaría antes de llegar al baño de metal fundido y evitaría una explosión.

En la mayoría de las realizaciones, el líquido de enfriamiento se aplica constantemente a los electrodos. La aplicación de líquido de enfriamiento se puede mantener generalmente por debajo de 4.5 m<sup>3</sup>/h para un electrodo de 600 mm de diámetro. Los caudales para electrodos más pequeños y más grandes se pueden variar en base al área de cobertura de la superficie. Dependiendo de la aplicación, el caudal puede variar desde 0.25 m<sup>3</sup>/h a 10m<sup>3</sup>/h, desde 1m<sup>3</sup>/h a 5m<sup>3</sup>/h, o desde 2 m<sup>3</sup>/h a 4m<sup>3</sup>/h, para cada electrodo (es decir, fase). El líquido de enfriamiento se puede asperjar en una dirección ortogonal al eje longitudinal del electrodo 1 de grafito, o en un ángulo hacia abajo o hacia arriba, por ejemplo, de 10° a 35° con respecto a la horizontal. El líquido de enfriamiento se puede asperjar con una presión de chorro de 0.5 a 3 kg/cm<sup>2</sup> y a un caudal de 0.8 a 6.0 l/minuto, o hasta 75 l/minuto (alrededor de 20 galones/minuto), para cada electrodo. Se asperja una cantidad suficiente de líquido de enfriamiento en el electrodo para mantener el electrodo refrigerado. En este proceso, se aplica una cantidad suficiente de líquido de enfriamiento a la superficie del electrodo del horno para reducir el consumo del electrodo oxidativo, en comparación con un método similar en el que sólo el agua enfría el electrodo del horno. En algunas realizaciones, se aplica una cantidad suficiente del líquido de enfriamiento a la superficie del electrodo del horno de modo que el líquido de enfriamiento forme una película en toda la superficie circunferencial exterior del electrodo.

Cuando el aspersor del líquido 5 de enfriamiento entra en contacto con la superficie caliente del electrodo 1 de grafito, el líquido de enfriamiento se evapora para producir un efecto de enfriamiento en al menos la porción del electrodo 1 situada encima del horno. En algunas realizaciones, el electrodo 1 se puede enfriar uniformemente en toda su longitud. Dado que el electrodo de grafito tiene una excelente conductividad, cuando la porción superior del electrodo 1 de grafito se enfría, la porción inferior del electrodo 1 también se enfría satisfactoriamente, de modo que es posible conseguir una gran reducción del consumo del electrodo. En otras palabras, el consumo del electrodo 1 debido a la oxidación puede ser suprimido.

En esta realización, el tensioactivo y el agua se pueden premezclar fuera de línea para formar un líquido de enfriamiento que se suministra a la ruta 13 de flujo a través de la bomba 8 (por ejemplo, una bomba de refuerzo).

La FIG. 2 ilustra un ejemplo de la disposición de enfriamiento por aspersión para un horno de corriente alterna. Hay tres electrodos en el horno de corriente alterna y cada uno de los electrodos suministra una de las fases eléctricas.

5 Similar a la FIG. 1, la FIG. 2 incluye una ruta 13 de flujo que permite que el líquido de enfriamiento fluya hacia el sistema de enfriamiento por aspersión. Una válvula 9 de control regula el flujo para el enfriamiento por aspersión a un electrodo individual, basándose en la retroalimentación 17 desde un sistema de control distribuido (DCS) 7. Un caudalímetro 10 en línea mide el caudal de líquido de enfriamiento y luego envía una retroalimentación 16 al DCS 7 que acciona una bomba 8 (por ejemplo, una bomba de refuerzo) para suministrar líquido de enfriamiento, que se premezcla fuera de línea. Por ejemplo, el DCS 7 envía una retroalimentación 14 a la bomba 8 para suministrar el líquido de enfriamiento para enfriar los electrodos. Los parámetros (por ejemplo, parámetros de electrodo y aspersión) para esta disposición de enfriamiento por aspersión pueden ser los mismos o sustancialmente los mismos que los descritos para la FIG. 1.

15 La FIG. 3 ilustra un ejemplo de la disposición de enfriamiento por aspersión para un horno de corriente alterna. En esta realización, el dispositivo de enfriamiento por aspersión incluye un patín 11 de medición química para suministrar el tensioactivo en línea. El caudalímetro 10 en línea mide el caudal de líquido de enfriamiento y luego envía una retroalimentación 16 al DCS 7 que acciona: (i) una bomba 8 (por ejemplo, una bomba de refuerzo) para suministrar agua de enfriamiento, y (ii) un patín 11 de medición química para suministrar el tensioactivo. Por ejemplo, el DCS 7 puede enviar una retroalimentación 14 a la bomba 8 para suministrar el agua de enfriamiento, como se ha descrito anteriormente en relación con la FIG. 2. El DCS 7 También puede realizar los cálculos y enviar una retroalimentación 15 digital o analógica al patín de medición química para suministrar el tensioactivo a una dosificación precisa y discreta. La dosificación y el tiempo entre cada dosificación se pueden determinar empíricamente. Por ejemplo, la dosificación y el momento pueden depender del funcionamiento del horno y del estado del baño de acero. El tensioactivo puede ser suministrado desde el patín 11 de medición química en una forma pura (si es líquido) o como una solución concentrada. El tensioactivo se puede introducir (por ejemplo, inyectado en) la ruta 13 de flujo en la ubicación 12, aguas abajo de la bomba 8. El suministro del tensioactivo en la ubicación 12 puede permitir la mezcla del tensioactivo con el agua para formar el líquido de enfriamiento para enfriar los electrodos. En algunas realizaciones, el tensioactivo se introduce en la ruta 13 de flujo en una ubicación aguas arriba de la bomba 8. Los parámetros (por ejemplo, parámetros de electrodo y aspersión) para esta disposición de enfriamiento por aspersión pueden ser los mismos o sustancialmente los mismos que los descritos para las FIGS. 1 y 2.

25 En consecuencia, el consumo de los electrodos se puede reducir mediante la aplicación de un agente de superficie activa (tensioactivo) en el líquido de enfriamiento por aspersión en el electrodo. La presencia del tensioactivo en el agua de enfriamiento por aspersión del electrodo aumenta la humectabilidad del agua, reduce la tensión superficial y cambia las características de ebullición del agua, creando así una película de enfriamiento más uniforme sobre el electrodo 1 durante el funcionamiento. La película más uniforme reducirá la oxidación del electrodo, reduciendo así la velocidad de consumo del electrodo.

35 La utilización de tensioactivos en combinación con un antioxidante (por ejemplo, fosfato cálcico o polifosfato) puede mejorar el rendimiento del líquido de enfriamiento y, por tanto, puede reducir aún más la velocidad de consumo del electrodo. En algunas realizaciones, el líquido de enfriamiento comprende además un aditivo antioxidante o una mezcla de aditivos antioxidantes de la cantidad y tipo descritos en la solicitud provisional de US No. 62/745,697, titulada "Spray Cooling Furnace Electrodes With A Cooling Liquid That Contains Antioxidants," presentada el 15 de octubre de 2018; la solicitud provisional de US No. 62/779,457 titulada "Method Of Protecting Furnace Electrodes With A Cooling Liquid That Contains An Antioxidant Additive," presentada el 13 de diciembre de 2018; y la solicitud de patente US No. 16/559,099, titulada "Methods Of Protecting Furnace Electrodes With Cooling Liquid That Contains An Additive," presentada el 3 de septiembre de 2019. El líquido de enfriamiento puede incluir al menos un aditivo antioxidante tales como haluros, nitratos, sulfatos, silicatos, fosfatos y sus derivados, polifosfatos y sus derivados, boratos y similares. Se cree que un líquido de enfriamiento que contiene una combinación del tensioactivo y el aditivo antioxidante puede lograr un efecto sinérgico en la reducción del consumo del electrodo en comparación con el uso de un líquido de enfriamiento que contiene o bien el tensioactivo o el aditivo antioxidante.

50

#### Ejemplo 1

Un líquido de enfriamiento que contenía agua y tensioactivos (un polímero de oxirano, por ejemplo, un óxido de polietileno y nonilfenol) fue asperjado sobre electrodos calientes de ultra alta potencia (UHP). Cada electrodo tenía un diámetro de 400 mm. El líquido de enfriamiento contenía una cantidad total de tensioactivo de 250 mg/l de líquido de enfriamiento. La velocidad de aspersión del fluido de enfriamiento era dinámica y se basaba en las condiciones del horno en funcionamiento. La velocidad de aspersión osciló entre 11.6 litros (3 galones) y 75.8 litros (20 galones) por minuto por electrodo durante el calentamiento del electrodo. El consumo de electrodos se redujo de 1.08 kg/tonelada (2.4 lb/tonelada) (ver Ejemplo comparativo 1) a 0.99 kg/tonelada (2.2 lb/tonelada) durante un período de evaluación de dos semanas.

Ejemplo 2

5 Este ejemplo probó el efecto de un segundo tensioactivo en el consumo oxidativo de un electrodo en un sitio de fabricación de acero. El sitio de fabricación de acero experimenta una velocidad promedio de consumo de electrodos de aproximadamente 1.13-1.58 kg/tonelada (2.5-3.5 lb/tonelada). La reducción en el consumo de electrodos se midió semanalmente y se muestra en la Fig. 4.

10 Como se muestra en la Fig. 4, la dosificación del tensioactivo se mantiene constante en 500 mg/l durante las semanas 4-6 y en 1000 mg/l durante las semanas 7- 9. En las semanas 4-6, se observó una reducción en el consumo de electrodos de alrededor del 1.8%. Cuando la dosificación del tensioactivo se aumentó a 1.000 mg/l en las semanas 7-9, se observó una reducción en el consumo de electrodos de alrededor del 3.0 %. Por lo tanto, a dosificación más altas, se confirmaron niveles crecientes de protección del electrodo y la oxidación de la pared lateral del electrodo disminuyó.

Ejemplo 3

15 Este ejemplo probó el efecto de un tensioactivo en el consumo oxidativo de un electrodo en otro sitio de fabricación de acero. Este tensioactivo es el mismo tensioactivo que se utiliza en el Ejemplo 2. La reducción en el consumo de electrodos se midió diariamente y se muestra en la Fig. 5.

20 Como se muestra en la Fig. 5, la dosificación del tensioactivo se incrementa de 200 mg/l a 300 mg/l y finalmente a 400 mg/l. A una dosificación de 300 mg/l, se observó una reducción en el consumo de electrodos de aproximadamente el 1.75 %. Cuando la dosificación del tensioactivo se incrementó a 400 mg/l, la reducción en el consumo del electrodo fue de aproximadamente el 1.73%. Cuando no se utilizó ningún tensioactivo, el consumo de electrodos aumentó en comparación con cuando el tensioactivo estaba presente en dosificación de 300 mg/L y 400 mg/L.

Ejemplo comparativo 1

25 Se asperjó un líquido de enfriamiento que contenía solo agua sobre electrodos calientes de potencia ultraalta (UHP). Cada electrodo tenía un diámetro de 400 mm. La velocidad de aspersion del líquido de enfriamiento era dinámica y se basaba en las condiciones del horno en funcionamiento. La velocidad de aspersion osciló entre 11.6 litros (3 galones) y 75.8 litros (20 galones) por minuto por electrodo durante el calentamiento del electrodo. Se determinó que la velocidad de consumo de electrodos era de 1.08 kg/tonelada (2.4 lb/tonelada) durante un período de evaluación de dos semanas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para enfriar un electrodo (1) de horno hecho de grafito, que comprende:
- 5 mezclar un tensioactivo que comprende un alquilfenol y un polímero de oxirano con agua para formar un líquido (5) de enfriamiento, por lo que el tensioactivo está presente en el líquido de enfriamiento en una cantidad en el rango de entre 10 mg/l a 5.000 mg/l, y
- asperjar al menos una superficie del electrodo (1) del horno dispuesta adyacente a un horno (6) con el líquido (5) de enfriamiento, enfriando así el electrodo (1) del horno.
2. El método de la reivindicación 1, en donde el alquilfenol comprende un nonilfenol o un compuesto de nonilfenoxi.
3. El método de la reivindicación 1, en donde el polímero de oxirano comprende un óxido de polietileno o un óxido de polipropileno.
- 10 4. El método de la reivindicación 1, en donde el polímero de oxirano tiene un peso molecular en el rango de 1.000 g/mol a 100.000 g/mol.
5. El método de la reivindicación 1, en donde la tensión superficial del líquido de enfriamiento está en un rango de 54.9 mN/m a 69.5 mN/m a temperatura ambiente.
- 15 6. El método de la reivindicación 1, en donde la tensión superficial del líquido de enfriamiento está en un rango de 58.5 mN/m a 65.8 mN/m a temperatura ambiente.
7. El método de la reivindicación 1, en donde el tensioactivo está presente en el líquido de enfriamiento en una cantidad en el rango de 50 mg/l a 1.000 mg/l.
8. El método de la reivindicación 1, en donde el tensioactivo está presente en el líquido de enfriamiento en una cantidad
- 20 en el rango de 100 mg/l a 700 mg/l.
9. El método de la reivindicación 1, en donde el tensioactivo está presente en el líquido de enfriamiento en una cantidad en el rango de 300 mg/l a 600 mg/l.
10. El método de la reivindicación 1, en donde el electrodo (1) de horno es un electrodo de horno de arco eléctrico o un electrodo de horno de metalurgia de cuchara.
- 25 11. El método de la reivindicación 1, en donde la superficie del electrodo (1) del horno se calienta a una temperatura de al menos 700°C.
12. El método de la reivindicación 1, mediante el cual el líquido de enfriamiento se lleva a cabo para formar una película sobre la superficie del electrodo del horno cuando se asperja sobre la superficie.

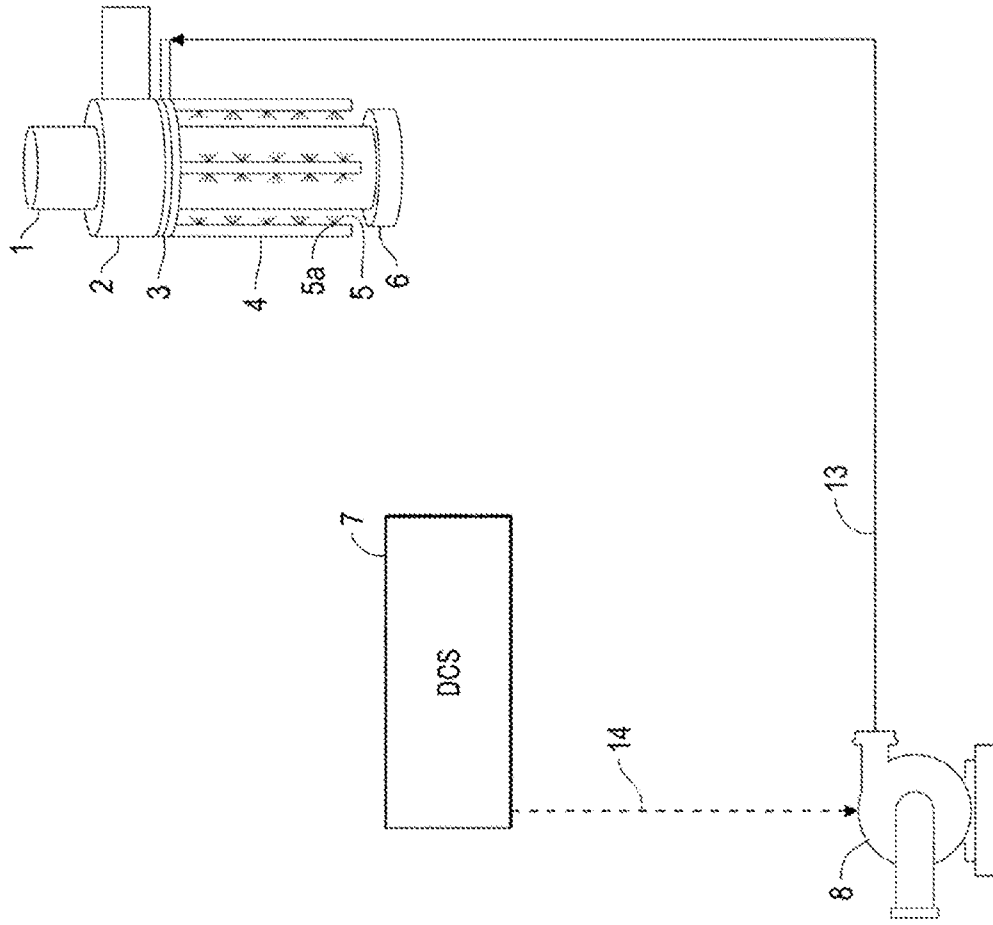


FIG. 1

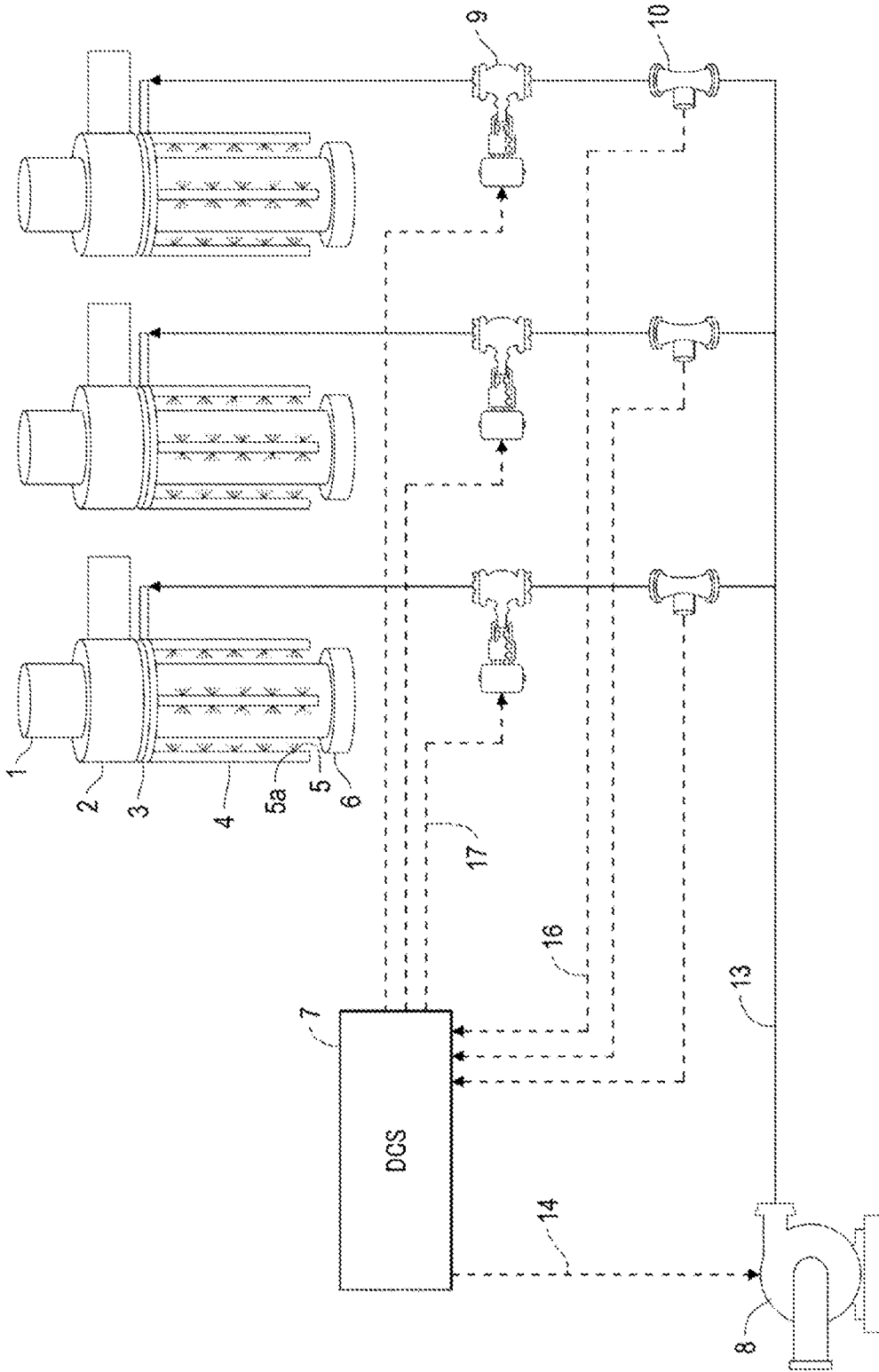


FIG. 2

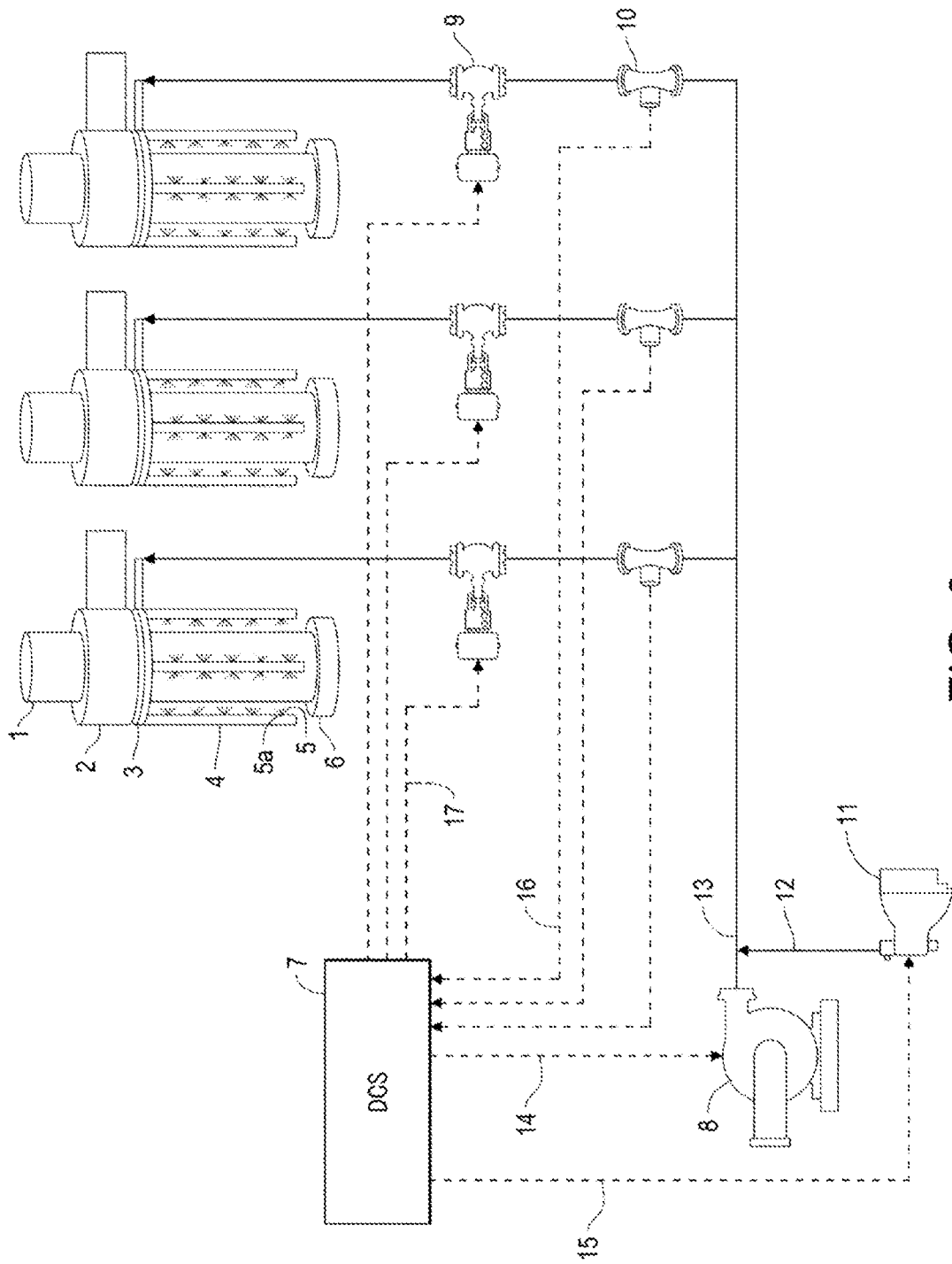


FIG. 3

EFFECTOS DEL TENSOACTIVO EN EL CONSUMO DE ELECTRODOS

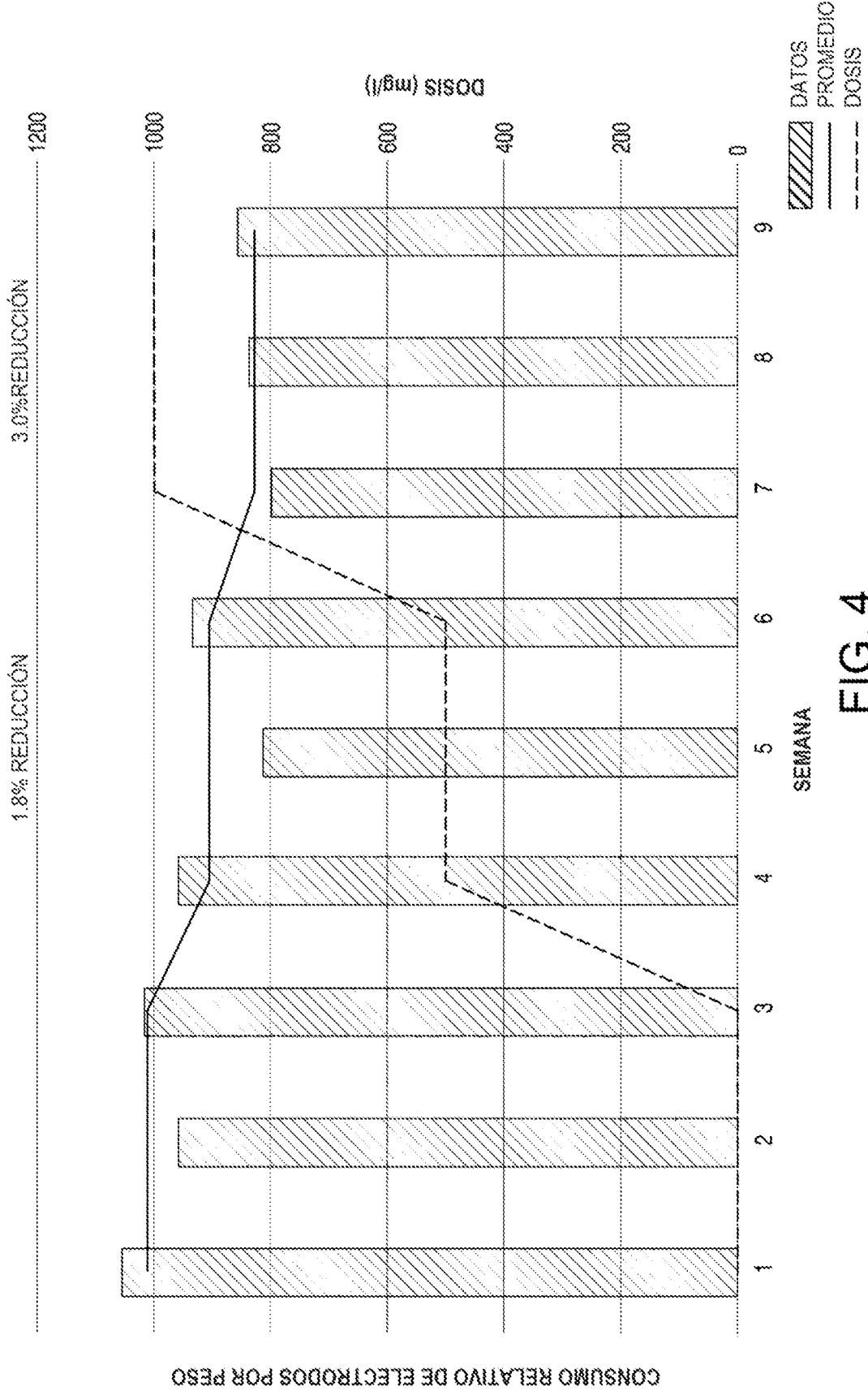
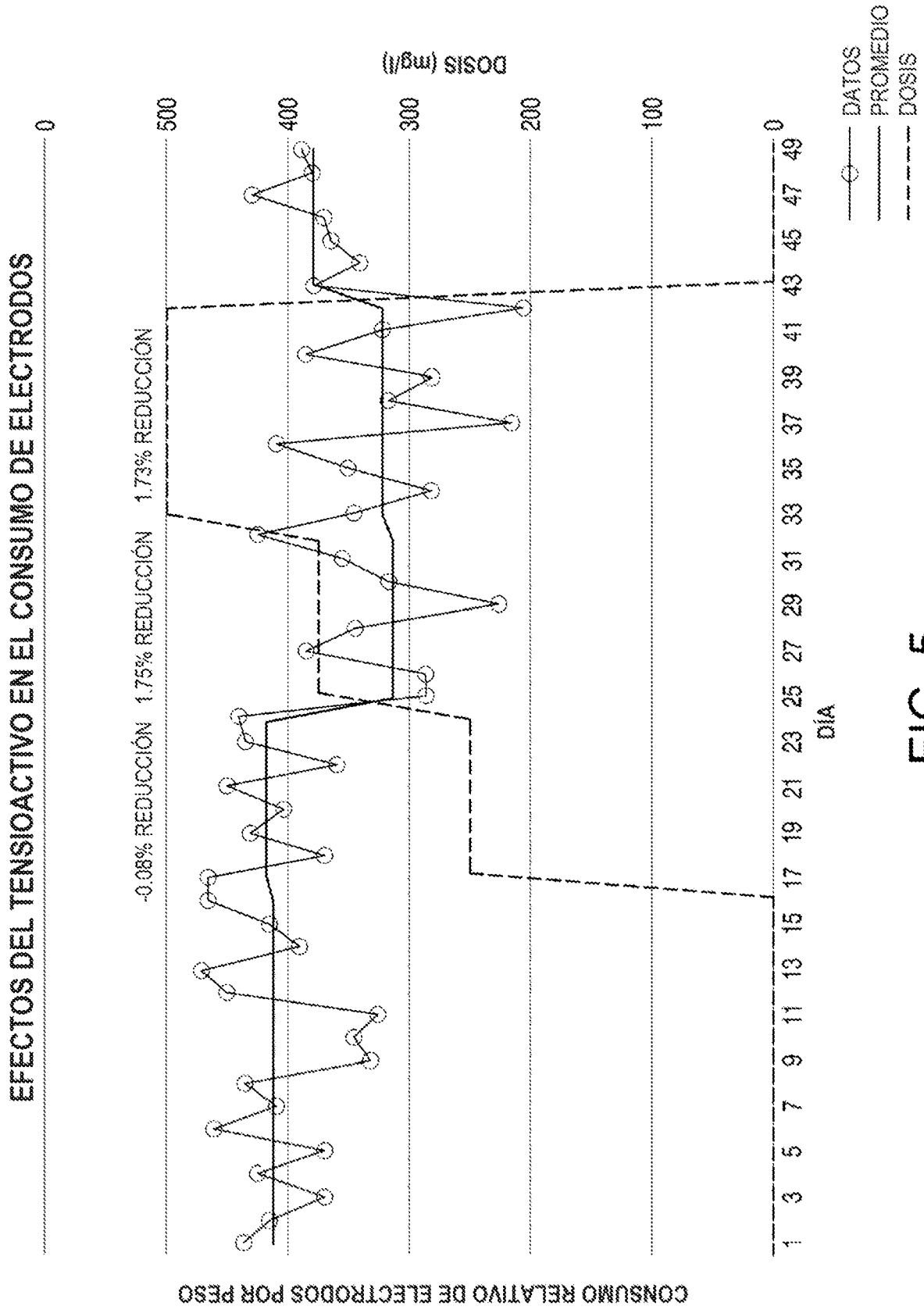


FIG. 4



**FIG. 5**