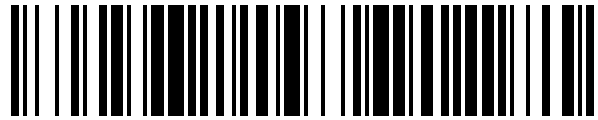


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **1 295 681**

21 Número de solicitud: 202230149

51 Int. Cl.:

G01N 27/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE MODELO DE UTILIDAD

U

22 Fecha de presentación:

05.06.2020

43 Fecha de publicación de la solicitud:

29.11.2022

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)**

**Ramiro de Maeztu, 7
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**GUERRERO GRANADOS, José Manuel;
ENFEDAQUE CASTILLA, Alejandro y
PLATERO GAONA, Carlos Antonio**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

54 Título: **SISTEMA DE MEDICIÓN DE DEGRADACIÓN O CONTAMINACIÓN DE FLUIDOS MEDIANTE UN SENSOR INDUCTIVO DE NÚCLEO HUECO**

ES 1 295 681 U

DESCRIPCIÓN

Sistema de medición de degradación o contaminación de fluidos mediante un sensor inductivo de núcleo hueco

Objeto de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de medición de degradación o contaminación de fluidos utilizados en procesos e instalaciones industriales capaz de determinar el envejecimiento del fluido y calcular la cantidad de los componentes de su degradación que se encuentren disueltos manteniendo el proceso industrial en funcionamiento.

10 El sistema de medición de degradación de fluidos según la presente invención es de utilidad en procesos y máquinas que utilizan fluidos como refrigerante, aislante, lubricante o en etapas de tratamiento para conocer por medio de un monitoreo su estado o composición. La presente invención tiene aplicación, por ejemplo y sin carácter limitativo, en los transformadores de potencia para conocer el estado de su aceite aislante y refrigerante y en el sector de control de calidad de agua para conocer su estado.

15 Antecedentes de la invención

Es recomendable y en la mayoría de los casos de carácter obligatorio que las instalaciones industriales posean sistemas de medición de la degradación de fluidos utilizados en sus procesos para evitar fallos en sus equipos o desviaciones de valores de concentraciones indeseadas. Además, un correcto mantenimiento del fluido se traduce en una extensión en el
20 tiempo de vida restante del equipo para el que trabaja.

En el caso de los fallos en equipos provocados por la degradación del fluido en su interior, habitualmente por el envejecimiento del fluido o por procesos secundarios no deseados, la mayoría de los dispositivos de medición son de variada tecnología y se caracterizan por llevar a cabo su medición en laboratorios y por tanto necesitan detener el proceso industrial o parte
25 de él, no siendo así aquellos que lo mantienen en funcionamiento.

En maquinaria sometida a tensión eléctrica o rotativa entre otras, la extracción de una muestra del fluido para posterior medición en laboratorio y así conocer el estado del fluido, por motivos de seguridad, se debe realizar con la maquinaria fuera de servicio.

30 Los dispositivos de medición de la degradación de fluidos que permiten el funcionamiento del proceso industrial sin necesidad de ser parados son de fundamental importancia para aquellas instalaciones que no puedan permitirse detenerlos, además, para el resto de instalaciones les

confiere un abanico de ventajas como son la reducción en los costes de arranque, mantiene los niveles de producción u horas en operación y disminuye el lucro cesante entre otras, todo ello se traduce en una considerable reducción de las pérdidas por diagnóstico en parada y mantenimiento.

5 La necesidad de detectar la degradación de fluidos se produce para evitar que aparezcan o aumenten diversas alteraciones en las características del fluido como pueden ser entre otras:

- Una disminución en su viscosidad debido a la ruptura de sus moléculas, provocada por las elevadas temperaturas a las que son sometidos. Esto perjudica gravemente la función de lubricación asociada a ciertos fluidos en procesos industriales.

10 • Un aumento en la concentración de impurezas debido a reacciones químicas. Cabe destacar, en fluidos utilizados como aislantes y en el caso de máquinas con tensión eléctrica, la formación de burbujas en su interior causa potentes descargas eléctricas e incluso la ruptura del aislante. Además, la presencia de impurezas reduce el parámetro fundamental del aislante, su rigidez dieléctrica, y por lo tanto reduce la
15 tensión máxima que puede soportar la máquina sin ser dañada.

• En otras aplicaciones se puede producir un aumento en la viscosidad del fluido debido a reacciones de oxidación que dan lugar a la aparición de polímeros no deseados, entre otras, en estaciones de tratamiento de fluidos o en instalaciones en las que sean requeridos bajos valores de pérdida de carga en el interior del conducto por el que circule el fluido por su tendencia a la deposición en las paredes, como es el caso de
20 los sistemas de refrigeración en los que es realmente importante que se mantengan los niveles de paso de caudal del fluido.

- Un aumento en el riesgo de cavitación por la aparición de burbujas en fluidos sometidos a diferencias de presiones o elevadas temperaturas.

25 Entre las técnicas de medición de la degradación de fluidos cabe destacar:

• La espectroscopía, basada en el principio fundamental de que dos elementos no tienen la misma estructura atómica y por ello cuando son sometidos a una fuente de energía cada uno emite diferente radiación electromagnética en una determinada longitud de onda. Si esta radiación es dispersada por un prisma, puede ser conocido el espectro
30 del elemento y por tanto su composición exacta en función de la intensidad de la línea de color asociada al espectro.

- La cromatografía analítica, permite separar y posteriormente medir a la salida, la

concentración de los componentes en una disolución compleja, mezclada con una fase móvil, a través de su paso por una fase estacionaria, inmiscible con la fase líquida, que hace que cada componente de la mezcla avance a una velocidad diferente y finalmente ser recogidos por separado.

5 Ambas técnicas se caracterizan por entregar valores precisos y fiables de la concentración de los componentes del fluido a analizar, sin embargo, son técnicas realmente costosas y el proceso de medición se realiza en muestras que previamente han sido extraídas de la máquina, con esta fuera de servicio por motivos de seguridad.

10 Esto presenta una serie de desventajas como son entre otras, mayores costes de arranque para volver a poner la máquina en operación y una mayor inversión inicial con el fin de presentar una duplicidad en la máquina para evitar tener que parar el proceso industrial o parte de él, respecto a técnicas que dispongan dispositivos de medición que permitan realizar el proceso con la máquina funcionando.

15 También existen tecnologías como son la espectroscopía de fibra óptica portátil, técnica no destructiva que proporciona en un breve período de tiempo información estructural del fluido, permitiendo así conocer su composición. También son de utilidad los sensores ópticos que determinan en tiempo real el estado del fluido en función de la radiación recibida en su receptor, tras su paso por el fluido, emitida por una fuente de energía, sin embargo, necesitan de un correcto mantenimiento ya que si su receptor es taponado por los productos de
20 degradación pueden arrojar valores alejados de la realidad.

El estado de la técnica correspondiente a la presente invención se describe, en más detalle, en los documentos que siguen a continuación:

25 La patente US9964483B2 (08.05.2018), John Coates and Robert Qualls, "LOW TEMPERATURE SAFE SENSOR PACKAGE AND FLUID PROPERTIES SENSOR", trata de sensores ópticos para la medición del estado de fluidos. Analizando la diferencia entre entrada y salida atendiendo a la longitud de onda del espectro óptico enviada por un circuito que atraviesa un fluido, el estado de los fluidos se puede determinar con respecto a otros con distinto comportamiento dentro de la misma mezcla.

30 Por otro lado, la patente US10139215 B2 (27.11.2018), Kjetil Folgero, Jan Kocbach, Kjetil Haukalid, "PERMITTIVITY MEASUREMENTS OF LAYERS" se refiere a la medida de la capacidad entre un fluido y la pared de depósitos o decantados en las paredes interiores de una tubería o conducto. Atendiendo a la deposición de materiales decantados en la pared de la tubería, esta varía la respuesta en frecuencia. El análisis se hace con frecuencias muy

elevadas (de 100 kHz a 40 GHz), necesita varios aparatos de medida y se basa en la medida de impedancia según varía el fluido. Con rangos tan altos de frecuencia, las medidas pueden verse afectadas por fenómenos perturbadores externos ajenos al circuito. Finalmente, la invención estima la anchura del depósito de materiales decantados en las paredes de la tubería pero no caracteriza la degradación del fluido principal.

Una tercera invención es la patente US8807957 B2 (19.08.2014), Steven W. Hampton, "APPARATUS FOR DETECTING THE FLUID CONDITION IN A PUMP". En esta invención se realiza un análisis de respuesta en frecuencia del estado de la bomba que trabaja con un fluido que se quiera diagnosticar. Si el fluido se degrada, la bomba empieza a trabajar con vibraciones u otros efectos de respuesta en frecuencia distintos, que mediante un análisis de respuesta en frecuencia desde el sistema de control de la bomba se puede medir. Este sistema es un sistema que adquiere resultados del fluido, pero solamente detecta degradación. A su vez, la medición se hace de forma indirecta al fluido lo que puede proporcionar incertidumbre en la medida de fluido. Sin embargo, la medida en bajas frecuencias dificulta la entrada de errores adicionales por altas frecuencias como en la anterior invención, pero un error en la propia máquina, como puede ser una falta a tierra en la misma podría introducir medidas en estas bajas frecuencias que haga que los datos recogidos puedan ser malinterpretados.

Una cuarta invención relevante se propone en la patente RU26521482 C2 (25.04.2018), Cheril Margaret Sarman et al. "SENSOR SYSTEMS FOR MEASURING INTERFACE LEVEL IN MULTIPHASE FLUID COMPOSITION". En esta invención la medida de composición de fluido se realiza a través de dos bobinas. La primera es por la que se inyecta una tensión y además se realiza una medida de la impedancia total en frecuencia desde dicha primera bobina. En la segunda se conecta en sus terminales un condensador que modifica la resonancia del circuito. Además, el propio fluido modifica el condensador, así como su resistencia. El barrido en frecuencia permite la caracterización de la composición del fluido en dos componentes para fracciones volumétricas considerables no teniendo resolución para la captación de partes por millón ya que el enfoque de la invención es detectar la composición en tanques de almacenamiento de hidrocarburos o semejantes. La transmisión entre bobinas se hace por núcleo ferromagnético y el fluido no entra en contacto con estas por las capas exteriores que dispone el sensor para su protección. Adicionalmente, se requieren tantos sensores como puntos de análisis se quieran monitorear.

Finalmente, una quinta invención se explica en: Pérez, A.; Hadfield, M. Low-Cost Oil Quality Sensor Based on Changes in Complex Permittivity. *Sensors* 2011, 11(11), 10675-10690. En

esta invención, la permitividad del fluido es medida con un análisis de respuesta en frecuencia a altas frecuencias en un sensor conectado al fluido. Atendiendo a las variaciones en el argumento de la impedancia compleja se puede cuantificar la degradación de aceites gracias al factor de disipación que es el cociente entre la capacidad que permite el almacenamiento de energía en el sensor y la capacidad que implica pérdidas en el dieléctrico, o fluido.

En la actualidad existe la necesidad de desarrollar sistemas y métodos de monitoreo del estado de fluidos con un coste competitivo, poca instrumentación, que impliquen bajos costes de mantenimiento, que arrojen valores precisos en rangos de concentraciones bajas, obtenidos en el menor tiempo posible y que permitan mantener el equipo en funcionamiento.

10 Descripción de la invención

La presente invención pretende abordar todas las limitaciones, desventajas e inconvenientes de los sistemas y métodos de medición de degradación o contaminación de fluidos de la técnica descrita anteriormente.

Para ello, el objeto de la invención se refiere a un sistema de medición de degradación o contaminación del fluido con el que opere una máquina o línea de proceso en una instalación basada en la respuesta en frecuencia del dispositivo en contacto con el fluido y estando provista dicha máquina o línea de proceso de al menos un mecanismo de apertura o espacio suficiente para instalar momentánea o permanentemente el sistema de medición, caracterizado por que comprende:

- a) un sensor, que consta de al menos dos bobinas con su circuito magnético común y hueco donde aloja el fluido a analizar, donde una primera bobina está configurada para inyectar tensión y una segunda bobina está configurada para medir tensión;
- b) un subsistema de alimentación configurado para inyectar una onda de tensión con amplitud constante y frecuencia variable en un lado de corriente alterna de frecuencia variable, que alimenta la primera bobina, provisto de semiconductores para la inversión de corriente continua a corriente alterna de frecuencia variable;
- c) un dispositivo medidor de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable (15) y un dispositivo medidor de tensión de inyección (6);
- d) un dispositivo de medida de tensión de salida, configurado para medir la tensión en bornes de la segunda bobina a partir de una impedancia de medida de valor constante y conocido conectada entre sus terminales y una puesta a tierra del sistema;

- e) un dispositivo de medida de la temperatura del fluido provisto de al menos una sonda de temperatura (10);
- f) un subsistema de comparación de las tensiones inyectadas y medidas en ambas bobinas del sensor, que calcula de ganancia del circuito configurado para comparar la amplitud de la señal de salida respecto a la amplitud de la señal de entrada, previamente fijada y de valor conocido, para cada valor de frecuencia, tal que:

$$A(dB) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)$$

donde:

$A(dB)$: es la ganancia de la amplitud de la señal de tensión expresada en decibelios en escala logarítmica para cada valor de frecuencia.

U_{out} : es la amplitud de la señal de tensión de salida de un equipo eléctrico colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar.

U_{in} : es la amplitud de la señal de tensión de entrada a un equipo eléctrico colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar.

estando configurado además el subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del sistema para procesar, tratar y enviar al subsistema de cálculo de contaminación del fluido principal, por medio de una interfaz, el conjunto discreto y variable de valores de la ganancia de la señal;

- g) un subsistema de cálculo de contaminación del fluido principal configurado para determinar la concentración de cada componente de la de dicho fluido, a partir de un modelo de concentraciones, M , en función de los valores de ganancia, $A[dB]$, preasignados a diferentes temperaturas y fluidos en una base de datos; y

- h) un dispositivo de emisión de alarma, configurado para emitir una señal de alarma en caso de que el valor de concentración supere un umbral previamente establecido.

En una de las realizaciones de la invención, el dispositivo de alimentación configurado para inyectar la tensión con amplitud constante y frecuencia variable está alimentado desde el lado de corriente continua provisto de una fuente de corriente continua.

En una de las realizaciones de la invención, el dispositivo de alimentación configurado para inyectar la tensión con amplitud constante y frecuencia variable está alimentado desde el lado de corriente continua con un condensador conectado entre un polo positivo y uno negativo

conectados a su vez a elementos rectificadores IGBTs que permiten la rectificación desde el lado de corriente alterna de la red eléctrica.

De acuerdo a una de las realizaciones de la invención, la concentración de cada componente del fluido está determinada por la expresión:

$$5 \quad M = f(A[dB]) = k_1 \cdot e^{\alpha \cdot A} + k_2 \cdot e^{\beta \cdot A}$$

donde:

M: es la concentración de un agente contaminante en el fluido,

A: es la ganancia de la tensión expresada en decibelios en escala logarítmica para un valor de frecuencia constante característico, propio del fluido a
10 monitorear, previamente conocido,

k_1 , k_2 , α , β : son parámetros matemáticos ajustados característicos del modelo matemático de la evolución de la concentración con la degradación del fluido generado para cada aplicación para cada fluido que se quiera monitorear, previamente ensayado.

15 En una realización de la invención, el sistema de medición de degradación del fluido está provisto de un dispositivo de medida configurado para medir la tensión para cada valor de frecuencia en terminales de una impedancia de valor constante y conocido (Z_2) conectada en terminales de salida de un equipo eléctrico, pudiendo este estar conectado a tierra, colocado
20 en el interior de un recipiente con el fluido a analizar, y entregar dicha lectura de tensión a un subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito.

En esta realización de la invención, el valor de la tensión de salida (U_{out}), para cada valor de frecuencia, depende de los parámetros eléctricos característicos del fluido (permeabilidad magnética, permitividad eléctrica y resistividad) que modifican el valor de la impedancia del equipo eléctrico con cada variación en la composición del fluido, es decir con el proceso de
25 degradación, tal que:

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{Z_2}{|Z_2 + Z_T|}$$

donde:

U_{out} : es la amplitud de la señal de tensión de salida en el secundario de un equipo eléctrico, colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar, medida en

terminales de una impedancia de valor conocido.

Z_2 : es el valor de la impedancia, de valor conocido, colocada en terminales de salida de un equipo eléctrico, colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar.

5 Z_T : es el valor de la impedancia de un equipo eléctrico, colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar.

U_{in} : es la amplitud de la señal de tensión de entrada a un equipo eléctrico, colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar.

10 Asimismo, el sistema según la presente invención permiten la medición de la degradación del fluido en instalaciones, máquinas o líneas de proceso sin importar la función que realice el fluido en su interior, pudiendo ser refrigerante, aislante, lubricante o el principal activo de la instalación como puede ser en estaciones de tratamiento.

15 En otra realización de la invención, el sistema de medición de degradación del fluido está provisto de un dispositivo de medida, configurado para medir la corriente que circula a la salida del equipo eléctrico (I_{out}) para cada valor de frecuencia, y de una impedancia de valor constante y conocido (Z_2) en paralelo.

Por tanto, la tensión de salida (U_{out}) enviada a un subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito en dicha segunda realización del sistema de medición de degradación de fluidos, viene determinada como:

$$\underline{U}_{out} = \underline{Z}_2 \cdot \underline{I}_{out}$$

20 donde:

I_{out} : es la amplitud de la señal de corriente a la salida de un equipo eléctrico, colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar, medida en terminales de una impedancia de valor conocido;

25 U_{out} : es la amplitud de la señal de tensión de salida de un equipo eléctrico, colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar, medida en terminales de una impedancia de valor conocido;

Z_2 : es la impedancia, de valor conocido, colocada a la salida de un equipo eléctrico, colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar.

30 En una realización de la invención, se contempla además: asignar frecuencias a los valores de ganancia calculados y obtener una función de transferencia; y corregir la función de

transferencia por desviación de temperatura, basado en la medida de temperatura del fluido y una temperatura estándar de conversión de tal forma que se obtiene una señal de función de transferencia del sistema corregida para ser contrastada con los modelos matemáticos previos obtenidos a partir de ensayos de degradación tipo atendiendo al tipo de degradación que se pueda dar en función de la aplicación industrial del fluido a monitorizar en cuestión.

La presente invención muestra ciertas ventajas frente al estado de la técnica previo como es entre otras el monitoreo online del estado de fluidos con sensores económicos. Esta medida de monitoreo de fluidos online puede ser de gran ventaja por ejemplo (no limitativo) en aceites de transformadores con éste en operación. La invención contempla poca instrumentación, lo que significa bajos costes de mantenimiento y adicionalmente el ensayo se puede realizar con sencillez y precisión mediante la respuesta en frecuencia del sensor sumergido.

Breve descripción de las figuras

A continuación, se describen de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención, que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención y se presentan como unos ejemplos no limitativos de ésta.

La Figura 1 es un esquema general de una primera realización del sistema de medición de degradación o contaminación de fluidos según la invención, en la que el sistema es alimentado a través de una fuente de corriente continua.

La Figura 2 es un esquema general de una segunda realización del sistema de medición de degradación o contaminación de fluidos según la invención, en la que el sistema es alimentado a través de la red eléctrica de corriente alterna.

La Figura 3 es un esquema general de las diferentes etapas de un método de funcionamiento del sistema de la invención.

La Figura 4 es una representación gráfica de la etapa de corrección de la función de transferencia, obtenida en el equipo de cálculo, por desviación de temperatura.

La Figura 5 es una representación gráfica de la etapa de cálculo de la concentración de productos de degradación en un fluido principal para una aplicación.

La Figura 6 es una representación gráfica de la concentración en función de la ganancia en un ejemplo no limitativo para la invención de ensayos realizados para agua con contaminación salina.

La Figura 7 es una representación gráfica de la ganancia en función de la frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable en un ejemplo no limitativo para la invención de ensayos realizados para agua con contaminación salina.

Referencias numéricas de las figuras

A continuación, se adjuntan las referencias numéricas correspondientes a cada elemento de las figuras no limitativas de la invención que ayudan a comprender mejor la misma:

- (1) Fuente de corriente continua;
- 5 (2) Polo positivo de corriente continua;
- (3) Polo negativo de corriente continua;
- (4) Semiconductores para la inversión de corriente continua a corriente alterna de frecuencia variable;
- (5) Lado de corriente alterna de frecuencia variable;
- 10 (6) Medidor de tensión de inyección;
- (7) Fluido ensayado;
- (8) Bobina donde se inyecta tensión;
- (9) Bobina donde se mide tensión;
- (10) Sonda de temperatura;
- 15 (11) Líneas de campo magnético en el fluido como circuito magnético;
- (12) Impedancia de medida de valor constante y conocido;
- (13) Puesta a tierra del sistema;
- (14) Medidor de tensión de salida;
- (15) Medidor de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable;
- 20 (16) Señal medida de tensión de inyección;
- (17) Señal de temperatura del fluido a monitorizar;
- (18) Señal de medida de tensión de salida;
- (19) Señal de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable;
- (20) Subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del
25 circuito;
- (21) Subsistema de cálculo de contaminación del fluido principal;

- (22) Subsistema emisor de alarma;
- (23) Lado de corriente alterna de la red eléctrica;
- (24) Elementos rectificadores, IGBTs;
- (25) Condensador del bus de corriente continua;
- 5 (26) Etapa de comparación de señal de medida de tensión de salida y entrada al circuito;
- (27) Señal de ganancia;
- (28) Etapa de obtención de la función de transferencia;
- (29) Señal de función de transferencia del sistema;
- (30) Etapa de corrección de la función de transferencia por desviación de temperatura
10 estándar;
- (31) Señal de función de transferencia del sistema corregida;
- (32) Base de datos de contaminación y/o degradación del fluido monitorizado;
- (33) Etapa de cálculo de la concentración de productos de degradación en fluido principal;
- (34) Señal de concentración de productos de degradación en el fluido principal;
- 15 (35) Ajuste de valor de emisión de alarma;
- (36) Etapa de comparación de resultados con ajuste de valor de emisión de alarma;
- (37) Señal de emisión de alarma;
- (38) Etapa de emisión de alarma;
- (39) Nivel de concentración de productos de degradación de fluido.

20 **Descripción detallada de la invención**

Se procede a continuación a hacer una descripción detallada de la invención, apoyándose en las figuras y realizaciones presentadas previamente. Las realizaciones preferentes descritas a continuación deben entenderse únicamente con carácter ilustrativo y no limitativo.

La **Figura 1** representa el sistema de medición de degradación o contaminación de fluidos
25 alimentado directamente desde una fuente de corriente continua (1) conectada entre el polo positivo de corriente continua (2) y el polo negativo de corriente continua (3). En esta

realización concreta de la invención, el sistema de medición utiliza un inversor, formado por semiconductores del tipo IGBT para la inversión de corriente continua a corriente alterna (4), y tras él constan los mismos equipos y dispositivos ubicados en las mismas posiciones que el esquema de alimentación por red eléctrica, provisto en la Figura 2.

5 El diseño de la **Figura 2** representa el sistema de medición de degradación o de contaminación de fluidos que se alimenta desde el lado de corriente alterna de la red eléctrica (23). En esta realización concreta de la invención, el sistema de medición consta de:

• El convertidor de la izquierda, formado por elementos rectificadores, se han representado del tipo IGBTs (24) aunque pueden ser de otro tipo, transforma la
10 amplitud de la tensión de la red y su frecuencia a corriente continua con tensión constante mantenida por un condensador en las barras de corriente continua (25) conectado entre el polo positivo (2) y el polo negativo (3) de las barras de corriente continua, posteriormente se encuentra el variador de frecuencia, formado por semiconductores del tipo IGBTs, aunque pueden ser de otro tipo, para la inversión de
15 corriente continua a corriente alterna (4). Por consiguiente, el lado de corriente alterna de frecuencia variable (5) permite entregar al circuito eléctrico un conjunto de valores, de tensión de amplitud constante, medido en un medidor de tensión de inyección (6), a frecuencias discretas variables, admisibles según las especificaciones de éste. Este medidor emite una señal medida de tensión de inyección (16) que se envía a un
20 subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito (20).

• Un sensor formado por dos bobinas (8) y (9) con núcleo abierto donde se aloja el fluido (7) como circuito magnético, dispuestas de modo que las líneas de campo magnético (11) sean concatenadas por ambos. Una de las bobinas es alimentada por la señal de
25 tensión que le entrega el variador de frecuencia, permite el paso de la corriente por el circuito. Mediante el medidor de tensión de salida (14), se mide la tensión en la otra bobina (U_{out}), en paralelo con la impedancia de medida de valor constante y conocido (12). En el mismo punto eléctrico, se ubica el medidor de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable (15) que recoge el valor de la frecuencia de la
30 señal de tensión. Ambos valores (La señal de medida de tensión de salida (18) y la señal de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable (19)) son enviados a un subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito (20).

- El subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito (20), para cada valor de frecuencia, genera la señal de ganancia (27) de tensión que posteriormente es enviada al equipo de monitoreo, subsistema de cálculo de contaminación del fluido principal; (21).
- 5
- A modo de sondas en el recipiente con el circuito eléctrico se encuentran, al menos una sonda de temperatura (10) configurada para medir la temperatura del fluido en su interior y enviar la señal de temperatura del fluido a monitorizar (17) al subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito (20).
- El equipo de monitoreo, subsistema de cálculo de contaminación del fluido principal
- 10
- (21), a través de modelos generados previamente, determina la concentración de cada componente y la envía al subsistema emisor de alarma (22).
 - El subsistema emisor de alarma (22), abre o cierra la señal de emisión de alarma (37) según el resultado de su comparativa lógica entre el valor de concentración recibido y el de referencia.
- 15
- En una de las realizaciones de la invención, donde el sistema de medición de degradación del fluido está provisto de un dispositivo de medida configurado para medir la tensión para cada valor de frecuencia en terminales de una impedancia de valor constante y conocido (Z_2) conectada en terminales de salida de un equipo eléctrico colocado en el interior de un recipiente con el fluido a analizar, a frecuencia constante y a través del divisor de tensión
- 20
- formado por el dispositivo de inyección de tensión de amplitud constante, el equipo eléctrico de medida con impedancia variable atendiendo a la degradación del fluido y, por consiguiente a los parámetros del circuito eléctrico, así como las capacidades de los devanados entre sí y a tierra, los parámetros del circuito magnético que afectan a la transmisión de bobinas en al menos un equipo eléctrico colocado en el interior del recipiente con el fluido a analizar, y la
- 25
- impedancia de valor constante y conocido en paralelo al voltímetro situado a la salida del equipo eléctrico, la tensión a la salida del equipo eléctrico (U_{out}) definida como:

$$U_{out} = \left| \frac{Z_2}{Z_2 + Z_T} \right| U_{in}$$

variará con cada composición diferente de la mezcla de fluidos, ya que los valores propios del circuito eléctrico, su capacidad (C), su inductancia (L), y su resistencia (R), todos ellos

30

unificados en su impedancia total (Z_T), se ven alterados por los parámetros característicos del fluido que, a su vez, dependen de las respectivas fracciones volumétricas de los componentes de su degradación.

Así, la degradación del fluido modifica los valores que definen al equipo eléctrico como puede verse a través de las siguientes ecuaciones:

i) La capacidad (C) definida como:

$$C = X \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{rx} \cdot f(S, d) + Y \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ry} \cdot f(S, d) + Z \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{rz} \cdot f(S, d) + \dots$$

5 donde:

X: es la fracción volumétrica del componente "x" en la degradación del fluido;

ε_0 : es la permitividad eléctrica del vacío;

ε_{rx} : es la permitividad eléctrica característica del componente "x" en la degradación del fluido;

10 S: es la superficie del equipo eléctrico que entra en contacto con el fluido;

d: es la distancia entre polos del equipo eléctrico;

Y: es la fracción volumétrica del componente "y" en la degradación del fluido;

ε_{ry} : es la permitividad relativa característica del componente "y" en la degradación del fluido;

15 Z: es la fracción volumétrica del componente "z" en la degradación del fluido;

ε_{rz} : es la permitividad relativa característica del componente "z" en la degradación del fluido;

ii) La inductancia (L) definida como:

$$L = \frac{X \cdot \mu_0 \cdot \mu_{rx} \cdot N^2 \cdot S'}{l} + \frac{Y \cdot \mu_0 \cdot \mu_{ry} \cdot N^2 \cdot S'}{l} + \frac{Z \cdot \mu_0 \cdot \mu_{rz} \cdot N^2 \cdot S'}{l} + \dots$$

20 donde:

X: es la fracción volumétrica del componente "x" en la degradación del fluido;

μ_0 : es la permeabilidad magnética en el vacío;

μ_{rx} : es la permeabilidad magnética relativa característica del componente "x" en la degradación del fluido;

25 N: es el número de vueltas del conductor del equipo eléctrico;

S': es la superficie de circuito magnético concatenada por las bobinas del equipo eléctrico que entra en contacto con el fluido;

l: es la longitud del conductor del equipo eléctrico;

Y: es la fracción volumétrica del componente "y" en la degradación del fluido;

5 μ_{ry} : es la permeabilidad magnética relativa característica del componente "y" en la degradación del fluido;

Z: es la fracción volumétrica del componente "z" en la degradación del fluido;

μ_{rz} : es la permeabilidad magnética relativa característica del componente "z" en la degradación del fluido;

10 iii) La resistencia (R) definida como;

$$R = \frac{X \cdot \rho_x \cdot l'}{S''} + \frac{Y \cdot \rho_y \cdot l'}{S''} + \frac{Z \cdot \rho_z \cdot l'}{S''} + \dots$$

donde:

X: es la fracción volumétrica del componente "x" en la degradación del fluido;

15 ρ_x : es la resistividad eléctrica característica del componente "x" en la degradación del fluido;

S'': es la superficie de fluido que entra en contacto con el equipo eléctrico;

l': es la longitud de fluido entre dos partes conductoras del equipo eléctrico;

Y: es la fracción volumétrica del componente "y" en la degradación del fluido;

20 ρ_y : es la resistividad eléctrica característica del componente "y" en la degradación del fluido;

Z: es la fracción volumétrica del componente "z" en la degradación del fluido;

ρ_z : es la resistividad eléctrica característica del componente "z" en la degradación del fluido;

25 Por tanto, una variación en la tensión de salida en el equipo eléctrico, sumergido en el interior del recipiente con el fluido a analizar, permite conocer la composición de los diferentes componentes de la degradación de un fluido sin más que introducir, de cada medición, los valores de la ganancia de la amplitud de la tensión, proporcionados por el equipo de cálculo

en el modelo generado previamente y asignado para cada aplicación (como por ejemplo el uso de aceite en una cuba de transformador con carácter refrigerador y a su vez aislante, donde este puede verse perjudicado por el deterioro del aislante, normalmente celulosa, que provoca la saturación de agua en aceite empeorando la finalidad de sus propiedades
 5 iniciales), y para cada valor de temperatura en el interior del recipiente con el equipo eléctrico, en un equipo de monitoreo que extrae de éstas el o los valores de agentes contaminantes del fluido principal.

Es evidente que en la presente invención se contempla como necesaria una medición previa del fluido sano, es decir, sin que se hayan llevado a cabo procesos de degradación y conocer
 10 el proceso de degradación del fluido previo paso a generar los modelos en cada aplicación. Así como es recomendable realizar un análisis de los contaminantes puros que tienen lugar como productos de la degradación del fluido principal.

La **Figura 3** muestra un esquema simplificado del proceso de medida de degradación de fluidos según el sistema objeto de la invención. Este comprende las siguientes etapas y
 15 señales que intervienen en ellas:

- Un primer paso de recopilación de la señal medida de tensión de inyección en una de las bobinas (16), de la señal de temperatura del fluido a monitorizar (17), de la señal de medida de tensión de salida en la otra bobina (18) y de la señal de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable (19);
- 20 • Comparación de la señal medida de tensión de inyección (16) y señal de medida de tensión de salida (18) para cada frecuencia en la etapa de comparación de señal de medida de tensión de salida y entrada al circuito (26) del lado de corriente alterna de frecuencia variable (5).
- Obtención de la función de transferencia (28) a través de la señal de ganancia (27) y
 25 la señal de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable (19).
- Etapa de corrección de la función de transferencia por desviación de temperatura estándar (30) a partir de la señal de temperatura del fluido a monitorizar (17) sobre la señal de función de transferencia del sistema (29).
- Etapa de cálculo de la concentración de productos de degradación en fluido principal
 30 (33); en función de la base de datos de contaminación y/o degradación del fluido monitorizado (32) aplicada a la señal de función de transferencia del sistema corregida (31). De forma que:

$$M = f(A[dB])$$

Donde la función modelo $f(A[dB])$ está obtenida experimentalmente de ensayos previos donde se emula el fenómeno a monitorizar y que engloba parámetros puramente matemáticos que aportan el ajuste de la curva tipo desde los resultados experimentales obtenidos, $A[dB]$ es la ganancia obtenida de la señal de función de transferencia del sistema corregida (31) y M es la concentración calculada a partir del modelo. Por ejemplo:

$$M = f(A[dB]) = k_1 \cdot e^{\alpha \cdot A} + k_2 \cdot e^{\beta \cdot A}$$

donde:

C: es la concentración de un agente contaminante en el fluido.

A: es la ganancia de la tensión expresada en decibelios en escala logarítmica para un valor de frecuencia constante característico, propio del fluido a monitorear, previamente conocido.

k_1, k_2, α, β : son parámetros matemáticos ajustados característicos del modelo matemático de la evolución de la concentración con la degradación del fluido generado para cada aplicación para cada fluido que se quiera monitorear, previamente ensayado.

- Etapa de comparación de resultados con ajuste de valor de emisión de alarma (36), en función del ajuste de valor de emisión de alarma (35) previamente establecido respecto a la señal de concentración de productos de degradación en el fluido principal (34). Esta etapa finalmente envía una señal de emisión de alarma (37) si el valor de contaminación y/o degradación del fluido principal es superior al ajustado.
- La etapa de emisión de alarma (38) se produce cuando recibe una señal de emisión de alarma (37).

En una de las realizaciones de la presente invención para medir la degradación de un fluido, donde la tensión de salida (U_{out}) se mide con un voltímetro colocado a la salida del equipo eléctrico, el circuito eléctrico, puesto a tierra y formado al menos por unos arrollamientos superior e inferior del equipo eléctrico, es introducido en el recipiente con el fluido a analizar, y alimentado por una señal de tensión de inyección (U_{in}) por una etapa previa de conversión a los valores aceptados por los requisitos técnicos de dicho equipo eléctrico.

Posteriormente se realizan las etapas de medición de la temperatura del fluido en el interior del recipiente (T_m), de la amplitud o valor eficaz de la tensión de salida del dispositivo de medición (U_{out}), para cada valor de frecuencia, sobre una impedancia de valor constante y

conocido (Z_2), y de la frecuencia de la señal de tensión a la salida del equipo eléctrico (f). Cada lectura es enviada a un subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito.

5 Seguidamente se obtiene la función de transferencia a través de la señal de la ganancia, entregada por el subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito, que previamente ha sido calculada por medio de la etapa de comparación de la señal de tensión de inyección medida y la señal de tensión de salida medida para cada frecuencia.

10 Después, por medio de la señal de temperatura (T_m) del fluido a monitorizar recibida, se produce la corrección de la función de transferencia por desviación de temperatura estándar sobre la señal de función de transferencia del sistema de forma que:

$$A(T_m, f) \rightarrow A(T_{std}, f)$$

Donde:

15 T_{std} : es la temperatura estándar de conversión de la ganancia del sistema para el posterior análisis del mismo.

Otra realización de la invención contempla realizar la corrección de temperatura previamente a la etapa de cálculo de la concentración de productos de degradación en el fluido principal de forma que los parámetros que definen a su variación, calculados anteriormente gracias a una base de datos con ensayos previos, sean corregidos. Un ejemplo no limitativo de la
20 invención está contemplado en la siguiente expresión:

$$M(T_m) = f[A(T_m)] = k_1(T_m) \cdot e^{\alpha(T_m) \cdot A} + k_2(T_m) \cdot e^{\beta(T_m) \cdot A} \rightarrow$$

$$\rightarrow M(T_{std}) = f[A(T_{std})] = k_1(T_{std}) \cdot e^{\alpha(T_{std}) \cdot A} + k_2(T_{std}) \cdot e^{\beta(T_{std}) \cdot A}$$

con:

$$\begin{cases} k_1(T_{std}) = h[k_1(T)] \\ k_2(T_{std}) = g[k_2(T)] \\ \alpha(T_{std}) = u[\alpha(T)] \\ \beta(T_{std}) = v[\beta(T)] \end{cases} ; \quad T = T_{std}$$

25 Donde h, g, u y v son funciones que relacionan la evolución de los parámetros del modelo de concentración y ganancia con la temperatura (T) y sin, obtenidos previamente de ensayos de contaminación del fluido a monitorizar.

Regresando a la primera realización de la invención, se procede al cálculo de la concentración

de productos de degradación en fluido principal en función de la base de datos de contaminación y/o degradación del fluido monitorizado, que es necesaria conocer previo a la medición, aplicada a la señal de función de transferencia del sistema corregida.

5 Finalmente se produce la apertura o cierre de la etapa de emisión de alarma, resultado de la etapa lógica de comparación de resultados en función del ajuste de valor de emisión de alarma, previamente establecido, respecto a la señal de concentración de productos de degradación en el fluido principal en una etapa de comparación de resultados con ajuste de valor de emisión de alarma (36). Ésta emite la señal de emisión de alarma si

10
$$M > M_{adm}$$

Donde:

M_{adm} : es el ajuste de valor de emisión de alarma (35) en valores de concentración.

15 La **Figura 4** es una representación gráfica de la etapa de corrección de la función de transferencia por desviación de temperatura estándar (30).

La **Figura 5** es una representación gráfica de la etapa de cálculo de la concentración de productos de degradación en el fluido principal para cada aplicación (33) por la que se estima el nivel de concentración de productos de degradación de fluido (39).

20

Para entender mejor la invención se explica a continuación un ejemplo no limitativo de ésta:

25 Se requiere obtener la contaminación salina en agua destilada como ejemplo de comprensión de la invención. Para ello se realizan test en un laboratorio en un recipiente de 2 L de tal forma que se obtienen numerosas curvas cada 15 ppm desde 0 hasta aproximadamente 300 ppm como se muestra en la **Figura 7**, que es una representación gráfica de la ganancia en función de la frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable de ensayos realizados para agua con contaminación salina.

30 Una vez registrados estos valores se procede a hacer el modelo $f(A[\text{dB}])$ con dichos ensayos con valores característicos de la progresión de la degradación, en este caso con el valor mínimo entre las frecuencias de 100 kHz y 500 kHz, como se muestra en la **Figura 6**, que es

una representación gráfica de la concentración en función de la ganancia de ensayos realizados para agua con contaminación salina. Donde en este caso la función obtenida es

$$M = f(A[\text{dB}]) = k_1 \cdot e^{\alpha \cdot A} + k_2 \cdot e^{\beta \cdot A}$$

Donde los parámetros matemáticos obtenidos son:

5
$$k_1 = 1.102 \times 10^5 ; k_2 = -24.13 ; \alpha = 0.1512 ; \beta = -0.01762$$

De tal forma que una vez obtenido el modelo se realiza un ensayo a ciegas en el emplazamiento real (en la Figura 7 se refiere al ensayo con línea más gruesa). En este caso se registra el valor mínimo de -44.6 dB que al introducirlo en el modelo se tiene un valor de concentración de 76.9219 ppm.

10

El valor de ajuste mostrado en la Figura 6 corresponde con 100 ppm. Como $76.9219\text{ppm} < 100\text{ppm}$ la señal de emisión de alarma no se envía.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de medición de degradación o contaminación de un fluido con el que opera una máquina o línea de proceso en una instalación, caracterizado por que comprende:
 - 5 a) un sensor, que comprende al menos dos bobinas con un circuito magnético común y un hueco para alojar el fluido ensayado (7) a analizar, donde una primera bobina está configurada para inyectar tensión (8) y una segunda bobina está configurada para medir tensión (9);
 - 10 b) un dispositivo de alimentación configurado para inyectar una tensión con amplitud constante y frecuencia variable en un lado de corriente alterna de frecuencia variable (5), que alimenta la primera bobina(8) provisto de semiconductores para la inversión de corriente continua a corriente alterna de frecuencia variable (4);
 - c) un dispositivo medidor de frecuencia del lado de corriente alterna de frecuencia variable (15) y un dispositivo medidor de tensión de inyección (6);
 - 15 d) un dispositivo medidor de tensión de salida (14), configurado para medir la tensión en bornes de la segunda bobina (9) a partir de una impedancia de medida de valor constante y conocido (12) conectada entre sus terminales y una puesta a tierra del sistema (13);
 - e) un dispositivo de medida de la temperatura del fluido provisto de al menos una sonda de temperatura (10);
 - 20 f) un subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del circuito (20) para calcular la señal de ganancia (27) del circuito configurado en función de la amplitud de la señal de medida de tensión de salida (18) respecto a la amplitud de la señal medida de tensión de inyección (16), de valor conocido, para cada valor de frecuencia, tal que:

25
$$A(dB) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)$$

donde:

$A(dB)$: es la ganancia de la amplitud de la señal de tensión expresada en decibelios en escala logarítmica para cada valor de frecuencia;

U_{in} : es la amplitud de la señal de tensión que se inyecta a una de las bobinas del

sensor sumergido en el interior del fluido a analizar; y

U_{out} : es la amplitud de la señal de tensión que se mide en la otra bobina del sensor sumergido en el interior del fluido a analizar;

estando además el subsistema de comparación de señales de entrada y salida y cálculo de ganancia del sistema (20) conectado a un subsistema de cálculo de contaminación del fluido principal (21) por medio de una interfaz;

5

g) un subsistema de cálculo de contaminación del fluido principal (21) configurado para determinar la concentración de cada componente de dicho fluido, a partir de un modelo de concentraciones, M , en función de los valores de ganancia, $A[dB]$, preasignados a diferentes temperaturas y fluidos en una base de datos (32); y

10

h) un dispositivo de emisión de alarma (22), configurado para emitir una señal de emisión de alarma (37) en caso de que el valor de concentración supere un umbral previamente establecido.

2. Sistema según la reivindicación 1, donde el dispositivo de alimentación configurado para inyectar la tensión con amplitud constante y frecuencia variable está alimentado desde el lado de corriente continua provisto de una fuente de corriente continua (1).

15

3. Sistema según la reivindicación 1, donde el dispositivo de alimentación configurado para inyectar la tensión con amplitud constante y frecuencia variable está alimentado desde el lado de corriente continua con un condensador (25) conectado entre un polo positivo (2) y uno negativo (3) conectados a su vez a elementos rectificadores IGBTs (24) que permiten la rectificación desde el lado de corriente alterna de la red eléctrica (23).

20

4. Sistema según la reivindicación 1, donde la concentración de cada componente del fluido está determinada por la expresión:

$$M = f(A[dB]) = k_1 \cdot e^{\alpha \cdot A} + k_2 \cdot e^{\beta \cdot A}$$

25

donde:

M : es la concentración de un agente contaminante en el fluido.

A : es la ganancia de la tensión expresada en decibelios en escala logarítmica para un valor de frecuencia constante característico, propio del fluido a monitorear, previamente conocido.

k_1 , k_2 , α , β : son parámetros matemáticos ajustados característicos del modelo matemático de la evolución de la concentración con la degradación del fluido generado para cada aplicación para cada fluido que se quiera monitorear, previamente ensayado.

5 5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que además comprende al menos un dispositivo de medida para medir la tensión para cada valor de frecuencia en terminales de una impedancia de valor constante y conocido (Z_2) en paralelo, a la salida de una de las bobinas del sensor sumergido en el fluido a analizar; estando el al menos un dispositivo de medida conectado al subsistema de comparación (20).

10 6. Sistema de medición de degradación o contaminación de fluidos según la reivindicación 1, que además comprende:

- un equipo eléctrico dispuesto en el interior de un recipiente con el fluido; y
- al menos un dispositivo de medida configurado para medir la corriente para cada valor de frecuencia en terminales de una impedancia de valor constante y conocido (Z_2) en paralelo (12), a la salida del equipo eléctrico, y determinar el valor de (U_{out}) como:

15

$$U_{out} = I_{out} \cdot Z_2$$

donde:

I_{out} : es la amplitud de la señal de corriente a la salida del equipo eléctrico, medida en terminales de una impedancia de valor conocido;

20 U_{out} : es la amplitud de la señal de tensión de salida en el equipo eléctrico, medida en terminales de una impedancia de valor conocido;

Z_2 : es la impedancia colocada a la salida del secundario del equipo eléctrico, transformador con fluido como circuito magnético, de valor conocido.

7. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores donde el sensor además comprende un mecanismo de acceso al recipiente del fluido para proceder a las conexiones correspondientes y espacio para alojar el dispositivo de medida de la temperatura del fluido además del propio sensor.

25

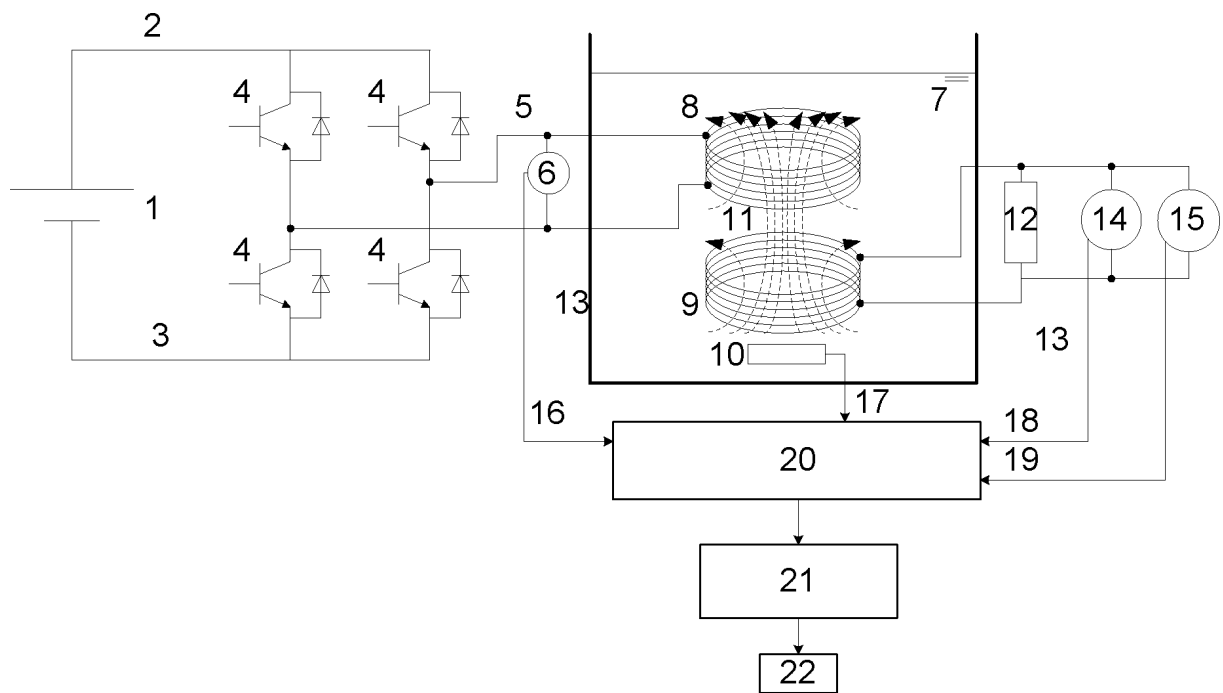


Figura 1

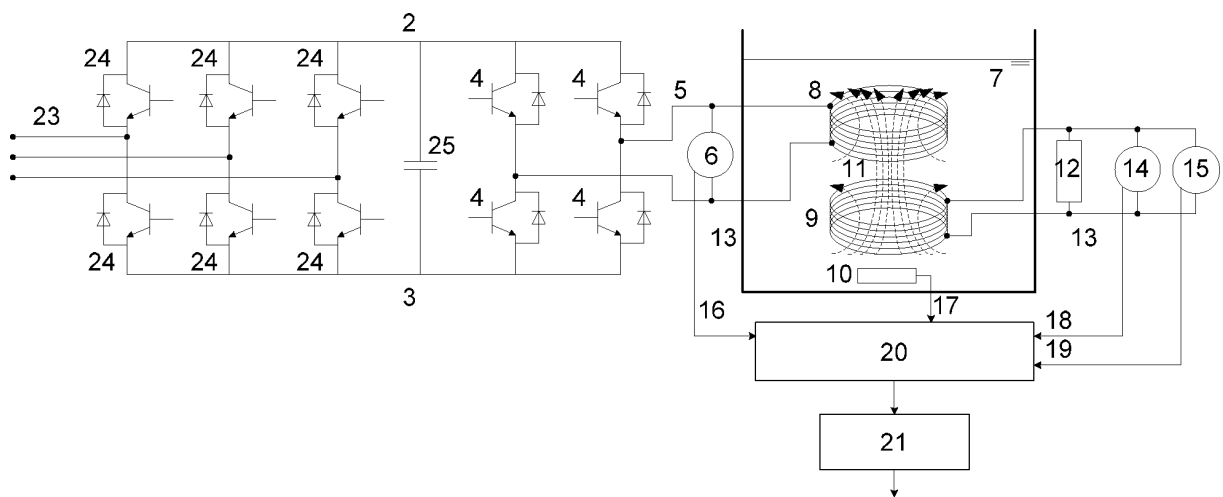


Figura 2

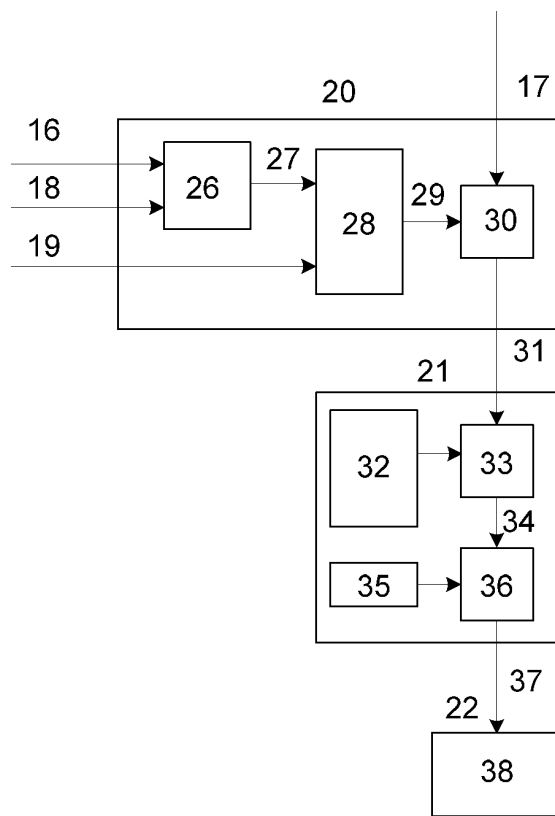


Figura 3



Figura 4

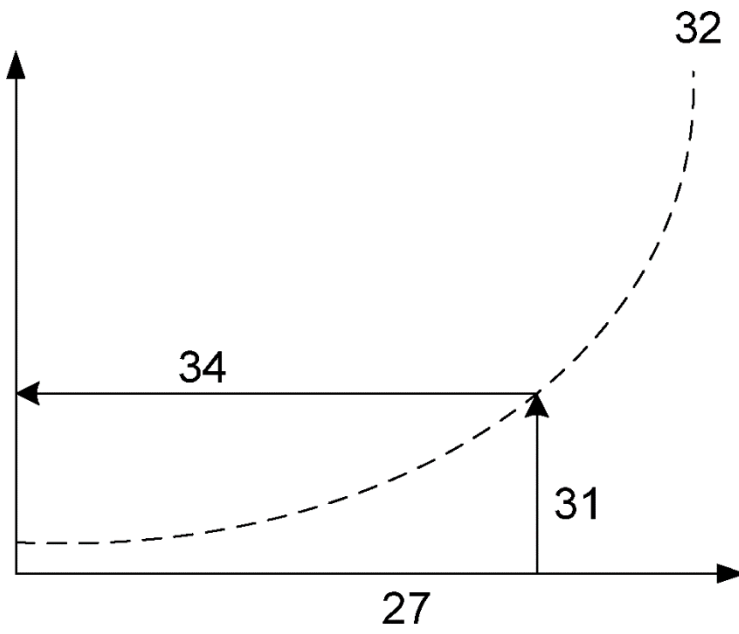


Figura 5

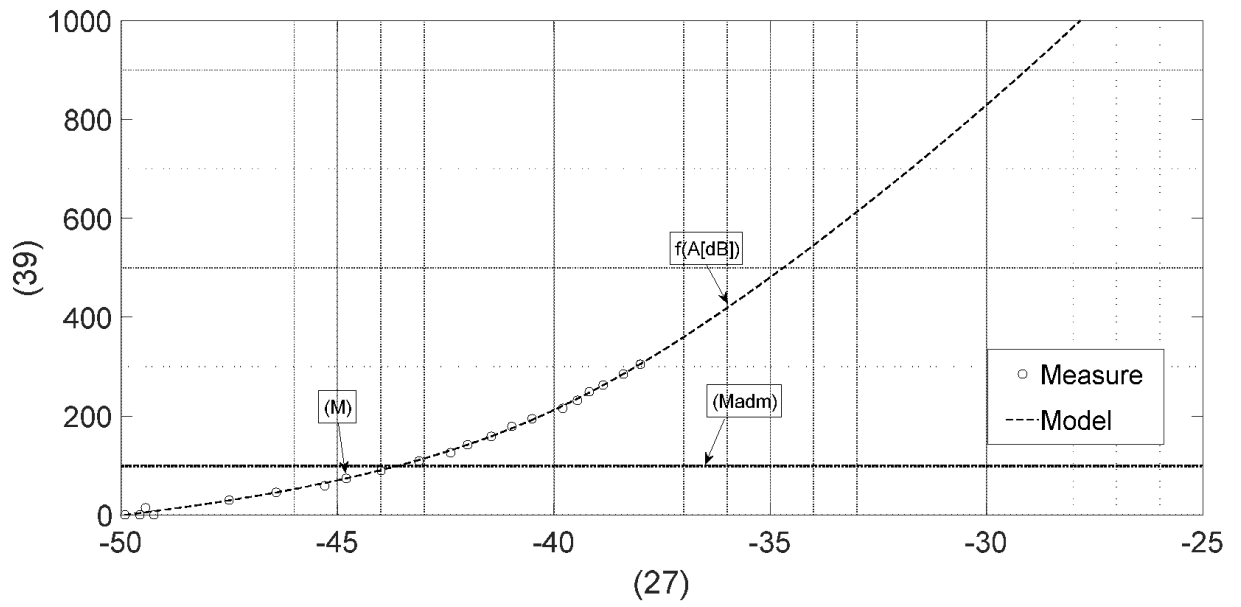


Figura 6

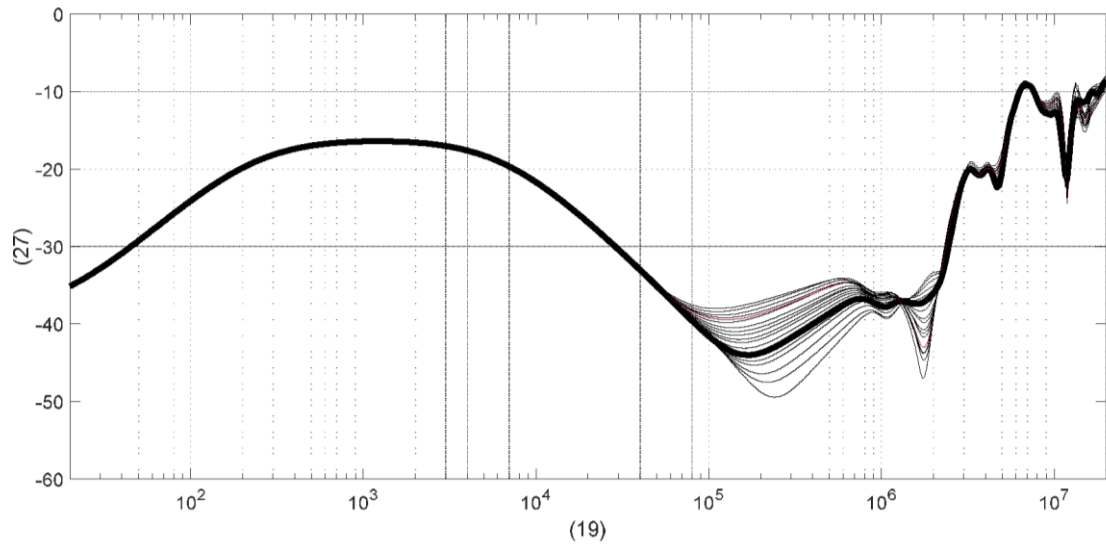


Figura 7