

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 424**

51 Int. Cl.:

G01V 7/04 (2006.01)

G01V 7/06 (2006.01)

G01V 7/00 (2006.01)

G01V 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.11.2015 PCT/CA2015/051160**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2016 WO16077915**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.11.2015 E 15861585 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3221724**

54 Título: **Transductor de gravedad**

30 Prioridad:

21.11.2014 US 201414550779

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

30.07.2020

73 Titular/es:

**NXT ENERGY SOLUTIONS, INC. (100.0%)
3320-17th Avenue SW, Suite 302
Calgary, Alberta T3E 0B4, CA**

72 Inventor/es:

**LISZICASZ, GEORGE;
GUI, XIANG y
BUDIMAN, ROES A.**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 776 424 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

Transductor de gravedad

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a los transductores de gravedad, y más particularmente a la detección de una variación diminuta del campo gravitatorio inducida por esfuerzo y densidad de subsuperficie, y aún más particularmente a una aplicación de tal transductor a la exploración de hidrocarburos.

10

Antecedentes de la invención

Se han detectado variaciones de gravedad usando grandes masas suspendidas en el orden de kilogramos. Se creía que las masas tenían que ser grandes debido a que la fuerza de gravedad es la fuerza más débil conocida. Más recientemente, se ha propuesto la interferometría atómica, y en particular, los acelerómetros que utilizan interferometría como sondas gravitatorias. Véase, por ejemplo, el documento de B. M. Anderson, J. M. Taylor y V. M. Galitski, "Interferometry with synthetic gauge fields", *Physical Review A*, 83, 031602(R), 2011.

15

Estos dispositivos tienen limitaciones prácticas. Los dispositivos que usan grandes masas solo pueden detectar grandes variaciones en el campo gravitatorio. Hay un número de retos técnicos complejos a superar con el fin de hacer que los interferómetros sean prácticos para operaciones de campo. Algunos de estos requerimientos incluyen enfriar y mantener los átomos cerca del cero absoluto y eliminar los efectos de inercia no deseados. Por lo tanto, sería altamente deseable tener un dispositivo que pudiera detectar fluctuaciones de gravedad relativamente pequeñas, y tales como las debidas a unos cambios de esfuerzo de subsuperficie y densidad en rocas porosas en relación con características geológicas de interés, y que se pudieran usar de forma conveniente a temperaturas razonables, tal como la temperatura ambiente.

20

25

Se puede encontrar técnica anterior, por ejemplo, en la literatura no de patente de P. Rapagnani, *Nuovo Cimento C Società Italiana di Fisica Italy*, vol. 5, n.º 4, julio de 1982, páginas 423 - 426, XP055518450 que divulga un desarrollo y prueba a T = 4,2 K de un transductor resonante capacitivo para antenas de ondas gravitatorias criogénicas.

30

Breve descripción de los dibujos

35

La figura 1 es un diagrama que ilustra una característica geológica típica para distinguir la cual puede ser útil la invención;

la figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra los componentes principales de un transductor de gravedad y sistema de detección que es capaz de identificar características de hidrocarburos potenciales;

40

las figuras 3A y B son diagramas de bloques detallados del sistema de la figura 2 que muestran las partes y cableado entre las partes;

45

la figura 4 es un esbozo basado en una fotografía que muestra el sistema de las figuras 2 y 3 en una aeronave Cessna Citation 560;

la figura 5 es un esbozo de un caso de sensor abierto y una unidad de acondicionamiento de señal asociada que se emplean en el sistema de la figura 4;

50

la figura 6A muestra una vista lateral de un sensor de detector de campo de esfuerzos (SFD) que muestra dimensiones típicas;

la figura 6B muestra una vista en planta de extremo del sensor de SFD de la figura 6A que muestra dimensiones típicas;

55

la figura 7A es una vista en perspectiva lateral de un ejemplo de un sensor de SFD útil para entender la invención, y que no es parte de la invención;

la figura 7B es una vista de extremo del sensor de SFD de la figura 7A;

60

la figura 8 es un esbozo que muestra una vista microscópica de un sensor de SFD que ilustra cómo se pueden atrapar los átomos formando una unión de sensor;

65

la figura 9 es un esbozo que ilustra un ejemplo útil para entender la invención y que no es parte de la invención, que comprende una realización de múltiples uniones, comprendiendo cada una una superposición de la onda de una partícula atrapada y la onda de fonón generada en la cavidad de unión;

la figura 10 es un esbozo que ilustra una onda estacionaria de la partícula atrapada y un frente de onda de fonón en una región altamente restringida entre un pasador de metal y un cordón de metal, figuras 6A a 7B;

5 las figuras 11 - 13 ilustran ejemplos de señales generadas por el sistema de las figuras 2 a 6B en vuelos de prueba que verifican las capacidades del sistema y, más específicamente:

la figura 11 es una señal para una línea de vuelo de prueba que cruza el campo de gas Ladyfern, BC, Canadá a lo largo de una línea de esfuerzo máximo en las planicies;

10 la figura 12 muestra una señal desde una segunda línea de vuelo de prueba en el campo de gas Burnt Timber, AB, Canadá usando el mismo sensor que se usa en la figura 11, y a lo largo de una línea de esfuerzo máximo, pero en las estribaciones;

15 la figura 13 muestra señales de un tercer vuelo de prueba que cruza el campo de gas Ladyfern, BC, Canadá, usando el mismo sensor que se usa para las figuras 11 y 12, pero en este caso el vuelo es a lo largo de una línea de esfuerzo mínimo;

20 la figura 14 muestra un mapa de línea de vuelo de reconocimiento para un vuelo el 14 de abril de 2012 sobre el campo petrolífero La Jarilla en Comodoro - Rivadiva, Argentina;

la figura 15 muestra una señal desarrollada a lo largo de la línea de vuelo de la figura 14 tomada de un sensor "Pearl";

25 la figura 16 muestra otra señal desarrollada a lo largo de la línea de vuelo de la figura 14 tomada de un sensor "String", un sensor diferente al sensor "Pearl";

la figura 17 es una señal de sensor que ilustra el concepto de "amplitud de señal";

30 la figura 18 es una señal de sensor en la cual la amplitud se promedia;

la figura 19 es una señal de sensor que ilustra el concepto de un borde geológico;

la figura 20 es una señal de sensor que ilustra el concepto de "frecuencia" de señal;

35 la figura 21 es una señal de sensor que ilustra diferentes tendencias de frecuencia;

la figura 22 es una señal de sensor que ilustra el concepto de cambio de patrón de señal;

40 la figura 23 es una señal de sensor que ilustra el concepto de cambio de carácter de señal;

la figura 24 es una señal de sensor que ilustra el concepto de identificación de secuencia;

la figura 25 muestra una vista lateral de una realización del sensor electromecánico de acuerdo con la invención;

45 la figura 26 muestra una vista en planta de extremo de una realización del sensor electromecánico de acuerdo con la invención;

50 la figura 27 muestra un diagrama esquemático de una realización de un modelo mecánico del sistema eléctrico de acuerdo con la invención; y

la figura 28 muestra un desplazamiento relativo típico de la realización preferida del modelo mecánico de la figura 27 cuando este encuentra el perfil de aceleración gravitatoria dependiente del tiempo debido al movimiento rectilíneo.

55 Descripción detallada de las realizaciones preferidas

La presente solicitud divulga un transductor basado en gravedad de pequeña escala con una estabilidad suficiente. El dispositivo se prueba experimentalmente, y se han obtenido unos resultados consistentes de los reconocimientos aerotransportados. El dispositivo novedoso y el sistema que lo controla tienen la capacidad de una fiabilidad independiente.

65 En el presente documento se divulgan realizaciones de un dispositivo transductor de gravedad práctico que utilizan uno o más de los siguientes tres elementos de diseño: (i) el transductor está en un movimiento rectilíneo continuo para su funcionamiento; (ii) el transductor está detectando los cambios de gravedad usando o bien una interfaz activa o bien desplazamientos relativos entre dos elementos mecánicos del transductor; (iii) el transductor está utilizando una conversión electromecánica mediante la aplicación de corriente eléctrica a través del área de contacto

entre los elementos que registran el desplazamiento relativo. La aplicación específica de las realizaciones descritas en el presente documento es a la detección de depósitos de hidrocarburos potenciales.

Como se verá con detalle posteriormente, la presencia de fluido, por ejemplo, agua y/o hidrocarburos atrapados, en rocas porosas da lugar a que la densidad disminuya y produce un cambio de gravedad negativo con respecto al segundo plano. En el transcurso de la detección de los depósitos de hidrocarburos potenciales, las realizaciones divulgadas también detectan otras características geológicas dentro de una cuenca sedimentaria, tales como cambios litológicos y fallas. Los fluidos en rocas de yacimiento, cambios litológicos o fallas tienden a tener un efecto neto de reducir la densidad de forma local, lo que también se ve acompañado por cambios de esfuerzo de subsuperficie. Una característica de las dos realizaciones típicas de la presente invención es que ambas emplean un movimiento rectilíneo continuo. Fundamentalmente, todos los gravímetros y gradiómetros de gravedad actuales toman mediciones estáticas; por lo tanto, estos instrumentos estáticos (1) requieren o se aproximan a un equilibrio estático; (2) son incapaces de obtener una señal de gravedad dependiente del tiempo continua; y (3) son incapaces de tomar mediciones y/o detectar cambios de gravedad a la frecuencia de vibración natural de un sensor.

En ambas realizaciones, el sistema transductor de gravedad utiliza (1) una combinación de alta altitud (de hasta 3.000 m) y alta velocidad (de hasta 500 km/h) que proporciona un dominio de frecuencia aumentado; (2) una tasa de muestreo alta (por ejemplo, 2.000 muestras por segundo) que proporciona una capacidad de detección de escala espacial fina.

En ambas realizaciones, hay un sistema transductor de gravedad que comprende: una unión que comprende un primer metal y un segundo metal diferente del primer metal; el primer metal es el pasador y el segundo metal es el cordón. La unión forma una capacidad cuando los dos metales no están en contacto directo.

La presente solicitud divulga un dispositivo de pequeña escala para exploración geofísica aerotransportada, que es suficientemente estable y para la cual los resultados son consistentes. Por lo tanto, el nuevo dispositivo y sistema tienen la capacidad de proporcionar fiabilidad independiente.

En el presente documento se divulgan realizaciones de un detector de campo gravitatorio práctico. La aplicación específica de las realizaciones descritas en el presente documento es a la detección de depósitos de hidrocarburos potenciales. Como se verá a detalle más adelante, los cambios de esfuerzo y densidad geológicos en la región de depósitos de hidrocarburos en la corteza de la tierra son diferentes a los de regiones de segundo plano. El transductor descrito en el presente documento detecta esas diferencias. En el transcurso de la detección de los depósitos de hidrocarburos potenciales, se ha encontrado que las realizaciones que se divulgan también detectan otras características geológicas dentro de una cuenca sedimentaria, tal como fallas y cambios litológicos. También será evidente para un experto en la materia que el detector de campo de esfuerzo y las realizaciones específicas descritas tienen y tendrán muchas características y aplicaciones adicionales.

La figura 1 es un diagrama que ilustra una característica geológica 100 típica para distinguir la cual pueden ser útiles las realizaciones descritas en el presente documento. Se ilustra un área 110 ilustrativa de una cuenca sedimentaria que tiene una pluralidad de capas sedimentarias 102, 104, 106, 108 y 110, área que incluye unas áreas que tienen una secuencia de arcilla esquistosa 112 que rodean una formación de arenisca porosa 114, que puede contener fluido, tal como, por ejemplo, gas, petróleo, o agua. En este ejemplo, la arenisca porosa y la arcilla esquistosa tienen la misma densidad. Densidad igual implica aceleración gravitatoria igual. Por lo tanto, los gravímetros basados en masa producen el mismo valor de medición sobre ambos. Sin embargo, las dos áreas tendrán diferentes regímenes de esfuerzos como se sugiere por 118, 126, 127, y 120. La arcilla esquistosa 112, distribuye los esfuerzos y la permeabilidad de manera diferente a la arenisca porosa con el fluido 114. A diferencia en las propiedades elásticas (cortante) entre la arcilla esquistosa y la arenisca porosa con contenido significativo de fluido crea anomalías de esfuerzos ajenas a los dispositivos de detección de gravedad convencionales, pero detectables por los sensores descritos en el presente documento, debido a los cambios en la vibración de campo gravitatorio asociada con las perturbaciones de esfuerzo y densidad de subsuperficie.

I. Descripción detallada de la electrónica

La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra los componentes principales de un transductor de gravedad y sistema de detección que es capaz de identificar características de hidrocarburos potenciales. Como se muestra en la figura 2, el sistema integra, sensores de detección de campo de esfuerzos 154, sistemas de acondicionamiento de señal 156, sistemas de rastreo y comunicación de aeronaves 160, sistemas de registro de datos 164 y 166, sistemas de control de calidad 170 que incluyen sistemas de post-procesamiento de datos. Todo el equipo es autónomo y está conectado conjuntamente por medio de cableado apropiado 155, 161, 158, 157, 167 y 168.

La figura 3 muestra un diagrama de circuito de bloques que muestra los componentes electrónicos individuales de una realización el sistema 150 incorporado en una aeronave de reconocimiento. La realización 150 incluye un primer sistema de sensores de campo de esfuerzos (SFD) 202, un segundo sistema de SFD 204, un sistema informático principal de adquisición de datos 214, un sistema informático de visualización en tiempo real 216, y un sistema de navegación del piloto 218. El primer sistema de sensores de SFD 202 incluye un conjunto de sensores de SFD y 2

acelerómetros. Estos están contenidos en una caja de sensores 220. La estructura de los sensores y las cajas de sensores se analizarán más adelante. El primer sistema de sensores 202 también incluye un sistema de acondicionamiento de señal de SFD 222 y una batería 225. Las conexiones a tierra en todo el sistema 150 se muestran por medio de símbolos de tierra, tal como 226. El segundo sistema de SFD 204 incluye una caja de sensores 230 que contiene ocho sensores de SFD y seis acelerómetros. El segundo sistema 204 también incluye un sistema de acondicionamiento de señal de SFD 232 y una batería 235.

Una realización del ordenador principal 214 incluye un ordenador de adquisición de datos 290 QNX 4.25 junto con tarjetas y periféricos que incluyen el teclado 240 acoplado a un puerto de entrada de teclado 299 por medio del acoplador 242. El ordenador 290 recibe alimentación de una fuente de alimentación 294, la cual recibe alimentación del aeroplano, alimentación que se introduce en 110 V de alimentación de CA en la unidad 291. El ordenador de adquisición de datos 290 puede también incluir la tarjeta de adquisición de datos 300 conectada al puerto de entrada de datos de sensor 250, la tarjeta de adquisición de datos 304 que está conectada al puerto de entrada de datos de acelerómetro 252, el puerto serie de GPS 306 que está conectado al puerto de GPS Com 1 274, el puerto serie NMEA / qtalk 308 que está conectado al puerto de GPS Com 2 276, la salida de visualización del piloto 310, y un puerto USB 314 que proporciona salida a un disco duro externo. El acoplador 242 puede ser un cable o un dispositivo inalámbrico y permite que el teclado se mueva en todo el aeroplano. El ordenador 214 puede incluir: la interfaz de cable 248, la interfaz de entrada de datos M6259 2 kHz 250, con hasta 16 canales usados por el sensor de SFD; la interfaz de adquisición de datos M6225 de 200 Hz 252 para los acelerómetros; una salida de arranque remoto 256 para sincronizar el ordenador central con los otros ordenadores; el puerto de entrada del sistema uno 258 conectado al acondicionador de señal de SFD de sistema uno 222; el puerto de entrada del sistema dos 260 conectado al acondicionador de señal del sistema dos 232; y la entrada de monitor de acelerómetro / batería 264. El ordenador principal 214 también incluye un módulo de GPS 268 que puede incluir: una tarjeta de GPS 268; una antena de GPS 270; un puerto Com 1 274; un puerto Com 2 276; un puerto de entrada de alimentación de CC 280; una batería de GPS 282; y una fuente de CC de 15 voltios 286. El módulo de GPS 268 funciona con la batería 282, la cual se carga desde el generador del aeroplano cuando el aeroplano está volando.

El sistema de navegación del piloto 218 incluye una fuente de alimentación de CC de 5 voltios 320, la interfaz de navegación del piloto 324 que recibe la salida de la salida de visualización del piloto 310 del ordenador 290, y la visualización de navegación del piloto 326 la cual se proyecta sobre el parabrisas del aeroplano.

El ordenador de visualización en tiempo real 216 incluye un ordenador portátil 330, que puede ser un Panasonic CF30 con una utilidad de mapa en movimiento OziExplorer para hacer rastreo de los vuelos de reconocimiento, y un sistema de adquisición de datos WinDaq para mostrar la forma de onda de SFD durante el reconocimiento y también sirve para registrar los datos de respaldo. El ordenador portátil 330 puede también incluir el puerto de comunicaciones 334 conectado a los puertos de comunicación de GPS 304 y 276 del ordenador 214, un puerto USB 326, alimentación de CC de RAM en tarjeta 338 conectada a la fuente de alimentación de CC de 28 V 346, y el puerto USB 340 conectado al disco duro externo 344. El ordenador de visualización en tiempo real 216 también puede incluir un módulo de mapeo 350 el cual puede incluir la tarjeta de adquisición de datos 350, los puertos de entrada WinDaq 356 y 358, y el puerto USB 354 que se conecta al puerto USB 336 en el ordenador portátil 330. Los puertos WinDaq 356 se conectan a las unidades de acondicionamiento de señal de SFD 222 y 232, respectivamente.

El ordenador principal 214 opera para recopilar y digitalizar los datos de sensor, datos de acelerómetro, y datos GPS. Las tarjetas de adquisición de datos mencionadas anteriormente incluyen convertidores de analógico a digital que digitalizan las salidas analógicas de los sensores de SFD y los acelerómetros. Los datos de acelerómetro sirven como una función de control de calidad. Si el impacto de la aceleración en los sensores de SFD es demasiado alto, por ejemplo, 1 g o mayor, se requiere llevar a cabo cuidado extra con respecto a la calidad de los datos. Esto se lleva a cabo correlacionando los datos del acelerómetro con los datos de sensor de SFD por medio del ordenador principal 214. El ordenador principal 214 también correlaciona los datos de SFD con la salida de datos de posición del aeroplano por medio del módulo de GPS 268. El ordenador de visualización en tiempo real 216 proporciona salidas de señal durante los reconocimientos que muestran la salida de SFD como una función del tiempo, cuyas formas de onda se analizarán a mayor detalle más adelante. Estas formas de onda se pueden emitir en tiempo real en la pantalla del ordenador portátil 330. El tiempo también se correlaciona con la oposición por medio de la salida de GPS que habilita al sistema para que proporcione visualización en tiempo real de los vuelos que correlacionan el tiempo con la posición. Ejemplos de tales mapas se mostrarán y analizarán más adelante.

La figura 4 es un esbozo de una fotografía que muestra el equipo de reconocimiento de sensores en un lugar a bordo de una aeronave 380 Cessna Citation 560. El ordenador portátil de visualización en tiempo real 330 se coloca en la parte superior del bastidor 384 más cercana, mientras el ordenador principal 290 está directamente por debajo de la anterior. El módulo de mapeo 350 está en la parte inferior de este bastidor. La interfaz de cable 248 se puede ver en la parte inferior derecha del bastidor 384. La caja de sensores de SFD 230 del sistema uno se puede ver en la parte superior del segundo bastidor 388 mientras que la caja de sensores 230 del sistema dos está debajo de la anterior. Los acondicionadores de señal del sistema dos 232 se pueden ver en el nivel del bastidor por debajo de la caja de sensores 230. El módulo de navegación 218 se puede ver en la cabina 390 en el extremo lejano del aeroplano 380.

La figura 5 muestra una realización de una caja de sensores 230 abierta y una unidad de acondicionamiento de señal de múltiple canal 232. Los sensores de campo gravitatorio son unidades individuales montadas dentro de una caja dura Pelican 400 con aislamiento contra vibración e impacto. En la realización de la figura 5, el aislamiento contra vibración e impacto comprende una manta de gel de silicona 410. Dieciséis sensores de SFD 404, 406, 408, 414, 416, 418, 420, 422, 424, 426, 428, 430, 434, 435, 436 y 437 se montan en la manta 410. Tres acelerómetros 440, 441, y 442 se montan en la parte superior de los sensores de SFD 434, 435, y 437, respectivamente, y por lo tanto son soportados en la manta 410. Estos acelerómetros miden la aceleración en cada una de las tres direcciones ortogonales. Además, los tres acelerómetros 444, 445 y 446 se montan directamente en la caja 400. Éstos miden la aceleración en cada una de las tres direcciones ortogonales del fuselaje. Muchas otras configuraciones de sensores de SFD y acelerómetros son posibles. La redundancia de los sensores de SFD y acelerómetros es a menudo una característica de las realizaciones. En una realización, se registran simultáneamente las señales de catorce sensores de SFD en dos sistemas separados en modo diferencial para reducir la incertidumbre de identificar características geológicas de subsuperficie y eliminar el ruido no deseado. En una realización, veinticuatro sensores de SFD están contenidos en tres sistemas separados.

El sensor de campo gravitatorio de acuerdo con la invención es un dispositivo de pequeña escala que responde a fluidos atrapados estratigráficos estructurales provocados por variaciones principalmente en las direcciones de esfuerzo horizontal en la subsuperficie con respeto a la densidad y el esfuerzo, de ahí la expresión Detector de Campo de Esfuerzo. Una realización del sensor se describe con referencia a las figuras 6A - 10 a continuación. Dependiendo del diseño, el sensor es un transductor de dos o tres terminales que produce una señal eléctrica analógica que varía con el tiempo, la cual se alimenta a través de una unidad de acondicionamiento de señal de múltiple canal. La salida, en la forma de una señal de voltaje analógica, fluye a las tarjetas de adquisición de datos donde se convierte a una señal digital para su visualización en un sistema informático. Los datos pueden ser registrados en 2000 muestras por segundo.

La presente realización del sistema transductor de gravedad consiste en un sensor electromecánico y la electrónica asociada que procesa y registra la señal de voltaje producida por el sensor. La figura 6 muestra unas vistas lateral (la figuras 6A) y en planta (la figuras 6B), respectivamente, que muestran detalles de una realización de un sensor electromecánico 416 de acuerdo con la invención. La presente realización comprende un pasador 450, que tiene un recubrimiento 462 y un cordón 454 que comprende una primera semiesfera 456, un disco 458 y una segunda semiesfera 460. En la presente realización, tanto el cordón como el pasador están fijos y no está permitido el desplazamiento relativo entre los mismos, y la detección se basa en el movimiento (vibración) de la interfaz activa (partícula atrapada) 514 en la figura 10. El pasador 450 puede estar hecho de oro o cobre, aunque puede estar hecho de otros materiales. El recubrimiento 462 puede estar hecho de óxido de plata, es decir, Ag₂O, aunque puede estar hecho de otros óxidos u otros dieléctricos. El espesor del recubrimiento 462 puede ser de treinta nanómetros o menos; más preferiblemente, veinte nanómetros o menos; y más preferiblemente diez nanómetros o menos. La porción de disco central circular 458 del cordón 454 puede estar hecha de cobre, aunque puede estar hecha de muchos otros metales. Dimensiones ilustrativas de las diferentes partes se muestran en las figuras 6A y 6B. Las semiesferas 456 y 460 pueden ser de 2 mm de longitud, y pueden estar hechas de aleaciones, tal como aleaciones de estaño, níquel, plomo y plata. En una realización, la primera semiesfera 456 puede ser 63 % de Sn y 37 % de Pb, mientras la segunda semiesfera 460 puede ser 96,3 % de Sn y 3,7 % de Ag. El disco 458 puede ser de 1,75 mm de longitud. La superficie interna del cordón se hace relativamente rugosa. El pasador 450 puede ser de 25 mm de longitud y 1,45 mm de diámetro. El diámetro exterior de las semiesferas 456 y 460 y el disco 458 puede ser de 3,5 mm. Durante el funcionamiento, el pasador 450 se mantiene en el voltaje de tierra por medio del contacto 504, mientras que el cordón 454 se mantiene en el voltaje de VCC positivo por medio del contacto 508. También se pueden usar algunos otros materiales para los componentes de sensor detallados anteriormente tales como níquel, carbono, platino, u otros y sus aleaciones. Los óxidos de metal que se pueden usar para recubrir el pasador 450 incluyen el óxido de tantalio, óxido de aluminio, óxido de estaño, óxido de níquel y otros.

Las figuras 7A y 7B son vistas lateral y en planta que muestran la perspectiva de otro ejemplo de una unión de sensor 470. Este ejemplo, que no es parte de la invención, incluye un pasador 474, y un cordón 476, un disco 478, un disco 480 y un disco 482. El pasador 474 está recubierto con un recubrimiento 472. El pasador 474 y el disco 480 pueden estar hechos de un buen conductor, tal como el oro o el cobre. Los discos 478 y 482 pueden estar hechos de una aleación de metal, tal como las aleaciones de estaño, níquel, plomo y plata. El recubrimiento 472 puede estar hecho de un óxido de metal, tal como óxido de plata u otros óxidos mencionados anteriormente. Un contacto de pasador 490 puede estar hecho de cobre, u otros materiales mencionados anteriormente, y puede estar conectado a tierra en 494. El disco 482 puede estar conectado al voltaje de VCC positivo. El voltaje de VCC positivo puede estar por lo general entre 6 y 9 voltios. Durante el funcionamiento, la posición del pasador 450, 474 se ajusta en el agujero del cordón 454, 476 usando un control de precisión micromecánico, que se puede ajustar por medio de un nanoposicionador de accionamiento piezoeléctrico.

Las figuras 25 y 26 son unas vistas lateral y en planta que muestran una perspectiva de una realización 516 de una unión de sensor. La presente realización incluye un pasador 550 y un cordón 554 que consiste en los discos 558, 556 y 560. Los discos 556 y 560 se pueden hacer de una aleación de metal, tal como aleaciones de estaño, níquel, plomo y plata. La porción de disco central circular 558 del cordón 554 puede estar hecha de cobre, aunque puede

estar hecha de muchos otros metales. La superficie interna 586 del cordón se hace relativamente lisa. En la presente realización, se permite el desplazamiento relativo entre el cordón y el pasador. Se coloca un separador de polímero dieléctrico delgado 580 que controla la vibración de cordón entre el pasador 550 y el cordón 554. El separador se puede hacer de un adhesivo polimérico que contiene hasta un diez por ciento de óxido de titanio (TiO₂). También se pueden usar otros adhesivos. El pasador 550 se recubre con un material dieléctrico 584. El pasador 550 y el disco 558 se pueden hacer de un buen conductor, tal como oro y cobre. El recubrimiento 584 puede estar hecho de un óxido de metal, tal como óxido de plata u otros óxidos mencionados anteriormente. Un contacto de pasador 582 puede estar hecho de cobre, u otros materiales mencionados anteriormente, y puede estar conectado a tierra en 583. El cordón se puede conectar al voltaje de VCC positivo por medio del conductor 588. El voltaje de VCC positivo 589 puede ser habitualmente de entre 3 y 9 voltios.

Durante el funcionamiento para ambas realizaciones, la posición del pasador se ajusta en el agujero del cordón para una respuesta óptima usando un control de precisión micromecánico, que se puede ajustar por medio de un nanoposicionador de accionamiento piezoeléctrico.

II. Principios operativos

II.1. Diseño de transductor I: Detección por interfaz activa

Mientras el sistema descrito en el presente documento está probado en gran parte contra evidencia empírica por aproximadamente 15 años, y se ha hecho mejora constante del sistema basándose en la evidencia empírica, puede ser útil un análisis en términos de los principios operativos en el entendimiento del sistema. La figura 8 es un esbozo que muestra una vista microscópica de la unión de sensor 416 que ilustra cómo se puede(n) atrapar la(s) partícula(s) neutra(s) o cargada(s) 512, 514, formando una unión de sensor activa 416. Como en las figuras 6A y 6B, el sensor 416 incluye un cordón 454 y un pasador de metal 450. El cordón 454 incluye las porciones 456 y 460 las cuales pueden estar hechas de aleación de metal y la porción 458 la cual puede estar hecha de metal, tal como cobre. El pasador 450 está recubierto con un recubrimiento 462 el cual puede estar hecho de un óxido de metal. El pasador 450 está conectado a tierra en 504 y el cordón 454 está conectado al voltaje de +VCC en 508. El pasador 450 se ajusta en direcciones ortogonales a su longitud, como se muestra en 520. A medida que se ajusta el pasador 450, la(s) partícula(s) eléctricamente neutra(s) o cargada(s), tal como 512 y 514 se pueden atrapar de manera adecuada entre el pasador 450 y el cordón 454. Cuando el voltaje de +VCC se aplica a través del pasador 450 y el cordón 454, la corriente eléctrica produce calor, que genera fonones. Una partícula, tal como 514, se puede atrapar de manera adecuada en una resonancia de fonón que se forma en la unión electrónica de metales disímiles.

La figura 9 es un esbozo que ilustra una realización que comprende un ejemplo de múltiples uniones que no es parte de la invención, comprendiendo cada una una superposición de la onda, tal como 515, de una partícula atrapada, tal como 514, y la onda de fonón, tal como 530 generada en la cavidad de unión. Como se muestra, el ajuste 526 atrapa la partícula 514 en una onda estacionaria de fonón 530, y el ajuste 536 atrapa la partícula 533 en una onda estacionaria de fonón 534. La partícula atrapada se confina en el espacio 500 entre el recubrimiento de óxido del pasador 450 y la superficie interior 460 del cordón 454. La figura 10 es un esbozo que ilustra una trampa 520, 501 de una partícula 514 entre el pasador de metal 450 y un cordón de metal 460.

El transductor de resonancia de onda de fonón controlada, interfaz activa es un sistema de sensores geofísico que es capaz de detectar variaciones útiles en el campo gravitatorio de la tierra. Debido a su configuración compacta y altamente portátil, el sensor se emplea fácilmente en aplicaciones de reconocimiento aerotransportadas, las cuales lo sitúan idealmente como una herramienta rápida y rentable para exploración mineral de área extensa. El presente sistema de reconocimiento está diseñado específicamente para prospección de petróleo y gas. Aplicaciones futuras adicionales del sistema incluyen exploración de mineral metálico, prospección de kimberlita (diamante), ubicación de lechos poco profundos de agua dulce, la predicción de terremotos y erupciones volcánicas, identificación y prueba de interacciones mecánicas cuánticas, (fenómenos y procesos), investigación de eventos mecánicos cuánticos en el dominio de la relatividad general, exploración del entendimiento del origen de la masa, gravedad e inercia de las leyes de la física más fundamentales, y pruebas de los postulados de relatividad general, y observaciones astronómicas y astrofísicas potenciales. Sin embargo, estas aplicaciones pueden requerir modificaciones a los diseños actuales y la selección de material, funciones de control añadidas y la selección de partículas adecuadas.

La premisa de operación básica de la interfaz activa se basa en la relación fundamental entre esfuerzo y gravedad.

La componente de esfuerzo vertical de la tierra está dominada por la gravedad que actúa en la sobrecarga. En contraposición, las componentes de esfuerzo horizontal máximo y mínimo afectan significativamente la gravedad horizontal. En consecuencia, la mayor parte de las anomalías gravitatorias con cambios de orientación ocurrirán en la dirección horizontal. Hayes demostró que los campos de esfuerzo no solo introducirán cambios en la magnitud de la gravedad sino también se acoplarán en las direcciones del tensor (T. J. Hayes, K. F. Tiampo, J. Fernández, y J. B. Rundle, "A gravity gradient method for characterizing the post-seismic deformation field for a finite fault", *Geophysical Journal International*, 173, 802 - 805, 2008). Al usar cálculos y modelos extensos de Joshua Tree Earthquake, Hayes mostró que la gradiometría de gravedad exhibirá forma similar al modelo de esfuerzos sobre un movimiento de deslizamiento de rumbo finito en el plano horizontal. Una excepción donde el esfuerzo no sigue el gradiente de

5 gravedad es en los fluidos atrapados. Si un sólido está en contacto con un fluido, el esfuerzo cortante en la interfaz debe ser cero (los fluidos no pueden soportar el cortante) pero la componente normal del esfuerzo (es decir, la tracción) debe ser continua. Los efectos de las ondas sísmicas cortantes son idénticos para los fluidos atrapados. Los campos de esfuerzo en los fluidos atrapados, por lo tanto, difieren significativamente de aquellos de las rocas sólidas y también provocan perturbaciones gravitatorias únicas.

10 De acuerdo con la teoría general de la relatividad, todas las formas de energía son fuentes para el campo gravitatorio, y la adición o sustracción de energía altera el campo gravitatorio potencial de un objeto. En consecuencia, los cuerpos gravitatorios desarrollarán perturbaciones reales en la geometría de su campo gravitatorio en respuesta al esfuerzo aplicado. Las fuentes de esfuerzos pueden incluir calor, rotación, compresión o tensión, y el origen de tales fuentes de esfuerzos puede ser interno o externo al cuerpo.

15 El transductor de la invención es un dispositivo no lineal de escala mesoscópica diseñado (1) para responder selectivamente a las anomalías gravitatorias inducidas por esfuerzo; (2) para lograr una integración de señal dinámica con el tiempo; (3) para rechazar las fuentes gravitatorias de variación constante o gradual; (4) para llevar a cabo estas funciones desde grandes altitudes, por ejemplo, 304,8 a 6.096 metros (1.000 a 20.000 pies), y a una tasa de muestreo alta (por ejemplo, 2000 muestras por segundo); (5) para permitir la interacción de dominios mecánicos clásicos y cuánticos a través de una interfaz diseñada especialmente. El sistema transductor de gravedad aprovecha la relación esfuerzo-gravedad para inferir cambios en los patrones de esfuerzo dentro de una cuenca sedimentaria y / o en la corteza superficial de la tierra al centrarse en la detección de variaciones sutiles en la forma de las vibraciones del campo gravitatorio que vienen de perturbaciones de esfuerzo. Para ser claros, el sistema transductor de gravedad de acuerdo con la invención está diseñado para detectar anomalías, como variaciones en vibraciones en el dominio de la frecuencia de gravedad - energía, opuesto a medir la magnitud de la aceleración que es en lo que se basan los gravímetros y gradiómetros de gravedad convencionales del estado de la técnica. En este sentido, el sistema de la invención representa una desviación sustancial de las tecnologías conocidas empleadas en el campo de la geofísica.

30 Una "masa de prueba" grande es inadecuada para medir pequeñas distorsiones en la gravedad en interacciones de gran escala. Además, una masa grande tiene una longitud de onda de de Broglie corta. En contraposición, una masa de escala de partícula tiene una longitud de onda de de Broglie larga. La densidad de energía se relaciona con la masa, y la masa se podría definir en términos de la frecuencia de Broglie (J. W. G. Wignall, "Proposal for an absolute, atomic definition of mass", *Physical Review Letters*, 68, 5 - 8, 1992; S. Y. Lan, P. C. Kuan, B. Estey, D. English, J. Brown, M. Hohensee, y H. Müller, "A clock directly linking time to a particle's mass", *Science*, 339, 554 - 557, 2013). Por lo tanto, todas las vibraciones experimentadas por una masa están fundamentalmente asociadas con su frecuencia de Broglie.

40 A medida que el sensor se hace volar a través del campo gravitatorio a una alta velocidad, su interfaz activa de vibración se afina a una frecuencia específica de interés. Esto permitirá que el sensor interactúe con la densidad de energía gravitatoria localizada dentro de una geometría específica de espacio-tiempo relacionada con perturbaciones de esfuerzo y densidad de subsuperficie específicas. Las perturbaciones con una densidad de energía comparable con la del sensor producirán vibraciones localizadas que interfieren con las vibraciones preestablecidas del sensor e iniciarán cambios en la población de fonones dentro de la cavidad de unión resonante. Por lo tanto, la salida de forma de onda eléctrica resultante se puede usar para identificar los atributos de señal indicativos de fluidos atrapados y otras características geológicas. Además, los efectos de orientación se inducen por "estados de esfuerzo" anisotrópicos in situ y de densidad de subsuperficie asociados con las discontinuidades de subsuperficie, las cuales pueden ser detectadas a medida que el sensor está volando a lo largo de una trayectoria recta. Las perturbaciones de densidad - esfuerzo asociadas con la flotabilidad (una fuerza hacia arriba ejercida por un fluido que se opone al peso del objeto sumergido) también se pueden identificar, basándose en patrones y cambios de frecuencia.

50 Las vibraciones del campo gravitatorio de longitud de onda corta, tales como aquellas producidas por las perturbaciones de densidad - esfuerzo, se pueden transferir a las partículas con la longitud de onda correspondiente de, por ejemplo, el elemento de detección que consiste de los fonones y la partícula atrapada. El proceso descrito anteriormente permite una transferencia eficiente de energía - momento y la amplificación de los efectos resultantes de vibraciones y distorsiones de campo pequeñas. SFD sondea el espectro de densidad de energía gravitatoria con el fin de investigar y discernir los cambios de esfuerzo en la subsuperficie asociados con los fluidos atrapados y otras características geológicas. La presente invención aprovecha un enfoque novedoso en la identificación y descripción de los efectos gravitatorios que antes eran indetectables.

60 El dispositivo descrito en el presente documento puede ser un transductor controlado de onda estacionaria de fonón que consiste de una cavidad resonante o una resistencia baja, unión de metal - óxido - metal de interacción débil (Unión LONCI) con regiones espaciales altamente restringidas. Entre las terminales de unión, puede estar atrapada una estructura de materia de unión no reticulada particular que tiene su onda asociada, es decir, un elemento de partícula. El elemento de partícula será llamado la Partícula Atrapada en lo sucesivo. Sin excitación aplicada, la Partícula Atrapada oscilaría de forma natural en torno a su posición de equilibrio. Sin embargo, con una excitación apropiada, la Partícula Atrapada se puede comportar como una Interfaz Activa en conjunción con la onda

estacionaria de fonón en la detección de vibraciones o distorsiones gravitatorias localizadas. El acoplamiento de la materia - onda de la Partícula Atrapada y la onda estacionaria de fonón constituye el mecanismo de detección de gravedad.

5 Otros dispositivos mecánicos cuánticos emplean "interfaces de unión pasiva" en las cuales la barrera de unión está compuesta de gas / aire de película delgada o algún otro dieléctrico, etc., caracterizado por alta resonancia y por lo general cooperan a temperaturas extremadamente bajas. En contraposición, un sensor de interfaz activa puede utilizar resistencia de unión baja en la cual las partículas se pueden mover a través de la unión como ondas, contrario a las uniones de resistencia alta de aproximadamente 4,1 K Ω o más donde las partículas se mueven a través de la unión como partículas. Además, el sensor descrito opera a temperatura ambiente y emplea la Interfaz Activa en una forma de una onda de materia de Partícula Atrapada, que se acopla directamente con el sistema de onda estacionaria de fonón. El acomodo resultante se usa en la detección de cambios vibracionales / direccionales diminutos altamente localizados en el campo gravitatorio.

15 La unión LONCI es polarizada por corriente de CC. El paso de la corriente a través de la unión de resistencia baja produce calor de Joule. Cuando los fonones son absorbidos en la unión estos se termalizan rápidamente lo cual eleva la temperatura de la unión. Como resultado, el sistema de sensores se somete a excitación y se generan los fonones. Esto resulta en dispersión de electrón - fonón, cambio de impedancia de unión, formación de bloqueo de Coulomb, e inicia la tunelización de partículas. El sistema se afina electromecánicamente (1) para alcanzar la resonancia deseada al modificar las dimensiones de cavidad y / o cambiar la capacidad de la unión, (2) para producir onda de fonón estacionaria coherente dentro de la cavidad por dos ondas de fonón que viajan en direcciones opuestas, (3) para permitir un complejo de onda de partícula para acoplar al campo gravitatorio de forma local, y (4) para amplificar señales, y (5) para aprovechar la resonancia estocástica. Por la asistencia del ruido electrónico de Johnson-Nyquist ubicuo (debido a la agitación térmica de las portadoras de carga) generado en la unión de sensor, se puede lograr la amplificación y optimización de las señales extremadamente débiles que resultan de las interacciones de gravedad. Esto también afecta las operaciones de modo de sensor.

30 A medida que el sensor se mueve a lo largo de una trayectoria de reconocimiento, la onda de materia de la Partícula Atrapada acoplada con la onda estacionaria de fonón se extenderá, comprimirá o relajará en respuesta a las variaciones de campo. El sistema de onda cambiante afecta continuamente la impedancia de la unión, lo cual se observa como una salida de señal de voltaje contra el tiempo. Esto es parcialmente debido a la dispersión de electrón - fonón con distribución de carga eléctrica de control a través de la unión.

35 Mientras el cambio de impedancia es evidente, todavía no se entiende completamente su causa. Algunos de los procesos que rigen el cambio de impedancia son potencialmente: la superposición del acoplamiento de campos y formas de onda, acoplamiento de fonón - fonón, acoplamiento de electrón - fonón, formación de bloqueo de Coulomb, y tunelización de partículas. A medida que se aplica el voltaje de polarización, las portadoras de carga pueden realizar una tunelización a través de la unión. La conductancia varía de acuerdo con la energía de carga de la unión, la energía térmica del sistema, la cuantización de conductancia y polarización de espín, a medida que las portadoras de carga se mueven a través de la capa de óxido.

45 El sistema transductor de corriente se calibra para centrarse en una ventana de observación efectiva de aproximadamente 0,5 a 1,5 kilómetros radiales. A esta escala, la evidencia empírica sugiere que la mayor parte de los efectos de la gravedad surgen de la interacción de los esfuerzos tectónicos in situ que actúan sobre las características geológicas locales. Como resultado, los patrones de esfuerzos inferidos son a menudo indicativos de trampa de hidrocarburos y condiciones de yacimiento prospectivas en cuencas sedimentarias que incluyen, por ejemplo, la presencia de bloques de falla, yacimientos canalizados, o arrecifes de carbonato. Otros ciertos patrones de esfuerzos pueden indicar cambios en el dominio geológico, tales como sistemas de falla, cinturones de fractura, fronteras litológicas y sobrepresión.

50 II.2. Diseño de transductor II: Detección por desplazamiento relativo

Diversas realizaciones del sistema descrito en el presente documento se han probado ampliamente frente a la evidencia empírica, y se ha realizado una mejora sostenida del sistema. Para entender cómo la unión de sensor detecta la anomalía de gravedad, puede ser de ayuda un modelo matemático de la mecánica clásica para caracterizar el movimiento relativo entre el pasador y el cordón. En su configuración básica, este modelo mecánico está compuesto por dos masas de prueba, dos resortes y un amortiguador.

60 La figura 27 muestra un diagrama esquemático de un modelo mecánico. Las dos masas de prueba m_1 y m_2 están conectadas en vertical por un resorte con una constante elástica k_2 y un amortiguador con un coeficiente de amortiguación α . La masa de prueba se corresponde con el pasador 450 y la masa de prueba m_2 se corresponde con el cordón 454. La masa de prueba m_2 está conectada en vertical a la plataforma de suelo por un resorte con una constante elástica k_3 .

65 El Lagrangiano para el sistema mecánico descrito en la figura 5 es dado por

ES 2 776 424 T3

$$L = T - V = \frac{(m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2)}{2} - \frac{k_3 (x_2 - l_3)^2}{2} - \frac{k_2 (x_1 - x_2 - l_2)^2}{2} - g(m_1 x_1 + m_2 x_2),$$

en donde l_2 y l_3 son longitudes de equilibrio de los resortes respectivos, y v_1 y v_2 son las velocidades de las masas de prueba respectivas. El efecto de la amortiguación se añade una vez que se han obtenido las ecuaciones de movimiento a partir del Lagrangiano. La ecuación de movimiento para m_1 se obtiene mediante la ecuación de Euler-Lagrange aumentado por la fuerza disipativa

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_1} \right) = \frac{\partial L}{\partial x_1} + \text{fuerza disipativa},$$

10 dando

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = -k_2 (x_1 - x_2 - l_2) - m_1 g - \alpha (v_1 - v_2).$$

15 El término $-\alpha(v_1 - v_2)$ representa la fuerza disipativa que actúa sobre m_1 . Esta es cero cuando ambas masas de prueba se mueven con las mismas velocidades. Bajo esta condición, el amortiguador no absorbe energía de los movimientos de las dos masas de prueba. Si la velocidad de m_1 es más alta que la de m_2 , y ambos se están moviendo en la misma dirección, entonces la fuerza disipativa actúa para reducir la velocidad de m_1 . Si la velocidad de m_2 es más alta y ambos se están moviendo en la misma dirección, entonces la fuerza disipativa da lugar a que m_1 consiga más velocidad. Este efecto sucede debido a que los dos extremos de amortiguador se acoplan a dos masas diferentes, de tal modo que m_1 es empujado hacia arriba si m_2 se mueve hacia arriba con una velocidad más alta, o m_1 es halado hacia abajo si m_2 se mueve hacia abajo con una velocidad más alta. Si, sin embargo, ambas masas se mueven en sentidos opuestos, entonces la fuerza disipativa actúa para reducir la velocidad de m_1 .

25 La ecuación de movimiento para m_2 también se obtiene mediante la ecuación de Euler-Lagrange añadida por la fuerza disipativa

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial v_2} \right) = \frac{\partial L}{\partial x_2} + \text{fuerza disipativa},$$

30 dando

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = -k_2 (x_1 - x_2 - l_2) - k_3 (x_2 - l_3) - m_2 g - \alpha (v_1 - v_2).$$

35 Debido a que la masa m_1 no puede ser de una posición menor que la de la masa m_2 , se ha de tener $x_1 - x_2 > 0$. Si el resorte k_2 es un resorte de longitud nula, entonces se tiene $x_1 - x_2 \geq 0$. k_2 es un resorte de longitud nula si $l_2 = 0$. La detección sensible de los cambios de aceleración gravitatoria en la presente invención se basa en aislar el desplazamiento relativo entre las dos masas:

$$\xi = x_1 - x_2.$$

40 Se supone que la aceleración gravitatoria tiene la siguiente dependencia del tiempo

$$g(t) = \begin{cases} g_0 & 0 \leq t < \tau \\ g_0 + \Delta g & t \geq \tau \end{cases},$$

45 en donde g_0 y Δg son el segundo plano de aceleración gravitatoria constante y la anomalía de gravedad, respectivamente, y $\tau > 0$.

Suponiendo que el resorte superior (k_2) tiene una longitud nula cuando este está en equilibrio, es decir, $l_2 = 0$, la solución para el desplazamiento relativo es

$$50 \quad \xi(t) = \frac{m_1 v_1(0)}{\alpha} e^{-k_2 t / \alpha} + \frac{m_1 g_0}{k_2} (e^{-k_2 t / \alpha} - 1) + \frac{m_1 \Delta g}{k_2} (e^{-k_2 (t-\tau) / \alpha} - 1) H(t - \tau),$$

55 en donde $H(t - \tau)$ es una función de escalón unitario que tiene un valor de 1 si $t > \tau$ y cero de lo contrario. Esta solución se obtiene al suponer que, numéricamente, $k_3 > k_2 \gg \alpha > m_1 \approx m_2$ en el mismo sistema de unidades. El desplazamiento relativo $\xi(t)$ tiene componentes oscilatorias, que no se incluyen debido a las aproximaciones usadas cuando se lleva a cabo la inversión de la transformada de Laplace. La solución presentada anteriormente es la función de envolvente de variación lenta sin las componentes de oscilación de alta frecuencia.

La solución $\xi(t)$ anterior muestra que el segundo plano de aceleración gravitatoria constante puede ser completamente eliminado por filtrado por la realización preferida. Para ver este efecto, considérese sumergir la

realización preferida en el segundo plano constante sin presencia alguna de anomalía de gravedad Δg . El tiempo t es siempre menor que τ en el que comienza a aparecer la anomalía de gravedad, de tal modo que se tienen solo los primeros dos términos de la solución

$$\xi(t < \tau) = \frac{m_1 v_1(0)}{\alpha} e^{-k_2 t / \alpha} + \frac{m_1 g_0}{k_2} (e^{-k_2 t / \alpha} - 1).$$

Debido a la restricción geométrica de la realización preferida, la posición de m_1, x_1 , ha de ser al menos igual a la posición de m_2, x_2 , de tal modo que $\xi(t < \tau)$ no puede ser menor que cero. A medida que avanza el tiempo, el desplazamiento relativo disminuye de forma exponencial y alcanzará cero, indicando que las oscilaciones debido al segundo plano gravitatorio constante se suprimen completamente. El instante en el que se suprime completamente g_0 tiene lugar cuando $\xi(t < \tau) = 0$, dando

$$t_0 = \frac{\alpha}{k_2} \ln \left[1 + \frac{k_2 v_1(0)}{\alpha g_0} \right].$$

Aunque es preferible hacer que k_2 se aproxime a cero, la restricción de aproximación $k_3 > k_2 \gg \alpha > m_1 \approx m_2$ requiere que k_2 sea numéricamente mayor que o bien α , m_1 , o bien m_2 o bien en el sistema SI o bien en el sistema Imperial de unidades de medición.

La figura 28 muestra un desplazamiento relativo típico de la realización preferida cuando este encuentra el perfil de aceleración gravitatoria dependiente del tiempo

$$g(t) = \begin{cases} g_0 & 0 \leq t < \tau \\ g_0 + \Delta g & t \geq \tau \end{cases}$$

Después de que la constante g_0 se haya suprimido en el tiempo t_0 dentro de $0 \leq t \leq \tau$, habrá una anomalía de gravedad Δg que tiene lugar en $\tau > t_0$. El término de la solución que porta la anomalía de gravedad es

$$\frac{m_1 \Delta g}{k_2} (e^{-k_2(t-\tau)/\alpha} - 1);$$

por lo tanto, no se detectará anomalía de gravedad alguna con $\Delta g > 0$ debido a que esta dará un desplazamiento relativo negativo. La expresión anterior es positiva si Δg es positivo y $t > \tau$. Por lo tanto, la realización preferida tiene dos ventajas: (i) suprime el segundo plano gravitatorio constante, y (ii) rechaza una anomalía de gravedad positiva.

La capacidad de la realización de rechazar una anomalía de gravedad positiva es adecuada para la exploración de hidrocarburos. La mayor parte, si no la totalidad, de los sistemas de roca porosa portadores de petróleo y gas tienen unas densidades menores que la densidad de segundo plano para el segundo plano constante g_0 . La supresión de segundo plano constante también es adecuada para la exploración de hidrocarburos debido a que los productos de reconocimientos por gravedad convencionales llevados a cabo usando gravímetros de LaCoste-Romberg o gradiómetros de tensor total son mapas de anomalía de gravedad. Los reconocimientos por gravedad convencionales requieren una sustracción del segundo plano constante y una corrección debido a las variaciones topográficas locales. La realización de los inventores de la presente invención lleva a cabo la sustracción y la corrección sobre la marcha cuando el sensor lleva a cabo un reconocimiento desde una aeronave.

La magnitud de desplazamiento relativo debido a la anomalía de gravedad es igual a

$$\xi_{\Delta g} = \frac{m_1 \Delta g}{k_2}.$$

La masa del cordón en la realización es de aproximadamente 0,25 gramos, mientras que se estima que k_2 es de 1,0 Newtons/metro. Suponiendo una anomalía de gravedad de 1 miligal, que es igual a 10^{-5} metros/segundo², se obtiene

$$\xi_{\Delta g} = 0,25 \text{ micrometros.}$$

La detección en el campo de esta magnitud de desplazamiento pequeña, por no hablar de su medición, supondría un desafío usando unos medios completamente mecánicos. Hay muchas fuentes de ruido cuando se despliegan equipos genéricos en el campo, y suprimir cada fuente de ruido sigue siendo una enorme barrera de medición que superar. Se hace notar que una anomalía de gravedad de 1 miligal representa el límite de medición actual habitual de la gravimetría (véase, I. Marson, "A short walk along the gravimeters path", *International Journal of Geophysics*, 2012, 687813, 2012).

La tecnología de supresión de segundo plano constante proporcionada por la realización puede bloquear de forma eficaz cualquier fuente de ruido de estado cuasiestacionario. En el modelo matemático presentado, se puede

considerar que g_0 representa cualquier fuente de ruido en el perfil de aceleración gravitatoria dependiente del tiempo

$$g(t) = \begin{cases} g_0 & 0 \leq t < \tau \\ g_0 + \Delta g & t \geq \tau \end{cases}$$

5 El análisis de los inventores de la presente invención muestra que el tiempo de supresión es dado por

$$t_0 = \frac{\alpha}{k_2} \ln \left[1 + \frac{k_2 v_1(0)}{\alpha g_0} \right]$$

10 para la fuente de ruido con una magnitud g_0 . Por lo tanto, en general, se desea tener

$$\frac{k_2 v_1(0)}{\alpha} \leq g_0$$

15 con el fin de tener t_0 tan pequeña como sea posible para que la supresión de ruido funcione usando la realización de los inventores de la presente invención. En el límite $k_2 \rightarrow 0$, se tiene

$$\lim_{k_2 \rightarrow 0} t_0 = \frac{v_1(0)}{g_0}$$

20 Para una fuente de ruido g_0 , su supresión depende completamente de la velocidad inicial del cordón, $v_1(0)$, que, en la práctica, no puede ser controlada fácilmente por unos medios externos para la realización de los inventores de la presente invención. $v_1(0)$ se corresponde con la velocidad del cordón como la realización preferida vuela por encima de un área que tiene una aceleración gravitatoria g_0 . Sin embargo, se puede lograr una supresión máxima en el límite $\alpha \rightarrow 0$, dando

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} t_0 = 0.$$

25 El límite $\alpha \rightarrow 0$, sin embargo, nunca se puede lograr debido a que, incluso sin resorte alguno que conecte el cordón y el pasador, es decir, $k_2 = 0$, siempre hay una fuerza de arrastre que amortiguará la oscilación de desplazamiento relativo en la realización. Por lo tanto, se ha de usar

$$\lim_{k_2 \rightarrow 0} t_0 = \frac{v_1(0)}{g_0}$$

30 como el comportamiento limitante del tiempo de supresión t_0 . Para un límite de medición de 1 miligal ($= 10^{-5} \text{ m/s}^2$), es necesario hacer que $v_1(0)$ sea como máximo 0,1 mm/s con el fin de tener t_0 del orden de 1 segundo. Esto se logra en la realización preferida de los inventores de la presente invención al hacer la constante elástica del pasador tan rígida como sea posible. La realización preferida tiene una constante elástica eficaz del pasador de aproximadamente 10^4 N/m mediante la colocación del cordón aproximadamente a 15 mm de la base del pasador y usar cobre como el material para el pasador. El cobre tiene un módulo de Young de 117 GPa y el radio del pasador es 0,725 mm.

40 En la realización preferida, la magnitud del desplazamiento relativo se convierte en una señal de voltaje a través de la unión eléctrica. El diseño de transductor dinámico es un cordón que actúa como la masa de prueba de arriba, que se inserta en un pasador sólido que actúa como la masa de prueba de abajo. El diagrama esquemático del conjunto de pasador - cordón se muestra en las figuras 1 a 4. En equilibrio estático, la superficie interior del cordón entrará en contacto con la superficie del pasador, y la separación entre la superficie interior del cordón y la superficie del pasador es del orden del espesor del óxido para prever que el cordón oscile independientemente de la oscilación del pasador. Se coloca un separador dieléctrico delgado entre el pasador y el cordón, que es representado por el resorte caracterizado por k_2 y el amortiguador caracterizado por α en la figura 5.

50 La capacidad estática entre el cordón y el pasador es dada por la fórmula para la capacidad de cilindros concéntricos

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln(R_2/R_1)},$$

en donde L es la longitud del cordón, R_1 es el radio del pasador, y R_2 es el radio interior del cordón. El desplazamiento relativo ξ entre el pasador y el cordón puede ser representado por un cambio en R_2 , y el cambio

resultante en la capacidad es

$$\Delta C(t) = -\frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{R_2 \ln^2(R_2/R_1)} dR_2 = -\frac{C_0}{\ln(R_2/R_1)} \frac{\xi(t)}{R_2}.$$

5 El factor $\ln(R_2/R_1) < 1$ proporciona una ganancia de amplificación para la capacidad estática C_0 y, por lo tanto, compensa el valor pequeño de $\xi(t)/R_2 < 1$. Es beneficioso tener un valor de R_2 pequeño y hacerlo cercano a R_1 . Como resultado, la realización preferida es de un tamaño pequeño y es sensible en cuanto a la detección. Dado que la capacidad C está relacionada con el voltaje V por medio de

10
$$V = \frac{Q}{C},$$

en donde Q es la carga eléctrica, se obtiene

15
$$\Delta V = -\frac{Q}{C^2} \Delta C,$$

en donde el cambio de voltaje ΔV es la señal de salida del transductor de gravedad dinámico.

Dado que ΔC es una función del tiempo, se obtiene

20
$$\Delta V(t) = -\frac{Q}{C_0^2} \Delta C(t) = -\frac{Q}{C_0 R_2 \ln(R_2/R_1)} \xi(t).$$

Debido a que $V_0 = Q/C_0$, se tiene

25
$$\Delta V(t) = -V_0 \frac{\xi(t)}{R_2 \ln(R_2/R_1)}.$$

Por lo tanto, la salida de voltaje es proporcional al desplazamiento relativo $\xi(t)$. Por lo tanto, el intervalo submilimétrico de $\xi_{\Delta g} = 0,25$ micrometros se puede amplificar con la ganancia

30
$$\frac{\xi(t)}{R_2 \ln(R_2/R_1)}.$$

En la realización preferida actual de los inventores de la presente invención, la ganancia es de aproximadamente 1 debido a la pequeña relación $\xi(t)/R_2$. Se estima que la realización preferida da $\ln(R_2/R_1) = 1/8$. Miniaturizar la realización preferida aumentará la ganancia mucho más.

35 Aunque la señal de voltaje de salida $\Delta V(t)$ es directamente proporcional al desplazamiento relativo $\xi(t)$, el proceso inverso a obtener la magnitud de anomalía de gravedad Δg requeriría una caracterización plena de (i) la geometría del conjunto de pasador - cordón que incluye distancias de separación para cada sensor usado; y (ii) constantes elásticas y constante de amortiguación del conjunto de pasador - cordón, que dependen de forma sensible de los procesos de fabricación.

40 El voltaje de referencia V_0 puede cambiar si la corriente eléctrica dQ/dt no permanece constante con el tiempo o cambia la capacidad estática C_0 , por ejemplo, a partir de la acumulación de carga en la capa de óxido. Un procedimiento de calibración que implica ciclos de carga y descarga eléctrica de un diseño estacionario en la figura 7A se puede llevar a cabo con el fin de determinar las constantes de tiempo de carga y de descarga. Estas constantes de tiempo de capacidad deberían ser más pequeñas que la constante de tiempo mecánica a/k_2 con el fin de lograr interpretaciones correcta.

45 La ventaja principal de poner el diseño en un movimiento rectilíneo a altitud constante continuo es la fuente geológica de la anomalía de gravedad producirá un perfil más abrupto de fuerza gravitatoria en la dirección vertical. El movimiento continuo prevé el siguiente perfil gravitatorio usado en el análisis del diseño

$$g(t) = \begin{cases} g_0 & 0 \leq t < \tau \\ g_0 + \Delta g & t \geq \tau \end{cases}.$$

55 Para ver este efecto de efecto de agudización, se puede considerar el diseño como una partícula de masa puntual, $m_1 + m_2$, ubicada en (x', y', z) que interacciona gravitatoriamente con una región de subsuperficie de paralelepípedo rectangular de un volumen $\Omega = abc$. La energía potencial gravitatoria es

$$V = -G(m_1 + m_2)\rho \int_0^a dx \int_{-b/2}^{b/2} dy \int_{z_0}^{z_0+c} \frac{dz}{\sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2 + (z' - z)^2}},$$

5 en donde la posición (x, y, z) pertenece a un punto dentro del volumen de subsuperficie y ρ es la densidad de subsuperficie. G es la constante gravitatoria. Si se puede suponer que el espesor de subsuperficie c es menor que la profundidad de ubicación z_0 de la subsuperficie, la fuerza gravitatoria en la dirección vertical (z) es

$$F_z = \frac{G(m_1+m_2)\rho cbh}{\left(\frac{b^2}{4}+h^2\right)} \left[\frac{x'-a}{\sqrt{(x'-a)^2+\frac{b^2}{4}+h^2}} - \frac{x'}{\sqrt{x'^2+\frac{b^2}{4}+h^2}} \right],$$

10 en donde h es la distancia vertical entre la coordenada vertical del sensor z' y la ubicación de borde de arriba z_0 del volumen de subsuperficie. h es, en la práctica, la suma de la altitud de la aeronave que porta el transductor y la profundidad vertical del volumen de subsuperficie. Si el volumen de subsuperficie Ω tiene una densidad ρ menor que la densidad de segundo plano ρ_0 , entonces el volumen Ω contribuye a la bajada del segundo plano gravitatorio constante g_0 . Este es el origen de la anomalía de gravedad Δg

$$15 \Delta g = \frac{F_{z'}}{m_1+m_2} = \frac{G\rho\Omega h}{a\left(\frac{b^2}{4}+h^2\right)} \left[\frac{x'-a}{\sqrt{(x'-a)^2+\frac{b^2}{4}+h^2}} - \frac{x'}{\sqrt{x'^2+\frac{b^2}{4}+h^2}} \right],$$

en donde $\rho\Omega$ es la masa del sistema de roca porosa de subsuperficie que produce la anomalía. Algunos efectos adicionales sobre Δg debido a los esfuerzos de subsuperficie pueden ser descritos por el cambio del volumen $\Delta\Omega$, que tiene lugar cuando se aplica una compresión y/o tensión al sistema de roca. El cambio de densidad $\Delta\rho$ se puede correlacionar con el esfuerzo de subsuperficie, es decir, el cambio de volumen $\Delta\Omega$. Por lo tanto, es posible que $\Delta\Omega$ y $\Delta\rho$ sean indicativos de cambios de esfuerzo de subsuperficie que tienen lugar de forma simultánea y cooperativa para producir un Δg detectable.

25 Cuando la aeronave que porta el transductor se está moviendo con una velocidad a altitud constante de v , se puede escribir

$$x' = x_0 + vt,$$

30 en donde $x_0 < 0$ es la posición horizontal inicial del transductor. La anomalía de gravedad Δg se vuelve explícitamente dependiente del tiempo

$$\Delta g = \frac{G\rho\Omega h}{a\left(\frac{b^2}{4}+h^2\right)} \left[\frac{x_0+vt-a}{\sqrt{(x_0+vt-a)^2+\frac{b^2}{4}+h^2}} - \frac{x_0+vt}{\sqrt{(x_0+vt)^2+\frac{b^2}{4}+h^2}} \right].$$

35 A medida que aumenta la velocidad de la aeronave v , $F_z(t)$ se vuelve más abrupta sin afectar a su magnitud. Por lo tanto, para una velocidad de la aeronave suficientemente alta, la anomalía de gravedad Δg se puede describir como teniendo lugar de forma abrupta en $t \geq \tau$

La anomalía de gravedad dependiente del tiempo $\Delta g(t)$, posee una distancia vertical óptima dada por

$$40 h_{opt} = b/2,$$

en donde la magnitud de campo gravitatorio es máxima, que se obtiene al diferenciar la función

$$f(h) = \frac{h}{\left(\frac{b^2}{4}+h^2\right)}$$

45 con respecto a h , ajustarla a cero y resolver la ecuación resultante para una distancia vertical óptima h_{opt} . b es el tamaño lineal del depósito de hidrocarburos en la dirección perpendicular al movimiento de la aeronave. h es, en la práctica, la suma de la altitud de la aeronave que porta el sensor y la profundidad vertical del volumen de subsuperficie. Dado que la altitud de la aeronave es habitualmente 3.000 metros, el sistema transductor basado en gravedad en la presente realización puede detectar depósitos de hidrocarburos a nivel de cuenca.

50 La dependencia del tiempo explícita de Δg , que es detectada por el diseño, prevé que el sensor no conserve energía. A medida que el sensor vuela a lo largo de una línea de vuelo y encuentra varias anomalías de Δg , este

acumula energía mecánica a partir del trabajo realizado por las anomalías de Δg

$$\text{Trabajo realizado} = \sum_j \int (m_1 + m_2) \Delta g_j d\xi,$$

5 en donde $d\xi$ es el desplazamiento relativo dentro del sensor. La integral se lleva a cabo a lo largo de una anomalía, mientras que la suma incluye todas las anomalías que encuentra el sensor a lo largo de su trayectoria de vuelo.

II.3. Análisis

10 Como se analiza, las componentes oscilatorias del desplazamiento relativo $\xi(t)$ se omiten en el modelo matemático anterior para mostrar algunas características fundamentales implicadas en el funcionamiento de transductor. Sin embargo, es importante hacer notar que un movimiento rectilíneo continuo induce y mantiene la oscilación del complejo de pasador - cordón del transductor a sus frecuencias naturales a través de interacción dinámica con el campo gravitatorio. Este comportamiento oscilatorio permite que el transductor reaccione de forma selectiva a las anomalías de gravedad a una escala espacial pequeña mientras se elimina por filtrado el segundo plano de gravedad de variación lenta. Este comportamiento oscilatorio también permite la acumulación de variaciones de gravedad diminutas a través de resonancia de tal modo que se mostrará en la señal una interferencia de forma de onda reconocible para las anomalías de gravedad.

20 Sin embargo, el comportamiento oscilatorio no permite que el transductor se asiente cuando este está en un movimiento rectilíneo continuo. En consecuencia, por un lado, se puede usar una tasa de muestreo alta para la adquisición de datos para seguir la evolución de patrones gravitatorios de pequeña escala sin la necesidad de establecer la condición de equilibrio de las masas de prueba; por otro lado, la detección dinámica de las anomalías de gravedad se vuelve más compleja en comparación con los gravímetros convencionales estáticos. Por lo tanto, es necesario aprovechar la señal adquirida en términos de atributos de onda que incluyen el desarrollo de tendencias de amplitud, frecuencia, fase, y así sucesivamente. Esto es un reconocimiento de patrones en lugar de cada valor puntual individual que se usa en la interpretación de datos. Esto implica que el transductor en la presente invención sacrifica precisión de medición en favor de conseguir una sensibilidad de detección más alta y una eficiencia más alta en la identificación de áreas de gravedad anómala para depósitos de hidrocarburos potenciales.

30 El transductor de la presente invención detecta anomalías gravitatorias debido al contraste físico de densidad y esfuerzo entre las discontinuidades geológicas y el segundo plano. Además de cambios de densidad de subsuperficie, los esfuerzos principales también desempeñan un papel significativo en el desarrollo de condiciones de subsuperficie asociadas con discontinuidades (véase J. S. Bell, "*In situ stresses in sedimentary rocks - part 2: applications of stress measurements*", *Geoscience Canada*, 23, 135 - 153, 1996). En general, el esfuerzo horizontal máximo ($S_{Hmáx}$) controla la migración de fluido y el esfuerzo horizontal mínimo ($S_{Hmín}$) dictamina la expulsión de fluido. A medida que el fluido se mueve dentro de rocas de yacimiento, $S_{Hmáx}$ disminuirá y $S_{Hmín}$ aumentará a medida que aumenta la presión de poro. La reducción del esfuerzo cortante y el aumento en la distribución de permeabilidad en yacimientos (controlada por $S_{Hmáx}$) conducirán a una condición de homogeneidad de subsuperficie más alta. En donde tienen lugar cambios de esfuerzo significativos en rocas en fracturas y fallas o en yacimientos en los bordes, estos se verán acompañados por un cambio de densidad significativo. Las investigaciones de los gradientes de gravedad y cambios de esfuerzo han mostrado que hay una relación física entre los dos a escalas pequeñas (véase T. J. Hayes y col., "*A gravity gradient method for characterizing the post-seismic deformation field for a finite fault*", *Geophysical Journal International*, 173, 802 - 805, 2008).

45 Para la respuesta del transductor, los cambios en la homogeneidad de subsuperficie son fundamentales en la producción del contraste físico de interés. En general, las rocas porosas y la presencia de fluido dan lugar a una disminución en la densidad aparente, que producirá un campo gravitatorio más bajo. Si se acumula más fluido en una trampa con una porosidad alta y una distribución de permeabilidad eficaz, entonces el sistema del yacimiento se vuelve más homogéneo. En consecuencia, hay un aumento en la homogeneidad de subsuperficie espacial. Basándose en tales consideraciones, una condición de segundo plano geológico (o no anómala) se puede caracterizar por una distribución aleatoria de $\square\square$ con gradientes de presión hidrostática. Una condición anómala de interés se puede caracterizar por una distribución homogénea aislada de $\square\square$ debido a la porosidad potenciada y la presencia de fluido habitualmente acotada por gradientes de esfuerzo anómalos. La condición anómala también se puede caracterizar por una reducción acusada en esfuerzo cortante dentro del yacimiento y una reorientación de los esfuerzos principales horizontales en torno al mismo.

60 El contraste físico más significativo que "ve" el transductor se da en el origen de la anomalía, que se debe al cambio en las propiedades de la roca y el aumento en el volumen de fluido anómalo. La anomalía de gravedad negativa producida por la presencia de la masa de fluido inducirá un desplazamiento relativo de los componentes de transductor y afecta al estado de resonancia. Como resultado, el transductor responde fuertemente a los bordes de la anomalía.

Resumiendo, al responder a condiciones anómalas de pequeña escala en la aceleración gravitatoria, la realización se diseña para emplear un conjunto de masa de prueba reducido para minimizar los efectos inerciales y para permitir una interacción de alta frecuencia con el campo gravitatorio en un entorno de reconocimiento de alta altitud y de alta velocidad, para permitir una inestabilidad mecánica para potenciar la sensibilidad de detección, para utilizar un movimiento rectilíneo para acumular continuamente Δg necesario para resolver las características a escala del yacimiento, y para obtener patrones de señal basados en ondas a través de transducción electromecánica para su análisis en contraposición a la medición de magnitudes convencional en la gravimetría tradicional.

En la exploración de hidrocarburos, los cinco criterios principales evaluados son fuente, migración, trampa, yacimiento y sello. El transductor de la presente invención es capaz de reaccionar a las condiciones de esfuerzo y densidad anómalas producidas por la presencia de combinada de una trampa, yacimiento y sello. Por lo tanto, este se puede emplear como una herramienta basada en gravedad potente para proporcionar información acerca de áreas que propician un atrapamiento de fluido en la columna sedimentaria.

Una característica de la realización descrita es que incluye integración de señal dinámica mientras está en movimiento. Todos los gravímetros y gradiómetros de gravedad presentes toman mediciones estáticas, es decir, no se requiere que el sensor esté en movimiento y, por lo tanto, estos instrumentos (1) son incapaces de llevar a cabo una integración de señal dinámica o detectar la acumulación de energía con el tiempo; (2) no tienen la capacidad de responder selectivamente a los cambios de energía inducidos por esfuerzo de subsuperficie (perturbaciones de cada discontinuidad de subsuperficie); (3) son incapaces de mostrar señales de vibración del campo gravitatorio a una tasa de muestreo alta (por ejemplo, 2000 muestras por segundo); y (4) no tienen la capacidad de identificar la presencia de fluidos atrapados localizados en la subsuperficie.

En un ejemplo útil para entender la invención y que no es parte de la invención, hay un sistema transductor de gravedad que comprende: una unión que comprende un primer metal y un segundo metal diferente al primer metal, formando la unión una cavidad resonante; una partícula caracterizada por una onda de de Broglie, la partícula contenida dentro de la cavidad resonante; una onda de fonón dentro de la cavidad resonante, la onda de de Broglie acoplada con la onda de fonón; una fuente de alimentación para aplicar alimentación eléctrica a través de la unión; un sensor capaz de detectar resistencia, voltaje o corriente, el sensor conectado eléctricamente con la unión, produciendo el sensor una señal detectada; y un sistema de registro para registrar la señal detectada. En una alternativa, la partícula no se mantiene en una estructura de retícula. En otra alternativa, el sistema comprende además un acelerómetro. En una alternativa, el sistema de registro comprende un sistema de determinación de posición geográfica (GPS). En una realización, el sistema comprende además un vehículo capaz de mover el sistema transductor. En una alternativa, el vehículo es un aeroplano. En una alternativa, el sistema de registro comprende un sistema de mapeo para mapear la ubicación del vehículo. En una realización, la unión comprende: un cordón conductor que tiene un agujero longitudinal a través del mismo; y un pasador conductor que tiene un recubrimiento dieléctrico, el pasador ubicado en el agujero longitudinal para formar la unión eléctrica. En una alternativa, el cordón y el pasador están hechos de metal, y el dieléctrico comprende un óxido de metal. En una realización, el óxido de metal comprende óxido de plata. En una realización, el cordón comprende un intercalado que comprende una capa de cobre u oro formada entre la primera y la segunda capas de aleación. En otra realización, la fuente de alimentación es una fuente de voltaje y el voltaje está entre 3 voltios y 9 voltios.

En otro ejemplo útil para entender la invención, hay un método para detectar los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio asociados con esfuerzo de subsuperficie, comprendiendo el método: crear una cavidad resonante; atrapar una partícula en la cavidad resonante; aplicar un campo eléctrico a través de la partícula en la cavidad resonante para crear una unión eléctrica; exponer la unión a los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio; detectar la resistencia, voltaje o corriente a través de la unión para producir una característica de señal detectada de los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio asociado con esfuerzo de subsuperficie; y registrar la señal detectada; y analizar la señal para detectar los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio. En una realización, el movimiento comprende además mover la partícula atrapada en la cavidad resonante a través del campo gravitatorio. En una alternativa, el movimiento comprende mover la partícula atrapada en la cavidad resonante en un vehículo. En otra realización, el movimiento comprende mover la partícula atrapada en la cavidad resonante en un aeroplano. En una alternativa, el registro comprende registrar la señal detectada como una función del tiempo. En otra realización, el registro comprende registrar la señal detectada como una función de la posición geográfica de la particular en la cavidad resonante. En una realización, el análisis comprende analizar la amplitud de señal, frecuencia de señal, o carácter y patrón de señal de la señal.

En otro ejemplo útil para entender la invención, hay un método para detectar un depósito de hidrocarburos, comprendiendo el método: proporcionar un transductor de gravedad para detectar un cambio en un campo gravitatorio; mover el transductor de gravedad a través de la atmósfera o sobre tierra por encima del depósito de hidrocarburos; detectar un cambio en el campo gravitatorio para producir una señal de cambio de gravedad indicativa del depósito de hidrocarburos; registrar la señal de cambio de gravedad; y analizar la señal de cambio de gravedad para detectar el depósito de hidrocarburos. En una alternativa, el movimiento se lleva a cabo al colocar el transductor de gravedad en un vehículo y mover el vehículo. En un ejemplo útil para entender la invención, el método comprende además rastrear la posición del vehículo y el registro comprende registrar la posición del

vehículo. En una alternativa, el análisis comprende correlacionar la señal de cambio de gravedad registrada con la posición del vehículo. En un ejemplo útil para entender la invención, el movimiento comprende colocar el transductor en una aeronave y hacer volar la aeronave sobre el depósito. En una realización, el método comprende además rastrear la posición geográfica de la aeronave y registrar la posición rastreada. En otro ejemplo útil para entender la invención, el método comprende además visualizar la posición en tiempo real de la aeronave. En otro ejemplo útil para entender la invención, la visualización comprende visualizar una línea de vuelo planificada y las desviaciones de la línea de vuelo. En otro ejemplo útil para entender la invención, la visualización comprende visualizar la línea de vuelo planificada y las desviaciones en el parabrisas de la aeronave. En otro ejemplo útil para entender la invención, el método comprende además monitorizar la rotación de la aeronave a lo largo de un plano horizontal para proporcionar una señal de rotación, el registro comprende registrar la señal de rotación, y el análisis comprende usar la señal de rotación para mejorar la calidad de la señal de cambio de gravedad. En un ejemplo, útil para entender la invención, el vuelo comprende hacer volar la aeronave a una altitud de 304,8 y 6.096 metros (1000 y 20.000 pies). En otro ejemplo útil para entender la invención, el método comprende integrar la señal de cambio de gravedad dinámicamente con el tiempo. En otra realización, el método comprende además detectar la acumulación de energía en la señal con el tiempo. En otra realización, la señal se muestrea a una tasa de muestreo de 1000 muestras por segundo o más.

También hay un método para detectar un fluido subterráneo atrapado por debajo de una capa de la tierra, comprendiendo el método: proporcionar un transductor de fluido subterráneo capaz de detectar el fluido subterráneo atrapado; mover el transductor a través de la atmósfera o sobre tierra por encima del fluido atrapado; detectar el fluido atrapado para producir una señal de fluido atrapado indicativa del fluido atrapado; registrar la señal de fluido atrapado; y analizar la señal de fluido atrapado para detectar el fluido atrapado. En un ejemplo útil para entender la invención, el movimiento se lleva a cabo al colocar el transductor en un vehículo y mover el vehículo. En otro ejemplo útil para entender la invención, el movimiento comprende colocar el transductor en una aeronave y hacer volar la aeronave sobre el depósito. En otro ejemplo útil para entender la invención, el método comprende además rastrear la posición geográfica de la aeronave y registrar la posición rastreada. En otra realización, el método comprende además monitorizar la rotación de la aeronave a lo largo de un plano horizontal para proporcionar una señal de rotación, el registro comprende registrar la señal de rotación, y el análisis comprende usar la señal de rotación para mejorar la calidad de la señal de cambio de gravedad. En otro ejemplo útil para entender la invención, el vuelo comprende hacer volar la aeronave a una altitud de entre 304,8 y 6.096 metros (1000 a 20.000 pies). En una realización, el fluido atrapado es un hidrocarburo.

En otro ejemplo útil para entender la invención la invención proporciona: un sistema transductor de gravedad que comprende: una unión que comprende un primer metal y un segundo metal, formando dicha unión una cavidad resonante debido a la vibración mecánica del conjunto de pasador - cordón; una fuente de alimentación para aplicar alimentación eléctrica a través de dicha unión; un sensor capaz de detectar resistencia, voltaje o corriente, dicho sensor eléctricamente conectado con dicha unión, produciendo dicho sensor una señal detectada; y un sistema de registro para registrar dicha señal detectada. En un ejemplo para entender la invención, el transductor de gravedad comprende además un avión capaz de mover dicho sistema transductor en un movimiento rectilíneo. En otro ejemplo para entender la invención, la unión comprende: un cordón conductor que tiene un agujero longitudinal a través del mismo; y un pasador conductor que tiene un recubrimiento dieléctrico, dicho pasador ubicado en dicho agujero longitudinal para formar dicha unión eléctrica. En otro ejemplo útil para entender la invención, hay un conjunto de pasador - cordón capaz de producir un desplazamiento relativo entre dicho cordón y dicho pasador bajo dicho movimiento rectilíneo de dicha aeronave. En otro ejemplo útil para entender la invención, el cordón y el pasador se hacen de metal, y dicho dieléctrico comprende un óxido de metal. En otro ejemplo útil para entender la invención, hay una capa de óxido entre el pasador y el cordón, capa de óxido que comprende óxido de plata, óxido de cobre u otro óxido de metal. En otro ejemplo útil para entender la invención, el cordón comprende una estructura intercalada que comprende una capa de cobre u oro formada entre la primera y la segunda capas de aleación. En otro ejemplo útil para entender la invención, la fuente de alimentación es una fuente de voltaje y el voltaje es de entre 3 voltios y 9 voltios.

Un ejemplo útil para entender la invención también proporciona un método de detección de cambios de orientación o variaciones localizadas de campo gravitatorio asociados con cambios de densidad y esfuerzos de subsuperficie, comprendiendo el método: crear una cavidad resonante debido a la vibración mecánica del conjunto de pasador - cordón, representando la vibración mecánica un desplazamiento relativo entre el cordón y el pasador; aplicar un campo eléctrico a través de la unión en la cavidad resonante para crear una unión eléctrica; exponer la unión a los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio por medio del desplazamiento relativo entre el cordón y el pasador; detectar el voltaje a través de la unión para producir características de señal detectadas de los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio; adquirir los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio continuamente a partir de un avión en movimiento sin la necesidad de establecer un estado de equilibrio estático; usar una inestabilidad mecánica para potenciar la sensibilidad de detección y la eficiencia de reconocimiento; aprovechar la interacción de alta altitud y alta velocidad con un campo gravitatorio, permitiendo que las masas de prueba oscilantes pequeñas tengan acceso a dominios de alta frecuencia del campo gravitatorio; actuar como un transductor mecánico para, rápidamente, responder a y convertir la energía de desplazamiento en una distribución de carga electrostática, y como un transductor de capacidad para modular la salida a través de integración; registrar la señal detectada; y analizar la señal para

detectar los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio asociados con cambios de densidad o cambios de esfuerzo de subsuperficie. En un ejemplo útil para entender la invención, el registro comprende registrar la señal detectada como una función del tiempo.

5 En otro ejemplo útil para entender la invención, hay un sistema transductor de gravedad que comprende: una unión que comprende un primer metal y un segundo metal, formando la unión una capacidad activa debido a la vibración mecánica del conjunto de unión; una fuente de alimentación para aplicar alimentación eléctrica a través de la unión; un sensor capaz de detectar voltaje, el sensor eléctricamente conectado con la unión, produciendo el sensor una característica de señal detectada de una señal gravitatoria; y un sistema de registro para registrar la señal gravitatoria detectada. En una realización, el sistema comprende además un vehículo capaz de mover el sistema transductor en un movimiento rectilíneo. La unión comprende: un cordón conductor que tiene un agujero longitudinal a través del mismo; un pasador conductor que tiene un recubrimiento dieléctrico, el pasador ubicado en el agujero longitudinal para formar la unión eléctrica; y un separador de polímero dieléctrico entre el cordón y el pasador. El pasador y el cordón se hacen de metal, y el recubrimiento dieléctrico comprende un óxido de metal. En una realización del sistema transductor de gravedad, hay una capa de óxido entre el pasador y el cordón y la capa de óxido comprende óxido de plata, óxido de cobre u otros óxidos de metal. En una realización, el cordón comprende una estructura intercalada que comprende una capa de cobre u oro formada entre una primera capa de aleación y una segunda capa de aleación. En una realización, la fuente de alimentación es una fuente de voltaje y el voltaje es de entre 3 voltios y 9 voltios. En una realización, el sistema transductor de gravedad actúa como un transductor mecánico que responde in situ durante un reconocimiento aéreo, convierte la energía de desplazamiento mecánico en carga electrostática, y un transductor de capacidad que crea un voltaje en relación con el cambio de gravedad. En una realización, el sistema transductor de gravedad responde solo a las anomalías de gravedad de pequeña escala y rechaza las tendencias gravitatorias de variación lenta incluyendo efectos topográficos a través de resonancia o desviación síncrona de los elementos de transductor.

25 También hay un método de detección de cambios de orientación o variaciones localizadas de campo gravitatorio asociados con cambios en densidad y esfuerzo de subsuperficie, comprendiendo el método: crear una unión de dos metales desemejantes aplicando un campo eléctrico a través de la unión; exponer la unión a los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio; detectar el voltaje a través de la unión para producir una característica de señal detectada de los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio; registrar la señal detectada como una función del tiempo; y analizar la señal para detectar los cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio asociados con los cambios de esfuerzo y densidad de subsuperficie. En un ejemplo útil para entender la invención, crear una unión comprende formar una cavidad resonante ajustable que tiene una partícula atrapada caracterizada por un acoplamiento de ondas de de Broglie con una onda de fonón. En un ejemplo útil para entender la invención, crear una unión comprende formar un conjunto de pasador - cordón capaz de un desplazamiento relativo entre el pasador y el cordón para producir una capacidad activa debido a la vibración mecánica del conjunto de pasador - cordón. En un ejemplo útil para entender la invención, el método comprende además hacer volar la unión en movimiento rectilíneo en una aeronave. En un ejemplo útil para entender la invención, el análisis comprende analizar atributos de señal que incluyen amplitud, frecuencia, carácter, patrón, secuencia y tendencia.

45 También hay un método de detección de un atrapamiento de fluido que incluye un depósito de hidrocarburos, comprendiendo el método: proporcionar un transductor de gravedad basándose en la cavidad resonante ajustable o el desplazamiento relativo entre un pasador y un cordón para detectar un cambio en un campo gravitatorio; mover el transductor de gravedad a través de la atmósfera o sobre tierra por encima del depósito de hidrocarburos en un movimiento rectilíneo continuo; interaccionar de forma dinámica con y detectar un cambio en el campo gravitatorio a través de una conversión electromecánica a través de la unión eléctrica para producir una señal de voltaje indicativa del depósito de hidrocarburos; eliminar el campo gravitatorio de segundo plano constante a través de la cavidad resonante o desplazamiento relativo; registrar la señal de cambio de gravedad a 2.000 muestras por segundo; y analizar la señal de cambio de gravedad para detectar el depósito de hidrocarburos. En un ejemplo útil para entender la invención, el movimiento comprende hacer volar el transductor de gravedad en una aeronave a una altitud de hasta 3.000 metros a una velocidad de hasta 500 km/h. En un ejemplo útil para entender la invención, hay una altitud óptima como una función del tamaño del depósito de hidrocarburos. En un ejemplo para entender la invención, el método comprende además integrar la señal de cambio de gravedad, detectar y modular la acumulación de energía de forma dinámica con el tiempo.

60 En un ejemplo útil para entender la invención, hay un sistema transductor de gravedad para adquirir cambios de gravedad continuos a partir de cualquiera de los métodos anteriores al aprovechar la interacción de alta altitud y alta velocidad con el campo gravitatorio usando masas oscilantes pequeñas para acceder a los dominios de alta frecuencia del campo. En un ejemplo útil para entender la invención, el sistema transductor de gravedad usa una adquisición de datos diferenciales para eliminar la necesidad de toda referencia de aceleración gravitatoria de segundo plano.

65 Un ejemplo útil para entender la invención también proporciona un método de detección de un depósito de hidrocarburos, comprendiendo el método: proporcionar un transductor de gravedad basándose en el desplazamiento relativo entre el cordón y el pasador para detectar un cambio en un campo gravitatorio; mover el transductor de

- 5 gravedad a través de la atmósfera o sobre tierra por encima del depósito de hidrocarburos en un movimiento rectilíneo; detectar un cambio en el campo gravitatorio a través de una conversión electromecánica a través de la unión eléctrica para producir una señal de voltaje indicativa del depósito de hidrocarburos; eliminar el campo gravitatorio de segundo plano constante a través del desplazamiento relativo; registrar la señal de cambio de
- 10 gravedad; aprovechar patrones de detección basados en ondas en contraposición a la medición de magnitudes convencional; y analizar la señal de cambio de gravedad para detectar el depósito de hidrocarburos. En un ejemplo útil para entender la invención, el vuelo comprende hacer volar la aeronave a una altitud de hasta 3.000 metros. En otro ejemplo útil para entender la invención, la altitud es una función del tamaño del depósito de hidrocarburos.
- 10 Se ha descrito un detector gravitatorio práctico, detector que es estable, compacto, robusto y puede ser operado a temperatura ambiente.

III. Ejemplos de resultados de detección de hidrocarburos

- 15 Para verificar que el sistema de acuerdo con la invención trabaja, se hicieron vuelos sobre varias ubicaciones de hidrocarburos potenciales distintas y los resultados se compararon con el conocimiento previo de los campos. El primero de estos campos es el campo de carbonato en tierra Canadiense denominado como el campo de gas Ladyfern, en BC, Canadá. Encontrado en el año 2000, se estimó que el campo Ladyfern contenía 1,5 Tcf de reservas de gas natural. Se llevaron a cabo tres líneas de vuelo en diferentes direcciones para confirmar la relación
- 20 de las áreas porosas con respecto a la señal de sensor. El campo de gas Ladyfern está encerrado dentro de un arrecife de barrera de carbonato con porosidad conservada por el proceso de lixiviación y dolomización. Los sistemas de falla y fractura en las fronteras son de deslizamiento en su naturaleza. Solo basándose en la sísmica, la dolomización y trampa no es fácilmente visible, aunque las características de hundimiento son bastante claras.
- 25 Ladyfern es una acumulación de gas natural alojada en trampa estratigráfica - arrecife de punto esclavo Devoniano. Las facies de yacimiento productivo se han desarrollado por medio de diagénesis de entierro llamada dolomización hidrotérmica (HTD). Las fallas de ensanchamiento y antiéticas asociadas con el sistema de transformada dextral de Hay River se cree que han actuado como conductos para los fluidos hidrotérmicos. La naturaleza agresiva de la diagénesis de HTD ha creado una serie de características de "hundimiento" o "flecha" en y alrededor del arrecife, lo
- 30 cual es fácilmente visible por medio de estudios sísmicos.

Las figuras 11 - 13 muestran las señales de sensor obtenidas de dos vuelos sobre el campo Ladyfern y un vuelo sobre el campo de gas Burnt Timber, AB, Canadá. Cada una de las figuras 11 a 13 muestra las salidas de señal en voltios contra tiempo de vuelo. El voltaje de salida se normaliza para que caiga entre cero y 1 voltio. Las señales de

35 sensor resultantes indican cambios geológicos de subsuperficie y anomalías que son indicadores de yacimientos con contenido de hidrocarburos potenciales. Se encontró una correlación muy fuerte con la distribución del yacimiento atrapado. En este campo, fue difícil identificar los filones de carbonato usando solo sísmica, y el sistema de detección descrito en el presente documento dada una buena corroboración de las oportunidades del yacimiento.

40 La figura 11 muestra una señal de sensor 600 desarrollada a lo largo de una línea de esfuerzo máximo sobre las llanuras de la Columbia Británica. En 602, la señal comienza a subir mostrando un acercamiento al cambio geológico. Los picos agudos en 604 indican fracturas de esfuerzo y un cambio geológico indicado en la flecha 606. La curva se puede entender mejor viéndola como un todo. Se observa que hay una anomalía fuerte en 614 entre las señales similares 608 y 620 en cada lado. Siguiendo las directrices de interpretación que se analizan más adelante,

45 interpretamos esto como una reserva de hidrocarburos en el área 615 con enfoques típicos en 610 y 619. En 618, la señal muestra el aumento fuera de la anomalía. El área 615 corresponde a un área de pozos perforados. También observamos una anomalía menor en 625 indicada por la barra 626. Esta es un área sin perforar. En 630, observamos la declinación de la señal, lo cual indica que el aeroplano está abandonando el área anómala.

50 La figura 12 es una señal 630 desarrollada con el mismo sensor que se usó en la figura 11, pero en las estribaciones de las Montañas Rocosas y también a lo largo de la línea de esfuerzo máximo. En el presente caso, un cambio geológico se indica por el pico agudo en 632, que se marca por la flecha 633. El signo comienza a aumentar en 634 a lo largo de la dirección 636. Las estructuras de aproximación están en 642 y 654 en las áreas 640 y 658, respectivamente. Una anomalía 650 se indica por la caída en la señal en 646 en el área 644. La señal cae en 664

55 indicando un cambio geológico indicado por la flecha 660. En general, esta señal es mucho más fracturada, tal como se muestra en 638 y 646 lo cual indica que el terreno es más fracturado.

La figura 13 es una señal 670 desarrollada sobre la misma anomalía que la anomalía 614 de la figura 11, excepto que a lo largo de la línea de esfuerzo mínimo. La misma anomalía aparece en 672 en el área 674.

60

Las figuras 14, 15 y 16 muestran las señales desarrolladas en un vuelo de prueba de I + D sobre el campo petrolífero "La Jarilla" en Comodoro - Rivadiva, Argentina. Esta serie particular se muestra para ilustrar que diferentes sensores no mostrarán señales idénticas. La figura 14 muestra la pantalla 700 como mostrada por el ordenador de mapeo 216. La pantalla 700 muestra el campo "La Jarilla" en 707 y varios campos más pequeños en

65 720 y 722. El número de identificación de vuelo se muestra en 712 y la dirección de vuelo se muestra en 714. El área estudiada se muestra en 710, y la línea de tiempo se muestra en 714. Las figuras 15 y 16 muestran la misma

5 área y tiempo cubiertos, pero con diferentes sensores. Comparando las figuras 15 y 16, se observa el cambio geológico local 734 en la figura 15 y 750 en la figura 16 y el inicio de un área anómala que aparece de manera diferente. En la figura 15 esto se indica por medio de un pico agudo en 730, y en la figura 16, se indica por una acumulación de señal en 752. Un cambio geológico local 736 en la figura 15 y 758 en la figura 16, aparecen de manera similar como picos menores 738 en la figura 15 y 755 en la figura 16. La anomalía se muestra por una calda en 741 y 742 en el área 740 de la figura 15 y una sola calda en 762 en el área 766 en la figura 16. El final del área anómala se muestra en 746 en la figura 15 por un cambio de frecuencia y desplazamiento de amplitud. Esto también se muestra por un cambio de frecuencia y desplazamiento de amplitud en 770 en la figura 16, aunque el cambio no es pronunciado. Estas curvas muestran que lo que es importante es los cambios en las señales, no los valores absolutos de las señales. Esto será más claro en la sección de interpretación de señal de más adelante.

IV. Operación del sistema

IV.1. Rastreo de aeronave y sistemas de comunicación

15 El rastreo de aeronave y sistemas de comunicación consisten de dos partes. La primera parte es un "sistema de rastreo de trayectoria de vuelo" que proporciona la capacidad de que el operador de registro en la aeronave y el personal de tierra sigan la trayectoria de vuelo y aseguren que la aeronave esté en el curso pretendido. El sistema actualiza la posición de la aeronave cada minuto. Esto asegura que el personal de tierra tenga acceso a la ubicación del aeroplano con un alto grado de precisión. El propósito principal del sistema de rastreo es conducir vuelos seguros y permitir que los ingenieros de I + D, y, en el futuro, clientes potenciales, gobierno y agencias militares rastreen el aeronave con precisión durante los vuelos de reconocimiento. El sistema se basa en satélites a través de la red Iridium la cual habilita el acceso global a los datos de posición y habilita las comunicaciones de voz y datos fuera de las áreas de cobertura celular.

25 El segundo sistema de rastreo se conecta a la navegación de GPS y proporciona una actualización basada en mapa de tiempo real al operador de sensores que está monitorizando el sistema de control de calidad a bordo. El sistema de GPS Novatel a bordo se complementa por un servicio de suscripción a Omnistar para correcciones diferenciales de GPS de área extensa. Esta configuración proporciona un alto grado de precisión de determinación de posición de datos dentro de +/- 2 metros.

IV.2. Sistemas de registro de datos

35 Se usan los sistemas informáticos para registrar los datos independientemente y simultáneamente: el sistema QNX con precisión de 16 bits y el sistema WinDaq con precisión de 14 bits. Todos los sistemas son controlados por medio del ordenador QNX principal. Específicamente, el ordenador QNX mantiene sincronización automática de la adquisición de datos redundantes al señalar automáticamente el inicio y parada del registro dentro de 0,5 segundos. Además, el ordenador QNX también registra la información de posición de GPS y elevación, referencias visuales del suelo y cualquier otro dato relevante durante el vuelo requerido para el control de calidad apropiado al final del vuelo. Los datos de elevación de GPS se utilizan junto con los datos DEM proporcionados por USGS al final del vuelo para calcular la altura del aeroplano por encima del suelo. Esto asegura que el vuelo, hecho preferiblemente a 3.048 metros (10.000 pies), se haya conducido dentro de los límites de tolerancia de altitud de los sensores. Sin embargo, los vuelos pueden ser conducidos dentro de un rango de 304,8 a 6.096 metros (1.000 a 20.000 pies).

IV.3. Sistemas de control de calidad de datos

50 El sistema de control de calidad incorpora la salida digital sin procesar de QNX y la visualización gráfica de la salida del sistema de adquisición WinDaq. Ya que esto es similar a la señal que se usa para la interpretación, la determinación de la calidad de la señal se puede hacer en el vuelo. El resultado de la salida de GPS en tiempo real y el vuelo planificado se comparan para asegurar una desviación mínima. El error transversal a la trayectoria, un indicador de lo lejos que se ubica la aeronave con respecto al curso planificado, se monitoriza en tiempo real durante el vuelo tanto por el operador como los pilotos. Normalmente, se mantiene una distancia de error transversal a la trayectoria dentro de los 10 metros.

55 Además, el sistema de control de calidad contiene monitores de fuente de alimentación para asegurar que se mantengan los niveles apropiados de voltaje a lo largo del proceso de adquisición de datos. También se usan acelerómetros para monitorizar la aceleración de la aeronave en los ejes vertical y dos horizontales durante el proceso de adquisición de datos.

IV.4. Sistemas de post-procesamiento de datos

65 Al final del vuelo, el sistema QNX transfiere automáticamente todos los datos a un disco externo. Los datos sin procesar son verificados para asegurar las longitudes de registro correctas. En particular, los datos se verifican para asegurar que ambos sistemas de adquisición QNX y WinDaq hayan registrado los datos sin procesar sin problemas.

Los datos sin procesar en formato extra decimal son procesados para verificar la consistencia de los datos y después se reformatean para introducir en la hoja de cálculo de ingeniería DADiSP. DADiSP es una hoja de cálculo gráfica interactiva comercial, un paquete de software orientado visualmente para la visualización, administración, análisis y presentación de datos científicos y técnicos. Se puede usar para manipular, evitar, reducir, transformar, mostrar y analizar datos técnicos. DADiSP puede manejar y simplificar los grandes volúmenes de datos proporcionados por el sistema de sensores. Como se mencionó anteriormente, la salida de sensor digitalizada contiene 2.000 puntos por segundo y los vuelos pueden promediar aproximadamente 10.000 segundos, resultando en un volumen de datos de 1 GB por vuelo o más en una forma sin procesar. Una vez que los datos son cargados en DADiSP, estos pueden promediar más de 6 GB por vuelo. Este gran volumen de datos de dos sistemas de registro puede ser manejado por DADiSP en una manera eficiente.

IV.5. Proceso de planificación de vuelo

El proceso de planificación de vuelo de reconocimiento de sensor en general inicia por la investigación y entendimiento de lo siguiente:

1) Mapas - Se preparan mapas topográficos y de aviación del área objetivo tanto en papel como en formas digitales.

2) Requerimientos de tecnología de sensor - se deben seguir ciertos parámetros para obtener datos fiables y de calidad. Estos incluyen segmentos rectos largos, grandes radios de giro y baja turbulencia. Como una regla de oro, en una realización, la longitud recta mínima es de 100 km, el radio de giro mínimo es de 25 km, y la aceleración no es mayor a 1 g.

3) Base de operaciones para la aeronave - Se selecciona basándose en los siguientes criterios: proximidad al área de reconocimiento, longitud de pista (mínimo 1.524 metros (5.000 pies)), disponibilidad de combustible (jet A1 con Prist), instalaciones de planificación de vuelo, seguridad, instalaciones de alojamiento y comunicaciones.

4) Otras restricciones de vuelo - Estas incluyen consideraciones de agencias reguladoras y geográficas como sigue:

- Reglas de control de tráfico aéreo que incluyen vectores de despegue y entrada, procesos de aprobación de permiso y reglas de vuelo de IFR.

- Permisos de la fuerza aérea requeridos para espacio aéreo restringido y prohibido.

- Restricciones militares que incluyen regiones hostiles, zonas de separación de fronteras, y restricciones de altitud.

- Restricciones geográficas incluyendo montañas y fronteras.

- Tendencias climáticas actuales incluyendo precipitación, vientos, tormentas y nubes.

La información anterior se utiliza para diseñar el diseño de cada línea de vuelo objetivo individual. Las líneas de vuelo están diseñadas como una secuencia de puntos de ruta de segmentos rectos y puntos de ruta de vuelta controlados con precisión.

En una realización, para alistarse para el vuelo, hay seis procesos que se llevan a cabo:

1) Los puntos de ruta se cargan en el sistema de administración de vuelo de la aeronave. Este sistema guía el modo de piloto automático de las aeronaves sobre la ruta planificada con un alto grado de precisión.

2) Los puntos de ruta también se cargan en el sistema de rastreo de vuelo de sensor. Esto habilita al operador de sensores a bordo rastrear el progreso de la aeronave para asegurar que se sigue la trayectoria de vuelo correcta. Este sistema también proporciona información de ubicación precisa para los datos que están siendo recopilados.

3) Los sensores se cargan en la aeronave y se calibran.

4) Los pilotos presentan el plan de vuelo con la administración relevante del control de tráfico aéreo.

5) Los pilotos y el operador de sensores abordan la aeronave y llevan a cabo el vuelo planificado.

6) Después de completar el vuelo, los datos son evaluados para asegurar que cumplan con los estándares de calidad prescritos.

En este proceso, es importante notar que los cambios graduales en altitud (en la dirección vertical) no afectan los

sensores de manera adversa; sin embargo, una ligera rotación de la aeronave a lo largo del plano horizontal si lo hace. El ruido inherente en la señal de sensor se origina en gran medida de los movimientos rotacionales de la aeronave.

5 IV.6. Proceso de interpretación de datos

El proceso de interpretación de señal de sensor generalmente se lleva a cabo en la oficina central, y en una realización, involucra tres pasos principales. El primer paso es la interpretación sensor a sensor de línea única. Esto se ve seguido por la integración de señal de sensor multilínea. Después los resultados pasan a través de una clasificación y mapeo final.

La identificación y caracterización de las señales de sensor es la meta final del proceso de interpretación de sensor. El proceso de la interpretación de señal de sensor involucra el reconocimiento de los patrones anómalos dentro de la forma de onda de una señal de sensor desde su fondo. El reto clave es reconocer una sección de los cambios anómalos en el carácter de la señal a partir de una señal de fondo ruidoso con confianza. La interpretación de señal de sensor emplea varios métodos para mejorar la capacidad de identificar una anomalía que incluye confirmación espacial de anomalías a través de múltiples sensores, reconocimiento de la secuencia específica de cambios de carácter de la señal, e identificación independiente de las anomalías por múltiples equipos. Para propósitos de interpretación, la señal se registra continuamente desde el inicio de una trayectoria de vuelo estable hasta junto antes del aterrizaje. En una realización, es importante para el proceso de interpretación capturar los cambios relativos en las características de señal "de referencia" para cada sensor a lo largo de todo el vuelo. Esto habilita el reconocimiento de las formas de onda de fondo normal y los cambios específicos de patrón o modo.

Para que una anomalía potencial se someta a interpretación, ésta se debe mostrar en una pluralidad de sensores. El uso de múltiples sensores juega un rol significativo en el control de calidad. Para que una anomalía potencial se analice adicionalmente, se tiene que ubicar independientemente en la misma ubicación espacial por al menos dos equipos separados de intérpretes. Adicionalmente, en todos los casos, esto necesita ocurrir en una secuencia específica.

Una parte clave del proceso de interpretación es el reconocimiento de las tendencias y cambios de carácter de la señal de fondo y la identificación del "modo" de sensor. Un modo es una tendencia de señal a largo plazo que es reconocible para un sensor particular.

Un carácter de señal de sensor se considera anómalo sobre un área cuando éste se ajusta a un patrón o secuencia idealizada de respuestas que son conocidas para correlacionar los cambios geológicos en la subsuperficie. Estos cambios incluyen el desarrollo de yacimiento cargado de fluido o la existencia de mecanismos de trampa estructural o estratigráfica. Aunque la señal de sensor puede indicar la presencia del fluido atrapado, esto no puede distinguir actualmente entre hidrocarburos y agua.

Las anomalías pueden existir como cambios de punto en los patrones de señal y son a menudo indicativas de un cambio significativo en la geología. Las anomalías de área consisten de cambios de secuencia con un inicio y final definidos y tendrán forma, secuencia, cambio de carácter o patrón reconocibles. Las anomalías en la señal de sensor de gravedad a menudo se reconocen por los cambios de frecuencia sobre diferentes tamaños de ventana de recorrido, cambios de tendencia a través de diferentes longitudes de ventana, y cambios de magnitud y pendiente sobre un área.

El reconocimiento correcto de "cambios" es un proceso intrincado. Fundamentalmente, el proceso es complicado por la existencia de varios modos de fondo de cada sensor. El desarrollo de carácter de la anomalía dependerá del modo de fondo. Adicionalmente, el carácter en la señal es relativo; es decir, las condiciones iniciales afectarán las respuestas de sensor subsiguientes. Por ejemplo, cruzar una grande falla puede cubrir una anomalía más pequeña que la sigue de cerca.

La salida del proceso de interpretación de datos de sensor es un mapa de prospectividad, que muestra cuadros de recomendación que describen la extensión espacial de la porción del yacimiento de la anomalía geológica dentro del área de reconocimiento de sensor.

La siguiente sección que cubren las figuras 17 a 24 es una descripción de los conceptos más importantes involucrados en la interpretación de datos de SFD usando ejemplos de respuesta de sensor ideal o casi ideal. Cada una de las figuras 17 a 24 muestra el voltaje de señal en la ordenada como una función del tiempo a lo largo de la abscisa. Esta descripción se pretende para introducir a un experto en la materia en el proceso de interpretación de datos de sensor. Se presentan los atributos y secuencias de anomalía más comunes. Todas las anomalías principales se pueden identificar por uno de los conceptos de interpretación generalizados siguientes, y muchas anomalías menos importantes se pueden identificar cualquiera de una extensión, corolario o agrupamiento de estos conceptos. Debido a que los sensores pueden exhibir comportamiento estocástico, esta descripción puede no ser de aplicación a todos los sensores. Esta descripción se centra en los conceptos aplicables a pocos de los sensores primarios. Los conceptos se pueden extender con algunas variaciones a otros sensores. Sin embargo, se debe

entender que puede ser aconsejable aprender en respuesta a cada sensor individualmente por datos empíricos. Existen muchas variaciones sutiles de estos ejemplos que pueden o no alterar la identificación de la anomalía. Para servir al propósito anterior, el énfasis de este documento será la inspección visual detallada de las formas de onda, aunque se pueden aplicar diferentes técnicas de procesamiento de señal en el proceso de interpretación.

5

IV.6.1. Atributos de señal usados en la interpretación de SFD

Los siguientes atributos de señal se utilizan en esta divulgación para una mayoría de los procesos de interpretación: amplitud de señal; frecuencia de señal; carácter y patrón de señal. La presentación actual de la salida de sensor de SFD es una gráfica simple 2D de voltaje contra tiempo, que por lo tanto implica que cada uno de los atributos mencionados anteriormente se puede representar por un comportamiento particular de la salida de voltaje de sensor como una función del tiempo. Esta sección del documento, por lo tanto, intenta describir cada uno de estos, aplicable para el proceso de interpretación de SFD. Es importante observar que cada uno de los atributos de SFD no están definidos en absolutos. Cada uno de los siguientes términos / atributos se refiere a una secuencia observada a través de un periodo de tiempo flotante, nominalmente del orden de 10 - 50 segundos.

10

15

IV.6.1.1. Amplitud

El término "amplitud" como se aplica a SFD, implica un cambio en el voltaje de salida medio observado del sensor de SFD durante un cierto intervalo. No hay una definición fija del intervalo de tiempo siendo usado para definir el voltaje de salida medio ni se requiere que los intervalos de tiempo sean de igual duración. La figura 17 resalta los voltajes de salida y sus valores medios percibidos en una serie de intervalos de tiempo. En las secciones A y B, los valores medios mostrados por las flechas 802 y 803 no parece que hayan cambiado; sin embargo, las dos áreas se pueden distinguir basándose en los atributos de señal restantes: frecuencia y carácter. En la sección C, la amplitud mostrada por la flecha 806 ha cambiado. Esta sección se puede clasificar como un periodo de transición de A y B a D. El término amplitud, y las cantidades y conceptos que se derivan de la misma tales como cambio de amplitud, referencia de voltaje, etc., se denominarán por lo tanto como los valores de voltaje representados por las flechas 802, 804, 806 y 808 que son 0,7 V en las secciones A y B, 0,65 V en el área C y 0,55 V en el área D, contrario al valor de amplitud de tiempo discreto tal como 0,69 V en la marca de tiempo 6475. La amplitud y las tendencias de amplitud, por lo tanto, se realizan directamente por la magnitud media del voltaje de señal en cualquier ventana de tiempo dada y juegan un rol importante en la identificación y clasificación de la anomalía. Con referencia al ejemplo previo que se muestra en la figura 17, calcular un promedio en movimiento usando intervalos de tiempo de 5 segundos a través de la misma duración de señal produce la curva 810 de la figura 18. Mientras tal promedio en movimiento es útil para identificar los intervalos de tendencia principales, en D y E esto tiende a oscurecer la tendencia de los voltajes de referencia dentro de la ventana de tiempo. Estas tendencias a menudo juegan un rol en la determinación de la clasificación de las anomalías de SFD. Por lo tanto, en la presente realización, los promedios en movimiento no son la mejor forma de analizar los datos.

20

25

30

35

40

La figura 19 muestra un ejemplo de un borde 820 en una señal de SFD 812. El borde es un ejemplo de un cambio de amplitud súbito entre una primera área 814 y una segunda área 818 y puede o no estar acompañado por un cambio de patrón de modo / fondo. Un borde se usa a menudo para interpretar la transición del sensor de un ajuste a otro. La identificación de estos puntos generalmente se usa para determinar el inicio / final de las secuencias de señal que se usan para definir las anomalías.

45

IV.6.1.2. Frecuencia

El término "frecuencia" como se aplica a SFD implica el número de valores observados significativos de pico a pico ($V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$) durante un cierto intervalo de tiempo. La significación se determina basándose en la comparación con las formas de onda antes y después del intervalo de tiempo de interés. No hay una definición fija del intervalo de tiempo siendo usado para definir el voltaje de salida medio ni se requiere que los intervalos de tiempo sean de igual duración. En la mayoría de los casos, un cambio o desplazamiento de frecuencia identificado necesitará ser una longitud mayor a los 10 segundos (basándose en la velocidad de vuelo actual de la aeronave) para que sea considerada aplicable para propósitos de interpretación de SFD. Considérese la señal 830 en la figura 20. Las áreas A y F se ajustarán a la definición de las características de frecuencia alta descritas anteriormente mientras las áreas C y D se considerarán áreas de frecuencia baja. El área G se puede considerar como un ejemplo de una señal de modo ajustado y en este caso la noción de la frecuencia como se aplica a SFD no es relevante. La identificación de anomalía en este modo se conducirá principalmente por la amplitud y las características de patrón. En particular, observar el área E en la cual se definen las cuatro subáreas a, d, c y d. Dentro de estas subáreas, las diferencias de $V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$ y el número de veces que sucede el cambio particular descrito por el evento de $V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$ durante las transiciones de a-b, b-c y c-d se ajustarán a la definición de frecuencia alta y más apropiadamente se pueden observar como una transición de frecuencia de A-D-C-D a E. Por lo tanto, solo el área E se considerará que tiene frecuencia alta relevante para propósitos de identificación de anomalías.

50

55

60

65

La señal 840 de la figura 21 muestra una transición desde un área de frecuencia baja (A) a un área de frecuencia alta (B) y finalmente a un área de modo ajustado (C). Es muy evidente que el área B es la parte más *densa* de la señal. El evento descrito por el cambio en el valor medio de $V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$ se puede por lo tanto simplificar al notar los

dos siguientes detalles: representa un cambio de un $V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$ bajo a un $V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$ alto a lo largo de la transición de A a B; y, la frecuencia del evento de $V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$ alto es mucho mayor en el área B. Se puede observar que la transición de evento inverso ($V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$ de alto a bajo) es igualmente aplicable a la interpretación e identificación de anomalía. Esta es una consecuencia directa de la observación original de que los eventos y cambios de tiempo singulares en SFD son generalmente insignificantes y solo sostienen valor si son parte de un desarrollo de señal general. La frecuencia y tendencias de frecuencia se reconocen por lo tanto directamente por la aparición y regularidad (o falta de las mismas) de un cambio de desviación estándar significativo del voltaje de señal en cualquier ventana de tiempo dada y juegan un importante rol en la identificación y clasificación de la anomalía.

10 IV.6.1.3. Carácter y patrón

Un cambio de carácter de una señal de SFD puede implicar la aparición de un grande y diverso número de eventos. Los cambios de carácter se pueden ligar vagamente a los cambios de voltaje de salida medios pero esto no siempre es el caso. En general, se observa un cambio de patrón en la salida de un sensor de SFD como un desplazamiento o cambio en una secuencia de eventos de señal que ocurren regularmente. Estos eventos son una combinación de desplazamientos de amplitud y frecuencia como se describió anteriormente. La mayoría de estos cambios de patrón discernibles se derivan de estudios históricos y cruces de plantillas. Un cambio de carácter en general determina la forma general de la señal como caracterizada por la amplitud, frecuencia, evolución de envolvente, etc. Una forma de onda particular que consiste de estos cambios de carácter es observable visualmente en una señal de SFD. Algunos eventos de señal de SFD asociados con los cambios de carácter incluyen: un cambio o desplazamiento en la tendencia de amplitud de la señal; un cambio o desplazamiento en el carácter del desarrollo de señal - por ejemplo una señal que muestra solo las desviaciones positivas en torno a la referencia percibida se mueve a un estado donde muestra ambas desviaciones positiva y negativa; un cambio o desplazamiento en el patrón de señal - por ejemplo una señal que muestra una tendencia de referencia de frecuencia alta que se mueve a una tendencia de referencia de frecuencia baja o una tendencia de frecuencia variable; un cambio o desplazamiento en la envolvente de señal - por ejemplo una señal que exhibe un comportamiento cíclico / periódico para un desarrollo más discreto. Los cambios de carácter de señal, por lo tanto, se realizan directamente por una combinación conducida por secuencia de las características de frecuencia y / o amplitud como se describió previamente en cualquier ventana de tiempo dada y juegan un rol importante en la determinación y clasificación de la anomalía. Algunos cambios de patrón de señal se ilustran en la señal 850 en la figura 22. En la flecha 856, se observa que los voltajes de referencia se mueven del área 854 al área 860. También en este punto, los cambios de tipo de respuesta a la frecuencia alta con un desarrollo de forma de onda en forma de U, específicamente las U 861 y 862, las cuales están acompañadas por frecuencia alta tal como en 863. Además, cuando se comparan las señales en cada lado de la flecha 856, se observa que el rango de respuesta cambiar de en su mayoría por encima de la referencia a cualquier lado de las referencias.

La figura 23 ilustra varios cambios de carácter de señal que son relevantes para la interpretación de señal. El voltaje de referencia de la señal en 867 se muestra en 868. El voltaje de referencia de la señal en 869 se muestra en 870. Es evidente que hay un cambio de carácter en que los voltajes de referencia se mueven hacia abajo. Se puede observar que el desarrollo hacia abajo en el área 867 cambia a frecuencia alta solo con desarrollo hacia arriba en la región 869 que forma una calda en el área 866. También es evidente, en la figura 23, los cambios de respuesta de en su mayoría por debajo de la referencia en el inicio de alquiler lado de la referencia en la región 869 y después de vuelta a la señal de tendencia hacia abajo de frecuencia alta en la región 872. Todos estos son ejemplos de cambios de carácter señal.

45 IV.6.2. Identificación de secuencia

El punto inicial del proceso de interpretación de SFD es la determinación del inicio y final de las ventanas de tiempo aplicables, es decir, las marcas de tiempo en las cuales se pueden observar y / o establecer el cambio en la frecuencia, amplitud o carácter / patrón. La identificación de estas ventanas de tiempo puede ser útil para establecer las secuencias de calidad de señal general que eventualmente se usarán para la identificación de la anomalía. La determinación de la anomalía y su intensidad subsiguiente se determinará por el tipo y secuencia de cambios de atributos observados dentro y en la periferia inmediata de estas ventanas de tiempo. Considérese la secuencia de señal que se muestra en la figura 24. Se ha dividido en una sucesión de ventanas de tiempo - A, B y C que se han diferenciado basándose en un cambio o desplazamiento en uno de los atributos de señal de SFD primarios. La transición del área A al área B se define por los siguientes eventos. Como se muestra al comparar los niveles 876 y 872 hay un cambio de amplitud de referencia y un cambio de carácter de señal en que los cambios de señal ambos tienden, es decir, tendencia hacia arriba a tendencia plana; y cambio de patrón, es decir, la direccionalidad de las desviaciones en torno a la referencia. También hay un cambio de frecuencia de señal mientras se compara la señal 874 con la señal 880. De manera similar, el desplazamiento del área B al área C se define por los siguientes eventos: un cambio de amplitud de referencia como se muestra por las flechas 872 y 886; y un cambio de frecuencia de señal mediante la comparación de las señales en 880 y 884. La determinación de estas secuencias es útil en la interpretación de la señal con respecto a las formas de onda anómala contra no anómala, lo cual se relacionaría entonces con la clasificación general del área / áreas.

Se observa particularmente que la forma de onda de señal es una serie de cambios continuos donde los mismos

5 atributos que determinan las áreas anómalas también pueden determinar las áreas no anómalas. El desarrollo de señal a lo largo de la longitud de la señal se compone de una serie de cambios de los atributos individuales. Sin embargo, la diferencia primaria entre un área y forma de onda marcada como anómala en comparación con un área o forma de onda no considerada anómala es la secuencia de cambio para los atributos individuales. El desarrollo de señal a lo largo del transcurso de un intervalo espacial se compondrá generalmente de un número de cambios secuenciales posibles en los atributos y el punto inicial es por lo general la identificación del inicio y final de una subsección de desarrollo particular. Esto se denomina como la determinación de las "ventanas de tiempo".

REIVINDICACIONES

1. Un sistema transductor de gravedad que comprende:
 - 5 una unión (516) que comprende un primer metal y un segundo metal, formando dicha unión una capacidad activa debido a la vibración mecánica de la unión, y en donde dicha unión comprende además un separador de polímero dieléctrico (580) entre dicho primer metal y dicho segundo metal;
 - una fuente de alimentación para aplicar alimentación eléctrica a través de dicha unión;
 - un sensor capaz de detectar voltaje, dicho sensor eléctricamente conectado con dicha unión, produciendo dicho
 - 10 sensor una característica de señal detectada de una señal gravitatoria; y
 - un sistema de registro para registrar dicha característica de señal detectada de dicha señal gravitatoria, caracterizado por que
 - dicha unión comprende un cordón conductor (554) que tiene un agujero longitudinal a través del mismo, en donde dicha unión también comprende un pasador conductor (550) que tiene un recubrimiento dieléctrico (550),
 - 15 dicho pasador ubicado en dicho agujero longitudinal para formar una unión eléctrica;
 - el primer metal es diferente del segundo metal;
 - el primer metal es el pasador conductor;
 - el segundo metal es el cordón conductor.
- 20 2. Un sistema transductor de gravedad según la reivindicación 1 y que comprende además un vehículo capaz de mover dicho sistema transductor en un movimiento rectilíneo.
3. Un sistema transductor de gravedad según cualquier reivindicación anterior, dicho recubrimiento dieléctrico comprende un óxido de metal.
- 25 4. Un sistema transductor de gravedad según cualquier reivindicación anterior en donde hay una capa de óxido entre dicho pasador y dicho cordón y dicha capa de óxido comprende óxido de plata, óxido de cobre u otro óxido de metal, y/o
- 30 en donde dicho cordón comprende una estructura intercalada que comprende una capa de cobre u oro formada entre una primera capa de aleación y una segunda capa de aleación.
5. Un sistema transductor de gravedad según cualquier reivindicación anterior en donde dicha fuente de alimentación es una fuente de voltaje y dicho voltaje es de entre 3 voltios y 9 voltios.
- 35 6. Un sistema transductor de gravedad según cualquier reivindicación anterior configurado para actuar como un transductor mecánico que responde in situ durante un reconocimiento aéreo, convierte la energía de desplazamiento mecánico en carga electrostática, y un transductor de capacidad que crea un voltaje en relación con un cambio de gravedad.
- 40 7. Un sistema transductor de gravedad según cualquier reivindicación anterior, configurado para responder solo a las anomalías de gravedad de pequeña escala y para rechazar las tendencias gravitatorias de variación lenta incluyendo efectos topográficos a través de resonancia o desviación síncrona de elementos de transductor.
- 45 8. Un método de detección de cambios de orientación o variaciones localizadas de campo gravitatorio asociados con cambios de esfuerzo y densidad de subsuperficie, comprendiendo dicho método:
 - proporcionar un sistema transductor de gravedad de acuerdo con la reivindicación 1;
 - exponer dicha unión a dichos cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio;
 - 50 detectar un voltaje a través de dicha unión para producir una característica de señal detectada de dichos cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio;
 - registrar dicha señal detectada como una función del tiempo; y
 - analizar dicha señal para detectar dichos cambios de orientación o variaciones localizadas de un campo gravitatorio asociados con dichos cambios de esfuerzo y densidad de subsuperficie.
- 55 9. Un método según la reivindicación 8 en donde dicha exposición de dicha unión a variaciones localizadas del campo gravitatorio comprende hacer volar dicha unión en una aeronave, en donde la aeronave y la unión están en un movimiento rectilíneo mientras se está en vuelo.
- 60 10. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 9 en donde dicho análisis comprende analizar atributos de señal que incluyen amplitud, frecuencia, carácter, patrón, secuencia y tendencia.
11. Un método de la reivindicación 8 para detectar un atrapamiento de fluido que incluye un depósito de hidrocarburos, en donde:
 - 65 dicha exposición comprende mover dicho sistema transductor de gravedad a través de una atmósfera o sobre tierra por encima de dicho depósito de hidrocarburos en un movimiento rectilíneo continuo;

- dicha detección comprende interaccionar de forma dinámica con y detectar el cambio en el campo gravitatorio a través de una conversión electromecánica a través de dicha unión eléctrica para producir la señal de voltaje indicativa de dicho depósito de hidrocarburos;
- 5 eliminar el campo gravitatorio de segundo plano constante a través de dicha cavidad resonante o desplazamiento relativo;
- registrar dicha señal de cambio de gravedad a 2.000 muestras por segundo; y
- analizar dicha señal de cambio de gravedad para detectar dicho depósito de hidrocarburos.
- 10 12. Un método según la reivindicación 11 en donde dicho movimiento comprende hacer volar dicho transductor de gravedad en una aeronave a una altitud de hasta 3.000 metros a una velocidad de hasta 500 km/h; y/o en donde hay una altitud óptima como una función del tamaño de dicho depósito de hidrocarburos.

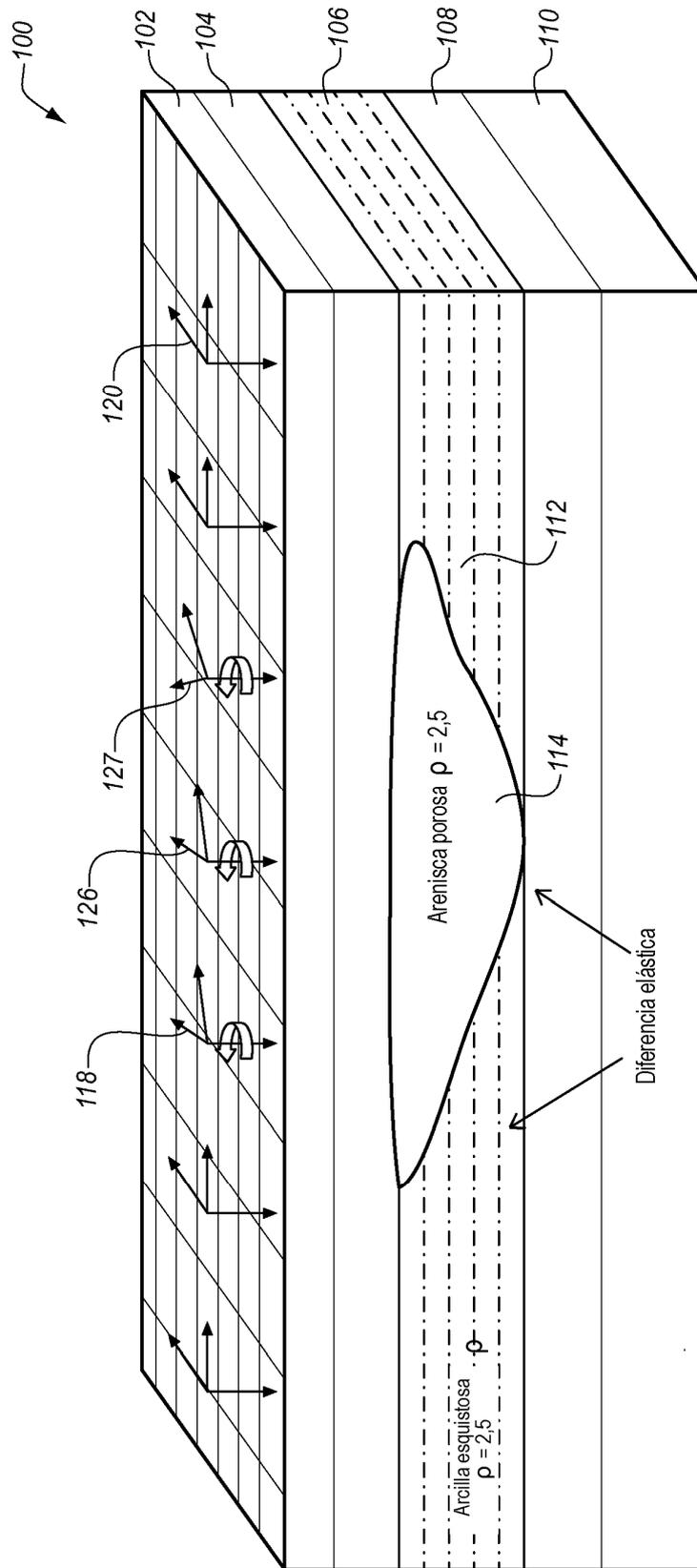


FIG. 1

FIG. 2

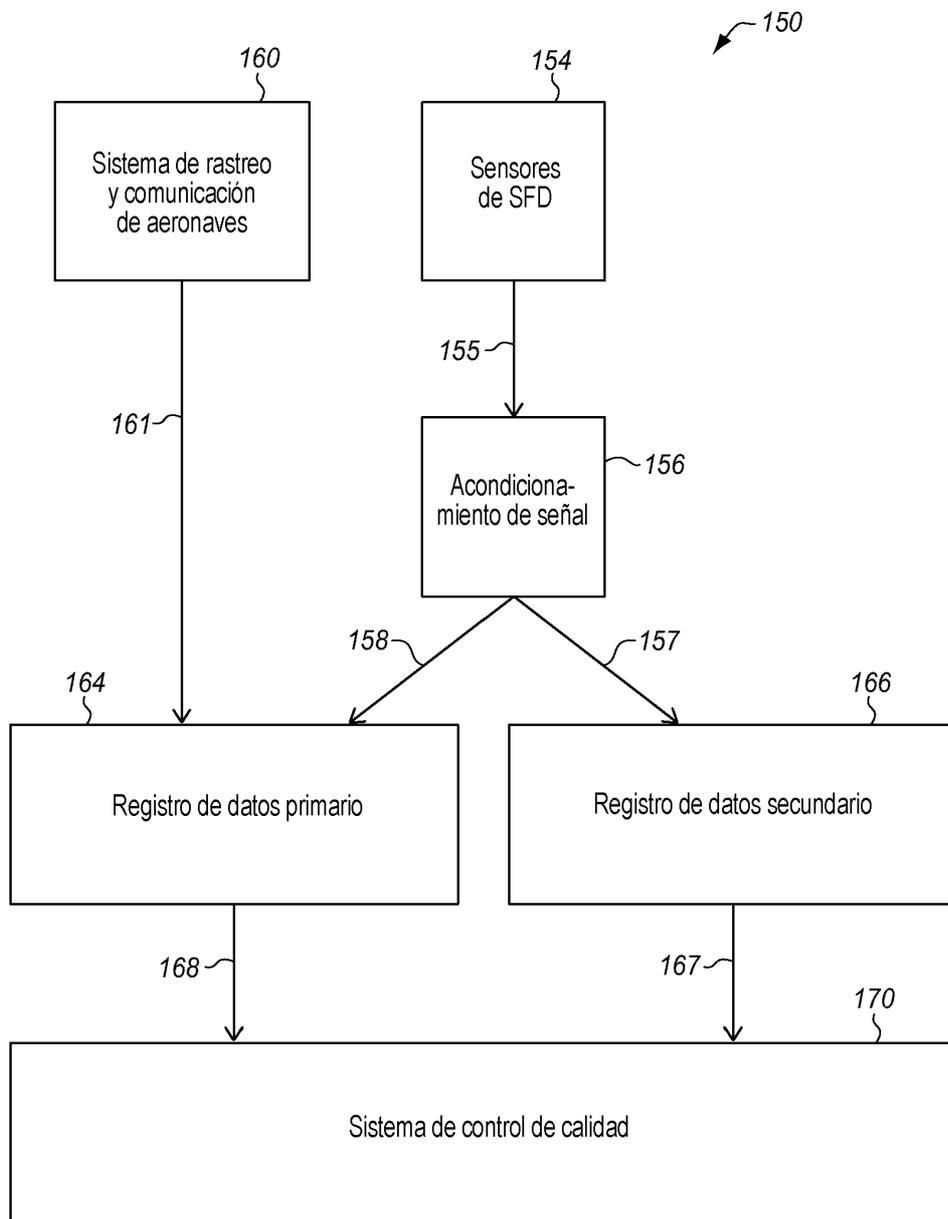


FIG. 3A

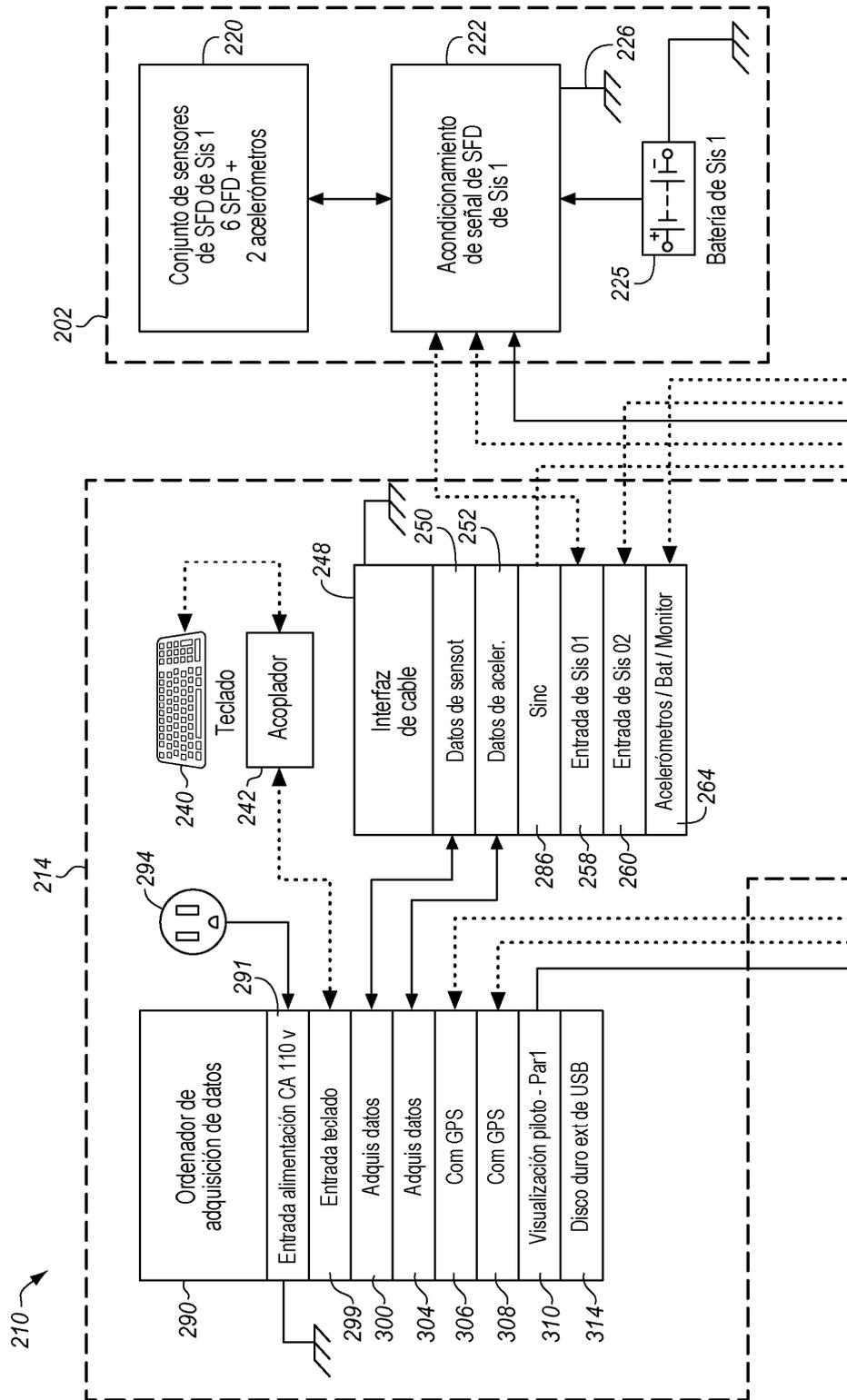


FIG. 3B

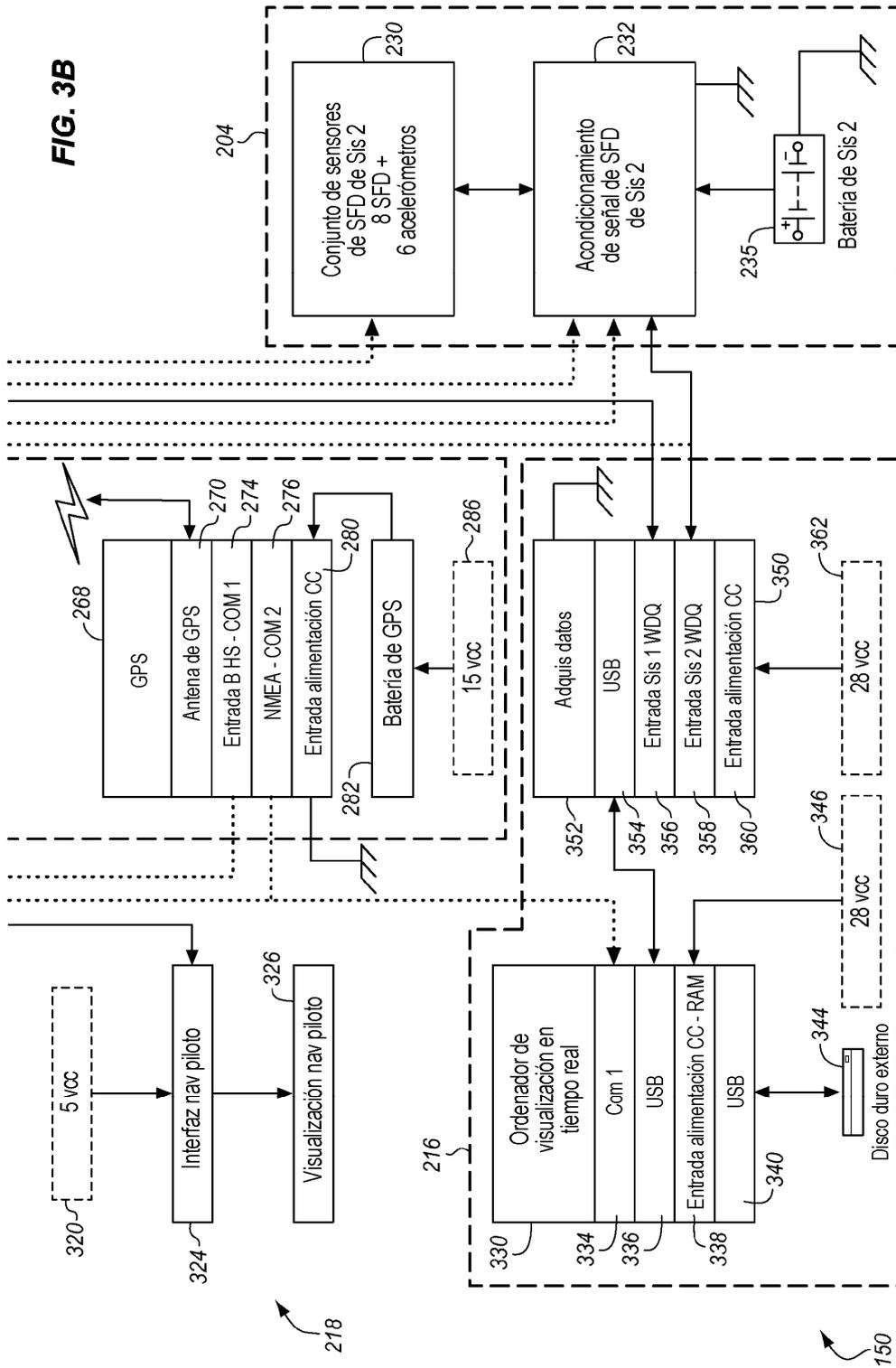


FIG. 4

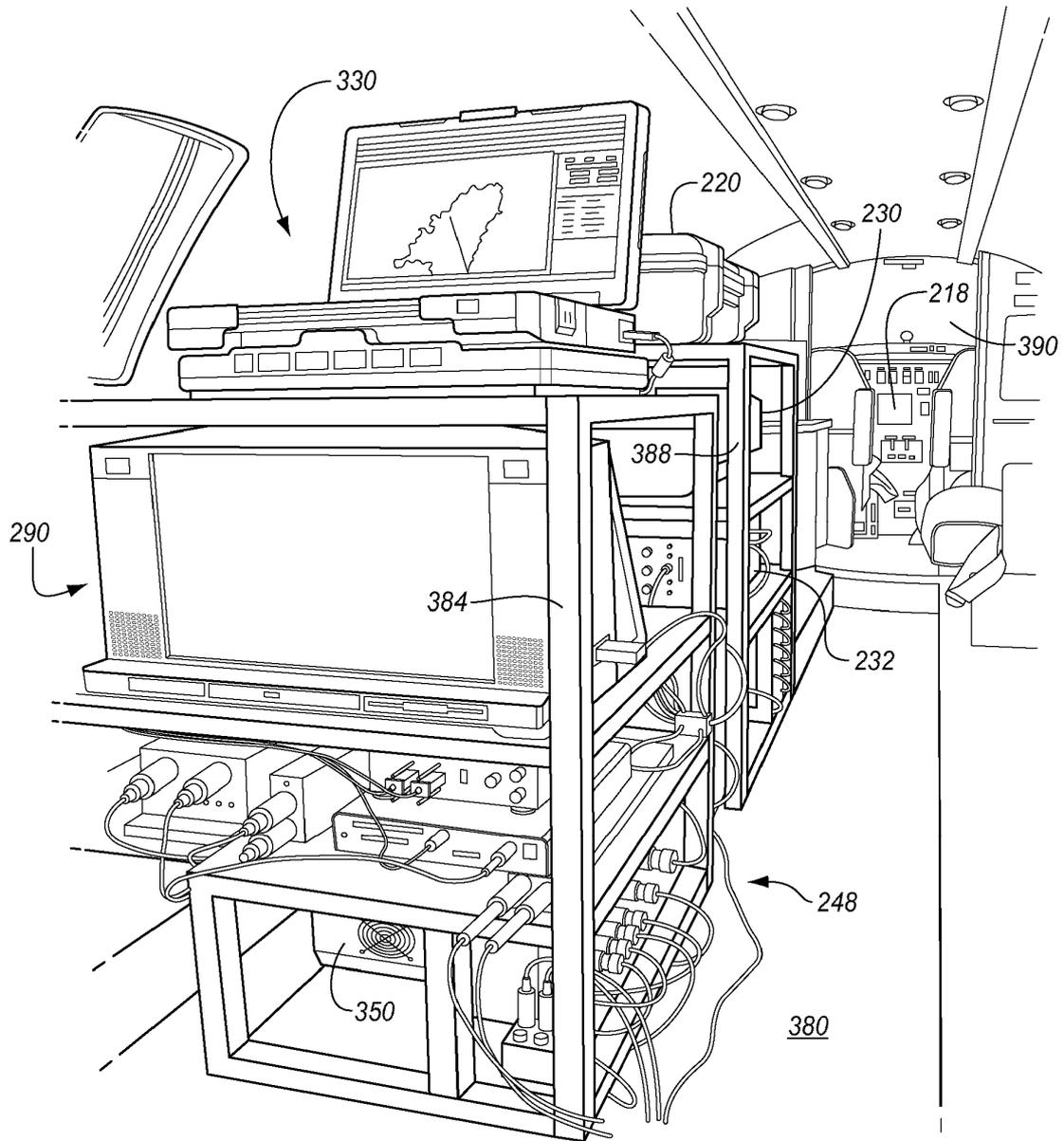
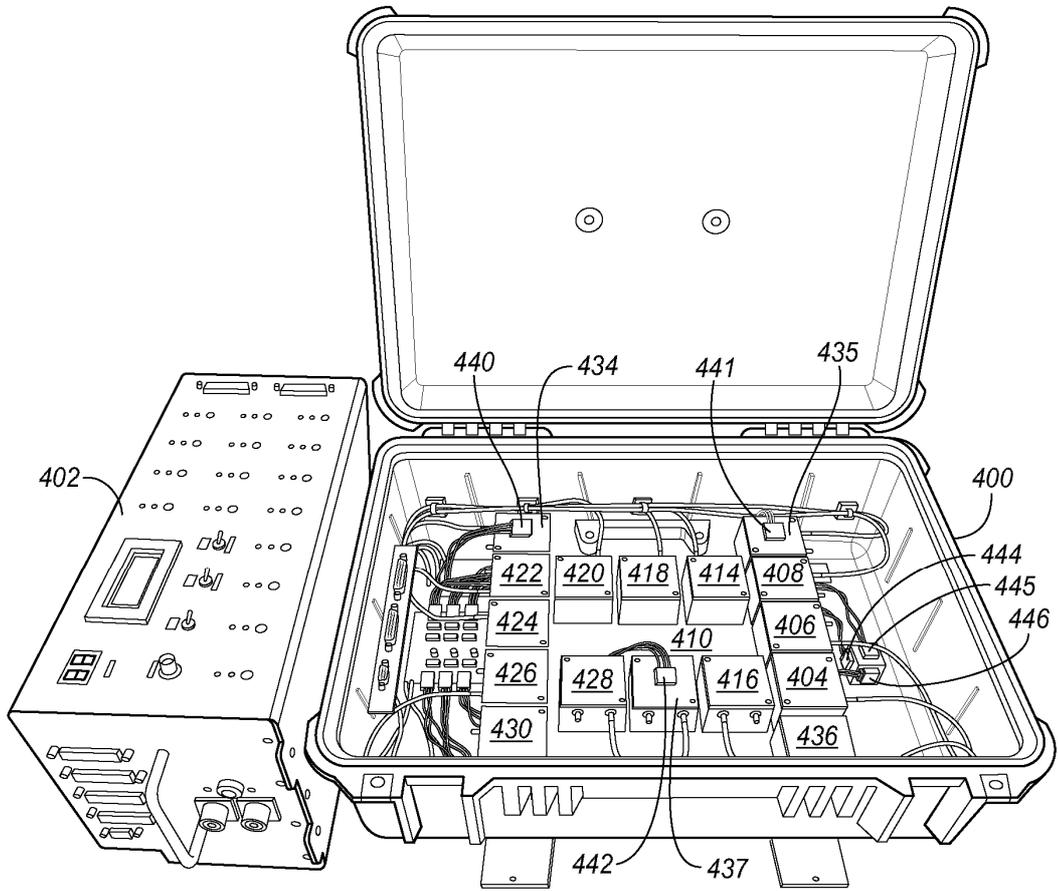


FIG. 5



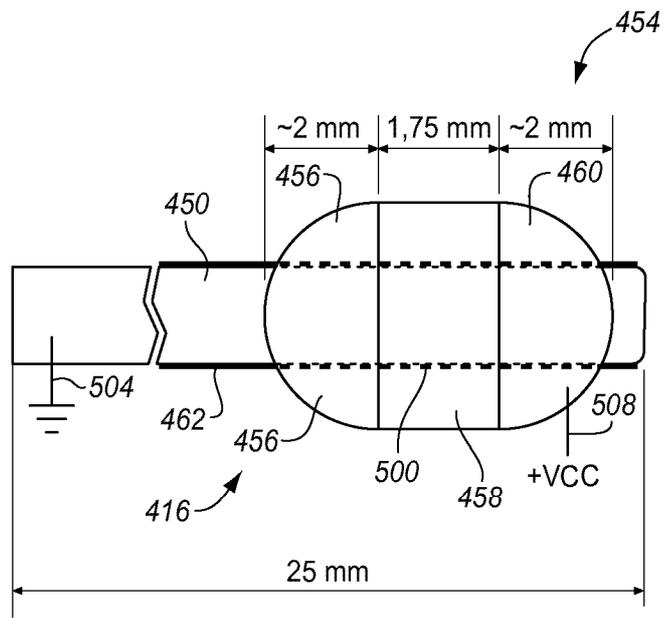


FIG. 6A

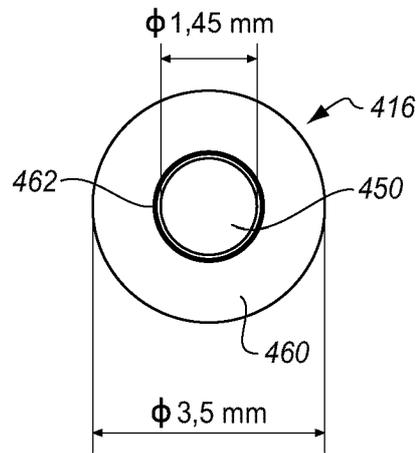


FIG. 6B

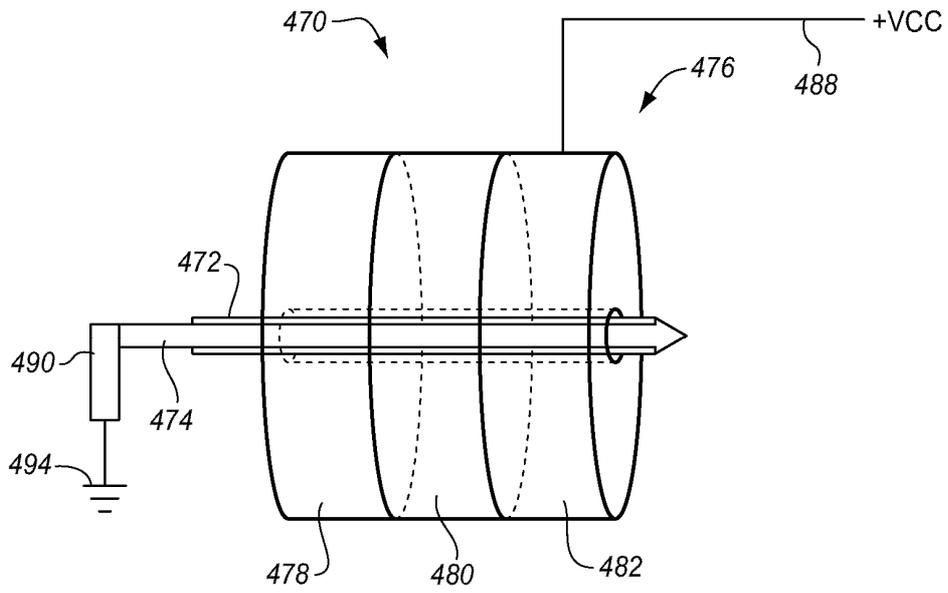


FIG. 7A

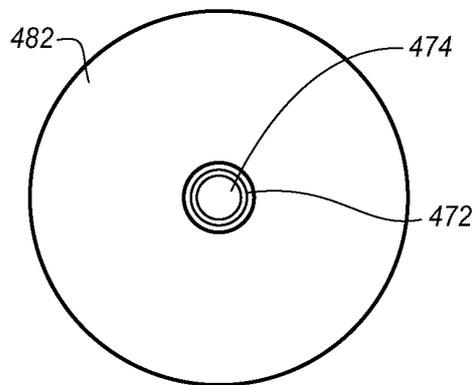


FIG. 7B

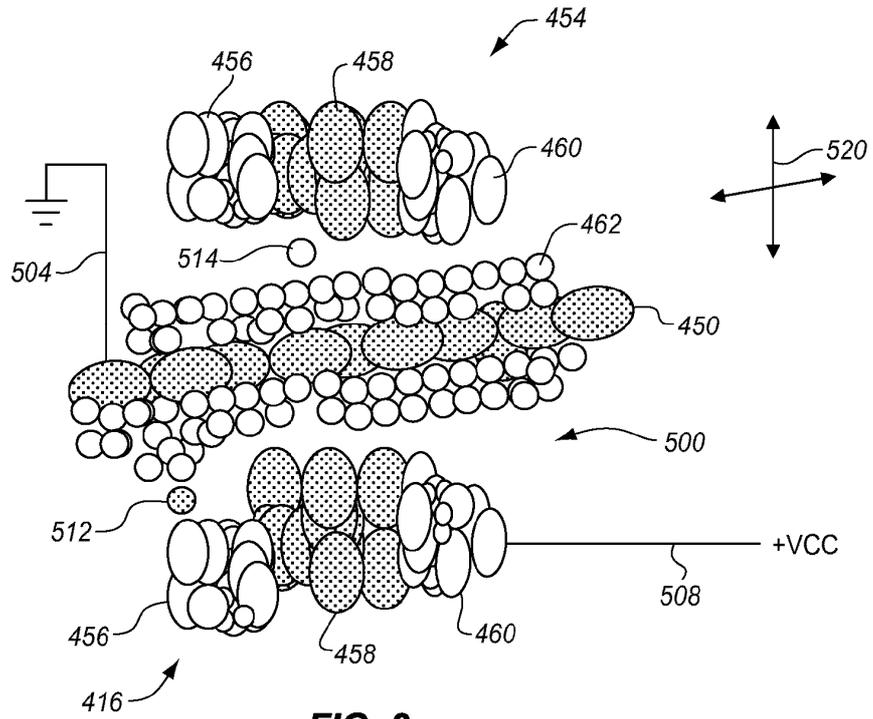


FIG. 8

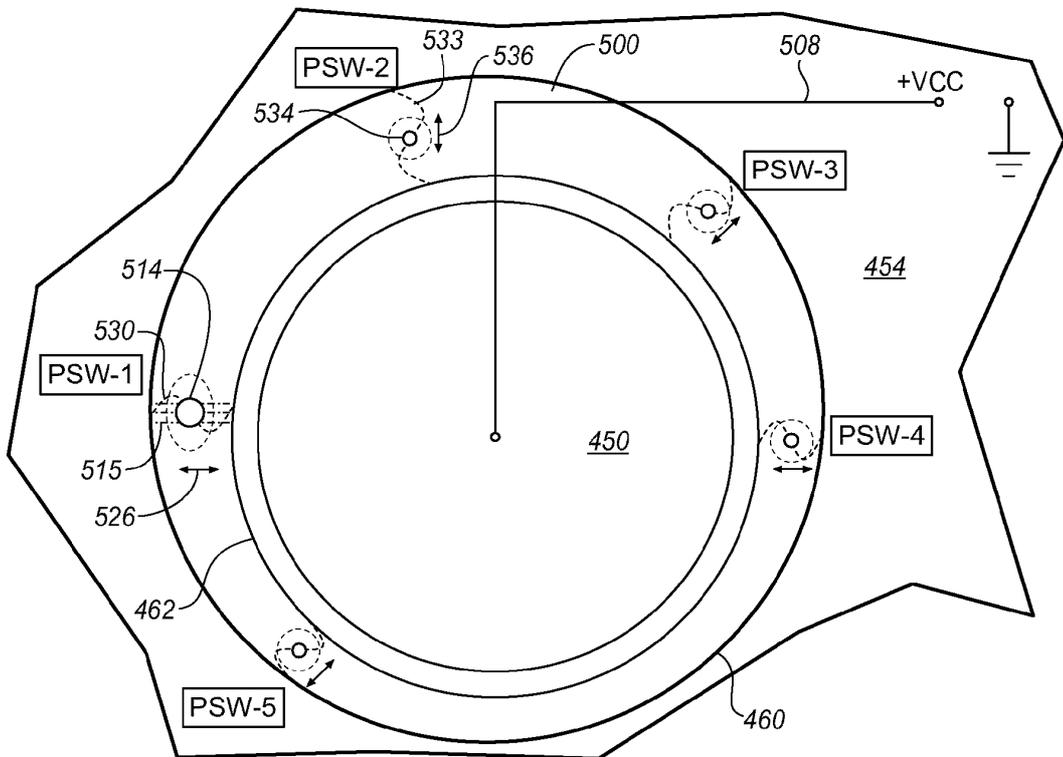
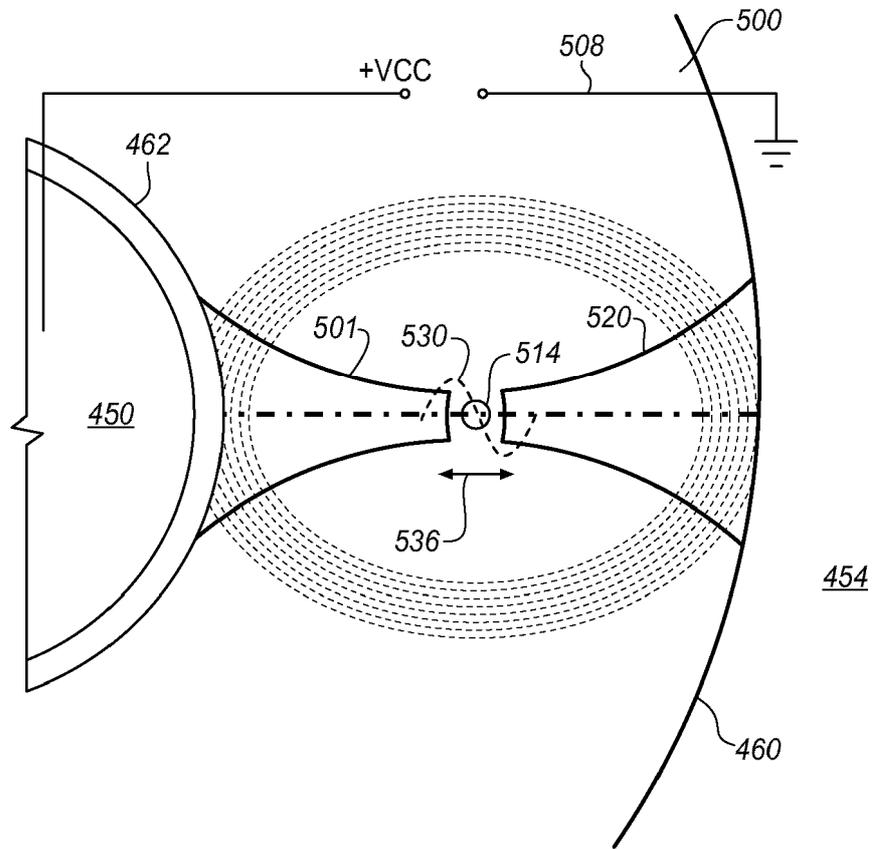


FIG. 9

FIG. 10



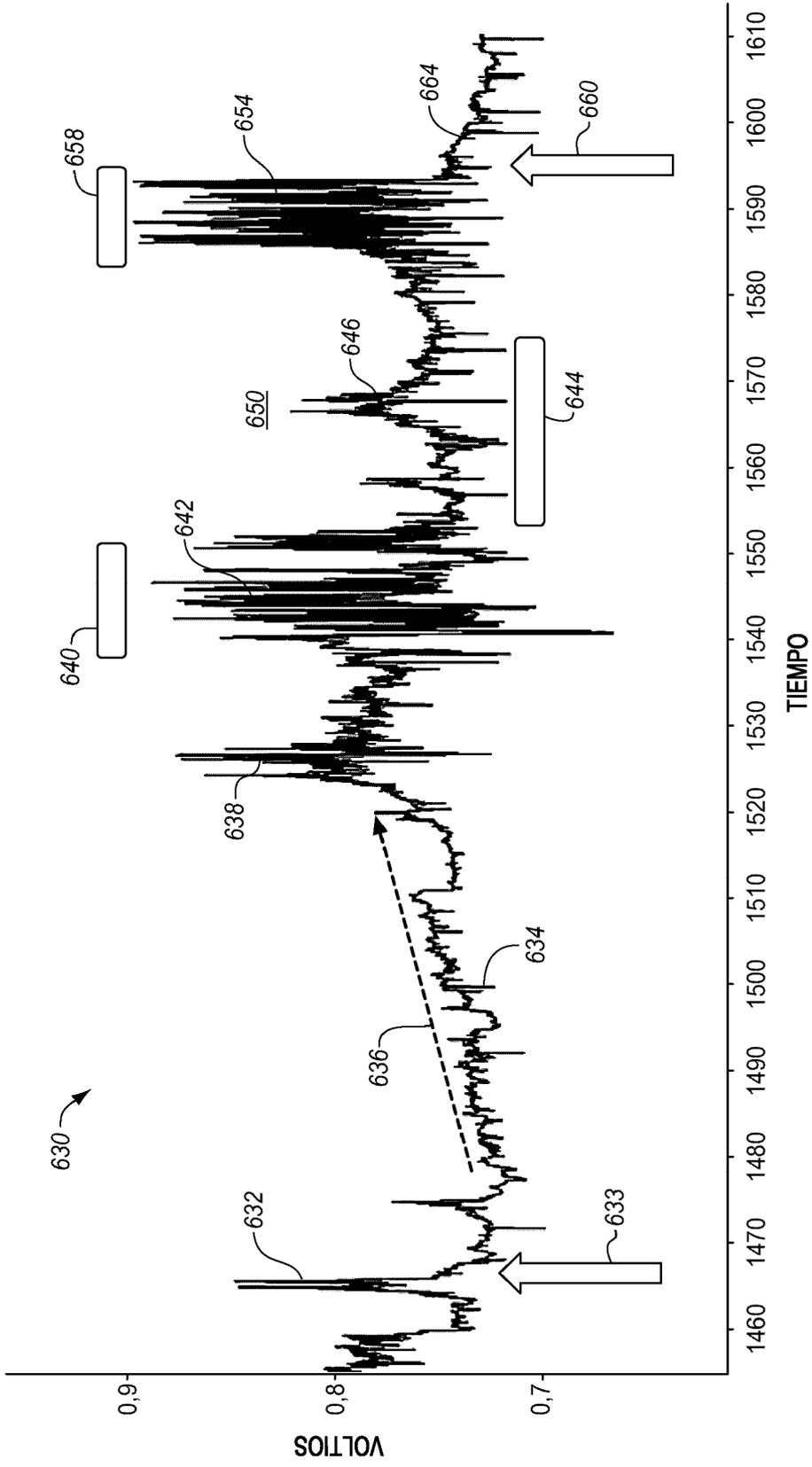


FIG. 12

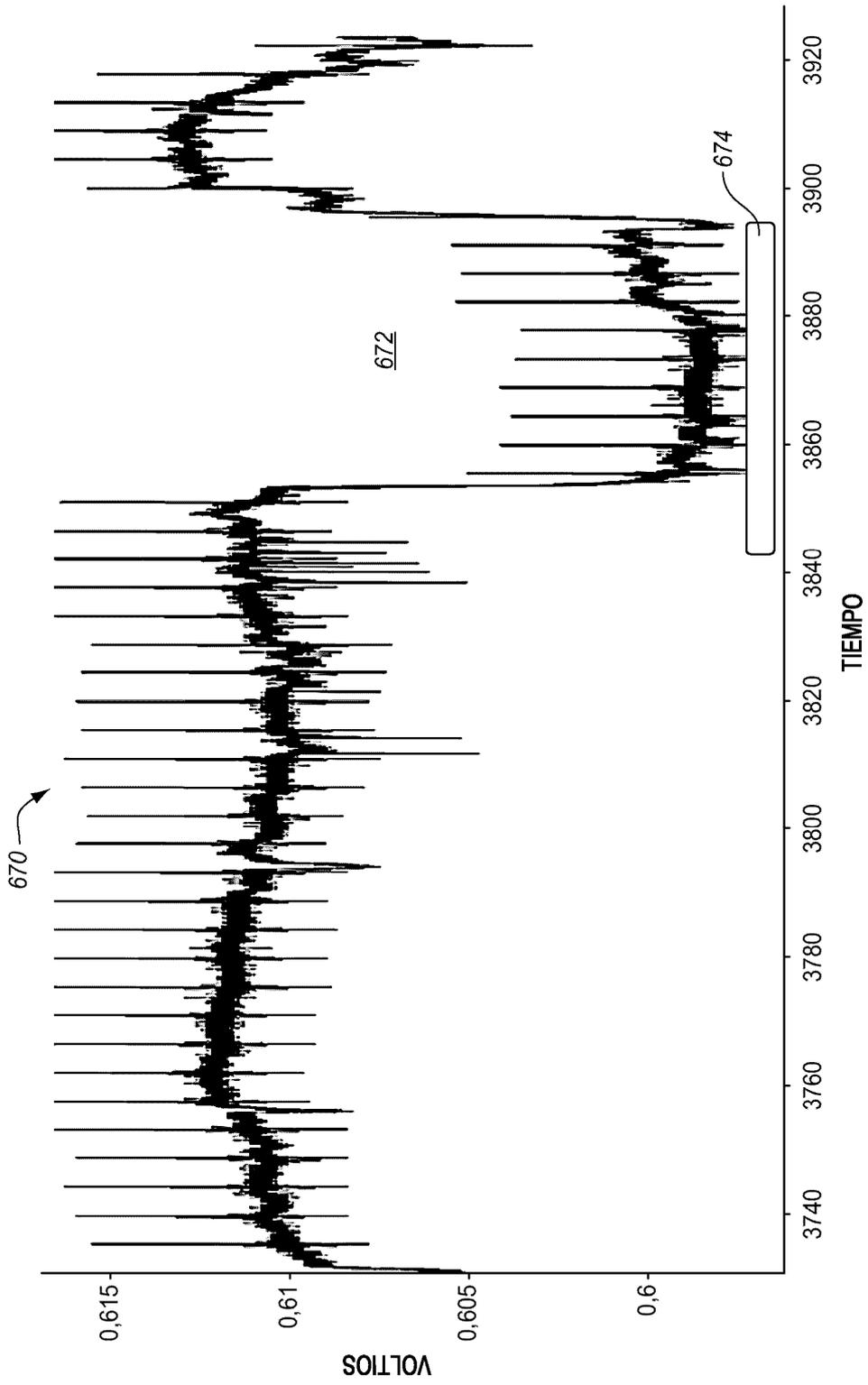


FIG. 13

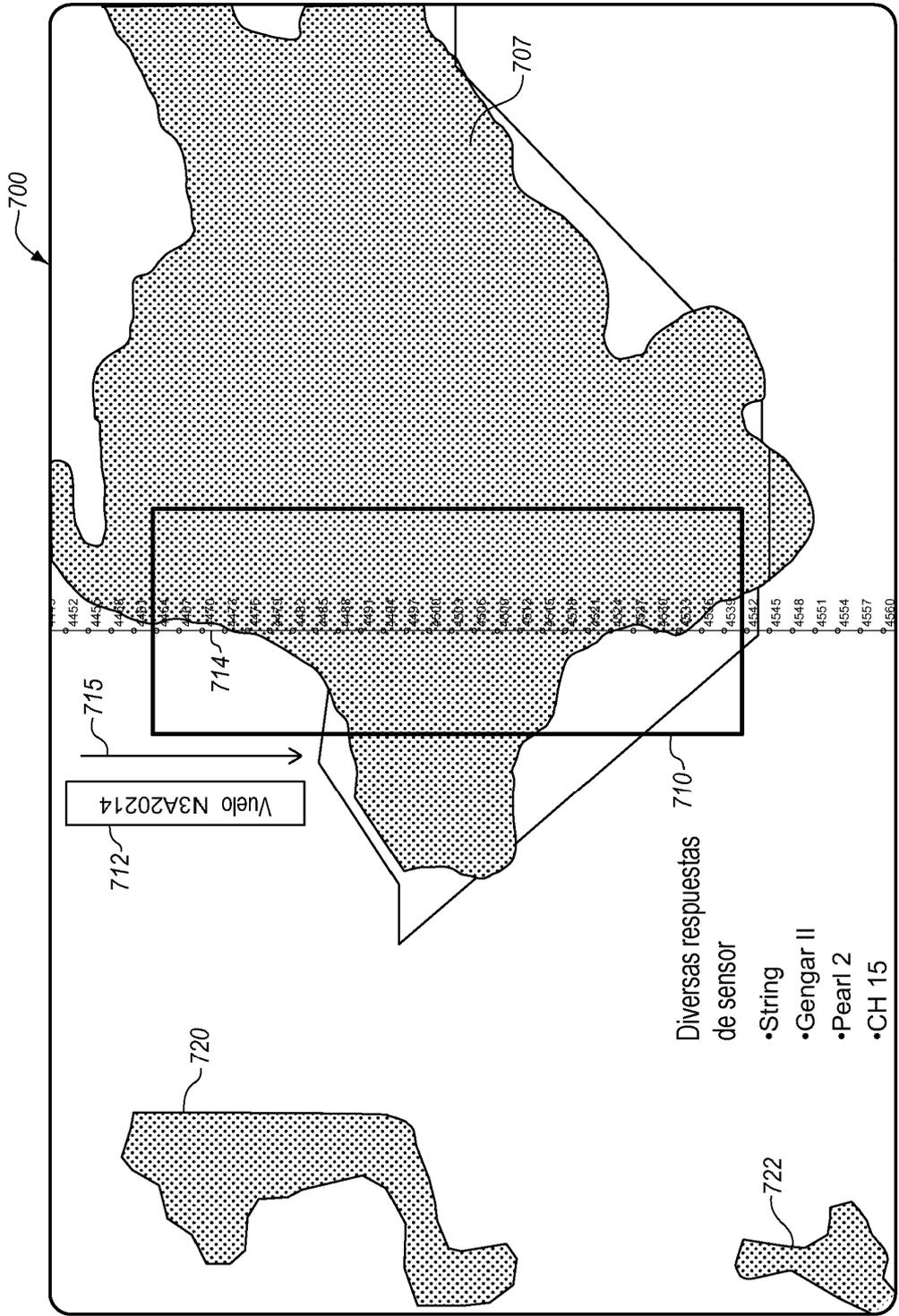


FIG. 14

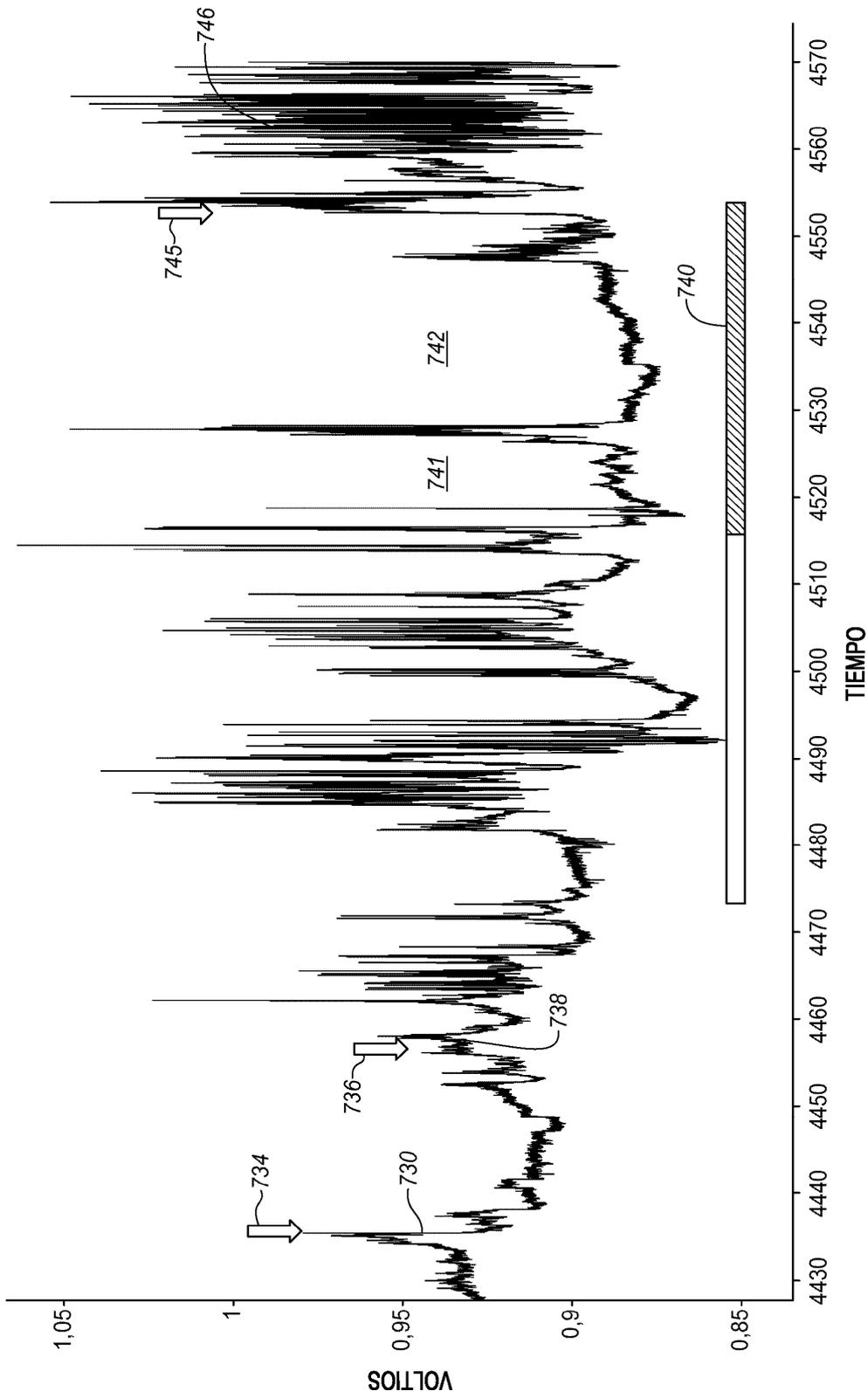


FIG. 15

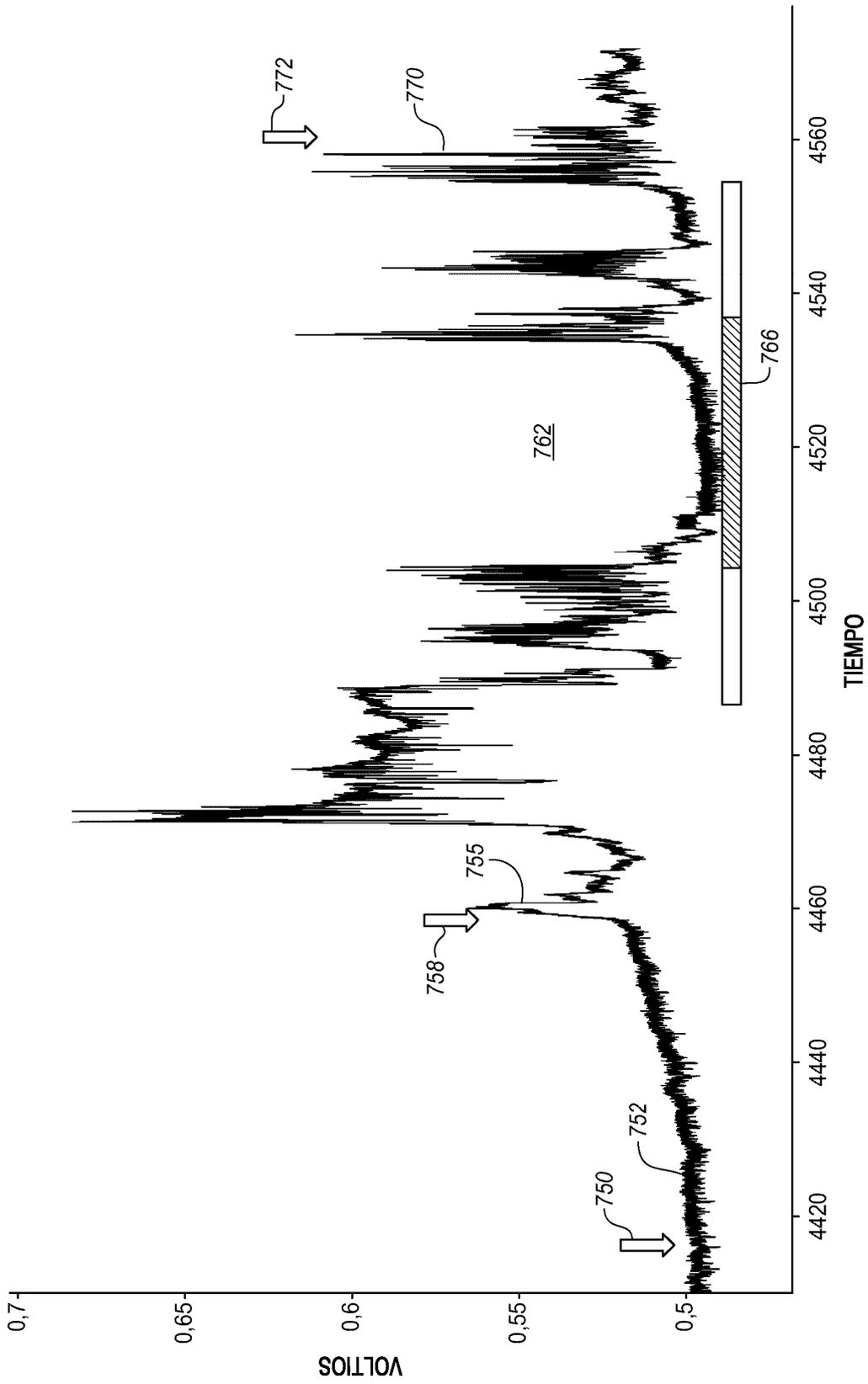


FIG. 16

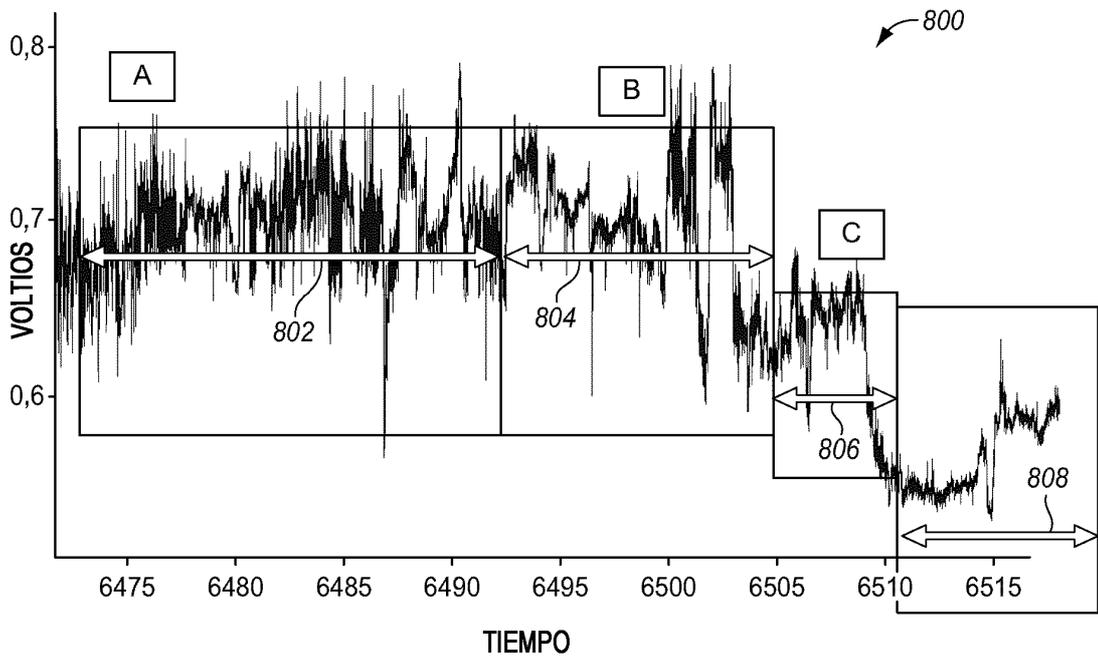


FIG. 17

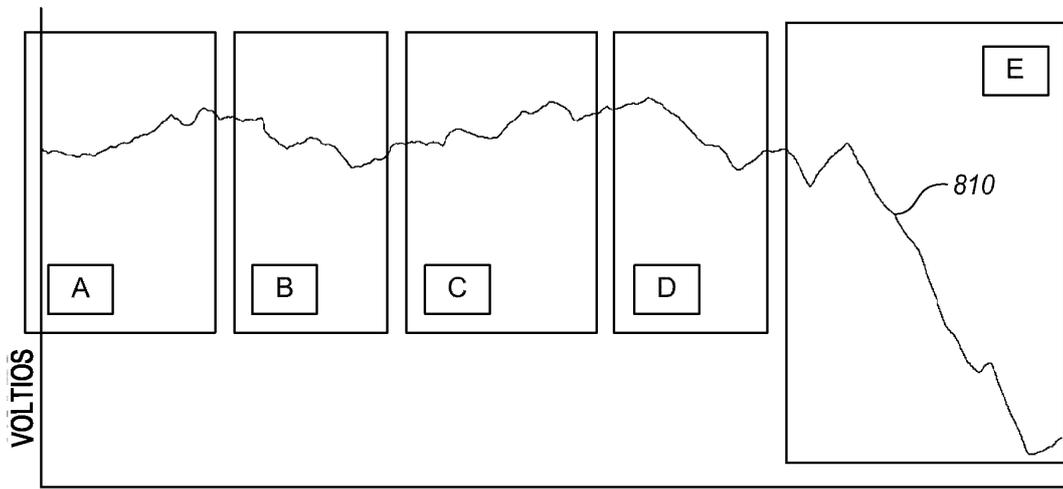


FIG. 18

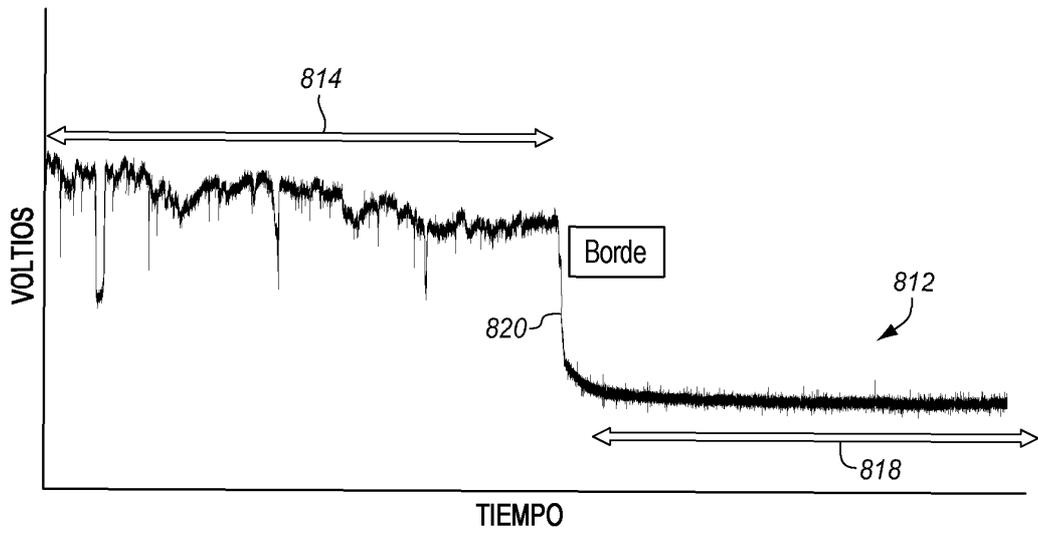


FIG. 19

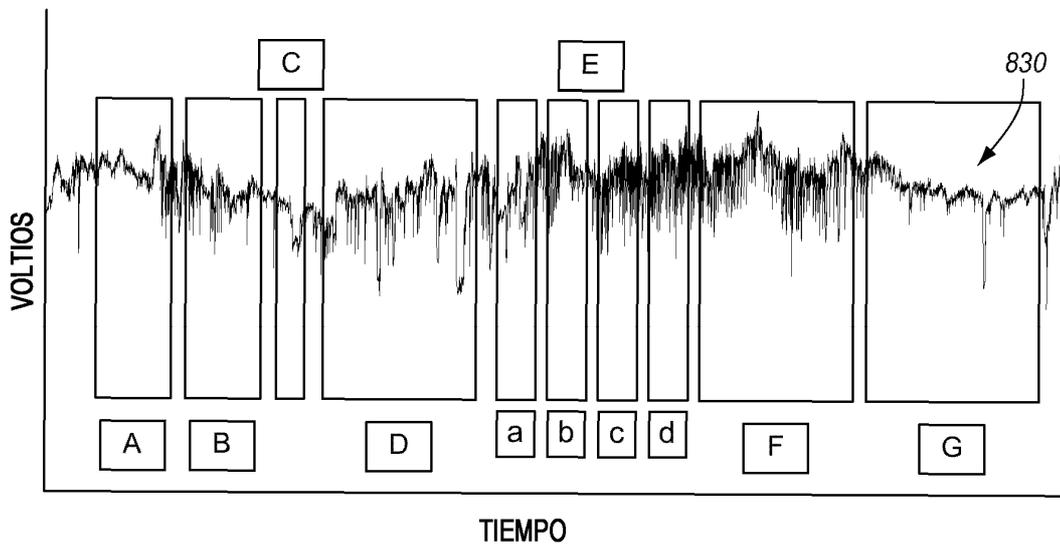


FIG. 20

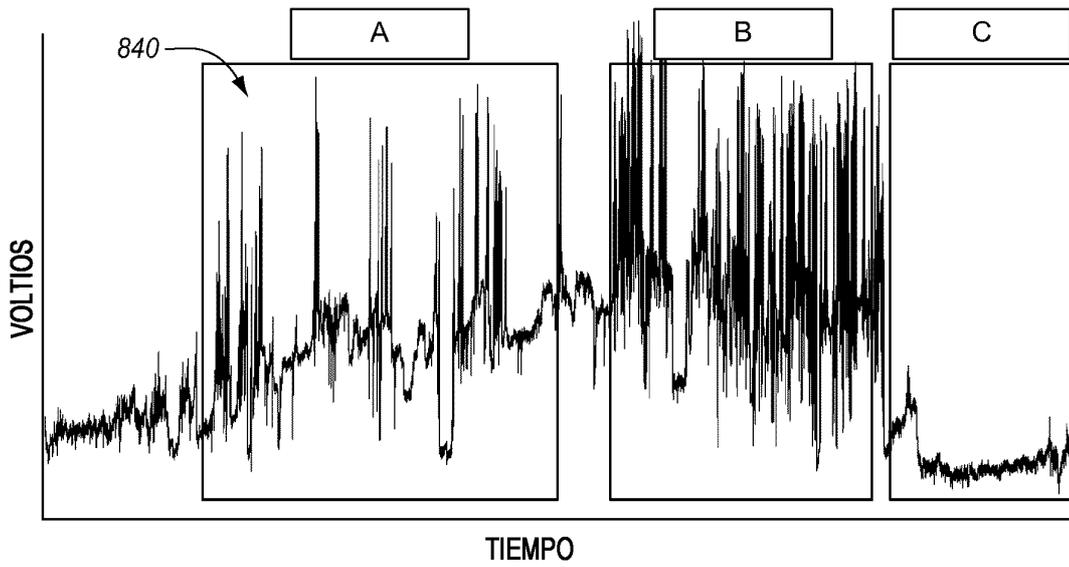


FIG. 21

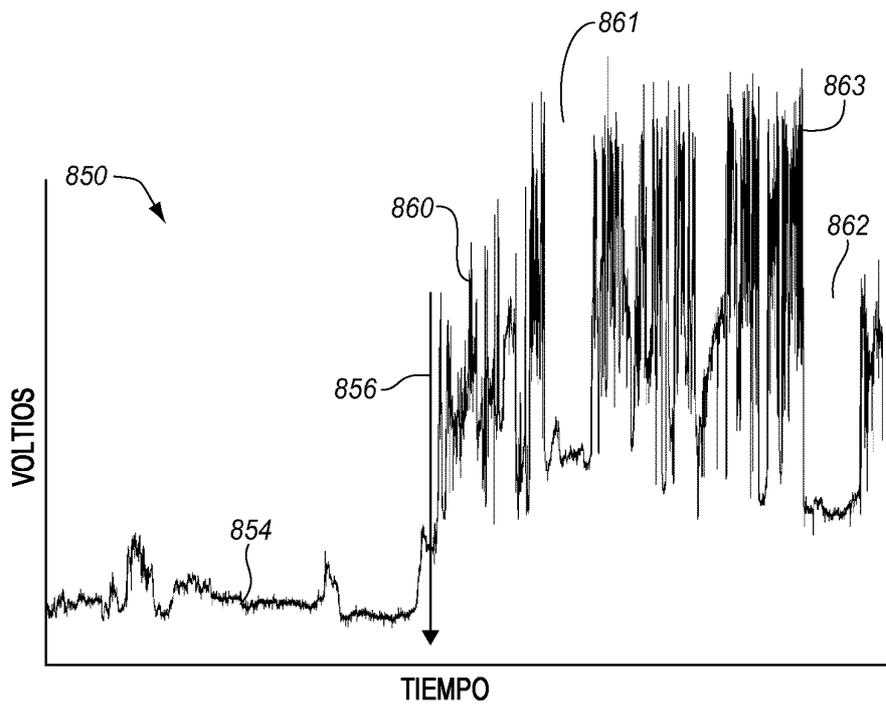


FIG. 22

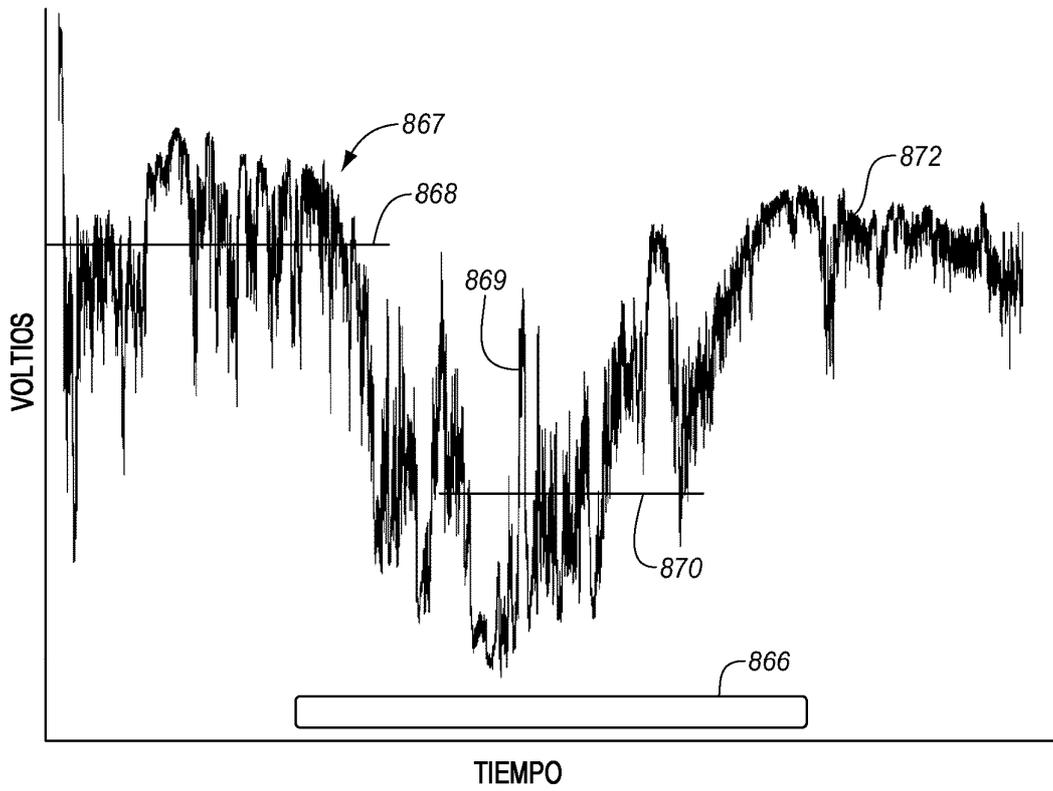


FIG. 23

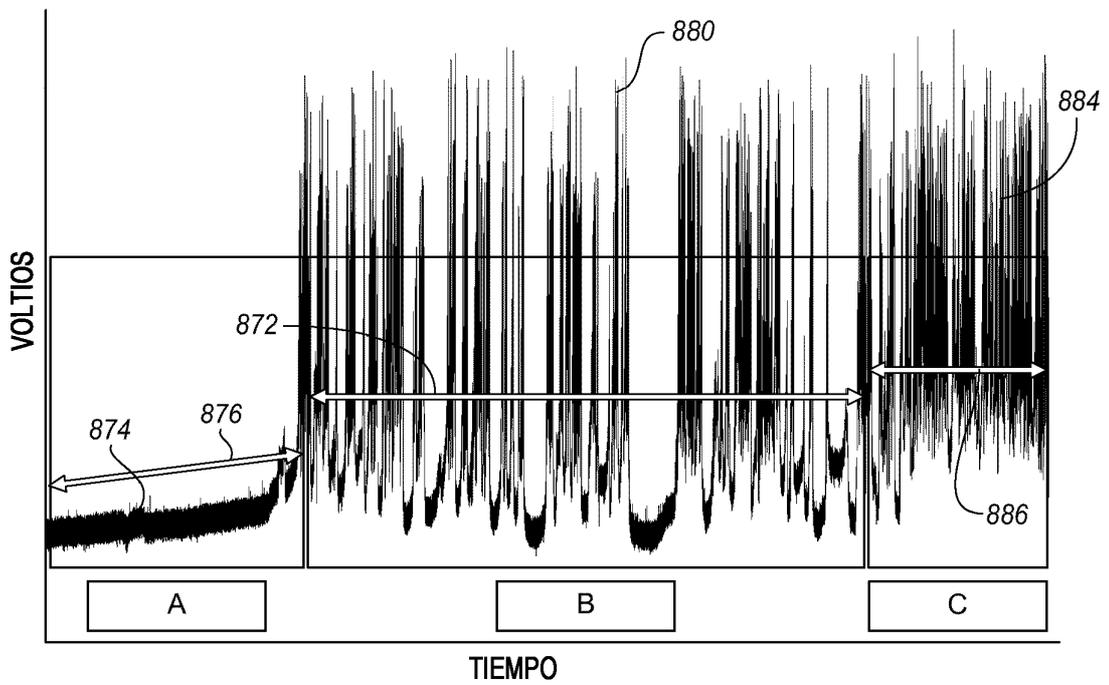


FIG. 24

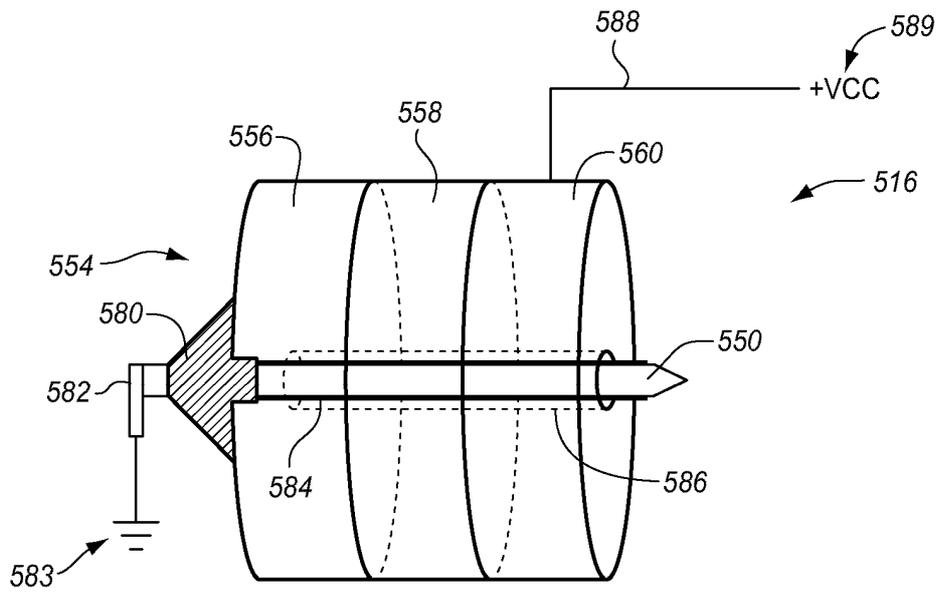


FIG. 25

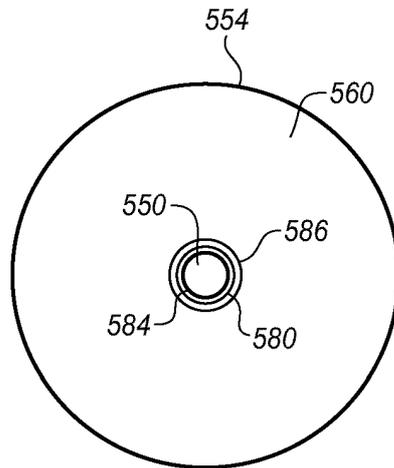


FIG. 26

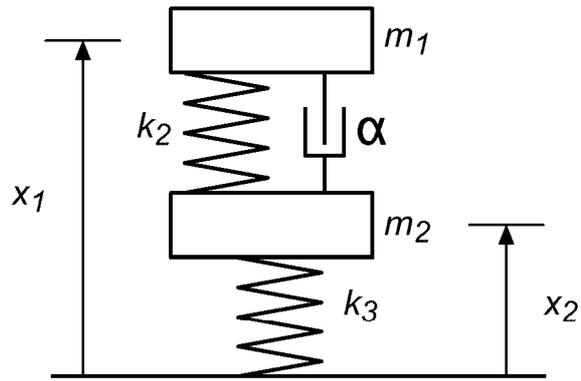


FIG. 27

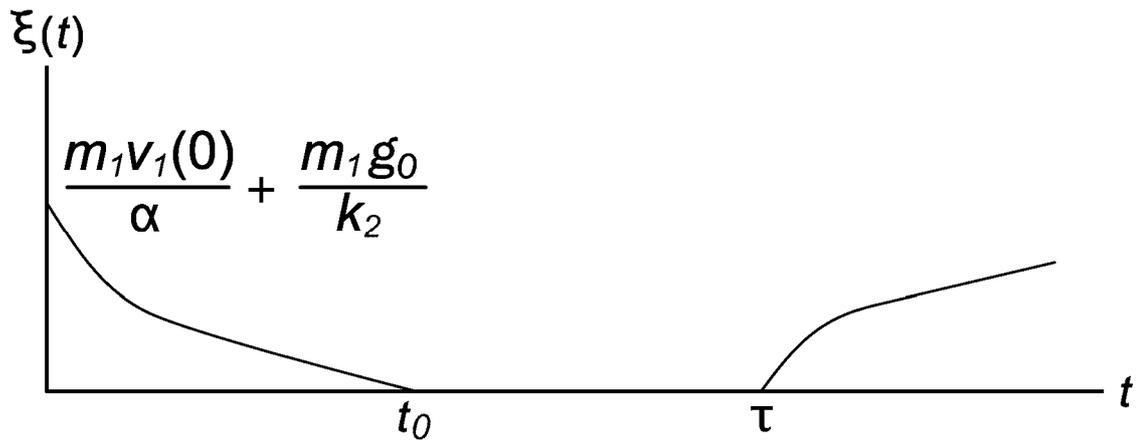


FIG. 28