

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 418 605**

51 Int. Cl.:

**G01P 21/00** (2006.01)

**G01P 21/02** (2006.01)

**G01D 18/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.11.2008** **E 11196157 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2013** **EP 2437070**

54 Título: **Sistema de calibrado de un sensor de movimiento dinámico y procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico**

30 Prioridad:

**20.11.2007 US 3839 P**

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

**14.08.2013**

73 Titular/es:

**THE MODAL SHOP, INC. (100.0%)**  
**3149 E Kemper Road**  
**Cincinnati, OH 45241, US**

72 Inventor/es:

**SILL, ROBERT D.;**  
**SCHIEFER, MARK I. y**  
**MOSES, JOSHUA B.**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 418 605 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**

Sistema de calibrado de un sensor de movimiento dinámico y procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico

**Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

- 5 Esta solicitud reivindica el beneficio conforme a 35 U.S.C. §119(e) de la Solicitud Provisional de Estados Unidos Nº 61/008.839 presentada el 20 de noviembre de 2007 y que se incorpora en el presente documento por referencia.

**Campo de la invención**

- 10 La invención se refiere, en general, a procedimientos y sistemas para un calibrado preciso de sensores de movimiento dinámicos. Específicamente se refiere a proporcionar un sensor de posición de alta precisión, proporcionando de esta manera una referencia superior para el calibrado de precisión de los sensores de movimiento dinámicos a baja frecuencia. El Sensor de Movimiento Dinámico se define como cualquier transductor que mida el tiempo de variación del desplazamiento y/o aceleración incluyendo, aunque sin limitación, acelerómetros, velocímetros y sondas de desplazamiento.

**Antecedentes de la invención**

- 15 Los sensores de movimiento dinámicos ("sensores de movimiento" o "sensores") son transductores usados para medir la aceleración. Los sensores de movimiento dinámicos normalmente son sensibles a lo largo de un solo eje. Esto es lo que se denomina sensor de movimiento dinámico de un solo eje o uniaxial. Por ejemplo, la magnitud de la aceleración se mide mediante un instrumento externo o sistema de medición que detecta la salida eléctrica del acelerómetro. La salida del acelerómetro normalmente es una forma de onda de tensión proporcional a la magnitud de la aceleración aplicada. Análogamente, los dispositivos de detección de movimiento dinámicos, tales como velocímetros y transductores de desplazamiento, responden dinámicamente a la salida de una forma de onda de tensión o generan corriente proporcional a la velocidad. El documento EP 1 630 562 A1 desvela un sensor de movimiento dinámico de este tipo.

- 20 El procedimiento de calibrado de un acelerómetro u otro sensor de movimiento comprende aplicar un movimiento medido o calculado conocido al sensor de movimiento dinámico a ensayar (el Sensor de Ensayo o SUT), como se determina por un sensor de referencia (REF) de alta precisión. Esto es lo que se denomina procedimiento contrastado. El procedimiento de calibrado de acelerómetro contrastado está cubierto por la norma ISO (ISO16063-21: Calibrado de Vibración por Comparación con un Transductor de Referencia) y aquí solo se resumirá.

- 30 Los dispositivos SUT y REF están fijados ambos a un dispositivo capaz de conferir movimiento armónico a un desplazamiento significativo. Uno de estos dispositivos está representado en la Figura 1 y se denomina agitador de largo recorrido o vibrador de largo recorrido. Durante el calibrado, el transductor de referencia, que previamente ha sido calibrado por otros medios tales como un interferómetro láser (como se describe en ISO16063-11), se usa para medir la aceleración aplicada. Ambos acelerómetros producen una señal eléctrica que varía con el tiempo proporcionaron la magnitud de la aceleración a la que está sometida el dispositivo. Esta señal eléctrica, que varía con el tiempo, puede tomar la forma de una tensión proporcional a la magnitud, pero también puede estar en forma de una corriente o carga proporcional a la magnitud de la aceleración. En el caso de un sensor de salida de corriente o carga, se utiliza una unidad de acondicionamiento de señal para convertir la corriente o carga en la señal de tensión apropiada para el convertidor de analógico a digital usado para digitalizar y registrar la señal de magnitud de aceleración. El software de calibrado que se ejecuta en el microprocesador u ordenador conectado al REF o SUT es el responsable de calcular la sensibilidad del acelerómetro a calibrar multiplicando la sensibilidad del sensor de referencia por la proporción de las magnitudes de la señal eléctrica de los dos dispositivos. Se calcula la proporción de aceleración de SUT a aceleración de REF y esta proporción se usa para calcular la sensibilidad de tensión del acelerómetro del SUT.

- 45 La precisión y resolución del REF es el factor limitante en la precisión de la operación de calibrado. A menores frecuencias, normalmente 10 Hz o menor, usar un acelerómetro u otro tipo de sensor de movimiento como un sensor de referencia limita la precisión de calibrado del sistema debido al hecho de que la aceleración disminuye con el cuadrado de la frecuencia para un desplazamiento dado. Esto es lo que se denomina comúnmente limitación del recorrido y, por esta razón, la industria normalmente utiliza agitadores capaces de generar un desplazamiento de al menos 0,1524 m (6") de pico a pico (pk-pk) para su uso en calibrados de baja frecuencia.

- 50 Debe observarse que la norma ISO16063 sugiere el uso de un procedimiento de cálculo de raíces cuadráticas medias ("RMS") o un procedimiento espectral de cálculo de la magnitud de la aceleración a la frecuencia de interés. El procedimiento típico usado en la técnica anterior ha sido utilizar un procedimiento RMS, pero este cambia rápidamente al procedimiento espectral y es capaz de proporcionar un resultado superior en términos de rechazo de ruido, mejorando de esta manera la precisión de calibrado global.

- 55 Por lo tanto, existe en el campo un problema con el procedimiento conocido de calibrado de sensores de movimiento dinámicos a menores frecuencias usando un sensor de movimiento como una referencia o patrón inicial.

**Breve resumen de la invención**

- La presente invención comprende un sistema de calibrado de sensor de movimiento dinámico que incluye una mesa agitadora de largo recorrido u otro excitador mecánico o electromecánico de baja frecuencia ("excitador"), un sensor de desplazamiento óptico o codificador, en el que el sensor de desplazamiento óptico es un sensor de referencia, una unidad microprocesadora y al menos un convertidor de analógico a digital (CAD) incluido en el microprocesador, y en el que la unidad microprocesadora genera una señal sinusoidal al excitador para generar movimiento armónico del excitador, y adicionalmente en el que el sensor de desplazamiento óptico produce una primera señal de desplazamiento analógico a al menos un CAD para la conversión a una primera señal digital. En realizaciones alternativas, el sistema de calibrado puede tener dos, tres o más CAD.
- 5
- 10 La presente invención comprende también un procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico que comprende:
- a - enviar una onda sinusoidal continua que tiene un bajo nivel de frecuencia predeterminado desde un microprocesador hasta una mesa agitadora de largo recorrido u otro excitador mecánico o electromecánico de baja frecuencia para generar un movimiento armónico en la mesa;
  - 15 b - transmitir las salidas de la fotocorriente sinusoidal desde un codificador de desplazamiento óptico situado en la mesa agitadora hasta una primera tarjeta convertidora de analógico a digital (CAD) en el microprocesador;
  - c - dirigir una señal de salida desde el sensor de movimiento dinámico de ensayo hasta una segunda tarjeta CAD en el que la segunda CAD está fijada funcionalmente a la primera CAD;
  - d - convertir las salidas de fotocorriente a una señal de desplazamiento;
  - 20 e - transformar la señal de desplazamiento en una medición de magnitud y fase a la frecuencia predeterminada usando procedimientos con transformada de Fourier;
  - f - medir la magnitud y fase de la señal de salida del sensor de ensayo a la frecuencia predeterminada usando procedimientos con transformada de Fourier;
  - g - almacenar las mediciones de magnitud y fase del codificador y sensor de desplazamiento óptico;
  - 25 h - calcular la sensibilidad del sensor de movimiento dinámico de ensayo;
  - i - repetir las etapas a a h a una frecuencia de bajo nivel predeterminada diferente.

El SUT puede ser un acelerómetro, un velocímetro o un transductor de desplazamiento que responde dinámicamente. La señal de salida desde dicho sensor de movimiento dinámico de ensayo puede ser una señal de fase y magnitud de corriente. En realizaciones alternativas, el procedimiento de calibrado puede utilizar uno, tres o más CAD.

30

Un objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento para calibrar con precisión un sensor de movimiento dinámico que vibra o se mueve a bajas frecuencias.

Un segundo objetivo de la invención es proporcionar un nuevo sistema de calibrado de sensor de movimiento dinámico que calibra con precisión un sensor de movimiento dinámico de ensayo a bajas frecuencias.

35 Un tercer objetivo de la invención es desvelar un procedimiento y sistema de calibrado de un sensor de movimiento dinámico que no requiere un sensor de referencia (calibrado previamente).

Un objetivo adicional de la invención es proporcionar un sistema y procedimiento de calibrado de sensor de movimiento dinámico que tenga niveles de ruido reducidos a bajas frecuencias.

40 Estos y otros objetivos y ventajas de la presente invención serán fácilmente apreciables a partir de la siguiente descripción de las realizaciones preferidas de la invención y a partir de los dibujos y reivindicaciones adjuntas.

**Breve descripción de los dibujos**

La naturaleza y el modo de operación de la presente invención se describirán ahora más completamente en la siguiente descripción detallada de la invención, tomada junto con las figuras de los dibujos adjuntas, en las que:

45 La Figura 1 es una vista frontal idealizada de un sistema de calibrado de sensor de movimiento dinámico de la técnica anterior;

La Figura 2 es una vista frontal del componente excitador del sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de la presente invención;

La Figura 3 es una vista en perspectiva superior que muestra los diversos componentes del excitador que actúan

conjuntamente para mover la mesa verticalmente en un movimiento armónico;

La Figura 3A es una vista en perspectiva superior del sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de la presente invención con un sensor de movimiento dinámico de ensayo sobre la mesa del excitador;

La Figura 4 es un diagrama idealizado del subsistema de codificación de la posición de la presente invención;

5 La Figura 5 es una vista en sección transversal de la escala del subsistema de codificación de la posición de la Figura 4 que muestra el revestimiento superior de laca de la escala y una faceta espaciada a 20  $\mu\text{m}$  sobre la superficie superior de la escala;

La Figura 6 es un diagrama esquemático de los enlaces entre el ordenador y el sistema de calibrado de la presente invención;

10 La Figura 6A es un diagrama esquemático de una realización alternativa del circuito que genera las mediciones de calibrado de un sensor de movimiento dinámico;

La Figura 6B es un diagrama esquemático de una segunda realización alternativa del circuito que genera las mediciones de calibrado de un sensor de movimiento dinámico; y

15 La Figura 7 es un diagrama de flujo que representa el procedimiento general de calibrado de un sensor de movimiento dinámico de la presente invención.

### **Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención**

Debe apreciarse, en primer lugar, que los números de los dibujos similares en diferentes vistas de los dibujos identifican elementos estructurales idénticos de la invención. Debe apreciarse también que las proporciones y ángulos de las figuras no siempre están a escala, para representar claramente los atributos de la presente invención.

20 La invención proporciona una solución que puede calibrar de forma muy precisa un sensor de movimiento dinámico a bajas frecuencias. Las bajas frecuencias se definen como 10 Hz y menores. El sensor de movimiento dinámico que se está ensayando se pone sobre un excitador eléctrico o electromecánico con el eje de sensibilidad orientado paralelo al eje del recorrido del agitador. Una forma de tal excitador es un agitador de largo recorrido. La señal de salida se conecta a un sistema informático a través del acondicionamiento y digitalización de señales apropiado mediante una tarjeta convertidora de analógico a digital para el análisis de señales digitales.

Adviértase que en los dibujos, la Figura 1 es una vista frontal esquemática de un sistema de calibrado **10** de sensor de movimiento dinámico "contrastado" ("sistema **10**"). El agitador **12** se ve soportando al sensor **14** de referencia desde el que se extiende un cable **16** hasta el ordenador o unidad microprocesadora **50** (no se ve en la Figura 1). En la realización mostrada, el sensor de movimiento dinámico de ensayo **18** está apilado sobre el sensor de movimiento dinámico de referencia **14** (contrastado). El cable **20** se extiende desde el sensor de movimiento dinámico de ensayo **18** hasta el ordenador **50**. Las señales de tensión, señales de corriente u otras señales apropiadas generadas en los sensores de movimiento dinámico **14** y **18** se transmiten al ordenador **50** durante el procedimiento de calibrado. La flecha en la Figura 1 indica la dirección del movimiento armónico de los sensores de movimiento dinámico apilados cuando el agitador **12** está en funcionamiento. La configuración apilada permite que tanto el sensor de movimiento dinámico de ensayo **18** como el sensor de movimiento dinámico de referencia **14** se desplacen la misma distancia a lo largo del mismo eje de sensibilidad durante el procedimiento de calibrado.

La Figura 2 es una vista frontal del sistema de calibrado **30**. El agitador **12** está soportado por la base **40**, que a su vez soporta la mesa **38**. El agitador **12** es un tipo de excitador eléctrico o electromecánico usado para generar un movimiento sinusoidal durante el calibrado de un sensor de ensayo. También puede verse la carcasa **32** del motor cubriendo el motor que mueve el agitador **12**. El propio agitador **12** está construido como un dispositivo de tipo bobina de altavoz con la armadura y la mesa **38** de soporte del sensor de movimiento dinámico rodando sobre cojinetes neumáticos para un movimiento suave con un movimiento transversal mínimo. La construcción particular del sistema de agitador, mesa y cojinetes no es particularmente crítica para la naturaleza de la descripción de esta invención. Un agitador de largo recorrido adecuado puede ser un dispositivo disponible en el mercado, tal como la serie APS ELECTRO-SEIS o puede ser un dispositivo diseñado a medida. La Figura 2 describe específicamente el APS ELECTRO-SEIS Modelo 129 de APS Dynamics, Inc., Carlsbad, CA con una unidad detectora de codificador óptico **60** ("codificador **60**"), que se describe a continuación, fijada a la mesa **38**. La escala de cinta **62** (no mostrada) utilizada con la unidad del detector de codificador óptico **60** se fija al lado inferior de la mesa **38** del agitador en movimiento. De esta manera, la escala de cinta **62** experimenta el mismo movimiento que el sensor de movimiento dinámico de ensayo **18**, que se fija al lado superior de la mesa **38** del agitador en movimiento.

La Figura 3 es una vista en perspectiva superior del agitador **12** que muestra los diversos componentes **12a**, **12b**, y **12c** que actúan conjuntamente para posibilitar que la mesa **38** se mueva verticalmente en un movimiento armónico. La Figura 3A es una vista en perspectiva superior del sistema **30** de calibrado de la presente invención. El sensor de movimiento dinámico de ensayo **18** ("Sensor de Ensayo **18**" o SUT **18**") está soportado por la mesa **38**. Análogamente al sistema **10** de la técnica anterior, se ve el cable **20** extendiéndose hacia el microprocesador **50** no

mostrado en la Figura 3A. En lugar del sensor de movimiento dinámico de referencia **14**, el codificador **60** se usa como un patrón de referencia para calibrar el sensor de movimiento dinámico de ensayo **18**. El soporte **36** sostiene el codificador **60** en su sitio bajo la mesa **38**.

5 Utilizar un sistema de codificación lineal óptico **60** sin contacto abierto con el agitador **12** elimina la fricción y desgaste y permite la medición del desplazamiento a alta velocidad y con alta resolución a una baja frecuencia durante la operación de calibrado. El codificador **60** utiliza un espaciado óptico de **20**  $\mu\text{m}$  o menor en la escala **62** que posibilita la resolución lineal de **10** nm o mejor con un procesamiento de señal apropiado. Como se ve en la Figura 6, la salida del codificador **60** está conectada a una tarjeta convertidora de analógico a digital **54** ("CAD **54**") de resolución media para digitalizar y posteriormente descodificar la información de posición que está codificada en forma de una señal sinusoidal analógica. Como se explica más adelante, la señal de salida analógica codificada del codificador **60** óptico tiene un periodo de **20**  $\mu\text{m}$  que es independiente de la frecuencia y amplitud de vibración del agitador **12**.

15 La Figura 4 es un diagrama idealizado del codificador **60**. El sistema codificador **60** incluye una escala **62** que es básicamente un plano metálico reflectante con facetas con un periodo de **20**  $\mu\text{m}$ . La escala **62** puede ser una escala de cinta pegada a la mesa **38** en su sitio para que la rejilla **64** reciba la luz reflejada desde la escala **62**. A medida que se mueve la mesa **38**, se observa el desplazamiento de la escala **62** fijada. La luz de la fuente de luz **61**, preferentemente un LED, se dirige hacia la escala **62**. La luz se refleja desde la escala **62** a través de la rejilla **64** indicadora sobre una ventana de lectura **63**. El fotodetector **65** detecta la luz y produce fotocorrientes **66** sinusoidales que están en cuadratura (una con un desplazamiento de fase de 90 grados con respecto a la otra). La rejilla de fase de transmisión **64** produce una imagen o visualización de la escala **62** en movimiento que incluye una escala con un espaciado de **20**  $\mu\text{m}$ , filtrándose los elementos no periódicos. El patrón de la escala de ondas nominalmente cuadradas también se filtra para dejar un campo periférico sinusoidal puro en el detector. Preferentemente, esto permite la medición del desplazamiento hasta un error de menos de  $\pm 0,15$   $\mu\text{m}$ . En una realización preferida, la escala **62** está metalizada con oro. Más preferentemente, la escala **62** incluye un revestimiento con laca **62a** para permitir la protección frente a manipulación y mantenimiento de la escala **62**. La Figura 5 es una vista en sección transversal de la escala **62** que muestra un revestimiento **62a** de la escala con laca que recibe la luz desde la fuente de luz **61**. Preferentemente, la distancia entre los picos de la escala **62** es de **20**  $\mu\text{m}$  como se indica por la flecha de doble punta. Tal codificador de desplazamiento óptico proporciona la ventaja inesperada de permitir una medición más precisa del desplazamiento del patrón de referencia a bajas frecuencias que la que podría obtenerse a partir de un segundo acelerómetro precalibrado que actúa como la referencia para el acelerómetro **18** de ensayo. Un codificador **60** adecuado es el sistema codificador sin contacto RGH24 de Renishaw, Hoffman Estates, Illinois 60192.

35 La salida de cuadratura sinusoidal del codificador de posición **60** se muestrea sincrónicamente por la CAD **54** de resolución media con la tarjeta CAD **56** del sensor de movimiento dinámico de alta resolución ("CAD **56**"). Las muestras se almacenan en la memoria del microprocesador **50** para un procesamiento posterior en un movimiento relevante de desplazamiento y equivalente, tal como información sobre velocidad o aceleración, usando unidades de memoria intermedia bien conocidas por los expertos en la materia. Debido a que las salidas sinusoidales **66** están en cuadratura, la dirección de movimiento puede ser determinada por la fase de las salidas según se detectan, y la distancia se determina por el desplazamiento registrado a lo largo del periodo espacial, la línea que separa la rejilla **64** en el codificador **60**.

45 La digitalización tanto del sensor de movimiento dinámico de ensayo **18** como de la salida del codificador **60** se desencadenan y sincronizan usando la CAD **54** del codificador (NI6251) y una tarjeta CAD del sensor de movimiento dinámico, por ejemplo la CAD **56** del acelerómetro (NI4461) - dos tarjetas convertidoras de analógico a digital - que están instaladas y conectadas funcionalmente entre sí dentro del ordenador **50**. Por conectado funcionalmente se entiende que el enlace entre las CAD **54** y **56** permite el intercambio de información, incluyendo datos de desplazamiento digitalizados entre las dos tarjetas. El enlace puede ser directamente entre las dos tarjetas, puede incluir uno o más componentes intermedios o puede ser un enlace inalámbrico que permita el intercambio de datos. Esta sincronización es crítica para el funcionamiento correcto del sistema de calibrado **30** y se realiza usando la conexión **58** funcional entre la CAD**54** y la CAD **56** que actúa como doble placa de adquisición de datos.

50 La Figura 6 es un diagrama esquemático de los enlaces entre el microprocesador u ordenador **50** y el sistema de calibrado **30**. Una señal impulsora sinusoidal que tiene una frecuencia predeterminada se proporciona por el ordenador o microprocesador **50** desde la tarjeta convertidora de digital - analógico **52** ("CDA **52**") a través del amplificador **58** al agitador de transmisión **12** y el sensor de movimiento **18** fijado ("SUT **18**") en un movimiento armónico sencillo a cada frecuencia de calibrado. El amplificador **58** en ocasiones es necesario para proporcionar una energía suficiente para accionar el agitador electrodinámico **12** basado en bobina de altavoz lineal. La amplitud de la señal de transmisión se ajusta a diferentes frecuencias, ajustando de esta manera la magnitud del movimiento conferido al sensor de movimiento dinámico **18** (SUT **18**) a calibrar. La retroalimentación desde el sistema codificador óptico **60** se utiliza para controlar el ajuste de amplitud de la señal accionadora. En el microprocesador **50** se incluyen los necesarios RAM, ROM, discos, pantallas, teclados, ratones y otras entradas necesarias para facilitar la ejecución del programa de calibrado y la interacción humana con el procedimiento de calibrado que son conocidos por los expertos en la materia.

- La Figura 7 es un diagrama de flujo del procedimiento de calibrado del SUT **18** representado en el software de procesamiento que están contenido dentro del ordenador **50**. La Figura 7 representa el procedimiento que es responsable de la medición de la magnitud y fase de la señal de tensión de salida del sensor de movimiento desde el SUT **18** mediante procedimientos por Transformada de Fourier Discreta (TFD) o Transformada de Fourier Rápida (TFR) que son conocidos por los expertos en la materia. El software de procesamiento es adicionalmente responsable de la conversión de la señal codificadora óptica en una señal de desplazamiento. La señal de desplazamiento se transforma después en un cálculo de magnitud y fase también mediante un procedimiento por TFD. La señal de desplazamiento se convierte en una magnitud y fase de aceleración equivalente mediante la relación física bien conocida de ( $g = 0,511 \times f^{**2} \times D$ ) (sistema inglés)
- 5 El SUT **18** se somete a un movimiento armónico simple (sinusoidal) de una amplitud y frecuencia constantes durante el tiempo de medición de cada frecuencia en el intervalo de calibrado. Este movimiento armónico se genera en el excitador **12** eléctrico o electromecánico mediante un generador de señal de software que es responsable de generar una forma de onda sinusoidal continua de la amplitud y frecuencia apropiadas para el punto de calibrado diana. Esta forma de onda sinusoidal se genera mediante el programa de calibrado del microprocesador **50** a partir de la CDA **52** y se aplica a la conexión de entrada del amplificador de potencia **58**. El amplificador de potencia **58** es un amplificador de potencia común, capaz de impulsar el agitador **12** basado en bobina de altavoz como respuesta a una señal de entrada presentada a los terminales de entrada del amplificador **58**. El procedimiento de impulsar un agitador de este tipo con un movimiento armónico simple es bien conocido en la industria y, por tanto, no se abordará adicionalmente.
- 10 El SUT **18** a calibrar está montado firmemente en el excitador **30** de manera que el eje de sensibilidad del SUT **18** es paralelo al eje de movimiento del excitador **30**. El SUT **18** está conectado a la CAD **56** en el microprocesador **50** directamente o a través del módulo de acondicionamiento de señal **59**, con lo que el acondicionamiento de señal requerido es una función del tipo de señal de salida del SUT **18** particular que se está calibrando. El módulo de acondicionamiento de señal **59** mostrado es opcional y puede requerirse si la salida del sensor de movimiento **18** que se está ensayando no es una tensión que es proporcional al movimiento dinámico apropiado, por ejemplo aceleración o velocidad, sino que en lugar de ello es proporcional a la corriente o la carga. En este caso, el módulo de acondicionamiento de señal **59** puede ser un amplificador diferencial o amplificador de carga que funciona como un dispositivo intermedio para la señal de movimiento dinámico en la CAD **56**. Tales acondicionadores de señal son bien conocidos por los expertos en la materia. El acondicionamiento de señal particular que se realiza no es la materia objeto de esta patente, como es bien conocido en la técnica y, por tanto, no se abordará adicionalmente.
- 15 El SUT **18** produce una señal de desplazamiento analógica a una CAD **56** de alta resolución (NI4461) que contiene filtros de paso bajo anti-alias integrales, ganancia, reloj interno y capacidad de desencadenamiento. Esta tarjeta también es capaz de sincronizar tanto la adquisición de bloques de datos como los procedimientos de muestreo de la CAD **54** (NI6251). Este muestreo sincronizado es una parte integral e importante del procedimiento de calibrado, con lo que las muestras de información de salida y posicional del SUT **18** del codificador **60** deben obtenerse y procesarse simultáneamente o casi simultáneamente en el tiempo para poder compararlas.
- 20 Las muestras almacenadas de la información de posición de cuadratura generada a partir del codificador óptico **60** se procesan en primer lugar de la información de cuadratura codificada a la información posicional absoluta por la fórmula simple de X (posición) =  $\arctan2(\cos/\sin)$  ("arctan"). Por tanto, después del procesamiento, el resultado es un almacenamiento intermedio de información de posición que se muestreó al mismo tiempo que se muestreaba la forma de onda de salida del sensor de movimiento dinámico.
- 25 La forma de onda de la información de la posición almacenada se transforma después en un dominio de frecuencia mediante una transformada de Fourier. Los componentes de magnitud y fase resultantes se convierten en unidades medidas del movimiento mediante fórmulas sencillas. Por ejemplo, la aceleración se convierte usando las fórmulas de aceleración en pulgadas/segundo al cuadrado =  $0,0511Df^{**2}$ , sistema inglés, donde D=pulgadas pk-pk, o la aceleración en metros/segundo cuadrado =  $2,013Df^{**2}$ , sistema métrico, donde D=metros pk-pk. La sensibilidad del sensor de movimiento que se está calibrando se calcula después en unidades de salida por unidad de movimiento, tal como, por ejemplo, aceleración o velocidad, a cada frecuencia de calibrado tomando la simple proporción de salida del Acelerómetro/Aceleración ( $S_{sut} = S_{ref}/V_{sut}$ ). El procedimiento de muestreo y el componente espectral específico de la transformada de Fourier utilizada se selecciona para que sea igual que el generado por el subsistema de generación de señales del subsistema de calibrado del sensor de movimiento. Análogamente, la señal de salida del sensor de movimiento dinámico **18** se transforma en el componente de magnitud y fase de una señal de desplazamiento y se convierte en unidades de movimiento, tal como velocidad o aceleración. Las mediciones de magnitud y fase del codificador de desplazamiento óptico **60** y el SUT **18** para frecuencia particular se almacenan y el procedimiento se repite para una frecuencia predeterminada diferente.
- 30 El dispositivo codificador de posición óptico **60** está conectado a la CAD **54** de resolución del medio (NI 6251) que contiene ganancia, reloj interno y capacidad de desencadenamiento, y es capaz de sincronizarse con otros subsistemas CAD tales como la CAD **56** del acelerómetro (NI4461). La velocidad de muestreo de la CAD **54** del codificador de posición se elige para que sea una proporción fija mayor como múltiplo de la velocidad de muestreo de la CAD **56** del acelerómetro. La velocidad de muestreo de la tarjeta codificadora de la posición debe elegirse para que sea suficientemente alta, tal como para digitalizar la información posicional codificada que se emite desde el
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

codificador de posición óptico **60**.

5 Las Figuras 6A y 6B representan dos realizaciones alternativas del sistema **10** en el que se usan diferentes números de CAD para calibrar un SUT. Debido a que el movimiento sinusoidal en el excitador **12** se genera como se ha descrito anteriormente, esta parte del circuito de calibrado se omite. En la Figura 6A, la señal de cuadratura produce señales de tensión proporcional  $V_{co}$  y  $V_{cuad}$  que son recibidas por la CAD **54a** y **54b**, respectivamente. Juntas, las CAD **54a** y **54b** realizan los cálculos para obtener la información posicional almacenada a partir de la cual determinan las unidades apropiadas de movimiento usando TFD o TFR. La señal  $V_{SUT}$  del SUT **18** se transmite a la CAD **56** y se procesa como se ha analizado anteriormente.

10 La Figura 6B representa una realización en la que se usa una CAD **59** para procesar las señales  $V_{co}$  y  $V_{cuad}$  del codificador **60** y  $V_{SUT}$  del SUT **18**. El multiplexador **60** combina las señales separadas en una sola señal y las transmite a la CAD **59** donde se ejecutan los cálculos descritos anteriormente. El demultiplexador **61** separa las señales del codificador **60** y del SUT **18** para almacenar las mediciones de magnitud y fase del codificador **60** y el SUT **18** y el procedimiento se repite para una frecuencia diferente. Se reconocerá que estas funciones de procesamiento y almacenamiento pueden combinarse en diferentes tipos de CAD para obtener las mismas mediciones.

15 Las salidas de cuadratura son normalmente niveles de señal de pico a pico de 1 voltio, de una naturaleza diferencial. El software de calibrado examina la amplitud de estas señales de cuadratura en bruto y hace una determinación del estado del subsistema óptico, la superficie de la escala de la cinta óptica y las condiciones de alineamiento generales del subsistema por examen de la amplitud y pureza de la señal de cuadratura codificada. La determinación del estado de la propia referencia no es algo nuevo y único en la industria de la medición de la posición o en la propia tecnología. Sin embargo, la determinación del estado del propio sensor de referencia es algo nuevo y único en la industria del calibrado del sensor de movimiento dinámico y, por tanto, es la materia de una de las reivindicaciones de la invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico que comprende:
  - una mesa (38);
  - un sensor de movimiento dinámico en ensayo (SUT), teniendo dicho SUT (18) un eje de sensibilidad orientado en paralelo a un eje del recorrido de dicha mesa (38);
  - un excitador (12) capaz de generar un largo recorrido a una baja frecuencia y de suficiente fuerza para mover dicho SUT (18) sobre dicha mesa (38);
  - una fuente (52) que genera una señal impulsora suficiente para accionar el excitador (12), sobre al menos un intervalo de baja frecuencia;
  - un sensor de desplazamiento óptico (60) sin contacto que tiene una rejilla (64), estando conectado dicho sensor de desplazamiento óptico (60) a dicha mesa (38) de manera que el movimiento de dicho sensor de desplazamiento óptico (60) más allá de una fuente de luz (61) produce un patrón óptico representativo de la posición de dicha mesa agitadora(60) suficiente para establecer una referencia posicional;
  - una unidad de procesamiento (50) que comprende al menos un convertidor de analógico a digital (CAD), estando dicha unidad de procesamiento (50) configurada y dispuesta para adquirir señales de salida analógicas de dicho SUT (18) y dicho sensor de desplazamiento óptico (60);
  - estando configurada adicionalmente dicha unidad de procesamiento (50) para calcular una segunda derivada en el tiempo de dicha referencia posicional como una aceleración de referencia y una señal de aceleración sincrónica de dicho SUT (18);
  - y comparar dicha aceleración de referencia con dicha señal de aceleración sincrónica.
2. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende un CAD (54) codificador fijado funcionalmente a un CAD (56) del sensor de movimiento dinámico para sincronizar dichas señales de salida de dicho SUT (18) y de dicho sensor de desplazamiento óptico (60).
3. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicha fuente es un convertidor de digital a analógico (CDA), generando dicho CDA (52) una señal impulsora sinusoidal para controlar el movimiento de dicho excitador (12).
4. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende adicionalmente un amplificador de potencia (58) en el que dicha señal impulsora se transmite a dicho excitador (12) a través de dicho amplificador de potencia (58).
5. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicho SUT (18) es un acelerómetro.
6. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicha unidad de procesamiento (50) está configurada adicionalmente para calcular una primera derivada de dicha referencia posicional y dicho SUT (18) es un velocímetro.
7. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicho SUT (18) es un transductor de desplazamiento que responde dinámicamente.
8. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicha unidad de procesamiento (50) está configurada y dispuesta adicionalmente para comparar la magnitud y la fase de dichas señales de salida desde dicho SUT (18) con la magnitud y la fase de dicha aceleración de referencia.
9. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 en el que dicho excitador (12) es un agitador electrodinámico de bobina de altavoz.
10. El sistema de calibrado del sensor de movimiento dinámico de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la unidad de procesamiento es la unidad de microprocesador (50).
11. Un procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico en ensayo (SUT), en particular por medición directa simultánea de la posición y el tiempo, que comprende:
  - enviar una señal impulsora eléctrica de baja frecuencia que tiene una amplitud ajustable desde una fuente eléctrica hasta un excitador para generar un movimiento armónico en una mesa asociada;
  - montar un SUT sobre dicha mesa de manera que una sensibilidad del eje de dicho SUT sea generalmente paralela a un eje del recorrido de dicha mesa;
  - proporcionar un sensor de posición óptica sin contacto que tiene una salida eléctrica representativa de la posición para alcanzar un grado de precisión posicional deseado;
  - leer dicha salida eléctrica como la referencia para la posición;
  - calcular la aceleración instantánea de dicha mesa como la segunda derivada en el tiempo de dicha salida eléctrica;
  - leer la salida eléctrica de dicho SUT;

comparar dicha salida eléctrica de dicho SUT con dicha aceleración instantánea a una pluralidad de frecuencias;

**caracterizado porque**

- 5 dicho sensor de desplazamiento óptico sin contacto comprende una rejilla, dicho sensor de desplazamiento óptico sin contacto está conectado a dicha mesa de manera que el movimiento de dicho sensor de desplazamiento óptico sin contacto más allá de la fuente de luz produce un patrón óptico representativo de la posición de dicha mesa agitadora suficiente para establecer una referencia posicional.
- 10 12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 en el que dicha salida eléctrica se lee como una función del tiempo;
- 15 el cálculo de la aceleración instantánea es un cálculo matemático mientras que dicha salida eléctrica es una función del tiempo, en el que la salida eléctrica de dicho SUT se lee como una función del tiempo; y en el que la comparación de dicha salida eléctrica de dicho SUT con dicha aceleración instantánea es suficiente para definir las características de rendimiento de dicho SUT dentro de un intervalo de frecuencia seleccionado.
13. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12 en el que dicha señal impulsora eléctrica es sinusoidal continua.
14. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12 en el que dicha señal impulsora eléctrica es digital.
15. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende adicionalmente:
- 20 proporcionar una pluralidad de atributos medidos que comprende un registro conductual de dicho SUT sobre sus intervalos de frecuencia y magnitud pretendidos cuando dicho excitador es accionado sobre una pluralidad de bajas frecuencias y longitudes de recorrido.
16. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende adicionalmente:
- 25 calcular la velocidad instantánea de dicha mesa como la primera derivada en el tiempo de dicha salida eléctrica.

Técnica Anterior

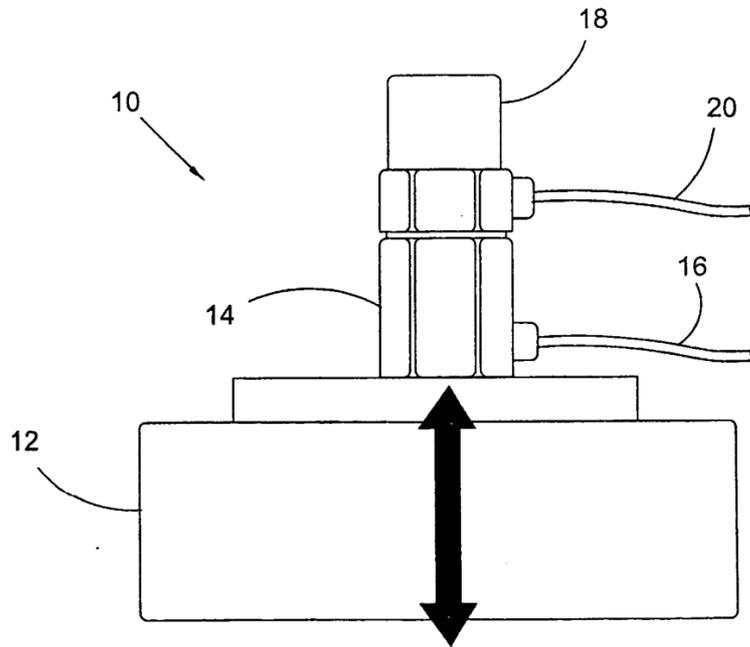
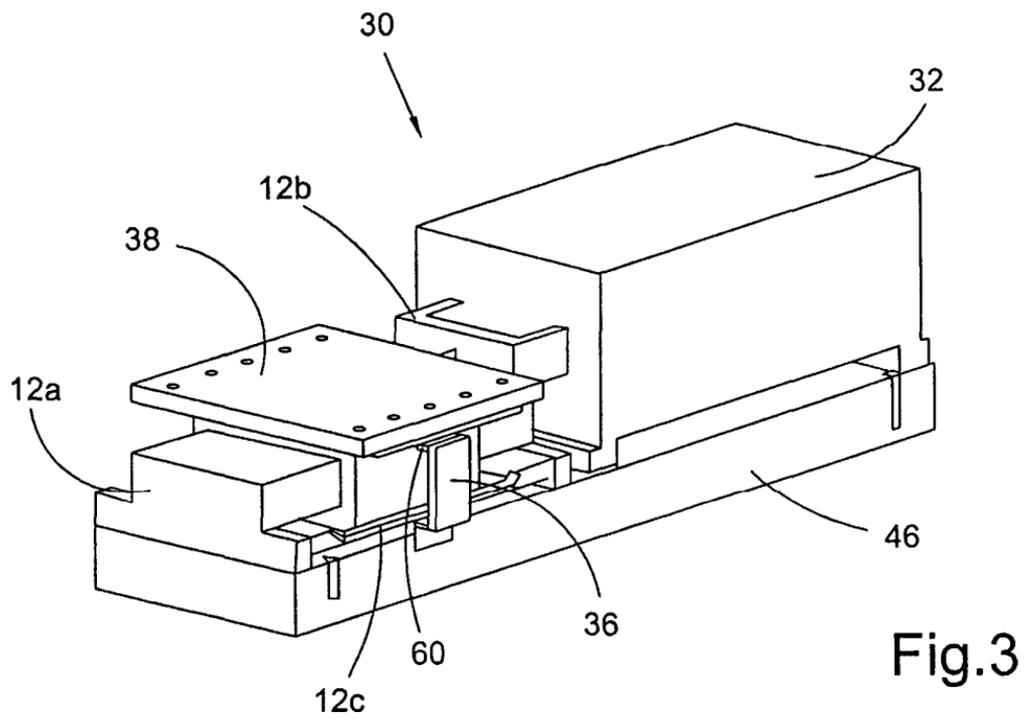
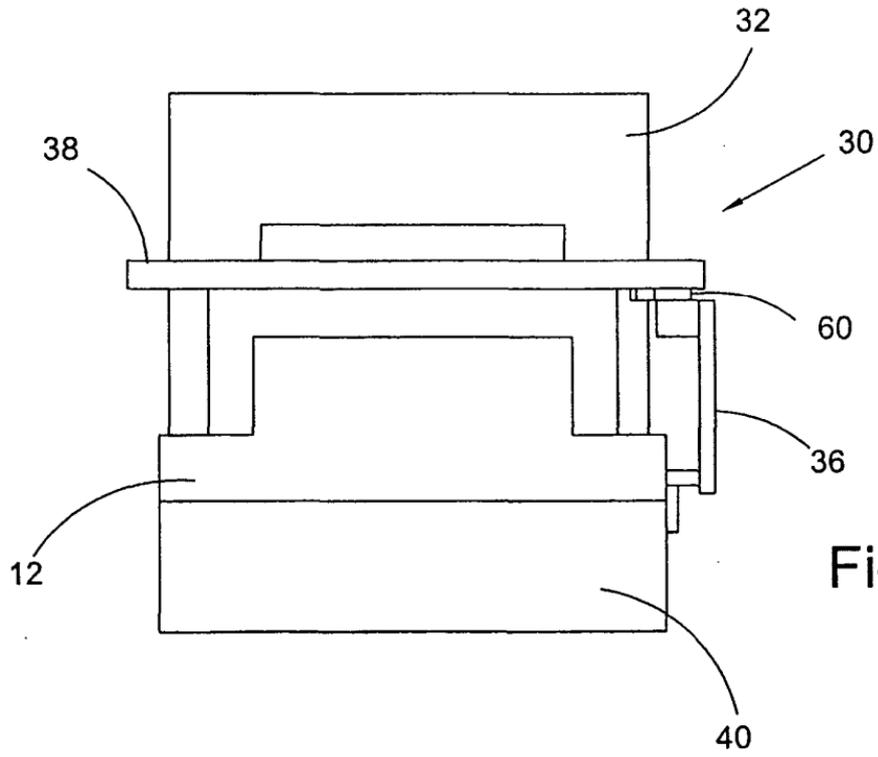


Fig.1



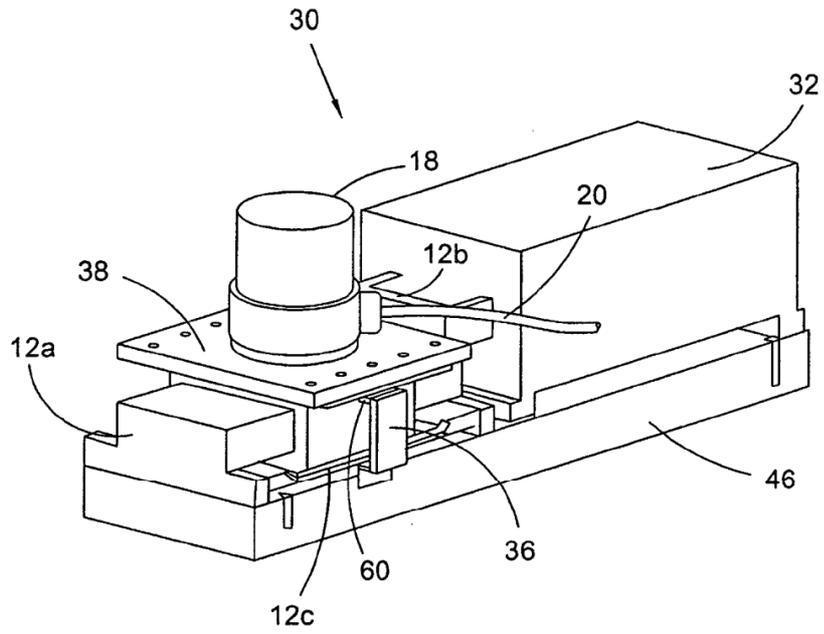
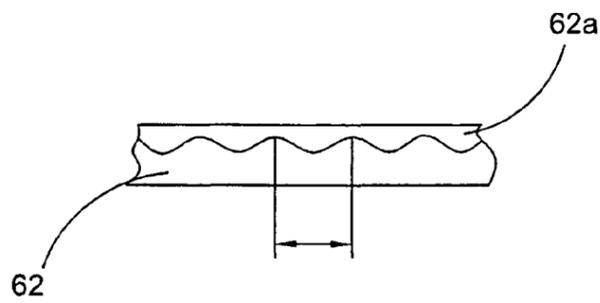
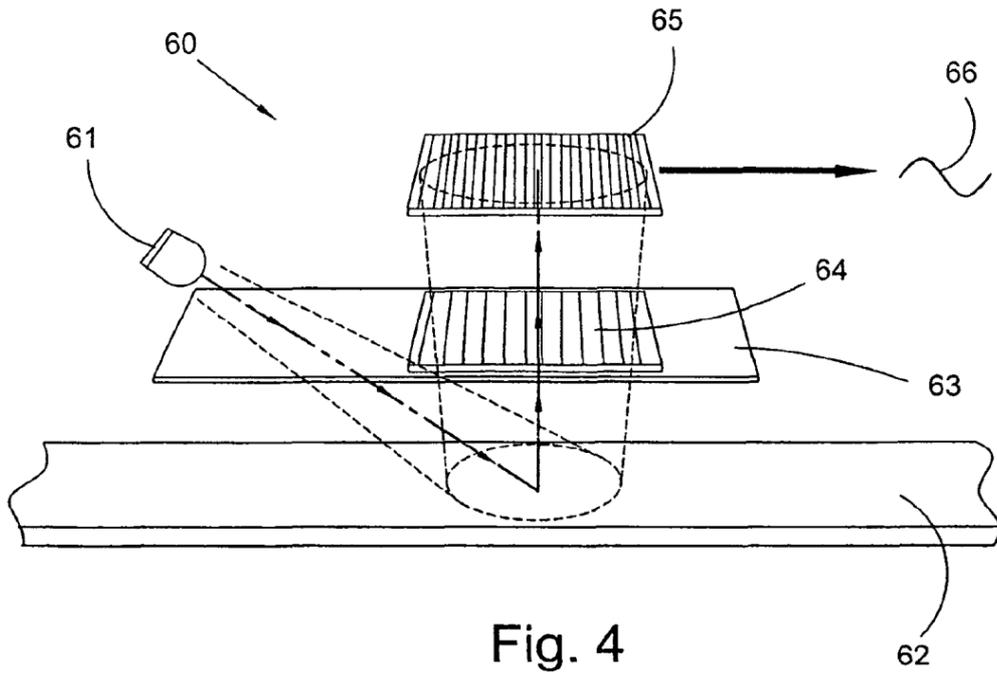


Fig.3A



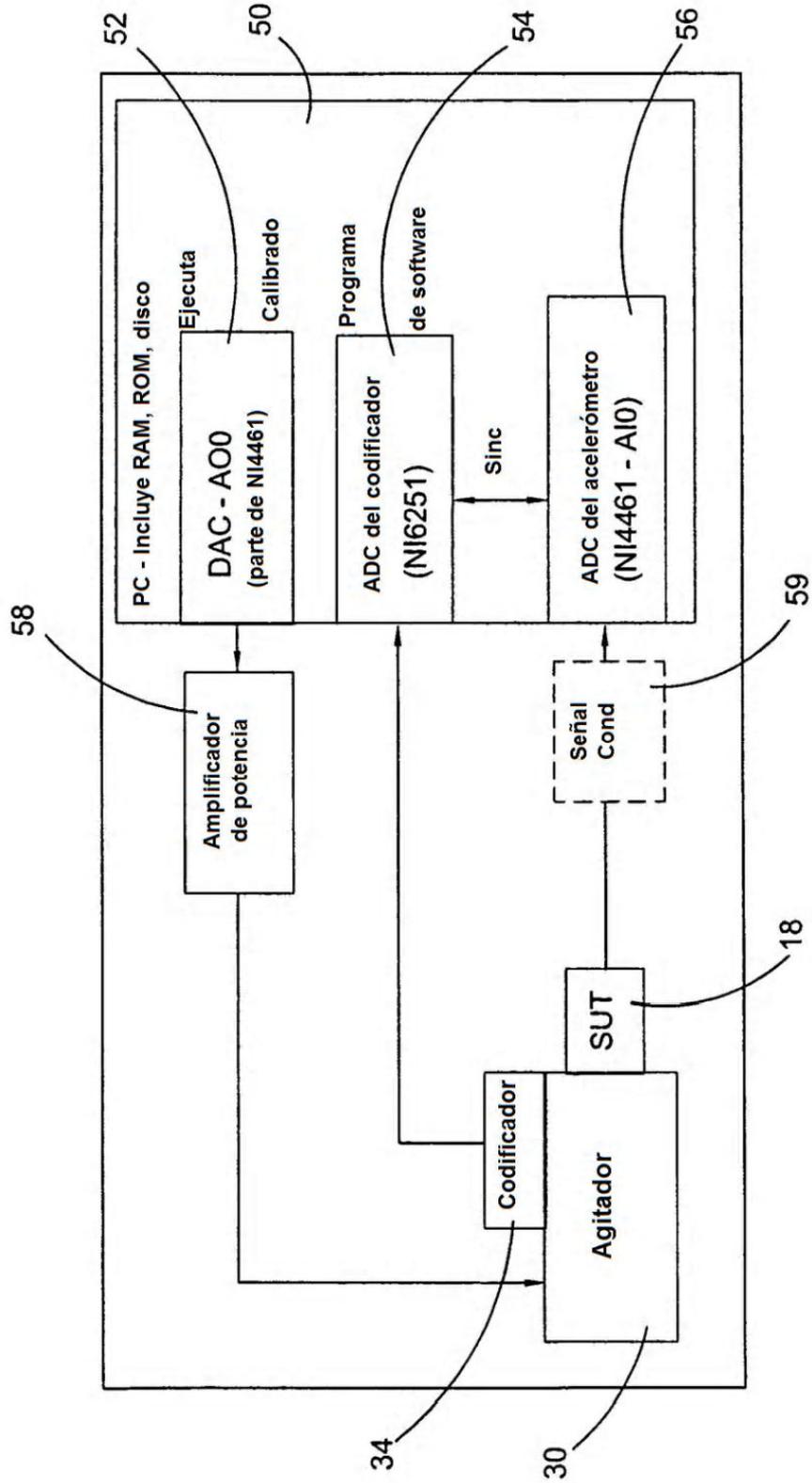


Fig. 6

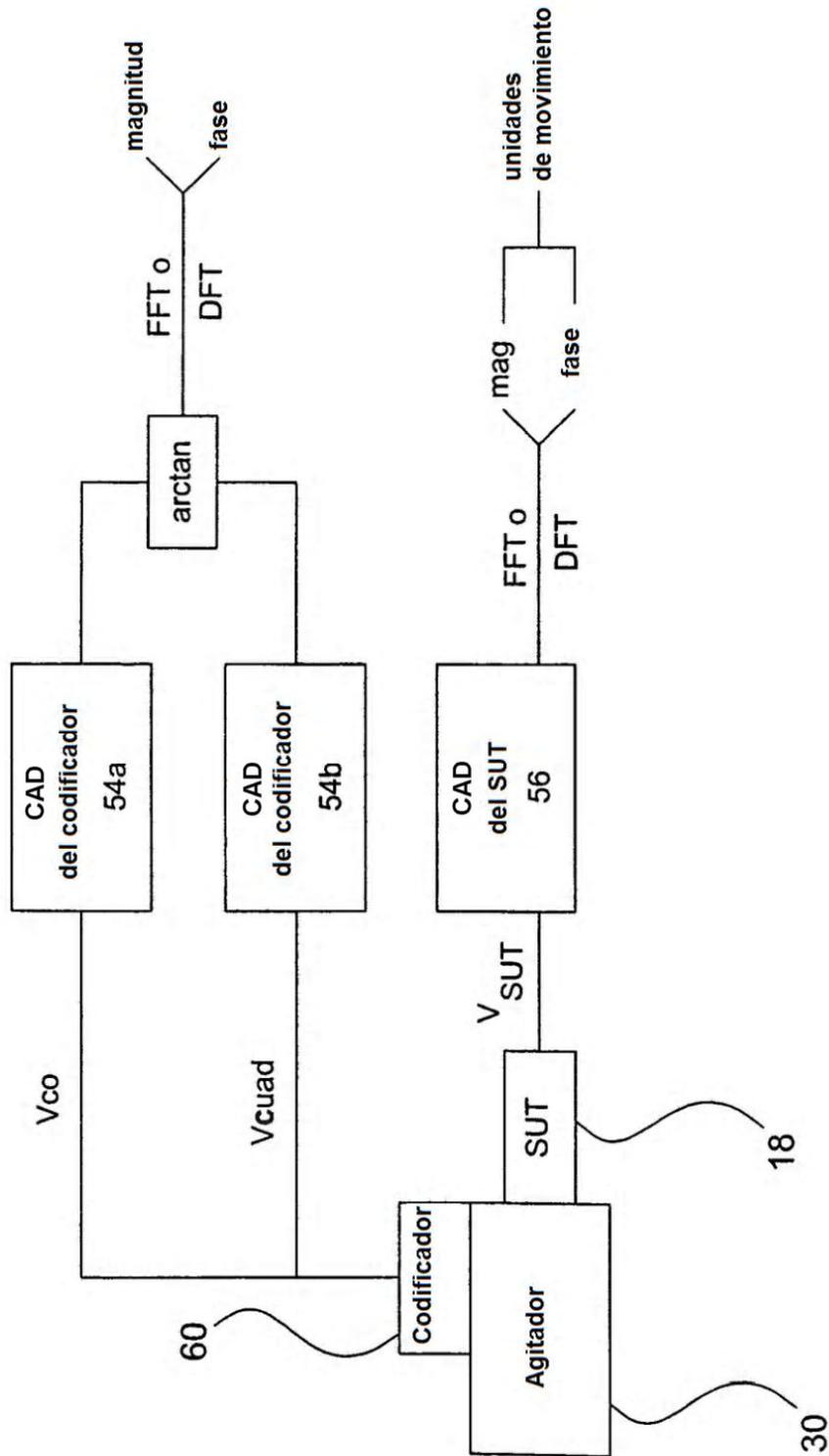


Fig. 6A

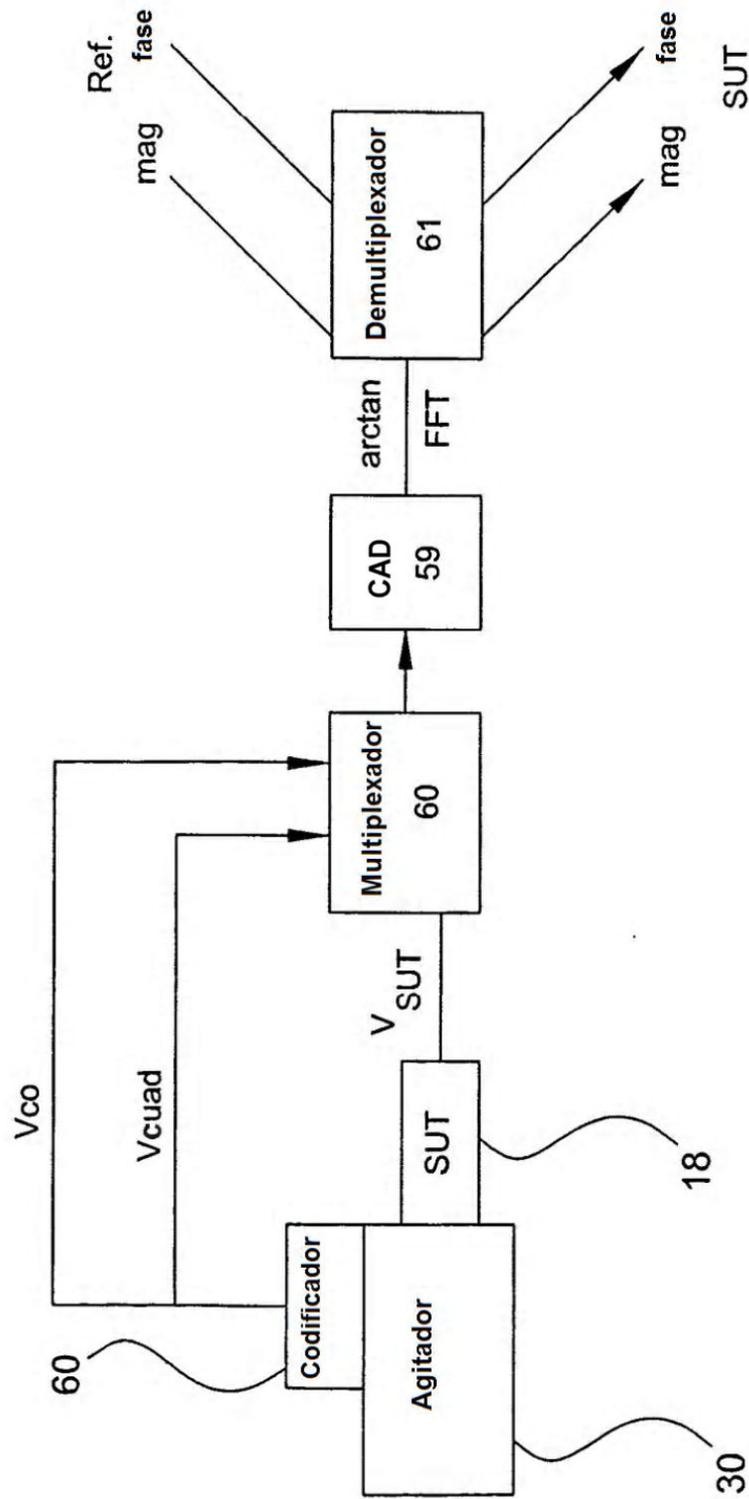


Fig. 6B

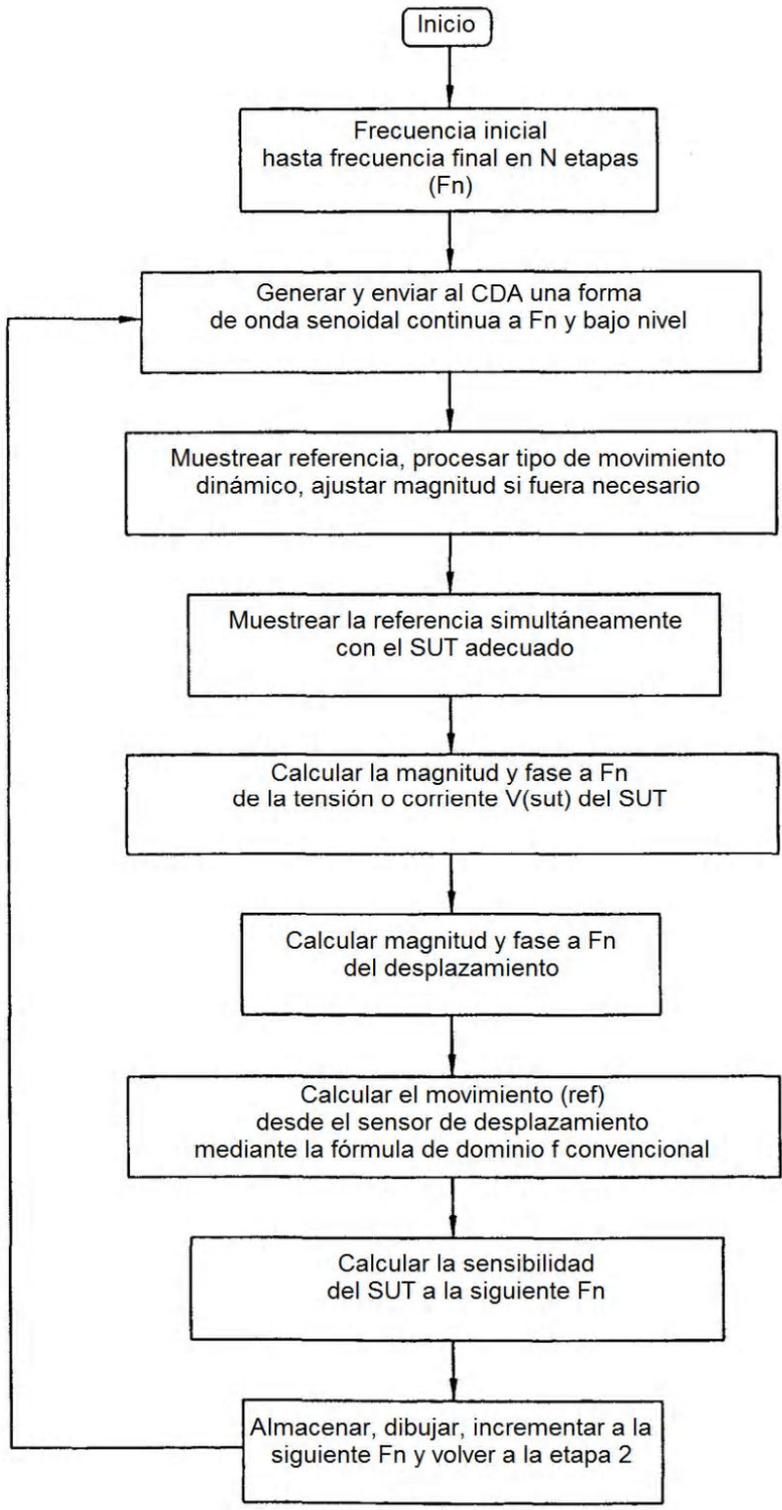


Fig.7