

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 748**

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 Número de solicitud europea: **08020211 .2**
96 Fecha de presentación: **20.11.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2063275**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.05.2009**

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

30 Prioridad:
20.11.2007 US 003839 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.03.2012

73 Titular/es:
THE MODAL SHOP, INC.
3149 E KEMPER ROAD
CINCINNATI OH 45241, US

72 Inventor/es:
Sill, Robert D.;
Schiefer, Mark I. y
Moses, Joshua B.

74 Agente/Representante:
Carpintero López, Mario

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).

ES 2 377 748 T3

DESCRIPCIÓN

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

Referencia cruzada con solicitudes relacionadas

- 5 La solicitud reivindica el beneficio a tenor de 35 U.S.C. §119(e) de la Solicitud Provisional U.S. núm. 61/1008.839 depositada el 20 de noviembre de 2007 y que se incorpora en la presente memoria por referencia.

Campo de la invención

- 10 La invención se refiere en general a procedimientos y sistemas para una calibración precisa de sensores de movimiento dinámicos. Específicamente, se refiere a la provisión de un sensor de posición de alta precisión, proporcionando con ello una referencia superior en cuanto a calibración de precisión de sensores de movimiento dinámicos a baja frecuencia. El Sensor de Movimiento Dinámico se define como un transductor que mide desplazamiento y/o aceleración variables en el tiempo, incluyendo aunque sin limitación los acelerómetros, velocímetros y sondas de desplazamiento.

Antecedentes de la invención

- 15 Los sensores de movimiento dinámicos ("sensores de movimiento" o "sensores") son transductores utilizados para medir aceleración. Los sensores de movimiento dinámicos son normalmente sensibles a lo largo de un único eje. Esto es lo que se conoce como sensor de movimiento dinámico uni-axial o de eje único. Por ejemplo, la magnitud de aceleración se mide por medio de un instrumento o sistema de medición externo que detecta la salida eléctrica de un acelerómetro. La salida del acelerómetro es normalmente una forma de onda de tensión proporcional a la magnitud de la aceleración aplicada. De manera similar, los dispositivos dinámicos de detección de movimiento, tales como los velocímetros y los transductores de desplazamiento que responden dinámicamente, presentan en su salida una forma de onda de tensión o generan corriente proporcional a la velocidad. Un instrumento de medición de sensibilidad de matriz dinámica para sensores de inercia y un procedimiento de medición para el mismo, son conocidos a partir del documento EP 1 630 562 A1.

- 20 El proceso de calibración de un acelerómetro o de otro sensor de movimiento comprende aplicar un movimiento medido o calculado conocido al sensor de movimiento dinámico que va a ser comprobado (el Sensor Bajo Prueba o el SUT), según se determina mediante un sensor de referencia de alta precisión (REF). Esto es lo que se conoce como procedimiento recíproco. El procedimiento de calibración recíproca de acelerómetro está cubierto por un estándar ISO (ISO16063-21: Calibración de Vibración por Comparación con un Transductor de Referencia) y solamente va a ser resumido en la presente memoria.

- 30 Los dispositivos SUT y REF están ambos fijados a un dispositivo capacitado para impartir movimiento armónico en desplazamiento significativo. Un dispositivo de ese tipo ha sido representado en la Figura 1 y se menciona como agitador de carrera larga o vibrador de carrera larga. Durante la calibración, el transductor de referencia, que ha sido previamente calibrado por otros medios tales como un interferómetro láser (según se describe en ISO16063-11), se utiliza para medir la aceleración aplicada. Ambos acelerómetros presentan a la salida una señal eléctrica variable en el tiempo, proporcional a la magnitud de la aceleración a la que se somete el dispositivo. Esta señal eléctrica variable en el tiempo puede adoptar forma de tensión proporcional a la magnitud, pero también puede tener forma de corriente, o de carga proporcional a la magnitud de la aceleración. En el caso de un sensor con salida de corriente o de carga, se utiliza una unidad de acondicionamiento de señal con el fin de convertir la corriente o carga en la señal de tensión apropiada para el convertidor analógico-digital utilizado para digitalizar y registrar la señal de magnitud de aceleración. El software de calibración que se ejecuta en el microprocesador o en el ordenador conectado al REF o al SUT, es entonces el responsable de calcular la sensibilidad del acelerómetro que va a ser calibrado multiplicando la sensibilidad del sensor de referencia por la relación de las magnitudes de las señales eléctricas de los dos dispositivos. Se calcula la relación de aceleración SUT respecto a aceleración REF y esta relación se utiliza para calcular la sensibilidad de tensión del acelerómetro SUT.

- 45 La precisión y resolución de REF es el factor limitativo de la precisión de la operación de calibración. A frecuencias más bajas, típicamente de 10 Hz o inferiores, la utilización de un acelerómetro u otro tipo de sensor de movimiento como sensor de referencia limita la precisión de calibración del sistema debido al hecho de que la aceleración disminuye como el cuadrado de la frecuencia para un desplazamiento dado. Esto es lo que se conoce normalmente como limitación de carrera, y por esa razón la industria utiliza típicamente agitadores capaces de generar desplazamientos de al menos 0,15 m (= 6 pulgadas) de pico a pico (pk-pk) para su uso en calibraciones a baja frecuencia.

- 55 Se debe apreciar que el estándar ISO16063 sugiere la utilización ya sea de un procedimiento de cálculo de valor cuadrático medio ("RMS") o ya sea un procedimiento espectral de cálculo de la magnitud de aceleración a la frecuencia de interés. El procedimiento típico utilizado en la técnica anterior ha sido el de utilizar un procedimiento RMS, pero esto se está cambiando rápidamente al procedimiento espectral dado que éste está capacitado para

proporcionar un resultado superior en términos de rechazo de ruido, mejorando de ese modo la precisión global de la calibración.

Así, existe en este campo un problema asociado al procedimiento conocido de calibración de sensores de movimiento dinámicos a bajas frecuencias utilizando un sensor de movimiento como referencia o estándar básico.

5 Breve resumen de la invención

La presente invención comprende un sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico que incluye una mesa agitadora de carrera larga u otro excitador ("excitador") mecánico o electromecánico de baja frecuencia, un sensor de desplazamiento óptico o codificador, en el que el sensor de desplazamiento óptico es un sensor de referencia, una unidad de microprocesador, y al menos un convertidor analógico-digital (ADC) incluido en el microprocesador, y en el que la unidad de microprocesador genera una señal sinusoidal para el excitador, para generar el movimiento armónico del excitador y en el que adicionalmente el sensor de desplazamiento óptico presenta a su salida una primera señal de desplazamiento analógica para el al menos un ADC para su conversión en una primera señal digital. En realizaciones alternativas, el sistema de calibración puede disponer de dos, tres o más ADCs.

La presente invención comprende también un procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico que comprende:

- a – enviar una onda sinusoidal continua que tiene una frecuencia de bajo nivel predeterminado desde un microprocesador hasta una mesa agitadora de carrera larga u otro excitador mecánico o electromecánico de baja frecuencia, para generar un movimiento armónico en la mesa;
- b – transmitir las señales de salida de corriente fotoeléctrica sinusoidal desde un codificador de desplazamiento óptico posicionado en la mesa agitadora hasta una primera placa de convertidor analógico-digital (ADC) del microprocesador;
- c – dirigir una señal de salida desde un sensor de movimiento dinámico de prueba hasta una segunda placa de ADC, en la que el segundo ADC esta vinculado funcionalmente al primer ADC;
- d – convertir las señales de salida de corriente fotoeléctrica en una señal de desplazamiento;
- e – transformar la señal de desplazamiento en una medición de magnitud y de fase a la frecuencia predeterminada utilizando métodos de transformada de Fourier;
- f – medir la magnitud y la fase de la señal de salida del sensor de prueba a la frecuencia predeterminada utilizando métodos de transformada de Fourier;
- g – almacenar las mediciones de magnitud y de fase del codificador y del sensor de desplazamiento óptico;
- h – calcular la sensibilidad del sensor de movimiento dinámico de prueba;
- i – repetir las etapas a- a h- a una frecuencia de bajo nivel determinada diferente.

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

Un objeto de la invención consiste en proporcionar un procedimiento de calibración precisa de un sensor de movimiento dinámico que vibra o se mueve a frecuencias bajas.

Un segundo objeto de la invención consiste en proporcionar un nuevo sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico que calibra de manera precisa un sensor de movimiento dinámico de prueba a bajas frecuencias.

Un tercer objeto de la invención consiste en divulgar un procedimiento y un sistema de calibración de un sensor de movimiento dinámico que no requiera un sensor de referencia (calibrado con anterioridad).

Un objeto adicional de la invención consiste en proporcionar un sistema y un procedimiento de calibración de sensor de movimiento dinámico que tenga niveles reducidos de ruido a bajas frecuencias.

Estos y otros objetos y ventajas de la presente invención resultarán fácilmente apreciables a partir de la descripción que sigue de realizaciones preferidas de la invención y a partir de las reivindicaciones y dibujos que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

La naturaleza y el modo de operación de la presente invención van a ser descritos ahora de manera más completa en la descripción detallada que sigue de la invención tomada junto con las figuras de los dibujos que se acompañan, en los que:

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

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

10 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 calibración de sensor de movimiento dinámico de la presente invención con un sensor de movimiento dinámico de prueba sobre la mesa del excitador;

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

15 la Figura 5 es una vista en sección transversal de la escala del subsistema de codificación de posición de la Figura 4, que muestra el recubrimiento superior de barniz de la escala y una faceta de paso de 20 µm sobre la superficie superior de la escala;

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

20 la Figura 6A es un diagrama esquemático de una realización alternativa del circuito que genera las mediciones de calibración 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 calibración de un sensor de movimiento dinámico, y

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

25 Descripción detallada de las realizaciones preferidas de la invención

En principio, se apreciará que los mismos números de referencia sobre las diferentes vistas de los dibujos identifican elementos estructurales idénticos de la invención. También se apreciará que las proporciones y los ángulos de las Figuras no están siempre a escala con el fin de representar claramente los atributos de la presente invención.

30 Aunque la presente invención se describe con respecto a lo que se considera actualmente que son las realizaciones preferidas, se comprenderá que la invención no se limita a las realizaciones divulgadas. La presente invención está prevista para cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones anexas.

35 La invención proporciona una solución que puede calibrar de manera muy precisa un sensor de movimiento dinámico a bajas frecuencias. Las bajas frecuencias se definen como 10 Hz e inferiores. El sensor de movimiento dinámico bajo prueba se coloca sobre un excitador eléctrico o electromecánico con el eje de sensibilidad orientado en paralelo con el eje de carrera del agitador. Una forma de excitador de ese tipo consiste en un excitador de carrera larga. La señal de salida está conectada a un sistema de ordenador a través de un acondicionador de señal apropiado y es digitalizada por medio de un convertidor analógico-digital para análisis de señal digital.

40 Atendiendo a los dibujos, la Figura 1 es una vista frontal esquemática de un sistema **10** de calibración de sensor de movimiento dinámico "recíproco" ("sistema **10**"). El agitador **12** se observa soportando un sensor **14** de referencia desde el que se extiende un cable **16** hasta la unidad **50** (no visible en la Figura 1) de ordenador o de microprocesador. En la realización mostrada, el sensor **18** de movimiento dinámico de prueba está apilado sobre la parte superior del sensor **14** (recíproco) de movimiento dinámico de referencia. El cable **20** se extiende desde el sensor **18** de movimiento dinámico de prueba hasta el ordenador **50**. Señales de tensión, señales de corriente y otras señales apropiadas generadas en los sensores **14** y **18** de movimiento dinámico, son transmitidas al ordenador **50** durante el proceso de calibración. La flecha de la Figura 1 indica la dirección del movimiento armónico de los sensores de movimiento apilados según es accionado el agitador **12**. La configuración apilada permite que ambos sensor **18** de movimiento dinámico de prueba y sensor **14** de movimiento dinámico de referencia se muevan la misma distancia a lo largo del mismo eje de sensibilidad durante el procedimiento de calibración.

50 La Figura 2 es una vista frontal del sistema de calibración **30**. El agitador **12** está soportado por una base **40** que a su vez soporta la mesa **38**. El agitador **12** es un tipo de excitador eléctrico o electromecánico utilizado para generar un movimiento sinusoidal durante la calibración de un sensor de prueba. También se aprecia el alojamiento **32** de

motor que cubre el motor que mueve el agitador **12**. El agitador **12** en sí mismo está construido como dispositivo del tipo de bobina de audio con la armadura y la mesa **38** de soporte de sensor de movimiento dinámico montados sobre cojinetes neumáticos para un movimiento suave con mínimo movimiento transversal. La construcción particular del agitador, la mesa y el sistema de cojinetes, no es particularmente crítica en cuanto a la naturaleza de la descripción de la presente invención. Un agitador de carrera larga adecuado puede ser un dispositivo comercialmente disponible tal como el APS serie ELECTRD SEIS, o puede ser un dispositivo diseñado de la manera habitual. La Figura 2 representa específicamente el APS ELECTRO-SEIS Modelo 129 de APS Dynamics, Inc., Carlsbad, CA, con unidad detectora **60** de codificador óptico (“codificador **60**”), que se describe en lo que sigue, sujeto a la mesa **38**. Una escala de cinta **62** (no representada) utilizada con la unidad detectora **60** de codificador óptico, está sujeta al lado inferior de la mesa **38** agitadora móvil. De ese modo, la escala de cinta **62** está sometida al mismo movimiento que el sensor **18** de movimiento dinámico de prueba, el cual está sujeto al lado superior de la mesa **38** agitadora móvil.

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 permitir que la mesa **38** se mueva verticalmente en un movimiento armónico. La Figura 3A es una vista en perspectiva superior del sistema de calibración **30** de la presente invención. Se aprecia el sensor **18** de movimiento dinámico de prueba (“Sensor Bajo Prueba **18**” o SUT **18**”) soportado por la mesa **38**. De manera similar al sistema **10** de la técnica anterior, se observa el cable **20** que se extiende hasta el microprocesador **50** no mostrado en la Figura 3A. En lugar del sensor **14** de movimiento dinámico de referencia, se utiliza el codificador **60** como estándar de referencia para calibrar el sensor **18** de movimiento dinámico de prueba. El soporte **36** mantiene el codificador **60** en su lugar bajo la mesa **38**.

Utilizando un sistema **60** de codificador lineal óptico abierto sin contacto con el agitador **12**, se elimina la fricción y el desgaste y permite una medición de desplazamiento de alta resolución, a alta velocidad, durante la operación de calibración. El codificador **60** utiliza óptica de 20µm de paso o incluso mejor, sobre la escala **62**, que permite una resolución lineal de 10 nm o incluso mejor con un procesamiento de señal apropiado. Según se aprecia en la Figura 6, la salida del codificador **60** está conectada a una placa **54** de convertidor analógico-digital de resolución media (“ADC **54**”), para digitalizar y descodificar a continuación la información de posición que está codificada en forma de señal sinusoidal analógica. Según se explica en lo que sigue, la señal de salida analógica codificada del codificador óptico **60** tiene un período de 20 µm que es independiente de la frecuencia y la amplitud de vibración del agitador **12**.

La Figura 4 es un diagrama idealizado de codificador **60**. El sistema **60** codificador incluye una escala **62** que consiste esencialmente en un plano de metal reflectante con facetas de 20 µm de período. La escala **62** puede ser una escala de cinta grabada en la mesa **38** en una posición tal que la rejilla **64** reciba la luz reflejada desde la escala **62**. Según se mueve la mesa **38**, se observa el desplazamiento de la escala **62** sujeta a la misma. La luz procedente de una fuente luminosa **61**, con preferencia un LED, es dirigida a la escala **62**. La luz se refleja desde la escala **62** a través de una rejilla **64** graduada de la ventana **63** de cabeza de lectura. El foto-detector **65** detecta la luz y presenta a su salida corrientes fotoeléctricas **66** sinusoidales que están en cuadratura (cada una de ellas con una variación de fase de 90 grados respecto a la otra). La rejilla **64** de fase transmisora produce una imagen o vista de la escala **62** en movimiento, que incluye una escala de 20 µm de paso, con las características no periódicas eliminadas por filtrado. El patrón de escala de onda nominalmente cuadrada, se filtra también para dejar un campo de franja sinusoidal pura en el detector. Con preferencia, esto permite la medición del desplazamiento con un error de menos de ±0,15 µm. En una realización preferida, la escala **62** está chapeada en oro. Más preferentemente, la escala **62** incluye un recubrimiento de barniz **62a** para permitir su conservación y protección durante la manipulación de la escala **62**. La Figura 5 es una vista en sección transversal de la escala **62** que muestra el recubrimiento de escala **62a** de barniz que recibe la luz procedente de la fuente luminosa **61**. Con preferencia, la distancia entre los picos de la escala **62** es de 20 µm como se ha indicado mediante la flecha con doble punta. Tal codificador óptico de desplazamiento proporciona la ventaja inesperada de permitir una medición más segura del desplazamiento del estándar de referencia a frecuencias bajas que la que sería obtenible a partir de un segundo acelerómetro precalibrado que actúe como referencia para el acelerómetro **18** de prueba. Un codificador **60** adecuado es el sistema codificador sin contacto RGH24 de Renishaw, Hoffman Estates, Illinois **60192**.

La salida de cuadratura sinusoidal del codificador posicional **60** es muestreada sincrónicamente por el ADC **54** de resolución media con la placa **56** de ADC de sensor de movimiento dinámico de alta resolución (“ADC **56**”). Las muestras son almacenadas en memoria intermedia, en la memoria del microprocesador **50**, para su posterior procesamiento en desplazamiento y movimiento relevante equivalente, tal como información de velocidad o aceleración, utilizando unidades de memoria de almacenamiento intermedio bien conocidas por los expertos en la materia. Puesto que las salidas **66** sinusoidales están en cuadratura, la dirección de movimiento puede ser determinada mediante la fase de las salidas según son detectadas, y la distancia está determinada por el desplazamiento registrado a lo largo del período espacial, la separación de línea de la rejilla **64** en el codificador **60**.

La digitalización de la salida del sensor **18** de movimiento dinámico de prueba y de la salida del codificador **60** es activada y sincronizada utilizando el ADC **54** del codificador (NI 6251) y una placa de ADC detector de movimiento dinámico, por ejemplo un acelerómetro, el ADC **56** (NI 4461) – dos placas convertidoras analógicas-digitales- que están instaladas y conectadas funcionalmente entre sí en el interior del ordenador **50**. Mediante “conectadas funcionalmente” se indica que el enlace entre los ADCs **54** y **56** permite el intercambio de información, incluyendo datos de desplazamiento digitalizados entre las dos placas. El enlace puede ser directamente entre las dos placas,

puede incluir uno o más componentes intervinientes, o puede ser un enlace inalámbrico que permita el intercambio de datos. Esta sincronización es crítica para la correcta operación del sistema de calibración **30** y se lleva a cabo utilizando la conexión funcional **58** entre el ADC **54** y el ADC **56** actúan como dos placas de adquisición de datos.

5 La Figura **6** es un diagrama esquemático de los enlaces entre el microprocesador u ordenador **50** y el sistema **30** de calibración. Una señal activadora sinusoidal que tiene una frecuencia predeterminada es proporcionada por el ordenador o microprocesador **50** desde la placa **52** de convertidor digital-analógico ("DAC **52**") a través del amplificador **58** para activar el agitador **12** y el sensor **18** de movimiento anexo al mismo, en movimiento armónico simple a cada frecuencia de calibración. A veces es necesario que el amplificador **58** proporcione potencia suficiente para accionar el agitador **12** electrodinámico basado en la bobina de audio lineal. La amplitud de la señal activadora se ajusta a diferentes frecuencias, ajustando con ello la magnitud del movimiento impartido al sensor **18** de movimiento dinámico (SUT **18**) que va a ser calibrado. La retroalimentación desde el sistema **60** de codificador óptico se utiliza a efectos de controlar el ajuste de amplitud de la señal activadora. Incluidos en el microprocesador **50** se encuentran la RAM, ROM, disco, visualizador, teclado, ratón necesarios, y otras entradas necesarias con el fin de facilitar la ejecución del programa de calibración y la interacción humana con el proceso de calibración que conocen los expertos en la materia.

La Figura **7** es un diagrama de flujo del procedimiento de calibración de SUT **18** materializado en el software de procesamiento que está contenido en el interior del ordenador **50**. La Figura **7** representa el procedimiento que es responsable de la medición de la magnitud y la fase de la señal de tensión de salida de sensor de movimiento procedente del SUT **18** por medio de los procedimientos de Transformada Discreta de Fourier (DFT) o de Transformada Rápida de Fourier (FTT) que son bien conocidos por los expertos en la materia. El software de procesamiento es además responsable de la conversión de la señal del codificador óptico en una señal de desplazamiento. La señal de desplazamiento es transformada a continuación en un cálculo de magnitud y fase por medio de un procedimiento de DFT también. Esta señal de desplazamiento es convertida en una magnitud y una fase de aceleración equivalente por medio de la relación física bien conocida de ($g = 0,511 \times f^{**2} \times D$) (Inglés).

25 El SUT **18** está sometido a movimiento armónico simple (sinusoidal) de amplitud y frecuencia constantes durante el tiempo de medición de cada frecuencia en el intervalo de calibración. Este movimiento armónico se genera en el excitador **12** eléctrico o electromecánico por medio de un generador de señal de software que es responsable de la generación de una forma de onda sinusoidal continua de amplitud y frecuencia apropiadas para el punto de calibración objetivo. Esta forma de onda sinusoidal es generada por el programa de calibración del microprocesador **50** desde el DAC **52** y aplicada a la conexión de entrada del amplificador de potencia **58**. El amplificador de potencia **58** es un amplificador de potencia común, capacitado para accionar el agitador **12** basado en bobina de audio, en respuesta a una señal de entrada presentada en los terminales de entrada del amplificador **58**. El proceso de accionar un agitador de este tipo en movimiento armónico simple es bien conocido en la industria, y por lo tanto no va a ser aludido ya más.

35 El SUT **18** que va a ser calibrado está montado firmemente en el excitador **30** de modo que el eje de sensibilidad del SUT **18** es paralelo con el eje de movimiento del excitador **30**. El SUT **18** está conectado al ADC **56** del microprocesador **50** ya sea directamente o ya sea a través del módulo **59** de acondicionamiento de señal, 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 **59** de acondicionamiento de señal mostrado es opcional y puede ser necesario si la salida del sensor de movimiento **18** bajo prueba no es una tensión que sea proporcional al movimiento dinámico apropiado, por ejemplo aceleración o velocidad, sino que por el contrario es una corriente o una carga proporcional. En este caso, el módulo **59** de acondicionamiento de señal puede ser un amplificador diferencial o un amplificador de carga que funcione como dispositivo de almacenamiento intermedio para la señal de movimiento dinámico en el ADC **56**. Tales acondicionadores de señal son bien conocidos por los expertos en la materia. El acondicionamiento particular de señal que se está realizando no es el objeto de esta patente, es bien conocido en el estado de la técnica, y por lo tanto no se hará más alusión al mismo.

50 El SUT **18** presenta a la salida una señal de desplazamiento analógica para un ADC **56** de alta resolución (NI4461) que contiene filtros anti-alias pasa-bajo integrales, ganancia, reloj interno, y capacidad de activación. Esta placa está también capacitada para la sincronización de ambos adquisición de bloques de datos y simulaciones de muestreo del ADC **54** (NI6251). Este muestreo sincronizado es una parte importante e integral del proceso de calibración, con lo que las muestras de salida del SUT **18** y la información posicional del codificador **60** deben ser obtenidas y procesadas simultáneamente o casi simultáneamente en el tiempo con el fin de que sean comparadas.

55 Las muestras almacenadas en memoria intermedia de información de posición de cuadratura generadas a partir del codificador óptico **60** son procesadas en primer lugar a partir de la información de cuadratura codificada en información posicional absoluta mediante la fórmula simple de X (posición) = $\text{actang2}(\cos/\text{sen})$ ("arctan"). De ese modo, tras el procesamiento, el resultado es un almacenamiento en memoria intermedia de la información de posición que fue muestreada al mismo tiempo que fue muestreada la forma de onda de salida del sensor de movimiento dinámico.

60 La forma de onda de información de posición almacenada en memoria intermedia es transformada a continuación en el dominio de la frecuencia por medio de una transformada de Fourier. Las componentes de magnitud y fase

resultantes son convertidas en unidades medidas de movimiento por medio de fórmulas simples. Por ejemplo, la aceleración se convierte utilizando las fórmulas de aceleración en pulgadas/segundos al cuadrado = $0,0511Df^2$, Inglés, donde D = pulgadas pk-pk, o aceleración en metros/segundo al cuadrado = $2,013Df^2$, Métrico, donde D = metros pk-pk. La sensibilidad del sensor de movimiento que se está calibrando se calcula a continuación en unidades de salida por unidad de movimiento, tal como, por ejemplo, aceleración o velocidad, a cada frecuencia de calibración, tomando la simple relación de Salida de Acelerómetro/Aceleración ($S_{sut} = S_{ref}/V_{sut}$). El proceso de muestreo y la componente espectral específica de la transformada de Fourier utilizada, se seleccionan de modo que sean iguales que las generadas por el subsistema de generación de señal del subsistema de calibración de sensor de movimiento. De forma similar, la señal de salida del sensor **18** de movimiento dinámico es transformada en la componente de magnitud y fase de una señal de desplazamiento y convertida en unidades de movimiento, tal como velocidad o aceleración. Las mediciones de magnitud y fase del codificador **60** de desplazamiento óptico y el SUT **18** para una frecuencia particular son almacenados, y se repite el proceso para una frecuencia predeterminada diferente.

El dispositivo óptico **60** codificador de posición está conectado al ADC **54** (NI6251) de resolución media, el cual contiene ganancia, reloj interno y capacidad de activación, y está capacitado para ser sincronizado con otros subsistemas de ADC tal como el ADC**56** (NI4461) de acelerómetro. La frecuencia de muestreo del ADC **54** codificador de posición se elige de modo que sea una relación múltiple más alta fija de la frecuencia de muestreo del ADC **56** de acelerómetro. La frecuencia de muestreo de la placa de codificador de posición debe ser elegida suficientemente alta como para digitalizar la información posicional codificada que está siendo emitida desde el codificador óptico **60** de posición.

Las Figuras 6A y 6B representan dos realizaciones alternativas de sistema **10** en las que se utilizan números diferentes de ADCs para calibrar un SUT. Puesto que el movimiento sinusoidal en el excitador **12** se genera según se ha descrito en lo que antecede, se ha omitido esa porción del circuito de calibración. En la Figura 6A, la señal de cuadratura produce señales V_{co} y V_{quad} de tensión proporcional que son recibidas por el ADC **54a** y el **54b**, respectivamente. Conjuntamente, los ADCs **54a** y **54b** realizan el cálculo para obtener la información posicional almacenada en memoria intermedia a partir de la cual determinan las unidades de movimiento adecuadas utilizando DFT o FFT. La señal V_{SUT} del SUT **18** es transmitida al ADC **56** y procesada según se ha expuesto en lo que antecede.

La Figura 6B representa una realización en la que se utiliza un ADC **59** para procesar las señales V_{co} y V_{quad} a partir del codificador **60** y V_{SUT} a partir del SUT **18**. El multiplexor **60** combina las señales separadas en una sola señal y la transmite al ADC **59** donde se realizan los cálculos descritos en lo que antecede. El desmultiplexor **61** separa las señales del codificador **60** y del SUT **18** para almacenar las mediciones de magnitud y fase del codificador **60** y del SUT **18** y se repite el proceso para una frecuencia diferente. Se debe reconocer que estas funciones de procesamiento y almacenamiento pueden ser combinadas en dos tipos diferentes de ADCs para obtener las mismas mediciones.

Las salidas de cuadratura son típicamente niveles de señal de 1 voltio pico a pico, de naturaleza diferencial. El software de calibración examina la amplitud de estas señales de cuadratura sin depurar y realiza una determinación respecto al estado del subsistema óptico, la superficie de escala de cinta óptica, y las condiciones de alineamiento general del subsistema mediante examen de la amplitud y pureza de la señal de cuadratura codificada. La determinación del estado de la propia referencia no es algo nuevo ni único para la industria de medición de posición, o la tecnología en sí misma. La determinación del estado del propio sensor de referencia es sin embargo algo nuevo y único para la industria de calibración de sensores de movimiento dinámicos y por tanto constituye el objeto de una de las reivindicaciones de la invención.

Así, se observa que los objetos de la invención han sido alcanzados eficazmente, aunque los cambios y modificaciones de la invención podrán ser fácilmente evidentes para los expertos en la materia, cuyos cambios no deberán apartarse del alcance de la invención reivindicada.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un sistema (30) de calibración de sensor de movimiento dinámico, que comprende:
- un excitador (12) eléctrico o electromecánico;
 - 5 un sensor (60) de desplazamiento óptico, en el que dicho sensor de desplazamiento óptico es un sensor de referencia;
 - una unidad de microprocesador (50);
- en el que dicha unidad de microprocesador genera una señal sinusoidal para que dicho excitador eléctrico o electromecánico genere el movimiento armónico de dicho excitador, en el que,
- 10 el sensor de desplazamiento óptico comprende una escala (62), una rejilla graduada (64) y un foto-detector (65),
- el sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico comprende además al menos un convertidor analógico-digital (ADC) (54, 56) incluido en dicha unidad de microprocesador,
- 15 en el que dicho sensor de desplazamiento óptico presenta a su salida una primera señal de desplazamiento analógica para dicho ADC, para su conversión en una primera señal digital.
- 2.- El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en la reivindicación 1, que comprende además un sensor de movimiento dinámico de prueba (SUT) (18), en el que dicho SUT presenta a su salida una segunda señal de desplazamiento analógica para dicho al menos un ADC, para su conversión en una segunda señal digital.
- 20 3.- El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en la reivindicación 1 ó 2, en el que dicho al menos un ADC consiste en dos ADCs funcionalmente unidos entre sí, y dicho sistema comprende un sensor de movimiento dinámico de prueba (SUT) en el que dicho SUT presenta a su salida una segunda señal de desplazamiento analógica para el segundo de dichos dos ADCs, para su conversión en una segunda señal digital.
- 25 4.- El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en la reivindicación 2 ó 3, en el que dicha primera señal analógica y dicha segunda señal analógica son convertidas en señales digitales simultáneamente o casi simultáneamente.
- 5.- El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en la reivindicación 3 ó 4, en el que dicho primer ADC es una placa de resolución media y dicho segundo ADC es un ADC de alta resolución.
- 30 6.- El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en las reivindicaciones 3 a 5, en el que dicha unión funcional permite que se transfiera información y datos entre dicho primer ADC y dicho segundo ADC.
- 7.- El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además un convertidor digital-analógico (DAC), generando dicho DAC (52) la citada señal sinusoidal para controlar el movimiento de dicho excitador.
- 35 8.- El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además un amplificador de potencia (58), en el que dicha señal sinusoidal es transmitida a dicho excitador a través del citado amplificador de potencia.
- 9.-El sistema de calibración de sensor de movimiento dinámico según se expone en las reivindicaciones 3 a 8, que comprende además un módulo (59) de acondicionamiento de señal que conecta el citado SUT y el citado segundo ADC.
- 40 10.- Un procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico (SUT) que comprende:
- a – enviar una onda sinusoidal continua que tiene una frecuencia de bajo nivel predeterminado desde una unidad de microprocesador hasta una mesa agitadora de carrera larga para generar un movimiento armónico en dicha mesa;
 - 45 b – transmitir las señales de salida en cuadratura de corriente fotoeléctrica sinusoidal desde un codificador de desplazamiento óptico posicionado en la citada mesa agitadora hasta una primera placa de convertidor analógico-digital (ADC) (54) de dicha unidad de microprocesador;
 - c – dirigir una señal de salida desde un SUT hasta una segunda placa de ADC (56), en la que dicha segunda placa de ADC (56) esta vinculada funcionalmente a dicha primera placa de ADC;

- d – convertir dichas señales de salida de corriente fotoeléctrica en una señal de desplazamiento;
- e – transformar la citada señal de desplazamiento en una medición de magnitud y fase a dicha frecuencia predeterminada utilizando métodos de transformada de Fourier;
- 5 f – medir la magnitud y la fase de dicha señal de salida de SUT a la citada frecuencia predeterminada utilizando métodos de transformada de Fourier;
- g – almacenar dichas mediciones de magnitud y de fase de dicho codificador de desplazamiento óptico y del citado SUT;
- h – calcular la sensibilidad de dicho SUT; y
- i – repetir las etapas a- a h- a una frecuencia predeterminada diferente de bajo nivel.
- 10 11.- El procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico según se expone en la reivindicación 10, en el que dicha onda sinusoidal es enviada desde un convertidor digital-analógico (DAC) (52).
- 12.- El procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico según se expone en la reivindicación 10 u 11, en el que dicha señal de salida del citado sensor de movimiento dinámico de prueba es una señal de magnitud y fase de tensión.
- 15 13.- El procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico según se expone en la reivindicación 10 u 11, en el que dicha señal de salida procedente de dicho sensor de movimiento dinámico de prueba es una señal de magnitud y fase de corriente, en el que dicha señal de salida de corriente es dirigida a dicha segunda placa de ADC a través de un módulo (59) de acondicionamiento de señal.
- 20 14.- El procedimiento para calibrar un sensor de movimiento dinámico según se expone en las reivindicaciones 10 a 13, en el que dicho primer ADC consiste en una pluralidad de primeros ADCs, estando cada uno de dicha pluralidad de primeros ADCs unido funcionalmente con cada uno de los otros para obtener las citadas mediciones de magnitud y fase a partir de las citadas salidas de corriente fotoeléctrica.
- 25 15.- El procedimiento de calibración de un sensor de movimiento dinámico según se expone en las reivindicaciones 10 a 14, en el que un ADC obtiene las mediciones de magnitud y fase de ambas salidas de corriente fotoeléctrica citadas y de dicha señal de salida de sensor de movimiento dinámico.

Técnica Anterior

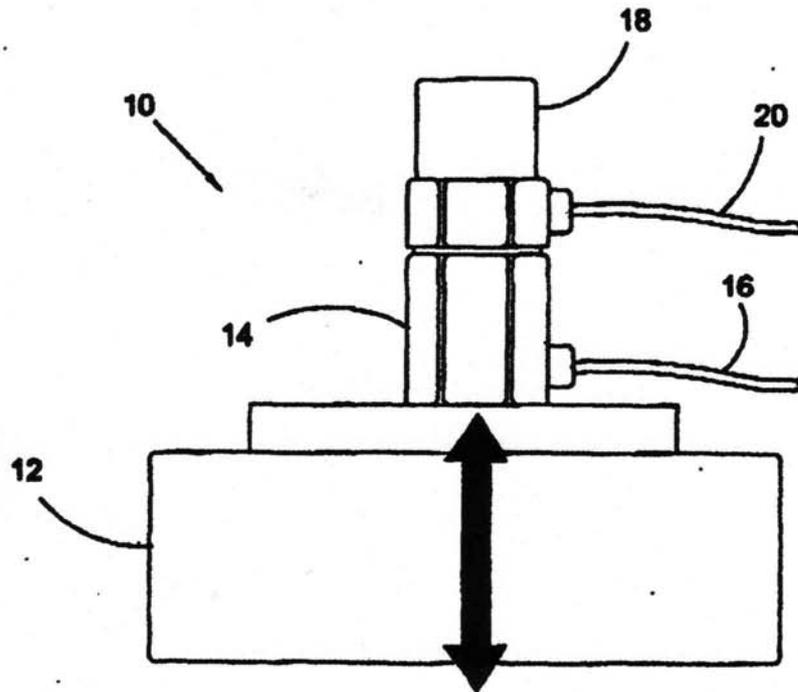
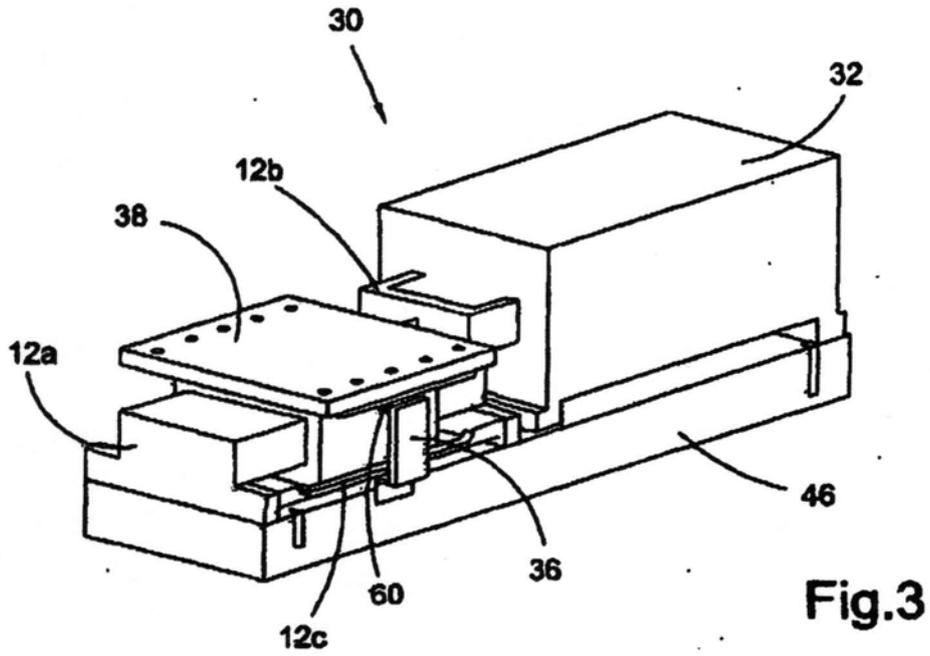
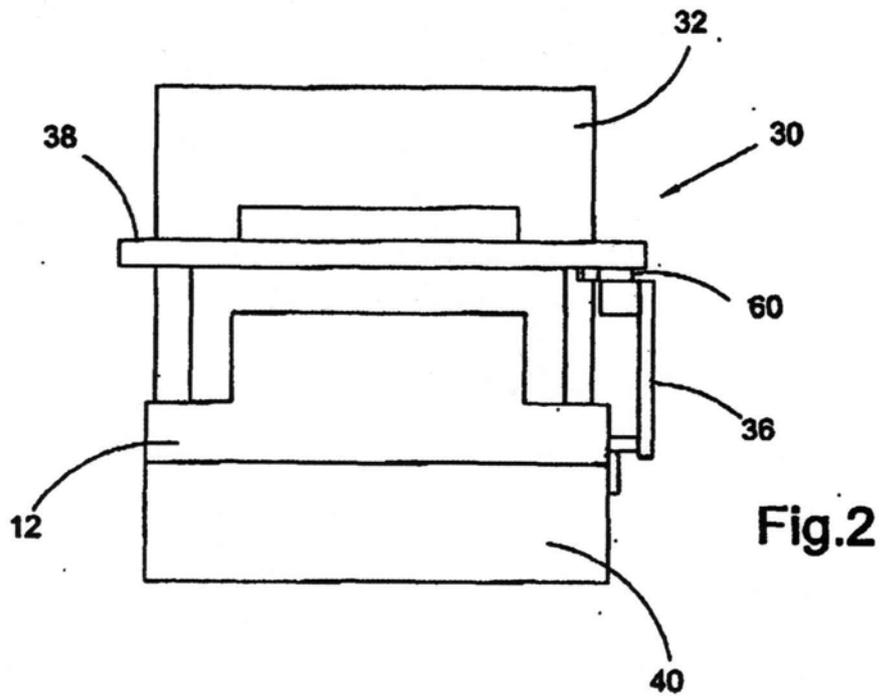


Fig.1



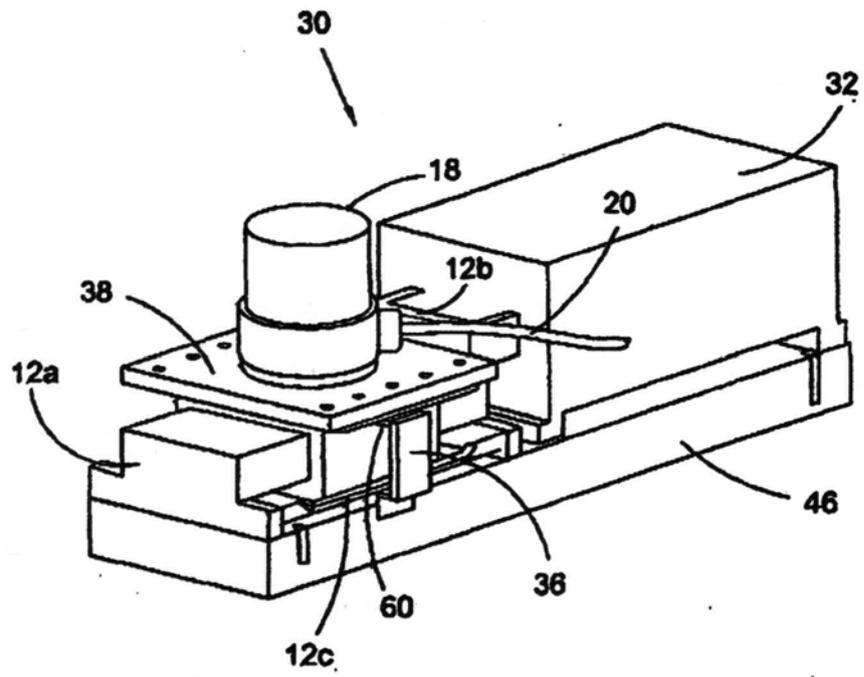
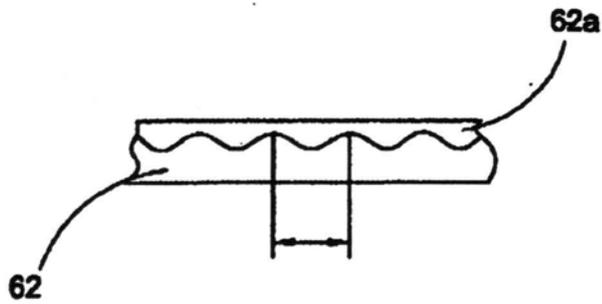
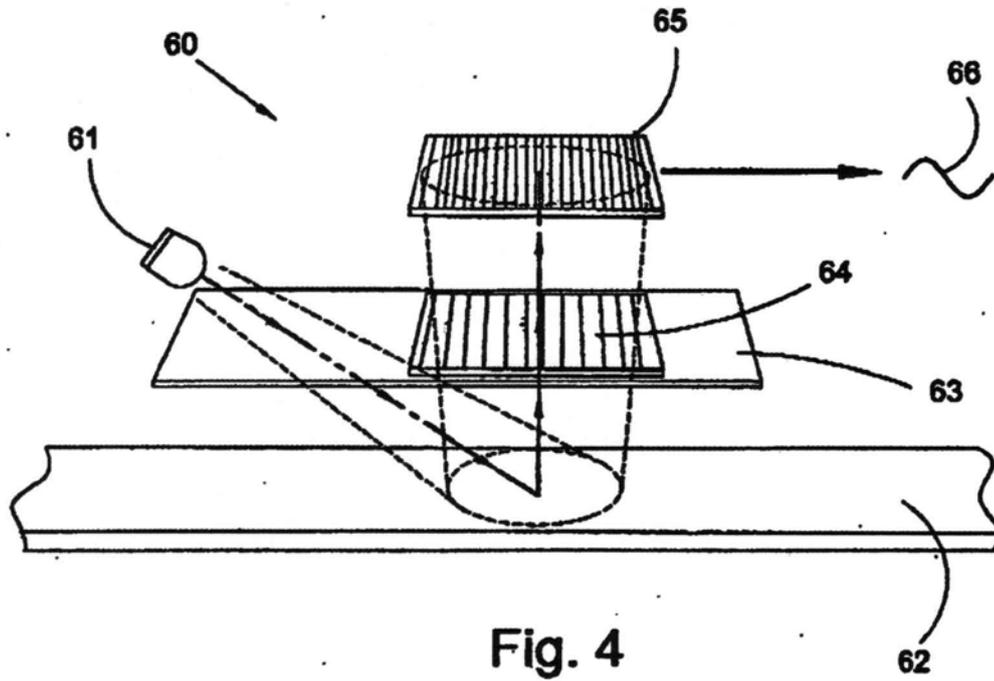


Fig.3A



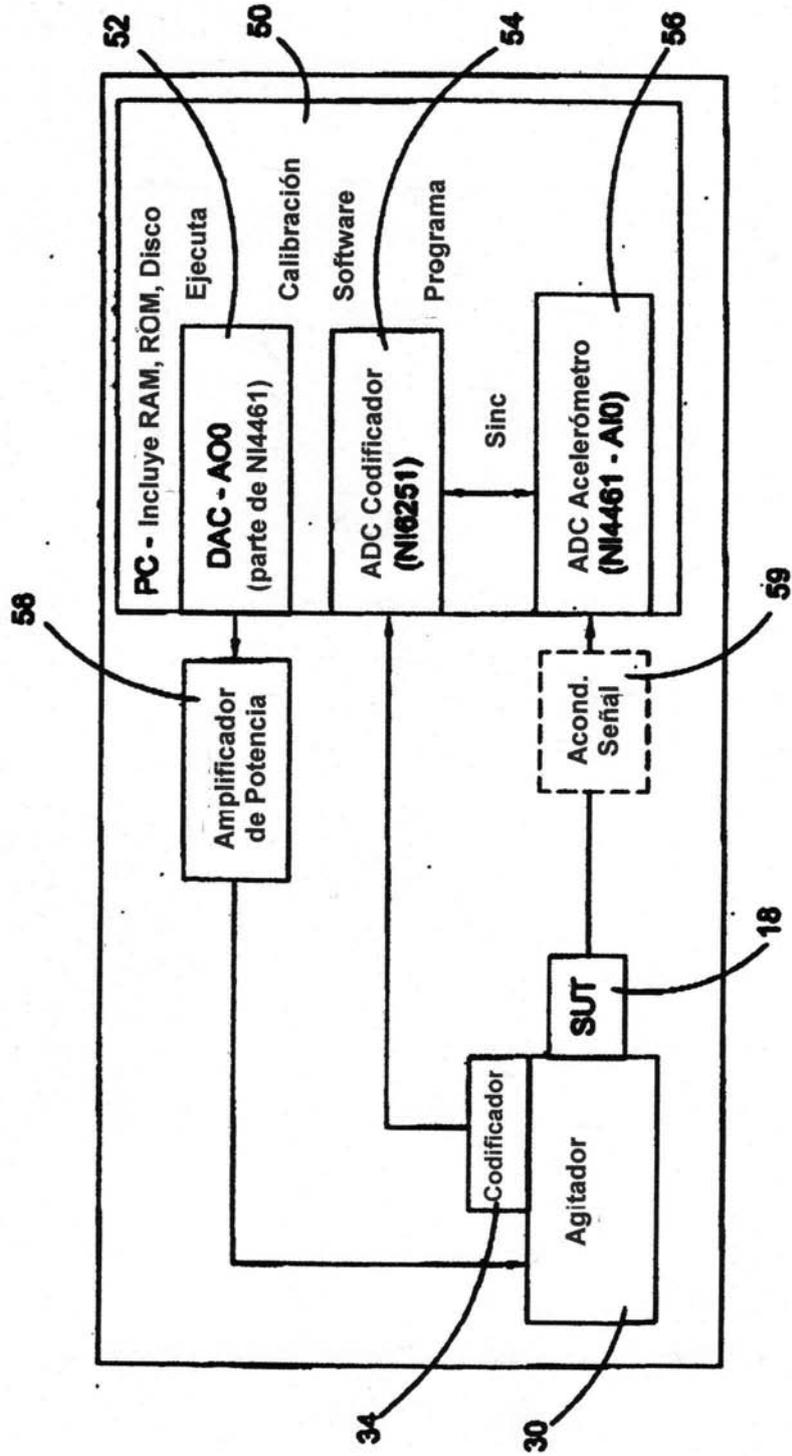


Fig. 6

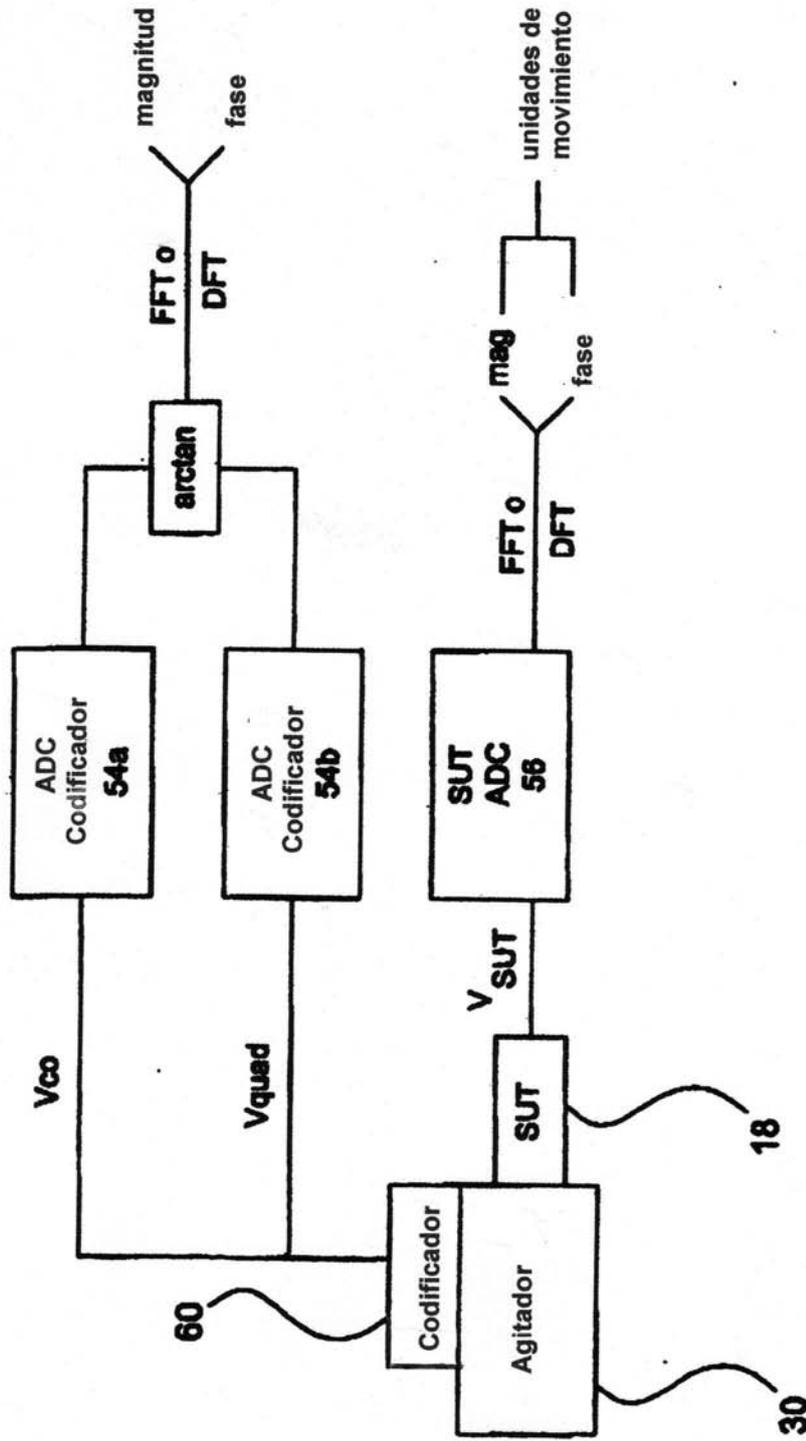


Fig. 6A

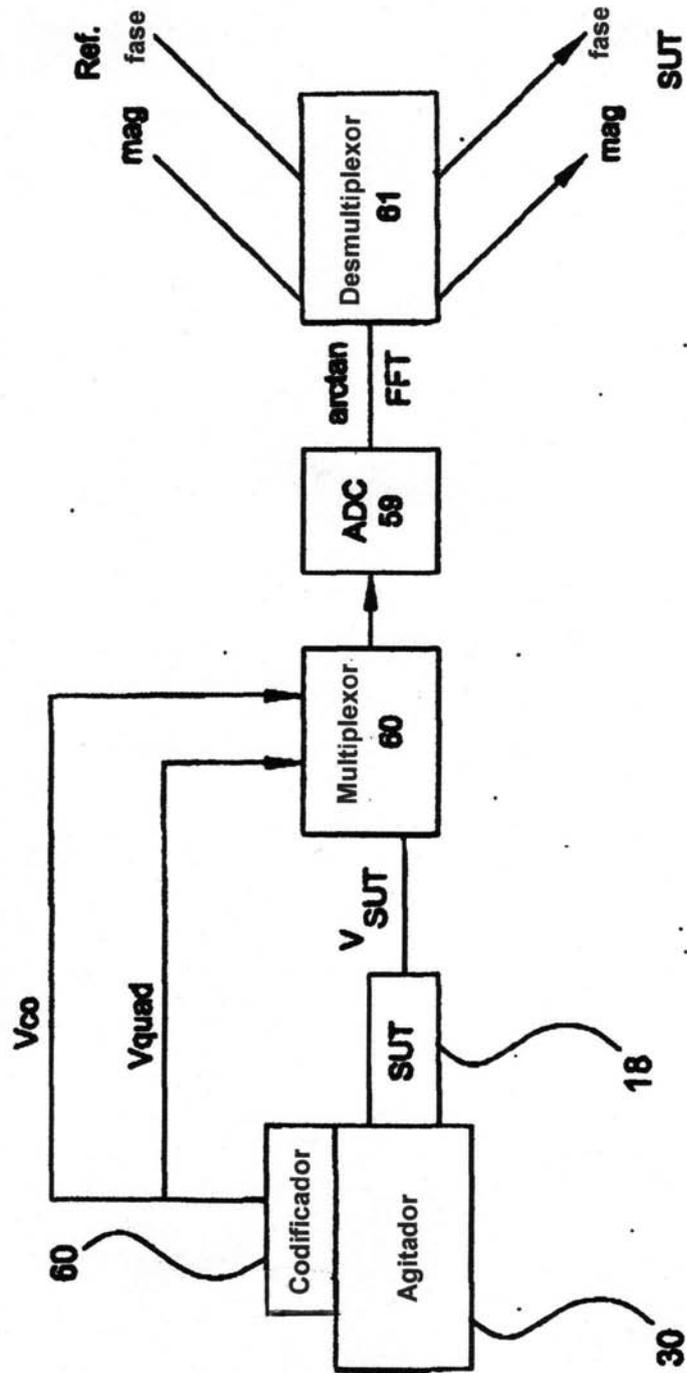


Fig. 6B

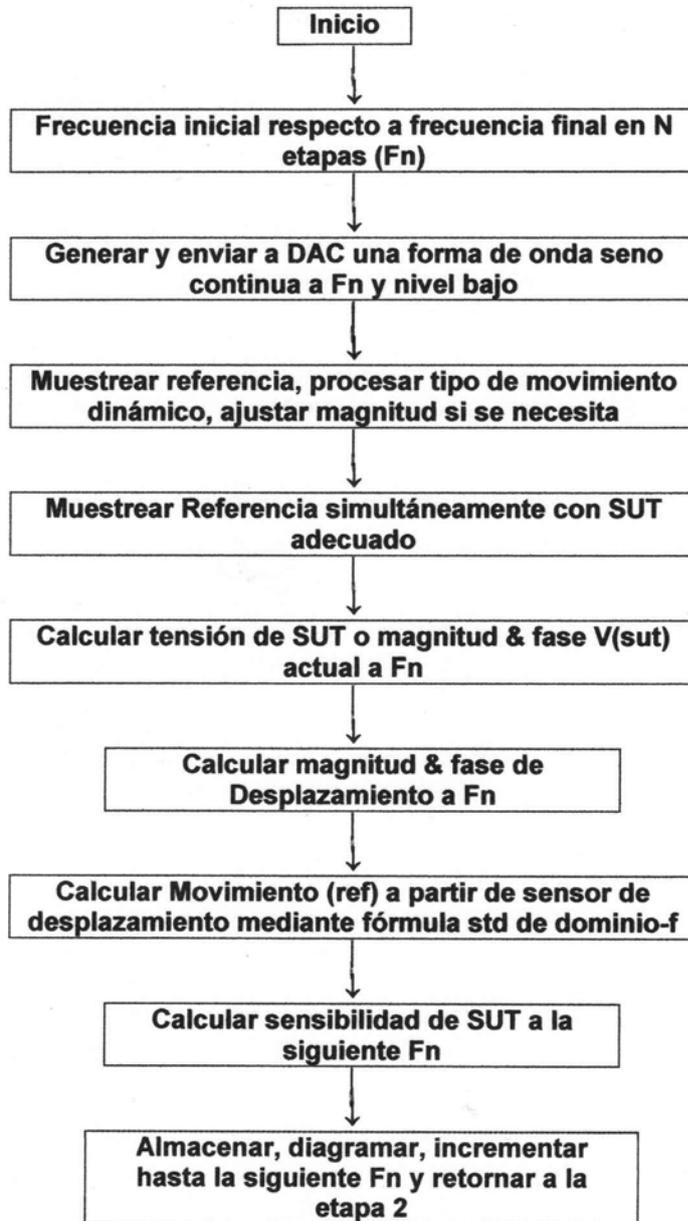


Fig. 7