



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 337 432**

② Número de solicitud: 200802614

⑤ Int. Cl.:
G01H 1/00 (2006.01)
G01M 1/16 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

② Fecha de presentación: **15.09.2008**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **23.04.2010**

④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud: **23.04.2010**

⑦ Solicitante/s: **Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)**
c/ Serrano, nº 117
28006 Madrid, ES

⑦ Inventor/es: **Toro Matamoros, Raúl Mario del;**
Schmittziel, Michael Charles y
Haber Guerra, Rodolfo Elías

⑦ Agente: **Pons Ariño, Ángel**

⑤ Título: **Procedimiento y sistema para la detección en tiempo real del desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión.**

⑤ Resumen:

Procedimiento y sistema para la detección en tiempo real del desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión.

El objeto principal de la invención es un procedimiento para detectar en tiempo real un desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión, así como el sistema para llevar a cabo el procedimiento. El procedimiento comprende las siguientes operaciones:

- a) Adquirir, mediante un medio de adquisición a una frecuencia de muestreo FS, la señal correspondiente a la aceleración de las vibraciones del cabezal;
- b) Determinar, a partir de la señal obtenida, si el cabezal está desbalanceado.

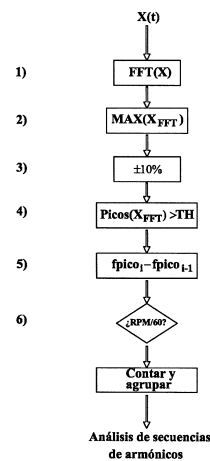


FIG. 1

ES 2 337 432 A1

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema para la detección en tiempo real del desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión.

5

Objeto de la invención

El objeto principal de la presente invención es un procedimiento para detectar en tiempo real un desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión, así como el sistema para llevar a cabo dicho procedimiento.

10

Antecedentes de la invención

Es conocido que pequeños desbalanceos del cabezal de un mecanismo rotatorio de alta precisión puede dar lugar a graves pérdidas de calidad en el resultado del proceso en cuestión.

15

Por ejemplo, en el campo del mecanizado de ultra-precisión, en ocasiones el objetivo es conseguir superficies con una baja rugosidad, adecuadas para aplicaciones en que la calidad superficial es un factor clave. Un cabezal desbalanceado produce vibraciones que tienen una influencia directa en la precisión del corte, y por lo tanto en la calidad del acabado superficial. Por tanto, el estudio de las vibraciones en los procesos de mecanizado tiene una gran importancia para la detección de anomalías.

20

La monitorización del mecanizado en tiempo real es conocida en la técnica. En particular, los documentos US 4131837, US 5917726, US 6161055, US 6549869 y US 6947800 reivindican dispositivos o métodos para la monitorización en tiempo real de diferentes variables o eventos en el mecanizado convencional empleando diferentes tipos de sensores, ya sean piezoeléctricos u opto-electrónicos. La patente US 7024063 también describe un método y aparato para la monitorización en tiempo real de la operación de pulido de capas de obleas semiconductoras.

25

Las vibraciones en elementos rotatorios de rodamientos mecánicos, bien en máquinas centrífugas o en máquinas herramientas convencionales, también se han estudiado a fondo, desarrollándose diferentes métodos y dispositivos para su detección y posterior análisis. En particular, las patentes US 3908444, EP 0011101, US 5537182, EP 1140405, US 6323943, US 6694213, US 7043376, US 7073384 y US 7386401 describen diferentes métodos para la medición o detección de vibraciones en los ejes de máquinas rotativas empleando indistintamente sensores opto-electrónicos o piezoeléctricos.

30

La patente US 4432253 describe el diseño de un sistema de auto-compensación del desbalanceo de masas para cabezales de centrífugas y tornos de alta velocidad, entre otros, mediante la inyección automática de fluidos en el sistema de rodamiento del eje.

35

También relacionada con el desbalanceo de cabezales de motores, la solicitud US 2007/0263321 describe un sistema de control del desbalanceo de masas en el cabezal del motor de discos duros.

40

La patente US 5356225 presenta un sistema para controlar el flujo de aire en rodamientos hidrostáticos de mecanismos con un alto nivel de rigidez, manteniendo un bajo nivel de presencia de vibraciones.

45

Finalmente, para tareas de acabado superficial de lentes ópticas mediante mecanizado de ultra-precisión se ha desarrollado en la patente US 5861114 un método para la supresión automática de las vibraciones que se producen en la herramienta de corte. Las patentes US 7036408 y US 7178433 describen dispositivos para fresado o torneado que utilizan herramientas con punta de diamante para la fabricación de lentes ópticas.

50

Descripción de la invención

En el presente documento, el término "mecanismo rotatorio de alta precisión" pretende hacer referencia a todo tipo de procesos donde existe un cabezal que rota a alta velocidad, incluyendo por ejemplo mecanismos rotatorios con rodamientos hidrostáticos. En particular, se hace especial referencia a los procesos de mecanizado de ultra precisión dirigidos a obtener rugosidades superficiales en la nano-escala, y más particularmente al torneado con punta de diamante y otros procesos similares.

55

Así, a través de una monitorización inteligente del balanceo del cabezal de un mecanismo rotatorio de alta precisión, se puede garantizar que el giro del cabezal se lleve a cabo en las condiciones idóneas y no se produzcan balanceos que afecten a la calidad del proceso en cuestión.

60

Un primer aspecto de la invención está dirigido a un procedimiento para la detección en tiempo real del desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión, donde el cabezal gira a una velocidad RPM, que comprende las siguientes operaciones:

65

a) Adquirir, mediante un medio de adquisición a una frecuencia de muestreo FS, la señal $X(t)$ correspondiente a la aceleración de las vibraciones del cabezal.

ES 2 337 432 A1

La señal $X(t)$ se adquiere utilizando un medio de adquisición adecuado, en particular un acelerómetro conectado a una tarjeta de adquisición. El acelerómetro se sitúa en cualquier línea radial al eje de giro, preferentemente sobre el eje X del cabezal, ya que cuanto más cerca esté del cabezal mayor será la potencia de la señal obtenida, aunque siempre sin interferir en el proceso en cuestión.

5

b) Determinar, a partir de la señal $X(t)$ obtenida, si el cabezal está desbalanceado.

En esta segunda operación, se emplean los datos obtenidos en la operación anterior para determinar si las vibraciones obtenidas se deben a un desbalanceo de dicho cabezal. Para ello, se realizan las siguientes operaciones:

10

b1) Eliminar la componente de DC de la señal $X(t)$ y aplicar a $X(t)$ una transformación para pasar al dominio de la frecuencia, obteniendo la transformada $T[X(t)]$.

15

La transformada puede ser cualquiera que sirva para pasar los datos de $X(t)$ al dominio de la frecuencia. En realizaciones particulares de la invención se emplea el algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).

20

Además, para calcular la transformada que se aplica a $X(t)$ se utiliza un número de puntos proporcional a la relación entre la frecuencia de muestreo FS y la frecuencia de giro del cabezal RPM.

25

b2) Buscar el máximo de la transformada $T[X(t)]$ y su frecuencia correspondiente, obteniendo $MAX(T[X(t)])$ y $f_{MAX(T[X(t)])}$.

Una vez se ha pasado la señal de aceleración al dominio de la frecuencia, se busca el pico o armónico de valor máximo del espectro y su frecuencia correspondiente.

30

b3) Buscar, dentro del rango de análisis $(1 \pm p) \cdot f_{MAX(T[X(t)])}$, aquellos armónicos cuyo valor supera un valor umbral TH.

35

A partir del armónico de valor máximo localizado en la operación anterior, se buscan en sus alrededores los armónicos cuyo valor supere un valor umbral TH. En una realización preferida de la invención, p toma valores entre 0,05 y 0,20, y en una realización aún más preferida de la invención, p toma valores entre 0,08 y 0,12.

40

El valor umbral TH se puede determinar como un porcentaje del valor de ruido en todo el espectro, como un valor porcentual del armónico principal del espectro, como una media geométrica de ambos valores, o como la media aritmética del espectro en todo el rango de frecuencias en análisis. Seleccionando un valor adecuado de este umbral se puede mejorar en gran medida la eficiencia del procedimiento descrito.

45

b4) Buscar, entre los armónicos localizados en la operación anterior, grupos de armónicos separados entre sí por distancias correspondientes a la frecuencia de giro del cabezal.

50

En esta operación se analiza la posición en frecuencia de cada uno de los armónicos localizados en la operación anterior, determinando si existe otro armónico a una distancia aproximadamente equivalente a la frecuencia de giro del cabezal, es decir, a la distancia (RPM/60) Hz. Al decir que los armónicos están separados una distancia equivalente a la frecuencia de giro del cabezal se entiende que no es necesario que dicha distancia sea exacta, sino que se determina un rango o ventana alrededor de (RPM/60). Al final de esta operación, se descubre si los armónicos son independientes unos de otros, o bien forman grupos separados dicha distancia de aproximadamente (RPM/60) Hz entre sí. Preferentemente, se considera que un grupo mínimo está formado al menos por dos armónicos.

55

b5) Determinar, si existe al menos un grupo de armónicos separados entre sí por distancias correspondientes a la frecuencia de giro del cabezal, que el cabezal está desbalanceado.

60

Por último, si se localiza al menos un grupo de armónicos, entonces se puede determinar que el cabezal está desbalanceado en mayor o menor medida. Es decir, mediante este procedimiento se podrían detectar tanto grandes balanceos perjudiciales para el resultado del proceso en cuestión como pequeños balanceos cuyas consecuencias se podrían despreciar.

65

Adicionalmente, otra realización particular del procedimiento de la invención comprende además la operación de:

c) Estimar el grado de desbalanceo del cabezal.

ES 2 337 432 A1

Para estimar el grado de desbalanceo del cabezal se llevan a cabo las siguientes operaciones:

c1) Seleccionar, de entre los grupos de armónicos localizados, el grupo principal, que es el grupo que tiene el mayor número de armónicos con mayor potencia.

5

Para cada grupo de armónicos se toma su número total, el de mayor valor y la suma de sus valores, de forma que se tiene una noción del número que lo componen y de la potencia de cada uno de ellos. A continuación, los grupos se ordenan primeramente según la cantidad de armónicos que contienen, y en segundo lugar por la suma de sus valores, seleccionándose como grupo principal el que contiene mayor número de armónicos con mayor potencia.

10

c2) Calcular un parámetro PR que mide la potencia relativa de los armónicos del grupo principal respecto al armónico principal de dicho grupo principal.

15

El parámetro PR se podría calcular de cualquier modo, siempre que fuese fundamentalmente una medida de la relación entre el valor del armónico principal del grupo principal y la suma de los valores de todos los armónicos del grupo. Sin embargo, en una realización particular de la invención, el parámetro PR se define como:

20

$$PR = 1 - \frac{BPG + BP}{HSPG + BP}$$

25

donde:

BPG es la potencia del armónico principal del grupo;

30

BP es la componente frecuencial de mayor potencia en el rango del espectro analizado;

HSPG es la suma de las potencias de los armónicos del grupo principal.

35

c3) Estimar, a partir del parámetro PR, el grado de desbalanceo del cabezal (UL).

40

La expresión que relaciona el parámetro PR y el grado de desbalanceo del cabezal UL se determina empíricamente a partir de un conjunto de datos experimentales, y por lo tanto se podrían emplear diferentes expresiones para ajustar los datos empíricos obtenidos. La presente solicitud de patente reivindica protección para cualquiera de las expresiones que se utilicen. En una realización particular de la invención, sin embargo, se emplea la siguiente ecuación:

45

$$UL = \frac{1}{m} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{PR}{1-PR} \right) - n \right]$$

50

donde:

UL es el grado de desbalanceo del cabezal;

n y m son coeficientes ajustados experimentalmente.

55

En un segundo aspecto de la invención, se describe un sistema para la detección en tiempo real del desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión, que comprende los siguientes elementos:

60

- Un acelerómetro, situado sobre el eje X del cabezal, que adquiere la señal correspondiente a las aceleraciones de las vibraciones del cabezal;

- Un medio de procesamiento, conectado al medio de adquisición, que recibe dicha señal y determina si las vibraciones medidas son provocadas por un desbalanceo del cabezal.

65

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra un diagrama de bloques del procedimiento de acuerdo con la presente invención.

Figuras 2 a 6.- Muestran el espectro en frecuencia de la señal de aceleración del cabezal, para diferentes velocidades de giro y grado de desbalanceo de cabezal. Para cada figura, la gráfica nombrada con la letra a) muestra todo el espectro en frecuencias, mientras que la nombrada con la letra b) muestra un detalle correspondiente al rango de análisis seleccionado.

Figura 7.- Muestra la potencia relativa entre picos contra el grado de desbalanceo del cabezal y la curva de ajuste.

Figura 8.- Muestra los datos experimentales del grado de desbalanceo contra la potencia relativa entre armónicos y la curva correspondiente al modelo inverso desarrollado.

Figura 9.- Muestra el error absoluto relativo, calculado de la aplicación del modelo a los datos experimentales de validación.

Realización preferente de la invención

Se describe a continuación un ejemplo de realización del procedimiento descrito dirigido específicamente a un proceso de mecanizado de ultra-precisión, haciendo referencia a las figuras adjuntas. En este ejemplo, se utiliza un sistema que comprende:

- un acelerómetro piezoeléctrico con resolución de 10 mV/g, amplificador y acondicionador de señal;
- un ordenador industrial con tarjeta de adquisición de datos;
- un programa informático embebido en el ordenador para el procesamiento digital de la señal (adquisición y filtrado de datos), implementación del procedimiento de la invención e implementación de la interfaz gráfica de usuario para la muestra de resultados.

El procedimiento se basa principalmente en la búsqueda de secuencias de armónicos separados según la frecuencia de giro del cabezal, alrededor de un rango de un $\pm 10\%$ (es decir, $p=0,1$) de la frecuencia de la componente principal del espectro. Esta componente se puede ajustar automáticamente de antemano, ya que se corresponde con el armónico principal de la señal con el cabezal sin girar. Esto determinado de antemano permite mejorar el tiempo de cálculo del algoritmo. De existir secuencias de componentes de más de un mínimo de elementos se deduce que el cabezal está desbalanceado. La Fig. 1 muestra un algoritmo del procedimiento descrito.

Búsqueda de grupos de armónicos

Como se ha explicado previamente, en una primera parte del procedimiento se buscan grupos de armónicos, que son indicativos de un desbalanceo del cabezal. Los pasos que se siguen son los siguientes:

- 1) De la señal medida se elimina la componente de DC restándole su valor medio. A continuación, en este ejemplo se calcula la Transformada Rápida de Fourier ($X_{FFT} = FFT(X)$)
- 2) Se busca el máximo del espectro ($MAX_{X_{FFT}}$) y su frecuencia correspondiente ($f_{MAX_{X_{FFT}}}$).
- 3) Se calcula el rango de análisis, que en este ejemplo es de entre 0,9 y 1.1 de $f_{MAX_{X_{FFT}}}$, ya que $p=0,1$.
- 4) Los armónicos se detectan calculando la pendiente del espectro de la señal, de existir cambio de signo de positivo a negativo en la pendiente, existe un máximo en la señal original. Si el valor del espectro en este punto sobrepasa un umbral y además la tendencia de la pendiente antes y después de este punto cambia de signo, entonces se considera que el máximo encontrado es un armónico del espectro.
- 5) Se calcula la distancia en frecuencia de los armónicos, buscando aquellos que estén separados una distancia dentro de una ventana centrada en la frecuencia de giro ($RPM/60$) \pm una tolerancia, que en este caso se obtiene como un porcentaje de la velocidad de giro.
- 6) De encontrarse armónicos separados una frecuencia dentro de dicha ventana, entonces se cuentan y se agrupan según el orden de las secuencias que existan.

ES 2 337 432 A1

Para el cálculo de la transformada de Fourier se debe utilizar un número de puntos (N_{fft}) proporcional a la relación entre la frecuencia de muestreo (FS) y la frecuencia de giro del cabezal,

5

$$N_{fft} = NxRPM \cdot FS \cdot \frac{60}{RPM}$$

10 donde, $NxRPM$ es la cantidad de puntos, en el espectro de la señal, entre armónicos consecutivos de la frecuencia de giro.

15 Además, el valor umbral (TH) para la detección de los armónicos, se puede determinar bien como un valor fijo, o bien a partir del nivel de ruido en el espectro, como un valor porcentual del armónico principal del espectro, como una media geométrica de ambos valores o como la media aritmética del espectro en todo el rango de frecuencias en análisis. Seleccionando un valor adecuado del umbral, se mejorará en gran medida la eficiencia del algoritmo.

20 Así, si se detecta algún grupo de armónicos con más de dos elementos, se puede deducir que el cabezal está desbalanceado. A continuación, se continúa el procedimiento para estimar cuál es el grado de desbalanceo del cabezal.

Análisis de grupos de armónicos

25 Por cada grupo de secuencia de armónicos localizado se almacena su número total, el de mayor valor y la suma de sus valores. De tal forma que se tiene una noción del número que lo componen y de la potencia de cada uno ellos.

30 A continuación, los grupos se ordenan primeramente según la cantidad de armónicos que contienen y además por la suma de los valores de estos, quedando como grupo principal el que contiene mayor número de armónicos con mayor potencia. Del grupo principal obtenido se calcula la relación entre el armónico principal y el resto del grupo (Peak Ratio), obteniéndose una medida de la potencia relativa del resto de los armónicos respecto al principal. En este ejemplo, el coeficiente utilizado está definido por la siguiente expresión:

35

$$PR = 1 - \frac{BPG + BP}{HSPG + BP}$$

40 donde:

PR - Peak Ratio

BPG - Armónico principal del grupo (Biggest Peak in the Group)

45

BP - Componente frecuencial de mayor potencia en el rango del espectro analizado (Biggest Peak)

HSPG - Suma de las potencias de los armónicos del grupo escogido (Highest Sum Peaks in a Group)

50

55 La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para diferentes velocidades de giro del cabezal, donde UL representa el grado o nivel de desbalance del cabezal medido experimentalmente y el “número de picos” representa el mayor número de picos o armónicos obtenidos en secuencia. El grado de desbalanceo del cabezal se mide empleando la unidad de medida que proporciona el sistema de medición del CNC del torno utilizado pre-proceso de corte. Se mide el desplazamiento en mieras que produce el eje de giro debido al desbalanceo del cabezal. Así, se tienen 4 niveles diferentes de desbalanceo y se repitió el experimento tres veces para cada nivel.

60

65

RPM	Número de picos ⁽²⁾	PR	UL [μm]
1000	4	0,028	0,013
	5	0,024	0,016
	4	0,038	0,021
	4	0,038	0,044
2000	2	0,060	0,015
	3	0,065	0,040
	3	0,064	0,049
	3	0,079	0,149
3000	2	0,011	0,018
	3	0,021	0,077
	3	0,049	0,098
	5	0,141	0,304
4000	2	0,007	0,017
	3	0,014	0,057
	3	0,096	0,155
	6	0,279	0,478
5000	2	0,035	0,019
	3	0,054	0,114
	3	0,091	0,215
	11	0,410	0,665

50 Para el cálculo de la transformada de Fourier se utilizaron 20 puntos ($N \times \text{RPM}$) entre armónicos de la frecuencia de giro. La frecuencia de muestreo utilizada es de 50 kHz.

En las Figs. 2, 3, 4, 5 y 6 se muestran los espectros de algunos de los experimentos:

55 Fig. 2a y 2b: 1000RPM y grado de desbalanceo 0,044 μm

Fig. 3a y 3b: 2000RPM y grado de desbalanceo 0,149 μm

60 Fig. 4a y 4b: 3000RPM y grado de desbalanceo 0,304 μm

Fig. 5a y 5b: 4000RPM y grado de desbalanceo 0,478 μm

Fig. 6a y 6b: 5000RPM y grado de desbalanceo 0,665 μm

65 En ellas se aprecian los picos detectados y los umbrales TH utilizados. En línea discontinua se muestra el umbral calculado para los armónicos, que en este ejemplo se determinó como la media aritmética del espectro en todo el rango de frecuencias en análisis.

ES 2 337 432 A1

Obtención de la relación entre el PR y el desbalanceo del cabezal UL

A partir de los datos experimentales obtenidos, se obtiene el comportamiento del Peak Ratio para cada experimento según el nivel de balanceo del cabezal (Fig. 7), y se observa también que con el incremento del balanceo del cabezal aumenta también la potencia relativa entre los picos.

La Fig. 7 ilustra también una curva de ajuste para la que se ha utilizado, en este ejemplo, una función matemática tangente hiperbólica obtenida mediante técnicas de regresión lineal con un coeficiente de correlación R^2 igual a 0,98. La forma general de la ecuación de la curva ajustada es la siguiente:

$$PR = \frac{1}{2} [\tanh(m \cdot UL + n) + 1]$$

donde:

PR es el Peak Ratio;

UL es el grado de desbalanceo del cabezal (Unbalance Level);

m, n son coeficientes de ajuste lineal.

Los coeficientes m y n están ajustados, inicialmente, en 2,220126 y -1,59696, respectivamente.

Una vez que se ha obtenido el modelo matemático que relaciona el nivel de desbalanceo del cabezal, mediante mediciones previas a la operación de corte, y el Peak Ratio o razón de potencia entre armónicos, es posible desarrollar un modelo inverso, que estime el grado de desbalanceo del cabezal a partir del PR. Este modelo inverso permite estimar el desbalanceo del cabezal, tanto antes del corte como durante la operación del corte, midiendo solamente las vibraciones en el cabezal. De este modo, se pueden detectar en tiempo real posibles vibraciones dañinas para el cabezal o que puedan afectar la calidad del corte.

A partir del modelo directo, descrito previamente, es posible obtener el modelo inverso, que tiene en este ejemplo la siguiente ecuación general:

$$UL = \frac{1}{m} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{PR}{1-PR} \right) - n \right]$$

El modelo planteado anteriormente debe cumplir la condición de que UL sea mayor que 0, por lo que PR debe cumplir lo siguiente:

$$PR > \frac{1}{2} [\tanh(n) + 1]$$

Pero independientemente de esta última condición, es posible definir una condición de valor mínimo para UL (UL_{min}) de carácter práctico. Según los experimentos realizados, en los que se ha basado el modelo desarrollado, podemos fijar este valor mínimo, inicialmente, en $0,010 \mu m$. Dado el valor de UL_{min} fijado, entonces la ecuación general para el cálculo de UL, será la siguiente:

$$UL = \begin{cases} UL_{min}, & PR \leq PR_{min} \\ \frac{1}{m} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{PR}{1-PR} \right) - n \right], & PR > PR_{min} \end{cases}; PR_{min} = \frac{1}{2} [\tanh(m \cdot UL_{min} + n) + 1]$$

En la Fig. 8 se ilustran los datos experimentales de UL vs. PR y además los valores de UL obtenidos del modelo inverso, para los mismos valores de potencia relativa entre armónicos o picos.

Análisis de los errores del procedimiento descrito

La siguiente tabla muestra el resultado de la evaluación del procedimiento descrito empleando otro conjunto de datos experimentales.

5

10

15

RPM	Armónicos en secuencia	UL _E [μm]	UL _M [μm]	Error [%]
2000	4	0,149	0,162	9
3000	4	0,077	0,078	1
4000	6	0,478	0,491	3
5000	11	0,665	0,670	1

20

Al evaluar el procedimiento según el nuevo conjunto de datos de PR, se obtuvo el error absoluto entre el grado de desbalance del cabezal modelado y el experimental. En la Fig. 9 se puede observar como el error disminuye drásticamente a medida que se incrementa el PR, lo que significa que el modelo es más preciso a medida que se incrementa el desbalance del cabezal.

25

Toma de decisiones para la detección de vibraciones en el cabezal debido a su grado de desbalanceo

30

Teniendo en cuenta el análisis realizado en la sección anterior, es posible tomar decisiones respecto a la influencia del grado de desbalanceo en la aparición de vibraciones que puedan dañar el cabezal de la máquina o la calidad del corte durante la propia operación de corte. Si se define un valor límite mínimo para PR (PR_{LIM}), que, dado los datos obtenidos experimentalmente, puede ajustarse inicialmente en 0,055, el sistema de monitorización puede tomar las siguientes decisiones:

35

Si $PR < PR_{LIM}$, entonces: NO SE DETECTAN VIBRACIONES DAÑINAS EN EL CABEZAL DEBIDO A SU DESBALANCE.

En caso contrario: SE DETECTAN VIBRACIONES EN EL CABEZAL QUE PUEDEN DAÑAR LA CALIDAD DEL CORTE.

40

A pesar también de que las realizaciones descritas de la invención con referencia a los dibujos comprenden sistemas de computación y procesos realizados en sistemas de computación, la invención también se extiende a programas de ordenador, más particularmente a programas de ordenador en o sobre unos medios portadores, adaptados para poner la invención en práctica. El programa de ordenador puede estar en forma de código fuente, de código objeto o en un código intermedio entre código fuente y código objeto, tal como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para usar en la implementación de los procesos de acuerdo con la invención. El medio portador puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de portar el programa.

45

Por ejemplo, el medio portador puede comprender un medio de almacenamiento, tal como una ROM, por ejemplo un CD ROM o una ROM semiconductora, o un medio de grabación magnético, por ejemplo un floppy disc o un disco duro. Además, el medio portador puede ser un medio portador transmisible tal como una señal eléctrica u óptica que puede transmitirse vía cable eléctrico u óptico o mediante radio u otros medios.

50

Cuando el programa de ordenador está contenido en una señal que puede transmitirse directamente mediante un cable u otro dispositivo o medio, el medio portador puede estar constituido por dicho cable u otro dispositivo o medio.

55

Alternativamente, el medio portador puede ser un circuito integrado en el que está encapsulado (*embedded*) el programa de ordenador, estando adaptado dicho circuito integrado para realizar, o para usarse en la realización de, los procesos relevantes.

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la detección en tiempo real del desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión, donde el cabezal gira a una velocidad RPM, **caracterizado** porque comprende las siguientes operaciones:
- a) Adquirir, mediante un medio de adquisición a una frecuencia de muestreo FS, la señal $X(t)$ correspondiente a la aceleración de las vibraciones del cabezal;
- 10 b) Determinar, a partir de la señal $X(t)$ obtenida, si el cabezal está desbalanceado.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque además comprende la operación de:
- 15 c) Estimar el grado de desbalanceo del cabezal.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque el medio de adquisición que adquiere la señal $X(t)$ se coloca sobre el eje X del cabezal.
- 20 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la operación de determinar si el cabezal está desbalanceado comprende las siguientes operaciones:
- b1) Eliminar la componente de DC de la señal $X(t)$ y aplicar a $X(t)$ una transformación para pasar al dominio de la frecuencia, obteniendo la transformada $T[X(t)]$.
- 25 b2) Buscar el máximo de la transformada $T[X(t)]$ y su frecuencia correspondiente, obteniendo $MAX(T[X(t)])$ y $f_{MAX(T[X(t)])}$.
- 30 b3) Buscar, dentro del rango de análisis $(1 \pm p) \cdot f_{MAX(T[X(t)])}$, aquellos armónicos cuyo valor supera un valor umbral TH.
- b4) Buscar, entre los armónicos localizados en la operación anterior, grupos de armónicos separados entre sí por distancias correspondientes a la frecuencia de giro del cabezal.
- 35 b5) Determinar, si existe al menos un grupo de dichos armónicos separados entre sí por distancias correspondientes a la frecuencia de giro del cabezal, que el cabezal está desbalanceado.
- 40 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque el parámetro p está dentro del rango $[0,05, 0,20]$.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** porque el parámetro p está dentro del rango $[0,08, 0,12]$.
- 45 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque la transformación que se aplica a $X(t)$ es la Transformada Rápida de Fourier (FFT).
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque el número de puntos utilizado para calcular la transformada que se aplica a $X(t)$ es proporcional a la relación entre la frecuencia de muestreo FS y la frecuencia de giro del cabezal RPM.
- 50 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque el valor umbral TH es proporcional a la media aritmética del espectro en el rango de análisis.
- 55 10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque el valor umbral TH es proporcional a la media geométrica del nivel de ruido del espectro y el nivel del armónico principal del espectro.
- 60 11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque el valor umbral TH es proporcional al armónico principal dentro del rango en análisis.
12. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado** porque el valor umbral TH es fijo.
13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** porque la operación de estimar el grado de desbalanceo del cabezal comprende las siguientes operaciones:
- 65 c1) Seleccionar, de entre los grupos de armónicos localizados, el grupo principal que tiene el mayor número de armónicos con mayor potencia.

ES 2 337 432 A1

c2) Calcular un parámetro PR que mide la potencia relativa de los armónicos del grupo principal respecto al armónico principal de dicho grupo principal.

c3) Estimar, a partir del parámetro PR, el grado de desbalanceo del cabezal.

14. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado** porque el parámetro PR se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PR = 1 - \frac{BPG + BP}{HSPG + BP}$$

donde:

BPG es la potencia del armónico principal del grupo;

BP es la componente frecuencial de mayor potencia en el rango de de análisis;

HSPG es la suma de las potencias de los armónicos del grupo principal.

15. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado** porque la operación de estimar el grado de desbalanceo del cabezal se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$UL = \frac{1}{m} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{PR}{1-PR} \right) - n \right]$$

donde:

UL es el grado de desbalanceo del cabezal;

n y m son coeficientes que se ajustan experimentalmente.

16. Programa de ordenador **caracterizado** porque comprende instrucciones de programa para provocar que un sistema de computación realice el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15.

17. Programa de ordenador según la reivindicación 16, **caracterizado** porque está almacenado en unos medios de grabación.

18. Programa de ordenador según la reivindicación 16, **caracterizado** porque es portado por una señal portadora eléctrica.

19. Sistema para la detección en tiempo real del desbalanceo del cabezal en un mecanismo rotatorio de alta precisión mediante el procedimiento descrito en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende los siguientes elementos:

- Un acelerómetro, situado sobre el eje X del cabezal, que adquiere la señal correspondiente a las aceleraciones de las vibraciones del cabezal;

- Un medio de procesamiento, conectado al medio de adquisición, que recibe dicha señal y determina si las vibraciones medidas son provocadas por un desbalanceo del cabezal.

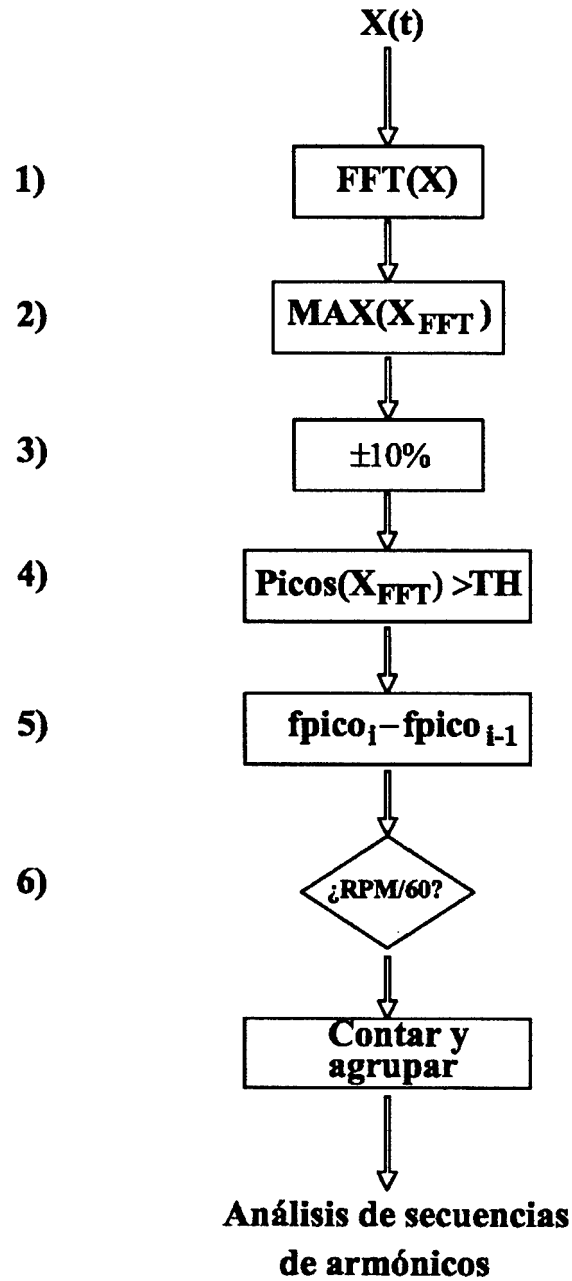


FIG. 1

FIG. 2a

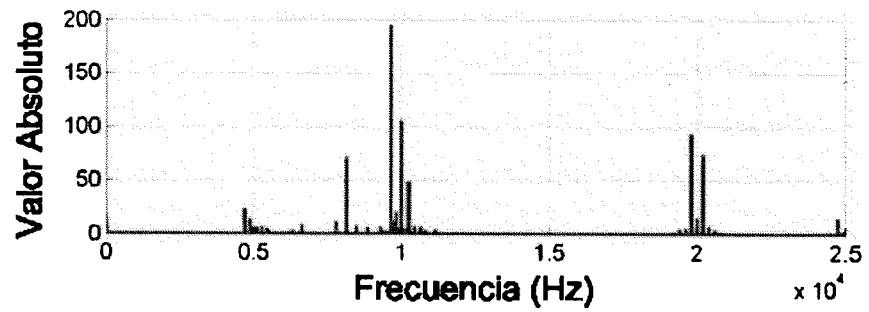


FIG. 2b

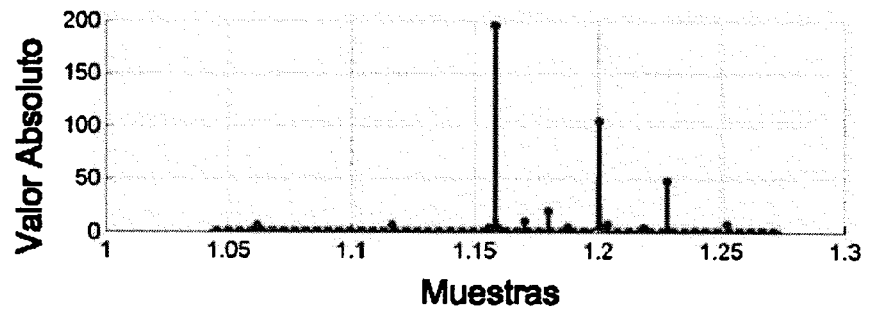


FIG. 3a

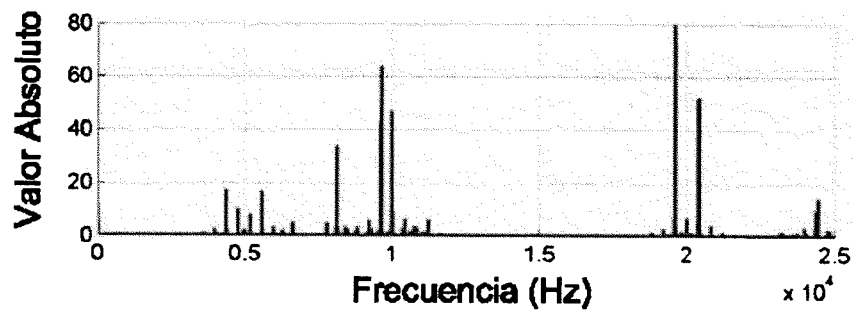


FIG. 3b

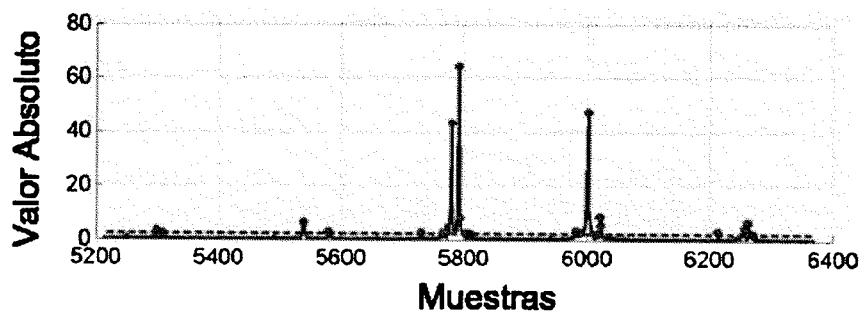


FIG. 4a

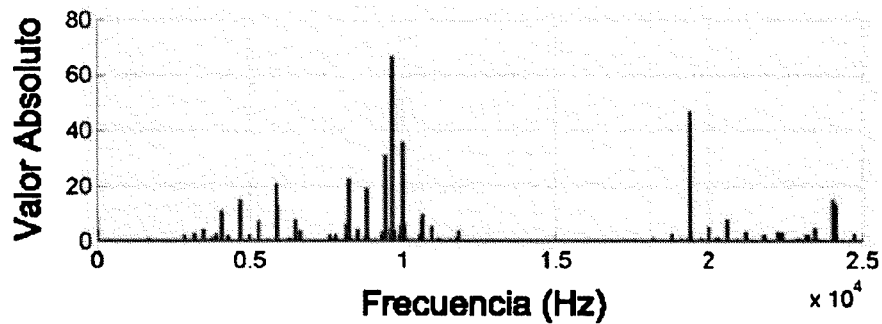


FIG. 4b

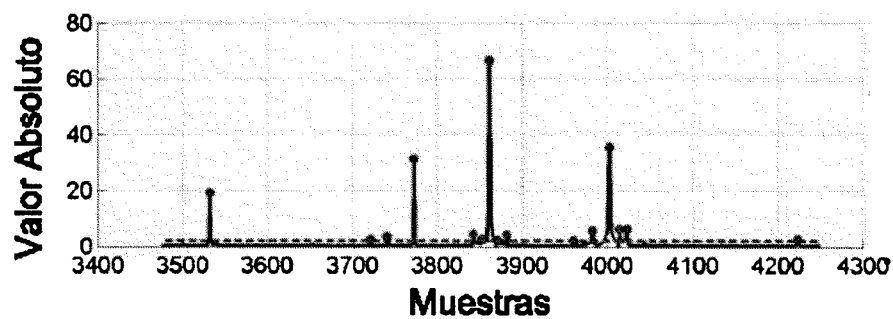


FIG. 5a

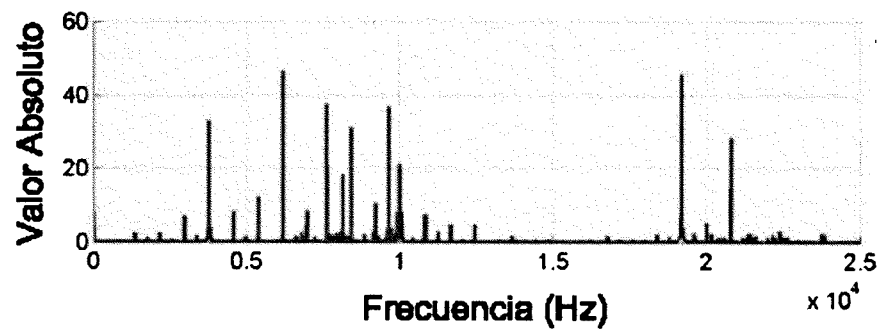


FIG. 5b

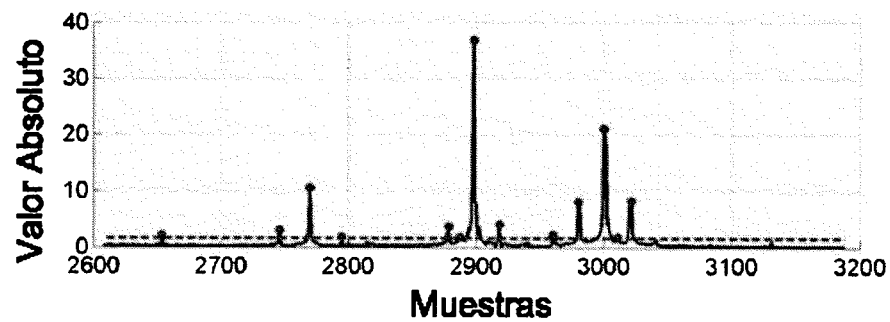


FIG. 6a

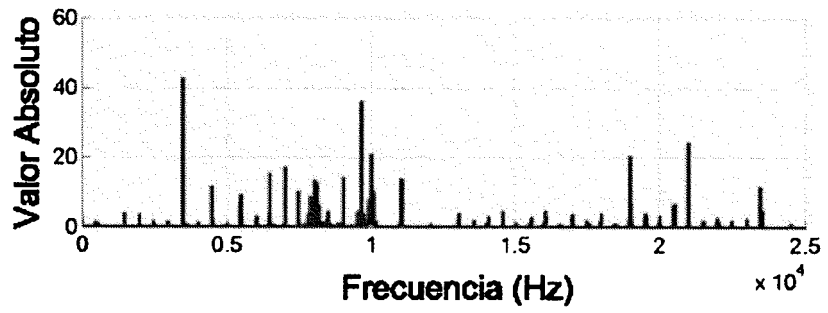
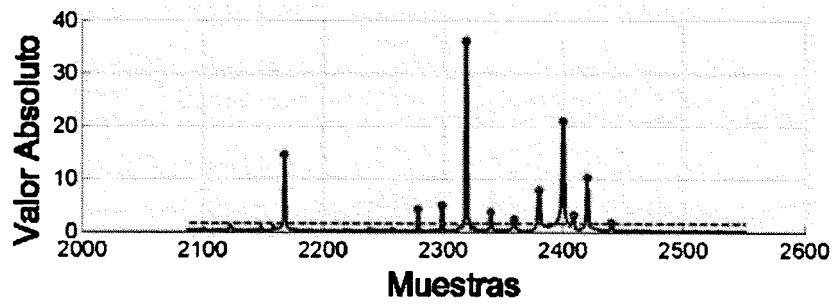


FIG. 6b



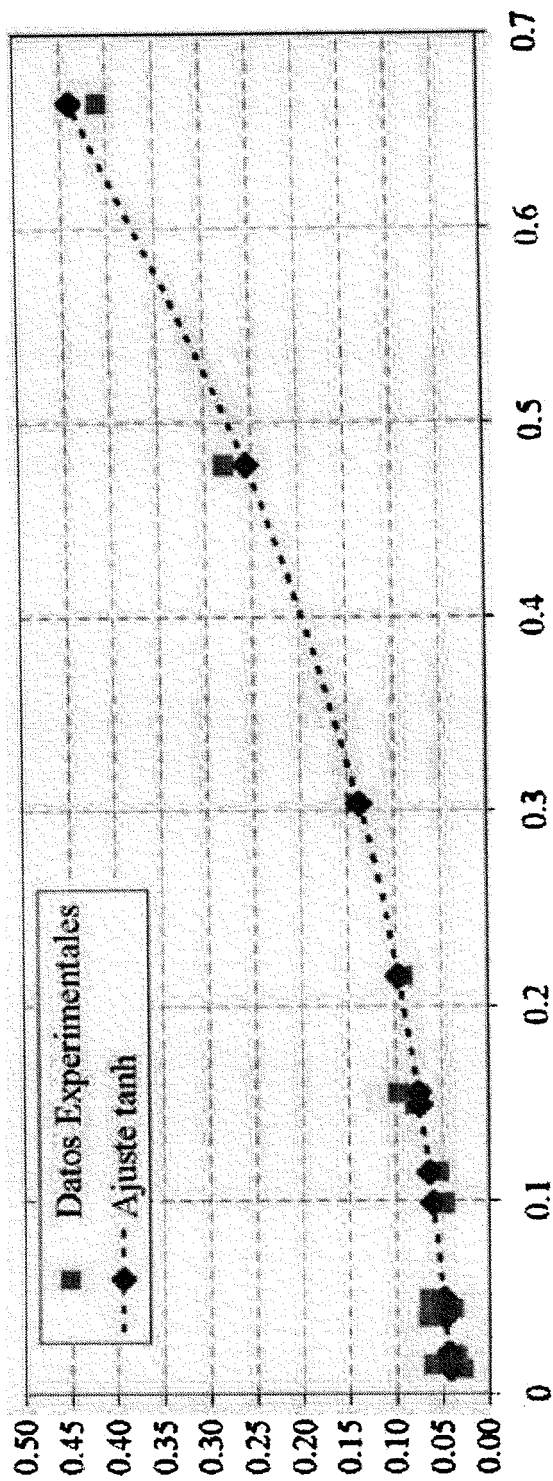


FIG. 7

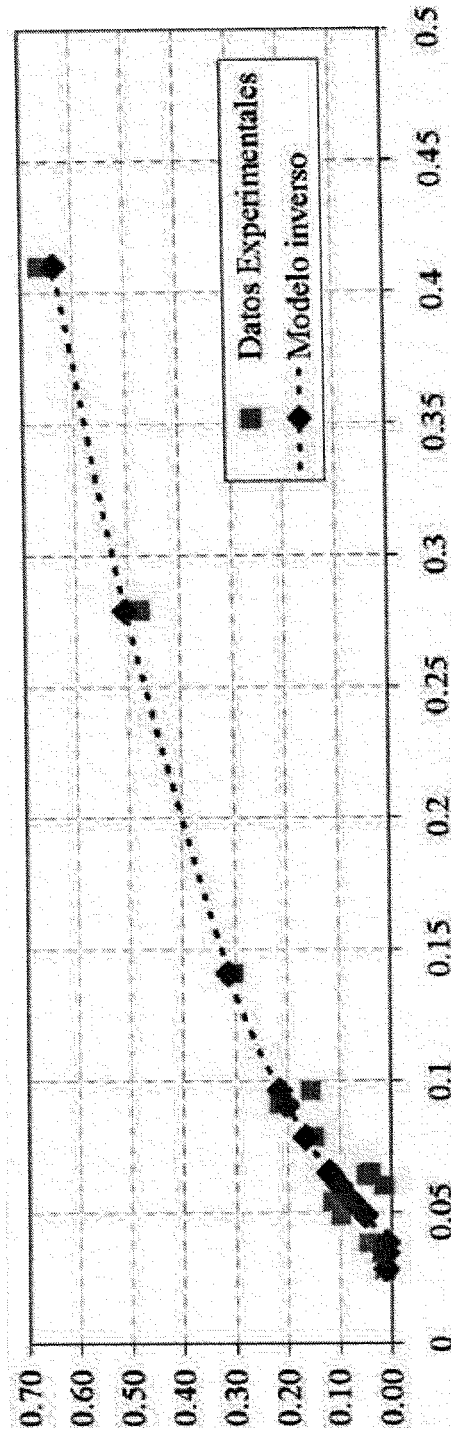


FIG. 8

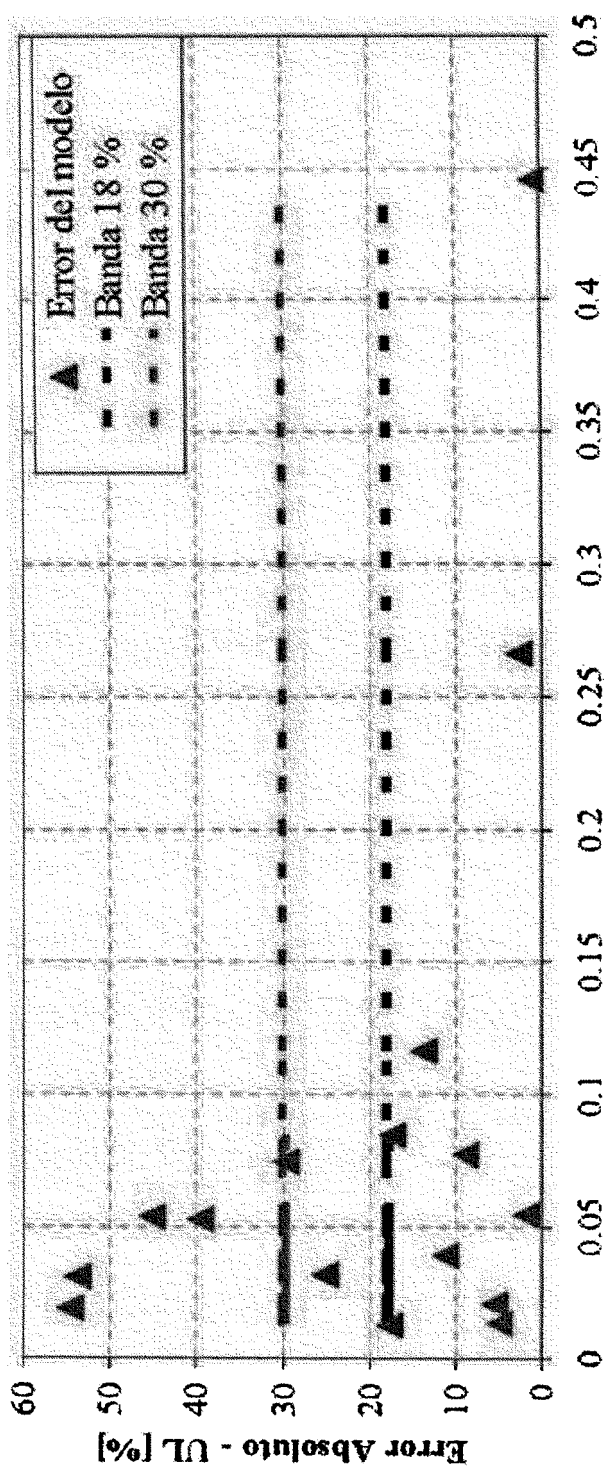


FIG. 9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 337 432

② Nº de solicitud: 200802614

③ Fecha de presentación de la solicitud: **15.09.2008**

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ **Int. Cl.:** **G01H 1/00** (2006.01)
G01M 1/16 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X A	US 5895857 A (ROBINSON et al.) 20.04.1999, columna 5, línea 44 - columna 13, línea 63; figura 1.	1,2,16-19 3-15
X A	US 4435770 A (SHIOHATA et al.) 06.03.1984, columna 2, línea 60 - columna 11, línea 14; figuras.	1,16-19 2-15
X A	US 4010637 A (HARWELL et al.) 08.03.1977, columna 3, línea 46 - columna 7, línea 45; figuras.	1,2,19 3-18
A	US 5109700 A (HICHO) 05.05.1992, columna 5, línea 25 - columna 10, línea 11; figuras 2-9.	1-19
A	US 2001037180 A1 (KOMURA et al.) 01.11.2001, párrafos [0031-0094]; figuras.	1-19

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
05.04.2010

Examinador
P. Pérez Fernández

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01H, G01M

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 05.04.2010

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones	3-18	SÍ
	Reivindicaciones	1,2,19	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones		SÍ
	Reivindicaciones	16-18	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 5895857 A	20-04-1999

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Falta de Novedad

El documento D01 anula la novedad de las reivindicaciones nº 1, 2 y 19

Reivindicaciones 1 y 2

El objeto de la invención recogido en las reivindicaciones nº 1 y 2 deriva directamente y sin ningún equívoco del documento D01 (ver columna 5, línea 44- columna 6, línea 8). Por lo tanto, las reivindicaciones nº 1 y 2 carecen de novedad.

Reivindicación nº 19

El documento D01 contiene :

- un acelerómetro 28 (ver columna 5, línea 66-columna 6, línea 8).

- un medio de procesamiento (ver figura).

Por consiguiente, el documento D01 anula la novedad de la reivindicación independiente nº 19.

Falta de Actividad Inventiva

El documento D01 anula la Actividad Inventiva de la reivindicación independiente nº 16 y la de las dependientes nº 17 y 18

Reivindicaciones 16-18

Estas reivindicaciones resultarían obvias para un experto en la materia a la vista de que en D01 se utiliza un ordenador 208 (ver columna 13, líneas 18- 45; figura 6). Por ello, las reivindicaciones nº 16-18, carecen de Actividad Inventiva.