



Universidad
Tecnológica
de Pereira

Pereira, octubre 01 de 2013

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 13-197661- -00002-0000

Fecha: 2013-10-04 13:24:17 Dep. 2020 DIR.NUEVASCR
Tra. 2 PATENTES Eve. 1 REGDEPOSITO
Act. 444 RESPUESTAREQUE Folios: 29

Doctor

JOSE LUIS SALAZAR LOPEZ

Director de Nuevas Creaciones

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

Carrera 13 No. 27 - 00, Pisos. 3, 4, 5, 6, 7

Conmutador: (57 1) 587 00 00

Bogotá DC

Referencia: Respuesta a requerimiento-oficio número **16260** - Trámite
de patente con radicado **13-197661**

Respetado Doctor:

Por medio de la presente, en mi calidad de apoderado en el proceso de la referencia, de conformidad con el asunto de la misma, dentro del término legal correspondiente, con todo respeto, me permito presentar respuesta a su requerimiento 16260 de fecha agosto 30 de 2013, para lo cual acompaño el presente escrito, de la nueva redacción del documento de solicitud de patente, en el cual se hacen los cambio solicitados para el



Acreditada Institucionalmente de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional
NIT: 891.480.035-9 - Apartado Aéreo: 097 - Tel. Conmutador: (57) (6) 313 7300 - Fax: 321 3206
www.utp.edu.co - Pereira (Risaralda) Colombia



Universidad
Tecnológica
de Pereira

Resumen de la Invención, de conformidad con el artículo 31 de la Decisión 486.

En esta forma doy respuesta a su requerimiento, aunque estando aun dentro del términos legal correspondiente, en caso de existir otras precisiones necesarias o complementos a lo que envío en este momento, les pido me lo hagan saber, para proceder en consecuencia.

Recibiré notificaciones en el Campus La Julita, Bloque A Oficina A316, Vicerrectoría de Investigaciones, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira – Risaralda. No obstante lo anterior, autorizo de forma expresa para que se me conteste y notifique vía correo electrónico, a la dirección que tengo registrada en esa entidad: pablo904@hotmail.com

Atentamente,

PABLO JULIO HERNANDEZ MARTÍNEZ

Apoderado

C.C. 10017555

T.P. 125309 C.S. de la J.



Acreditada Institucionalmente de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional
NIT: 891.480.035-9 - Apartado Aéreo: 097 - Tel. Conmutador: (57) (6) 313 7300 - Fax: 321 3206
www.utp.edu.co - Pereira (Risaralda) Colombia



Universidad
Tecnológica
de Pereira

EQUIPO PORTÁTIL PARA EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN MÁQUINAS BASADO EN EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES

RESUMEN

El presente invento describe un equipo portátil para el diagnóstico de fallas en máquinas utilizando señales de vibraciones, y también el sistema para analizar la condición de la máquina y determinar fallas en la máquina. El equipo permite almacenar los datos de la señal de vibración de un equipo o de una planta para su posterior análisis. El equipo permite adquirir y almacenar señales de otro tipo de sensores. Los datos almacenados son procesados utilizando técnicas tiempo-frecuencia que, basados en las características del equipo y sus condiciones de operación, establecen la condición de la máquina. El equipo también permite el balanceo de máquinas rotativas en uno o dos planos. Específicamente la presente invención describe un equipo de análisis de vibración portable para monitorear las vibraciones de máquinas. La invención también describe el método de operación del sistema. El procesamiento de las señales obtenidas con el equipo brinda un soporte para la programación de mantenimiento predictivo en una planta

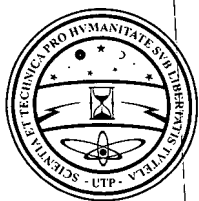
CAMPO TECNOLÓGICO DE LA INVENCION

El análisis de vibraciones es de difícil acceso para la pequeña y mediana industria debido a los altos costos de los equipos analizadores de vibraciones comerciales. Para una pyme no es viable comprar uno de estos equipos. Además, en el mercado existen compañías que realizan este servicio cobrando altos honorarios y muchas veces los resultados no son satisfactorios puesto que la firma contratada no tiene el conocimiento suficiente del historial de mantenimiento de la máquina analizada o no conocen las diferentes partes que componen la máquina debido a que no es posible hacer una parada para desmontar y caracterizar y tampoco existen planos o se han hecho modificaciones a la configuración inicial de la misma. Todo esto se suma a que generalmente el técnico en vibraciones contratado no conoce las características del proceso que se lleva a cabo en la planta y necesita realizar el trabajo en el menor tiempo posible.

En el mercado se encuentran equipos colectores de datos que en una pantalla entregan el valor rms o pico a pico de la señal de vibración de la



Acreditada Institucionalmente de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional
NIT: 891.480.035-9 - Apartado Aéreo: 097 - Tel. Conmutador: (57) (6) 313 7300 - Fax: 321 3206
www.utp.edu.co - Pereira (Risaralda) Colombia



máquina (generalmente en velocidad y no en aceleración). Dichos equipos aunque relativamente económicos (del orden de los 600 a 3000 dólares sin incluir el valor del flete y la importación) requieren de personal especializado que pueda interpretar los datos obtenidos.

Aún con el personal técnico capacitado estos dispositivos carecen de la capacidad de entregar los datos de origen por su limitada memoria incorporada y no poseen un software especializado para diagnóstico de fallas y establecimiento de niveles de alarma. Otros equipos, que podrían llamarse de alto nivel poseen un costo entre los 5000 y los 10000 dólares sin incluir flete y gastos de importación. Dichos equipos poseen una amplia gama de formas de análisis de onda y del espectro de frecuencias de la señal de vibración en aceleración, velocidad y desplazamiento. La particularidad de estos equipos es que poseen un software elaborado y el dispositivo permite además realizar la adquisición de señales de otros sensores para medir temperatura, ruido o fase. Estos analizadores necesitan un técnico especializado que por lo menos posea un certificado de analista en vibraciones tipo III para que pueda aprovechar de manera adecuada los recursos del sistema de diagnóstico de fallas.

La capacitación de personal como analista en vibraciones tipo I, II, III, y IV es costosa y puede durar años (Para aprobar el examen de certificación de analista de vibraciones categoría IV es conveniente haber aprobado el examen de categoría III y tener experiencia práctica en estas técnicas al menos de 6 años).

Para implementar un sistema de monitoreo mediante el análisis de vibraciones, se requiere detectar todo tipo de falla que ocurre durante la operación de la máquina rotativa. El rango de frecuencias a analizar cubre vibraciones producidas desde frecuencias bajas (componentes sincrónicos indicando solturas, golpe de aceite, falla en las poleas conducidas) hasta vibraciones a altas frecuencias (frecuencia de engrane en transmisiones dentadas, frecuencia de paso de alabes en máquinas hidráulicas, frecuencias de resonancia estructural, rodamientos). Esto implica que se requiera equipos que se pueden utilizar en el rango completo de las máquinas en la planta, que puede operar desde velocidades bajas hasta altas. El equipo debe estar en capacidad de procesar un rango amplio de frecuencias de las señales de vibración.



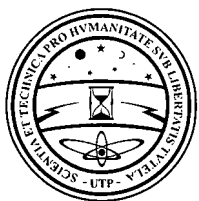
Por otro lado, a la fecha, las técnicas utilizadas en dispositivos comerciales de análisis de vibraciones se basan en el análisis de armónicos de la señal en el dominio de la frecuencia, éstas están siendo superadas por transformaciones tiempo-frecuencia y, además, por medio del entrenamiento de máquina se puede realizar un análisis automático de la señales. Los métodos tradicionales para el análisis de vibraciones basado en el estudio de componentes armónicos (FFT (Transformada de Fourier), STFT (Transformada de Fourier enventanada), Cepstrum, PSD (Densidad de Potencia Espectral)) no reflejan los cambios producidos por fallas tempranas presentes en los estados transitorios (arranque, parada), los regímenes variables de carga y velocidad y el régimen permanente de carga.

En los estados transitorios la señal de vibración de la máquina presenta un comportamiento aleatorio y en muchos casos no estacionario, debido a las características mismas de la máquina y el ruido introducido por el entorno de trabajo. El tránsito de la velocidad de rotación de la máquina desde cero hasta el punto de operación, o viceversa, pasando por puntos de resonancia de diferentes piezas de la máquina, además del cambio mismo de velocidad hacen imposible el diagnóstico de falla por medio del espectro obtenido mediante las transformaciones de Fourier. Los regímenes variables de carga y velocidad presentan problemas similares para la identificación y el diagnóstico de fallas, tales como el ruido del entorno, el cambio de velocidad y la señal de vibración la cual en estados tempranos no tiene una componente en la frecuencia definida.

APLICACIÓN INDUSTRIAL

En los últimos años la industria nacional ha implementado planes de mantenimiento basado en el diagnóstico. Hoy en día es común en los ingenios azucareros, la industria petroquímica, Cerrejón, industria papelera, entre otros, la existencia de departamentos de mantenimientos en los que utilizan el análisis de vibraciones para determinar el estado de sus equipos.

Adicionalmente a la adquisición de equipos para el análisis de vibraciones, las empresas requieren la capacitación de su personal en la aplicación de estas técnicas de análisis dentro de su empresa, que entiendan por qué se



produce la vibración y la forma en que se manifiesta. El entrenamiento requiere que los operarios diferencien entre niveles de vibraciones normales, aceptables, y los estados en que se requiere atención inmediata o sustituir los equipos con problemas. Para obtener una comprensión a fondo de las diferentes firmas de vibración, los operarios necesitan experimentos controlados en un dispositivo que emule la maquinaria del mundo real. Si bien el análisis de una falla de maquinaria puede ser beneficioso, hay muchas ocasiones en que el análisis es el resultado de la interacción entre la rigidez dinámica, la resonancia, y la velocidad, entre otros tipos de fallas.

Se pretende con el presente desarrollo dar una solución a la industria nacional con el ofrecimiento de tres módulos de entrenamiento para el análisis de vibraciones. Estos módulos a escala de laboratorio permiten realizar experimentos de dinámica de rotores y el aprendizaje de firmas de vibración de las fallas de maquinaria común. Es esencial para los operarios obtener una comprensión de los espectros de vibración real.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El análisis de vibraciones mecánicas es una de las técnicas de mantenimiento preventivo más utilizada debido al menor costo en relación con las otras técnicas, a la posibilidad de efectuarlo sin necesidad de hacer una parada en el proceso de producción y gracias a sus buenos resultados en el diagnóstico de fallas en máquinas rotativa. En el caso de los equipos rotatorios, la ventaja que presenta el análisis vibratorio con respecto a otras técnicas como tintas penetrantes, radiografía y ultrasonido, es que la evaluación se realiza durante la operación normal de la máquina, evitando con ello la pérdida en la producción que genera una detención. En el plan de mantenimiento adecuado de maquinaria utilizada en la industria, es común emplear equipos para monitorear las variaciones de las características de las vibraciones de la máquina cuando están en operación.

Esta información permite definir intervalos apropiados para el mantenimiento de la máquina, así como generar alarmas de falla inminente en la máquina. Se ha observado que el registro apropiado del mantenimiento puede mejorar la operación eficientemente, y que una



alarma de falla inminente de una máquina puede evitar daños catastróficos de la máquina a la vez que evita riesgos del personal.

En el diagnóstico de fallas en vibraciones mecánicas las transformaciones de Fourier son el método tradicional de análisis, que presenta altos porcentajes de aciertos para fallas con componentes periódicos. Este tipo de análisis, debido a su deficiencia para tratar con señales no estacionarias, se ha venido complementando con variados métodos de procesamiento de señales.

El primer paso en un análisis de la vibración es obtener un registro de datos de vibración. Los datos son entonces analizados utilizando técnicas analíticas de análisis de señales. En los últimos tiempos, una pluralidad de técnicas de análisis han sido implementadas. Las fallas más comunes tienen firmas características que las diferencian de las demás tipos de fallas. Mediante procedimientos de clasificación se pueden identificar las marcas obtenidas en las señales de vibración con el fin de identificar una falla particular.

La creación de la hoja de vida de la máquina en la que se incluya la evolución histórica de las señales de vibración, es una herramienta muy útil en el monitoreo de la condición de operación de la máquina. Un cambio brusco en la señal de la vibración podría utilizarse para detectar a tiempo una falla que está evolucionando y prevenir así una parada repentina de la máquina.

Se han implementado métodos de análisis de señal en diversos dispositivos. La patente número US 6,801,864 B2 por Neil Miller describe un dispositivo y método de medición de las señales de vibración en rodamientos, para la realización de un análisis para identificar las posibles fallas presentes o los defectos de fabricación, mediante la comparación de un nivel de alarma introducido por el usuario con el cociente entre la amplitud de la señal, en frecuencias propias de fallas, y el nivel de señal medido en las otras frecuencias. La señal pasa en principio por un filtro pasa alta, un rectificador y un filtro pasa banda configurados de acuerdo con la velocidad angular de la máquina, antes de ser llevada al dominio de la frecuencia. La mayor desventaja de este sistema es que es una herramienta limitada a rodamientos, que no permitiría el análisis de señales en otras máquinas rotativas, y que además requiere de conocimientos avanzados para el ingreso de los valores límite. Además no se plantea la



comunicación con una base de datos de mediciones pasadas, ni la programación de las mediciones y análisis.

En otra patente US 6,789,030 B1 por Sean Coyle, et al., la limitación en el tipo de señales medidas se enfrenta mediante el diseño de un dispositivo único, capaz de utilizar diferentes programas que se le pueden instalar, los cuales le permiten reconocer diversos tipos de transductores conectados y le indican el procesamiento que se les realiza a cada señal. El dispositivo se conecta a un computador principal para recibir los programas requeridos y para transmitir la información medida, para almacenarla o para realizar procesamiento adicional; además el dispositivo puede recibir información de diversas fuentes (como bases de datos, o el computador principal) que le sirvan en la toma de decisiones para los diagnósticos. La señal se pasa del transductor por un filtrado, un convertidor análogo/digital, un proceso especial de variación de la frecuencia y submuestreo, para luego pasar la señal al dominio de la frecuencia. El dispositivo tiene su propia carcasa y configuración de botones. Es de anotar que esta solución presenta dificultades en cuanto a que se crea una dependencia a un dispositivo adicional (computador principal) para el almacenamiento y procesamiento, lo cual puede resultar ineficiente cuando se utiliza en pequeñas y medianas empresas, además que requiere adicionalmente de los programas adecuados para las necesidades particulares. Tampoco se tiene en cuenta la utilización de la ruta de trabajo.

La ruta de trabajo se ha implementado antes en dispositivos analizadores de vibraciones como en las patentes US 4,612,620 por Dean T. Davis, et al., y US 4,885,707 por Robert E. Nichols, et al., en los cuales el dispositivo recibe, de un computador principal, la hoja de ruta con las máquinas que requieren medición y los datos relevantes para el análisis de cada una, con la diferencia que en la primer patente la ruta es fija y debe ser seguida en orden, mientras que en la segunda la ruta es una lista de las máquinas por medir que el usuario realiza en el orden que prefiera, accediendo a cada máquina mediante una etiqueta con código de barras, que lee con el lector que posee el dispositivo. Sin embargo se mantiene la fuerte dependencia a un computador principal (adicional al dispositivo) para las funciones de almacenamiento, procesamiento y generación de las rutas de trabajo.

Para desligar el almacenamiento de datos y las hojas de ruta del computador central la patente US 6,484,109 B1 por Dean Lofall propone la





interacción de varios analizadores de vibraciones dentro de una empresa en una red P2P ("Peer to peer", de igual a igual), es decir una red en que todos los dispositivos están a la par, todos poseen toda la información de la empresa (especificaciones de máquinas, tiempos entre mediciones) y toda la información almacenada en las correspondientes mediciones en toda la empresa, y cada momento que los dispositivos estén conectados comparten entre todos toda la información. Cada uno posee toda la información. Este sistema puede ser muy útil en grandes empresas en las que hayan múltiples dispositivos operando, pero cuando hablamos de pequeñas y medianas empresas, no son tan numerosos los dispositivos (generalmente es solo uno) y las ventajas se ven disminuidas, además que no recurre al uso de una ruta de trabajo sino que se toma las mediciones de las maquinas requeridas, sin llevar un orden necesariamente.

Con la presente invención se pretende proveer un dispositivo y un método para solucionar al menos una de las limitaciones mencionadas previamente o por lo menos ofrecer al público otra opción útil.

SUMARIO DE LA INVENCION

Un primer objeto de la presente invención es presentar un nuevo equipo portable que permita capturar y analizar señales de vibración, y un método para almacenar y analizar los datos de una planta industrial que permita proteger y administrar una planta industrial incluida la maquinaria.

Otro objeto de la presente invención es la de proveer un equipo portátil recolector y analizador que puede recolectar y analizar diferentes tipos de datos en una variedad de formas diferentes.

Otro objeto de la presente invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador, y el método para caracterizar señales que incluye una interfaz para sensores de velocidad y aceleración, y también incluye una interfaz para sensores de propósito general, incluyendo sensores de desplazamiento, velocidad, aceleración, temperatura, presión y de otras variables.

La señal análoga es recibida y acondicionada en un kit de acondicionamiento que tiene conexión por puerto USB con un computador.





Otro objeto de la presente invención es proveer un equipo portable recolector y analizador que procese la señal análoga proveniente de los sensores, convirtiendo esta señal análoga a señal digital teniendo como parámetro de configuración del usuario, la frecuencia de muestreo y la frecuencia máxima esperada. Esta señal es analizada utilizando la Transformada Rápida de Fourier para obtener el espectro de frecuencia y el valor rms de la señal adquirida.

Otro objeto de la invención es proveer un equipo portable recolector y analizador en el que se disponga de un dispositivo de almacenamiento de información, en la que usuario, adicional a la información obtenida de los sensores, guarde parámetros de operación y configuración de la máquina.

Otro objeto de la presente invención es proveer un equipo portable recolector y analizador que determine la presencia de defectos en la máquina basados en el espectro de frecuencia obtenida de las señales provenientes de los sensores y en las características de operación de la máquina.

Otro objeto de la presente invención es proveer un equipo portable recolector y analizador la en la que se tenga una interfaz gráfica en la que el usuario pueda visualizar el espectro de frecuencia de la señal proveniente de los sensores, calcule el valor rms, dando información al usuario sobre el estado de la máquina y los resultados de la medición. En el análisis realizado a la señal obtenida del acelerómetro, se puede configurar la interfaz gráfica para visualizar la forma de onda y el espectro de frecuencia de la aceleración, la velocidad o el desplazamiento de la vibración de la máquina.

Otro objeto de la presente invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador que incluye una interfaz para la medición de fase, como sensores ópticos o magnéticos, o encoders.

Otro objeto de la presente invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador que determine la velocidad de giro de un eje mediante el procesamiento de la señal obtenida de un sensor óptico.

Otro objeto de la presente invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador, y el método para recibir y almacenar señales de



diferentes sensores y la información adicional que el usuario considere pertinente para su posterior análisis.

Otro objeto de la invención es la proveer un equipo portable recolector y analizador con capacidad para el procesamiento paralelo de la señal de varios acelerómetros, ya que el kit de acelerómetro acondiciona por separado las diferentes señales de los acelerómetros; en el software implementado en el computador, también se puede realizar el procesamiento de las señales de los diferentes acelerómetros por lo que se puede obtener diferentes señales procesadas y analizarlas lo que es muy útil en la detección de fallas de máquinas, reduciendo el tiempo completo de análisis de una planta.

Otro objeto de la presente invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador, y el método que realice el análisis de fase de la señal proveniente de dos acelerómetros que toman medidas en dos puntos diferentes de la máquina.

Otro objeto de la invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador que permita el balanceo de máquinas rotativas. El equipo permite el balanceo de máquinas rotativas en uno o dos planos. Para el balanceo el equipo tiene un sensor óptico el cual se ubica cerca del eje. El sensor óptico genera un pulso cada vez que una cinta reflectiva instalada en el eje, pasa frente al sensor con lo que se puede determinar la frecuencia de giro del motor, y permite determinar la fase del pico de la señal de los acelerómetros comparada con la marca del sensor. El software calcula la frecuencia de giro procesando la señal del sensor óptico. Para el balanceo, el software filtra la señal de los acelerómetros con un filtro pasa banda alrededor de la frecuencia de giro del eje. El pico de la señal del acelerómetro es comparado con la señal del sensor óptico para determinar la fase. El programa computacional determina, basado en las mediciones, las masas correctoras requeridas y su ubicación angular con respecto a la cinta refractiva para el balanceo de la máquina.

Otro objeto de la invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador que permita la configuración de ruta para la captura de señales en una planta. El usuario define previamente el número y tipo de máquinas en la planta, definiendo parámetros de operación como velocidad, potencia, tipo de máquina, tipos de rodamiento, reductores, y demás elementos que considere necesario. En cada máquina el usuario



define los puntos en los que se realizarán las mediciones, cada punto se refiere al sitio en el que se realizarán mediciones para su posterior análisis. En cada punto el usuario define cuantas mediciones y el tipo de señal a tomar (señal de tiempo o frecuencia, valor rms, envolvente, señal de aceleración, velocidad o desplazamiento). Adicionalmente el usuario definirá las alarmas para cada una de las mediciones realizadas. Las mediciones realizadas en toda la planta serán almacenadas en el dispositivo de almacenamiento del equipo portátil para su posterior análisis.

Otro objeto de la invención es la de proveer un equipo portable recolector y analizador que permita el análisis de órbita de un eje basada en la lectura de dos sensores de proximidad en una configuración a 90° del eje.

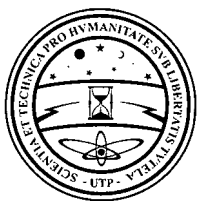
Reivindicaciones

1. Un equipo para medir, almacenar, procesar y analizar señales de vibración, el equipo comprende:
 - Cuatro sensores de vibración para medir y producir una señal eléctrica correspondiente a la señal de vibración;
 - Un sensor óptico para medir la velocidad del eje;
 - Dos sensores de proximidad
 - Un kit de acondicionamiento que recibe la señal eléctrica correspondiente a la vibración medida por el sensor de vibración, el kit acondiciona, filtra y muestrea la señal eléctrica;
 - Una tarjeta de adquisición que recibe la señal eléctrica con conexión por puerto usb a un computador;
 - Un computador portátil para almacenar, procesar y analizar la señal proveniente de los sensores
2. El equipo de la reclamación 1 que comprende una interfaz gráfica en la que se presentan los resultados concernientes al almacenamiento y análisis de la señal de vibración, integrado a un computador que mediante puerto usb recibe las señales eléctricas correspondientes a la vibración medida, y recibe la señal del sensor óptico que permite el cálculo de la velocidad angular de un eje; esta interfaz gráfica puede ser configurada para mostrar la señal de aceleración, o la señal de la velocidad, o la señal del desplazamiento, con sus respectivos espectros de frecuencia, forma de onda, valor rms, valor pico. En este equipo el usuario puede acceder a la

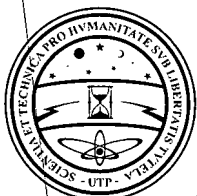


información almacenada en el equipo y elaborar un informe basado en las lecturas obtenidas.

3. El equipo de la reclamación 1 que comprende la unidad de procesamiento para controlar los parámetros de operación del equipo, el cual comprende o contiene los algoritmos de procesamiento tiempo frecuencia de la señal eléctrica proveniente de los sensores de vibraciones y los algoritmos para procesar la señal eléctrica del sensor óptico para calcular la velocidad de un eje. El equipo de cómputo que contiene el algoritmo para que el usuario configure una ruta de trabajo antes de realizar una medición en la planta, y la transfiera al equipo de la reclamación 1, en la que se define
 - Equipos a medir en la planta
 - Puntos de medida en cada máquina
 - Tipos de medición en cada punto de medida
4. El equipo de la reclamación 1 que comprende la interfaz gráfica para la presentación de los resultados, por medio de su hardware y software para la recepción y el almacenamiento de las señales medidas; así como el software para el almacenamiento de la señales de salida procesadas
5. El equipo de la reclamación 1 en el cual los sensores de vibración contienen un transductor de vibraciones que produce una señal eléctrica en respuesta a la vibración y un sensor óptico que detecta la presencia de una cinta reflectiva y que produce una señal eléctrica con la que es posible la medición de fase
6. Un equipo portátil colector de datos y sistema analizador para medir, analizar y almacenar datos que se producen en una series de máquinas que comprende
 - una carcasa dimensionada y configurada para su portabilidad por un usuario;
 - cuatro acelerómetros para medir vibraciones y que genera una señal análoga correspondiente a la vibración;
 - dos sensores de proximidad
 - una tarjeta acondicionadora de acelerómetros para acondicionar la señal análoga de la vibración desde el acelerómetro que acondiciona la señal análoga;



- un sensor óptico que produce una señal cada vez que detecta una cinta reflectiva instalada en un eje;
 - un computador que almacena y procesa las señales de los sensores
 - Una ventana de configuración de los parámetros de operación del equipo
 - Una interfaz gráfica que presenta los resultados de procesamiento de las señales
7. El equipo de esta reclamación, en que existe el software específico para el análisis de orbita de un eje mediante el procesamiento de la señal de dos sensores de proximidad que miden el movimiento del eje en dos ejes perpendiculares; en el cual también, la señal análoga es convertida a digital a diferentes ratas de muestreo configuradas por el usuario
8. El sistema de la reclamación 6 en la que existe el software que procesa las señales digitales y realiza el análisis de Transformada de Fourier de la señal digital acondicionada para producir un espectro de frecuencia, que también permite calcular el valor rms y el valor pico de la señal proveniente de los sensores y el mismo software permite al usuario especificar el filtro deseado, la frecuencia máxima de muestreo, el número de líneas para el espectro de frecuencia,
9. El equipo de la reclamación 6 en el que existe el software para el análisis de fase de la señal proveniente de dos acelerómetros que toman lecturas en dos puntos diferentes de la máquina
10. El equipo de la reclamación 1 que permite el balanceo de máquinas rotativas, que comprende
- Dos acelerómetros que capturan la señal de la vibración en dos puntos diferentes;
 - Un sensor óptico que genera un pulso eléctrico al detectar una cinta reflectiva instalada en el eje de la máquina rotativa a balancear
 - El software que calcula la velocidad angular a partir de la señal del sensor óptico
 - El software que realiza la integración de la señal del acelerómetro para obtener la forma de onda de la señal en la variable velocidad de la vibración medida
 - El software que filtra la señales de los acelerómetros con un filtro pasa banda alrededor de la frecuencia de giro del eje
 - El software que determina la fase entre los acelerómetros y la señal del sensor óptico



- El software que determina el valor rms de la señal de los acelerómetros correspondiente a la frecuencia de giro del eje
- El software que determina las masas correctoras requeridas para el balanceo del eje en uno o dos planos
- La interface gráfica que presenta los resultados de la mediciones
- La interface gráfica en la que el usuario especifica las masas correctoras y la ubicación en el eje respecto al sensor óptico
- El software que elabora un reporte del balanceo realizado

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

FIG. 1. Diagrama de bloques del sistema para la medición y análisis de señales de vibración.

FIG. 2. Diagrama de bloques de los transductores que se pueden utilizar en el equipo de medición y análisis de señales de vibración.

FIG. 3. Imagen de pantalla de la aplicación para la medición y análisis de señales de vibración.

FIG. 4. Diagrama de bloques de los módulos presentes en la aplicación de medición y análisis de señales de vibración.

FIG. 5. Diagrama de bloques que representa el proceso de manejo de ruta en la aplicación de medición y análisis de señales de vibración.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE VERSIONES DE LA INVENCIÓN

La **FIG. 1.** es el diagrama de bloques de un sistema **100** de medición y análisis de señales de vibración generadas en un equipo vibratorio **104**, el equipo vibratorio **104** puede incluir uno o más elementos rotacionales, y uno o más rodamientos que incluyan uno o más elementos rodantes. La vibración del equipo vibratorio **104** es recibida por los transductores **103**, los cuales envían una señal eléctrica, representativa de la vibración del equipo vibratorio **104**, a un dispositivo de adquisición de datos **102**, el cual envía la señal filtrada y transformada a un equipo de cómputo **101**, el cual posee una aplicación de software que permite la visualización de la señal de vibración y el análisis solicitado por el usuario. El computador **101** debe incluir uno o varios microprocesadores. El microprocesador puede ser cualquier procesador convencional de propósito general, como por ejemplo los procesadores Pentium®, Core® o Serie A®. El computador **101**



puede funcionar bajo el control de un sistema operativo de la familia Windows®, como Windows Vista, Windows 7 o Windows 8. El computador **101** debe poseer la aplicación de software particular que le permita la toma de los datos que recibe del dispositivo de adquisición de datos **102**. El computador **101** debe poseer medios para mostrar imágenes, como por ejemplo en una pantalla, para la visualización de la aplicación de análisis de señales y de los resultados producidos, además debe contar con medios para la entrada de datos e información, como por ejemplo un teclado, un puntero o mouse o una pantalla del tipo táctil. El computador **101** puede ser un computador de escritorio, un computador portátil, una tableta o cualquier otra configuración deseada. En la versión preferida de esta invención, el computador **101** es un computador portátil de bajo costo con una pantalla de entre 11 y 12 pulgadas, funcionando bajo sistema operativo Windows 8, con al menos una entrada de datos tipo USB y al menos una conexión para un cable de red. Las señales capturadas de los sensores pueden ser almacenados en el computador con la información adicional que el usuario considere pertinente para su posterior análisis.

La **FIG. 2**. Es un diagrama de bloques que muestra los posibles transductores **202, 203, 204** que pueden ser utilizados con el dispositivo de adquisición de datos **201**. El dispositivo de adquisición de datos **201** debe ser un dispositivo de toma de señales y de conversión de señal análoga a digital, versátil y con tasas de muestreo apropiadas. Un ejemplo de tal dispositivo de adquisición de datos es el fabricado por National Instruments con referencia NI 9234, acoplado a una interfaz NI cDAQ 9171, Los cuales nos sirve de referencia para la descripción presentada aquí. El dispositivo de adquisición de datos **201** debe poseer medios para la transmisión de datos hacia el computador, y medios de conexión a por lo menos un transductor para la toma de las mediciones de vibración, en la versión preferida de la invención la transmisión de datos al computador se realiza a través de una conexión por puertos de tipo USB y el cable correspondiente, y se cuenta con 4 conexiones a transductores, los cuales pueden llevar señales independientes. El dispositivo de adquisición de datos **201** debe realizar la conversión de las señales adquiridas del tipo análogo a digital, y debe realizar un filtrado inicial para eliminar componentes indeseables mediante filtros pasa banda, pasa alta y anti-aliasing, relacionados con la tasa de datos. El dispositivo de adquisición de datos **201** debe tener una frecuencia de muestreo adecuada para los propósitos de medición y análisis de señales de vibración. Los transductores



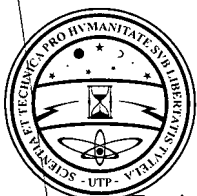
202, 203, 204 pueden ser acelerómetros, sensor óptico o sondas de proximidad. La versión preferida de la invención utiliza tres acelerómetros y un sensor óptico, y se apoya de cualquier combinación de los mismos para tomar los datos necesarios para cada tipo de análisis.

El equipo de vibraciones **100**, tras realizar la toma de señales, depende del computador **101** para realizar la visualización de los datos medidos y su correspondiente análisis, para esto el computador **101** debe poseer una aplicación de análisis de señales. En la **FIG. 3**. Se presenta la imagen de pantalla del menú principal de la aplicación y su apariencia al realizar una medición. La aplicación para el análisis de las señales de vibraciones cuenta con diferentes funciones y módulos accesibles desde el menú principal. Las funciones se encuentran ubicadas a modo de pestañas en la parte superior de la pantalla, para proveer acceso eficiente desde cualquier parte del programa, y en pocos pasos a las diferentes opciones disponibles, se pretende así reducir las dificultades de operación. Al realizar las diferentes mediciones se presenta una imagen semejante a la mostrada en la **FIG. 3**. En la que se presenta, de forma directa, las opciones a las que el usuario tiene acceso para cada tipo de análisis. Estas se encuentran ubicadas justo al lado de los resultados obtenidos, para que cuando el usuario requiera diferentes opciones de visualización u opciones de análisis, estas se puedan modificar rápidamente. Los resultados se presentan de forma gráfica, mediante la forma de onda y el espectro de frecuencia, y de manera numérica mostrando el valor rms, y valor pico. Las representaciones gráficas de los resultados cuentan además con su propio juego de opciones que permiten entre otras cosas manipular el zoom. En la interfaz gráfica el usuario define previamente los parámetros requeridos para la medición, estos parámetros incluyen la frecuencia máxima a analizar, el número de frecuencias, el filtro las características del sensor.

La **FIG. 4**. Presenta el diagrama de bloques de los diferentes módulos de medición y análisis de señales de vibración, a los cuales tiene acceso el usuario mediante el menú principal (**FIG. 3.**), incluyendo los diferentes submenús y opciones particulares a cada módulo. Para todas las pantallas de análisis se presenta también la representación gráfica de los datos tomados en el tiempo. Además, como se puede ver en la **FIG. 4.**, la aplicación cuenta con funciones adicionales, que permiten una integración eficaz del dispositivo, a un ambiente de trabajo industrial común, y a programas de mantenimiento existentes. Esto se consigue principalmente mediante el módulo de manejo de ruta **FIG. 5**.



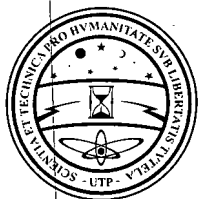
En la **Fig. 5.** se presenta el diagrama de bloques, que representa las funciones que maneja el módulo de manejo de ruta, de la aplicación generada en la presente invención. Mediante la implementación del manejo de ruta se busca facilitar la labor del área de mantenimiento, con el dispositivo de análisis de vibraciones. El objetivo principal es ordenar el inventario de las máquinas que requieren análisis de vibraciones, y organizar las rutas requeridas, de acuerdo con la importancia de cada máquina y los planes de mantenimiento que el usuario implemente. La aplicación generada en esta invención permite el almacenamiento e identificación de cada punto de medida necesario, bajo un orden jerárquico específico **501**. Se registra e identifica cada punto de medida, de cada máquina, dentro de una ruta particular, en cada planta o área de la empresa a la que pertenece el dispositivo de análisis; en cada punto se especifica las mediciones que se deseen adquirir, en dirección vertical, horizontal y axial. Teniendo organizados cada máquina y punto de medida, no solo se permite tener una única ruta, sino que se puede rediseñar la ruta, seleccionando las mediciones que se requieren hacer, añadiendo o quitando puntos de medida, o simplemente reordenando la ruta existente. Con el registro de cada máquina y punto de medida, se realiza una correcta identificación de la máquina y se ingresan al sistema los parámetros característicos que afectan el desarrollo del análisis, como por ejemplo la velocidad de rotación de la máquina y tipo de rodamientos, además se registran las características que se consideran como límite en los resultados obtenidos de mediciones y análisis, lo que es conocido como configuración de alarma **502**. Estas alarmas se seleccionan de manera específica para cada tipo de análisis, para cada máquina en particular. El equipo permite configurar alarmas estadísticas, por porcentaje de cambio en el espectro o con envolvente del espectro de frecuencias. Luego se deben incluir las condiciones de realización de cada análisis, las características de la toma de datos **503**, las cuales son las opciones que definen la forma en que se aplicará el análisis a las señales medidas, y la forma en que se presentarán los resultados. La última función del manejo de ruta en la presente invención es la de llevar el registro de las mediciones realizadas hasta la fecha, para poder realizar un análisis de tendencia **504**, que facilite la toma de decisiones y la formulación de juicios de valor al relacionarlas con los análisis de las señales actuales, además de poder detectar otras posibles fallas en la máquina o entorno.



En la versión preferida de la invención, todos las operaciones del sistema de análisis de vibraciones (**FIG. 4.**) son realizadas en el computador **101** (**FIG. 1.**) en la aplicación desarrollada en esta invención. Dependiendo de la versión de la invención diferentes pasos o bloques pueden ser añadidos o retirados de los módulos de análisis y/o de cada uno de sus procesos particulares (**FIG. 4. 5. 6. 7. 8.**), y el orden de los mismos puede ser modificado. Dentro de las funciones principales del sistema de análisis de vibraciones (**FIG. 4.**) se encuentra el módulo que se encarga del análisis espectral de las señales medidas en el tiempo. Este módulo es la principal herramienta que se utiliza para la determinación de las condiciones de operación del componente que es analizado, incluyendo la detección de fallos, defectos o condiciones de operación inadecuadas.

En la **FIG. 6.** Se presenta un diagrama de bloques que representa los pasos que conforman la ejecución del módulo de análisis FFT (Transformada rápida de Fourier, por sus siglas en inglés). La principal característica de este análisis es que toma la señal medida en el tiempo **601**, y entrega la representación de la señal en el dominio de la frecuencia o espectro **605**. Antes de realizar la transformación **603**, se hace uso de la herramienta ventana **602** que puede ser del tipo Hanning, Flat top o Rectangular, dependiendo del tipo de análisis requerido y el número de promedios empleados en la visualización final del espectro. También se ajusta el traslape entre ventanas que por defecto se sitúa en el 50%, todo esto permite eliminar datos indeseados en la toma de la señal de vibración. Dichas condiciones son introducidas desde el manejo de ruta **FIG. 5.** para garantizar concordancia de los datos en el análisis de tendencias, o se pueden introducir a través del menú particular del módulo. Igualmente la realización del cálculo de la FFT **603** y el promedio en frecuencia **604** se ejecutan con base en las condiciones ingresadas por el usuario particulares para cada caso. Realizadas todas las operaciones se entrega el resultado del espectro **605**, el cual puede ser almacenado para cálculos adicionales (en otros módulos de análisis por ejemplo) o puede ser presentado de forma gráfica por el computador **101** (**FIG.1.**) en la pantalla del equipo.

En la **FIG. 7.** se presenta el diagrama de bloques que representa el módulo de análisis de envolvente. El proceso de análisis comienza con la toma de la señal en el tiempo de la vibración **701**, desde la máquina **104** (**FIG. 1.**). La señal obtenida se pasa por un filtro pasa banda **702**, cuyos límites están determinados de acuerdo con el tipo de componente que se está



mediendo (La identificación del componente se realiza a través del manejo de ruta **FIG. 5**. O se ingresan las características de forma independiente a través del menú propio del módulo). Inicialmente se realiza un filtrado pasa banda que depende del tipo de falla a localizar, generalmente este filtro es pasa alta y se entiende alta frecuencia a partir de 1000 Hz para una velocidad de rotación de la máquina de 1800 rpm. Posterior al filtrado se aplica un detector de envolvente **703**. Con base en un filtro pasa baja. Con la señal de la envolvente se aplica el módulo de análisis FFT **704** (Descrito con ayuda de la **FIG. 6**.) para obtener la señal final del espectro de la envolvente de la señal **705**. Este espectro puede ser almacenado para posteriores análisis en el computador **101 (FIG. 1.)** y/o visualizado en pantalla.

La **FIG. 8**. Es el diagrama de bloques del módulo de análisis "Peak Vue" ("Peak Value", en inglés valor pico), el cual sigue el siguiente proceso: La señal en el tiempo **801**, medida en la máquina **104 (FIG.1.)**, entra a un filtro pasa alta **802**, luego en el proceso **803** la señal filtrada pasa por un proceso de segmentación en el tiempo, posteriormente en **804** se determina el valor máximo para cada segmento y submuestreo. La señal procesada es analizada en el módulo FFT **805** (Descrito con ayuda de la **FIG. 6**.) y el espectro obtenido puede ser almacenado para procesos posteriores por el computador **101 (FIG. 1.)** y/o mostrado en la pantalla del dispositivo.

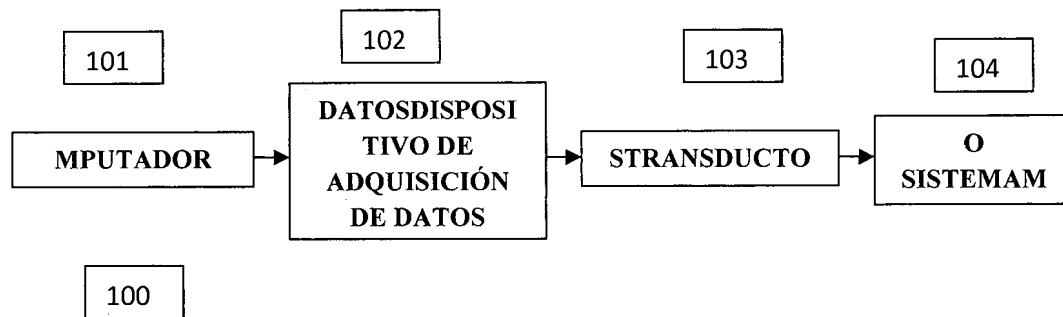


FIG. 1.



22

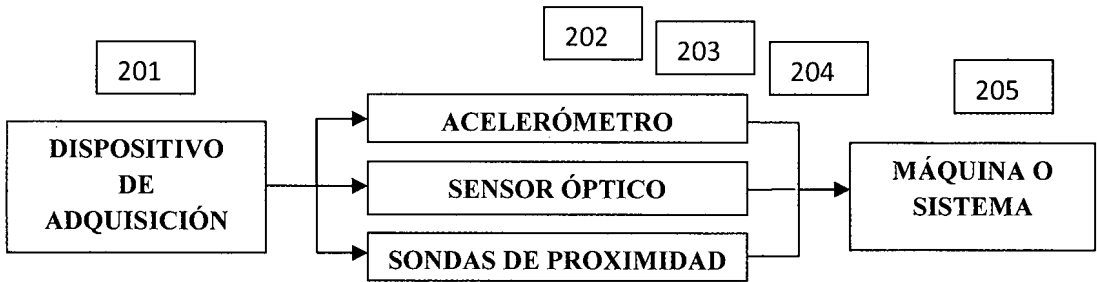


FIG. 2.



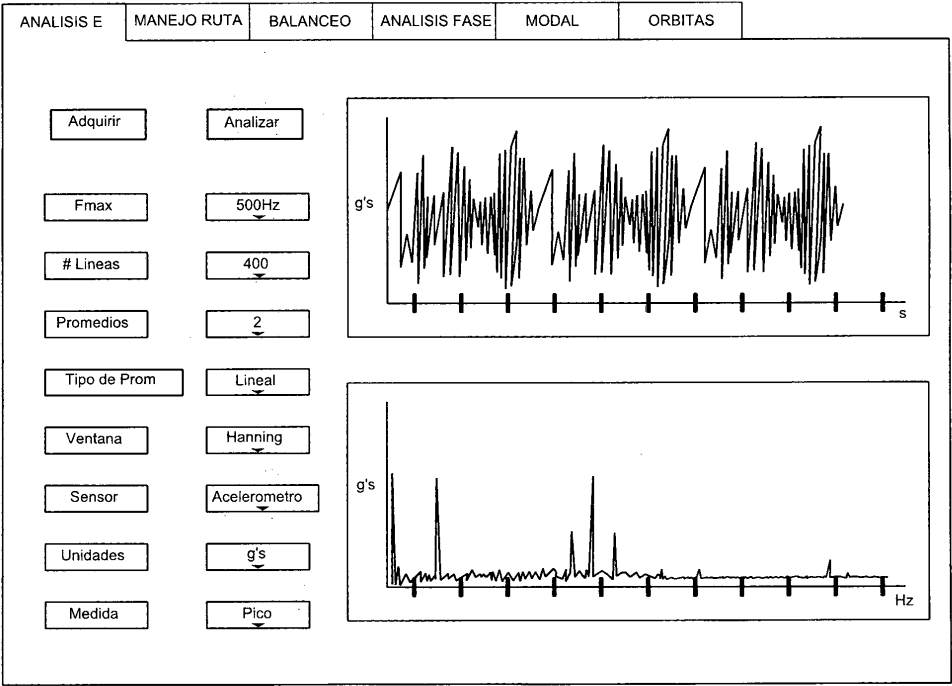


FIG 3.

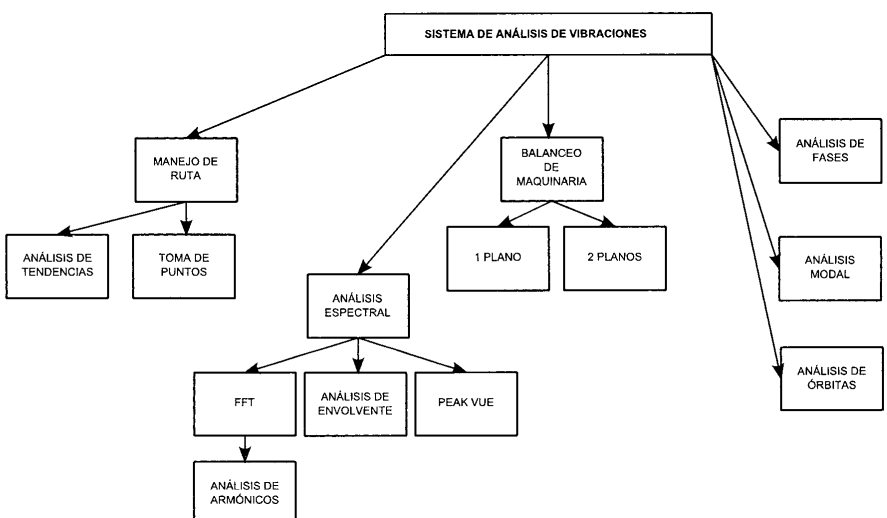


FIG. 4.

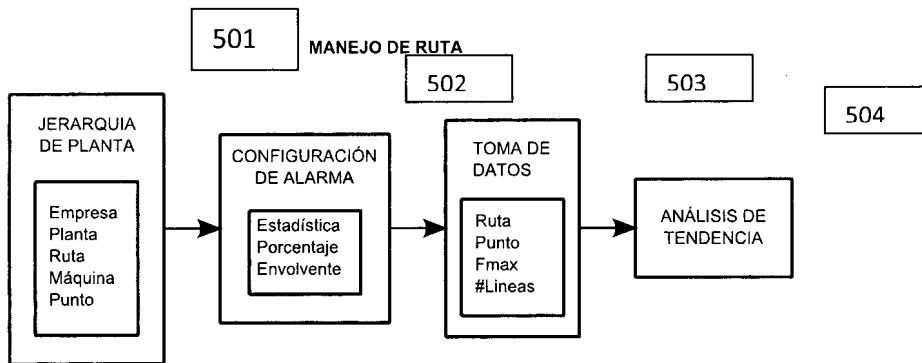


FIG. 5.

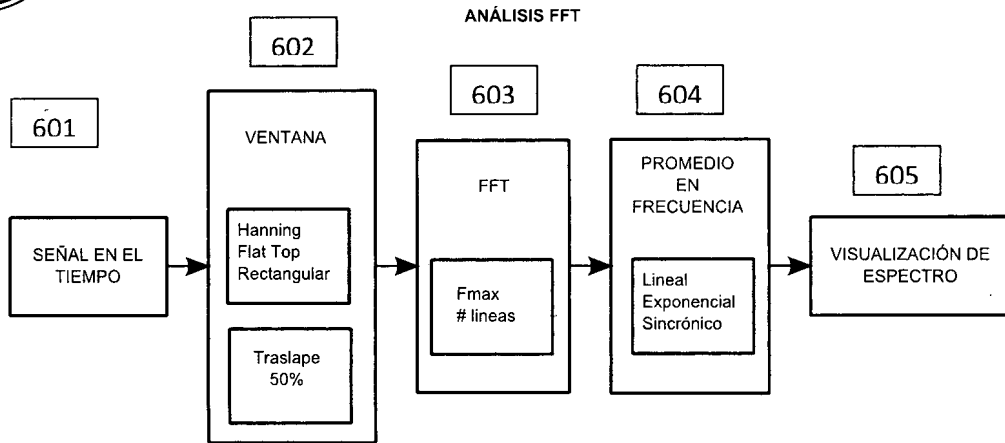


FIG. 6.

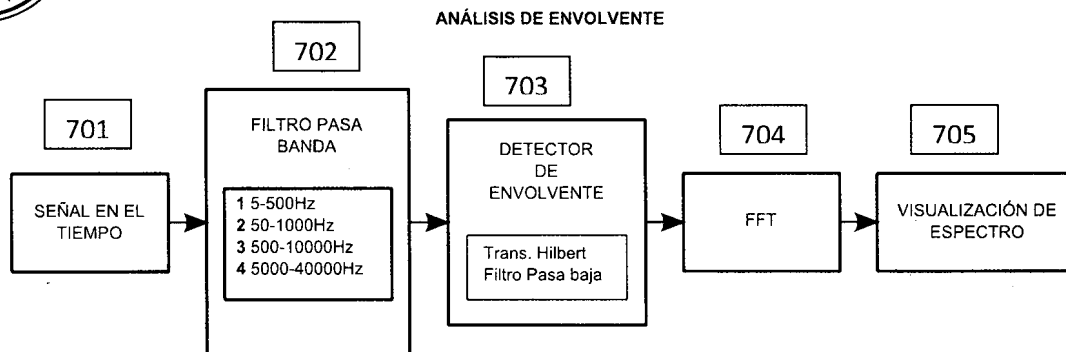


FIG. 7.



28

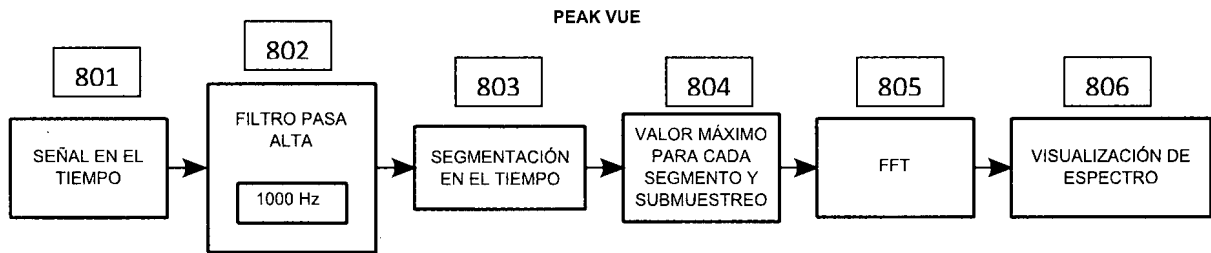


FIG. 8.

