

EQUIPO PARA EL ANÁLISIS DEL ESPECTRO DE VIBRACIÓN EN MATERIALES

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Hoy en día existen diferentes métodos a nivel mundial que permiten escanear el contenido de un paquete sin necesidad de abrirlo, un ejemplo clásico es el escáner de un aeropuerto que permite escanear el contenido de una maleta. Sin embargo, la identificación de estos escáneres por su tecnología se realiza por imágenes, formas y colores y no realmente por el material que se encuentra dentro, lo cual limita su uso. Actualmente, es imposible diferenciar entre agua o alcohol etílico en un recipiente y eso puede ser muy peligroso, por esto, las normativas con líquidos y otros elementos debe ser fuerte para evitar un accidente aéreo. Además de esto, los precios asociados a estas tecnologías son altos, sus maquinarias robustas y poco flexibles respecto a su manejo. Lo mismo pasa con otros tipos de escáneres ya sean láseres de rayos x o ultrasonido como el que se usa en algunas inspecciones técnicas o en las mujeres embarazadas.

Por todo lo anterior, algunas industrias han buscado por todos los medios conocer lo que hay dentro de un paquete sea grande o pequeño sin necesidad de abrirlo, con más precisión y con tecnologías más económicas, menos robustas y con mayor flexibilidad. Lo anterior, fue el primer eslabón en la idea que

desencadenó el diseño y construcción del primer prototipo creado para el análisis de vibraciones en sistemas estáticos de la presente invención.

De esta manera, la presente invención se refiere al escaneo de productos, sistemas o contenedores de una manera más rápida, no invasiva, económica y robusta utilizando el análisis de vibraciones propias de los materiales para poder realizar una clasificación o escaneo por material a diferencia de la detección de imagen, color o contorno como lo hacen otro tipo de escáneres.

La presente invención por lo tanto se refiere a un escáner por vibraciones que incluye una base estática y una base amortiguada o caja vibrante dentro de la cual se pondrá el objeto a analizar. La base amortiguada o caja vibrante permitirá la utilización de un sistema dinámico de impulso que impactará la base amortiguada o caja vibrante produciendo una onda de vibración y como resultante un espectro que será captado por sensores del tipo acelerómetros. La base es amortiguada o caja vibrante gracias a resortes calculados a tensión para dar sujeción, pero a la vez permitir la libre oscilación. Las señales vibratorias son captadas a través de acelerómetros ubicados axial y radialmente a la base amortiguada o caja vibrante, los cuales permiten adquirir la señal en un equipo de cómputo para un posterior tratamiento, clasificarla, guardarla y compararla.

La presente invención resulta ser fuente novedosa y práctica de información que se retroalimenta dentro del nuevo campo de aplicación de análisis de

vibraciones, el cual actualmente, se encuentra dentro de utilizaciones en sistemas dinámicos o en movimiento, principalmente en el diagnóstico y seguimiento de fallos en sistemas rotativos, máquinas, motores, generadores, etc. La invención pretende desprenderse de estas áreas, con el fin de ejecutar un análisis estático a cualquier tipo de elemento, aprovechando la vibración y frecuencia natural específica que genera cada material de la naturaleza sin importar su estado sólido, líquido o incluso gaseoso.

ANTECEDENTES

La presente invención surgió a partir de la problemática planteada en el Proyecto Europeo de Aerogeneradores Offshore (Aerogenerador en mar) con la Empresa Acciona Energía, quienes estudiaron los análisis de vibraciones con el fin de llevar a cabo un mantenimiento predictivo a los aerogeneradores y una plataforma de seguimiento del estado de los mismos llamada "Condition monitoring" en inglés. Dicho análisis de vibraciones dio a conocer determinadas condiciones de los elementos en movimiento o cuyo comportamiento dinámico presentaba diferencias de acuerdo con: rodamientos, ejes, multiplicadora, carcasas y otros.

De esta manera, es posible identificar que la vibración que produce cualquier elemento rotativo y los diferentes picos de amplitud que aparecen en algunas frecuencias específicas de los espectros analizados, representan el estado o

condición del elemento rotativo; y de acuerdo con el análisis mecánico. De acuerdo con lo anterior, se han determinado frecuencias específicas del estado de los elementos como por ejemplo, un defecto en una bola de un rodamiento, o la desalineación de un eje.

El estado del arte comprende diferentes desarrollos que implican el análisis de materiales mediante vibración que se refieren a usos específicos tal como el documento de patente EP1324031A2 titulado "Ground anchorage testing system" el cual se refiere a un método para evaluar la integridad de anclajes al suelo, determinando la respuesta vibratoria de un impulso de carga emitido al material a probar y la generación de señales eléctricas que indican la respuesta; donde dicho sistema se emplea in situ y está específicamente diseñado para sistemas de anclaje que son difíciles de acceder y revisar de otra forma. Este desarrollo por lo tanto no solucionaba el problema de poder determinar remotamente mediante un sistema portable, el contenido de una caja basándose en un sistema de vibración mediante resortes.

Por otro lado, el documento de patente GB1082934A titulado "Apparatus for defect analysis and classification of workpieces" que se refiere a un aparato que comprende una unidad de detector que incluye un tipo conocido de sensor de defectos que funciona según el principio de corrientes parásitas que tiene una bobina de búsqueda que está conectada y determina la frecuencia de un oscilador, cuya salida se amplifica y se retroalimenta una tensión rectificada a

través de un control de nivel y filtro que mantiene la amplitud de la constante de oscilación.

Dicho sistema anterior ofrecía la posibilidad de obtener un espectro del estado de piezas para construcción analizadas junto a un material de referencia mediante su espectro de vibración, pero no constituye un sistema que permita la identificación de diferentes patrones de acuerdo con la caja y el sistema de vibración mecánica requerido.

Por su parte, el documento MX2011004811A titulado "Método y dispositivo para análisis por vibración y base de datos de muestra para el mismo y uso de una base de datos de la muestra" se refiere a un método y aparato para análisis de emisión acústica, y que produce vibraciones resultantes y evaluadas, en las que se somete a un espectro de vibración en varios momentos o continuamente y un análisis multivariable.

A pesar de tener una base conceptual similar, tales desarrollos presentan sistemas de gran complejidad y poca versatilidad para ser aplicables en diferentes usos como en la determinación de patrones que indiquen los componentes o tipos de materiales presentes en un contenedor cerrado.

Tal problema de ingeniería fue abordado por los inventores del presente desarrollo al enfrentarse a la llegada de inmigrantes chinos en contenedores que provenían de ese país y la imposibilidad de abrir todos los contenedores al tiempo que llegaban en barcos debido al gran volumen de estos. El puerto y su departamento de ingeniería pensaron en soluciones como por ejemplo la visión artificial, sin embargo, esto implicaba abrir cada contenedor lo cual lo hacía inviable. El uso de escáneres de gran tamaño como los usados en los aeropuertos, es igualmente inviable por temas de logística, ubicación y costo.

Por lo tanto, con el fin de solucionar dicho problema, los inventores propusieron la realización de un análisis de vibraciones utilizando equipos portátiles de sujeción a los contenedores y la utilización de grúas tipo pluma como elemento oscilador y un sistema que golpeará el contenedor para producir vibración así como la identificación de patrones de los componentes internos del contenedor.

La solución planteada tiene ventajas extraordinarias frente a otras como escáneres o cámaras. Frente a la primera los escáneres no son máquinas portátiles, su precio es demasiado alto como para tener una en cada centro de envío y recepción de paquetería o en el vehículo de transporte de paquetería, además normalmente son de gran tamaño y pueden ser lentos al entregar los resultados y existir elementos internos como placas de sistemas electrónicos que no dejan realizar una verificación precisa. Sin embargo, hay que dejar claro que son los sistemas más utilizados actualmente y utilizan una técnica no invasiva

respecto al empaque. El tema de cámaras tiene un gran problema y es la técnica invasiva necesaria para la inserción de la cámara por más pequeña que sea, sin embargo, tienen otros inconvenientes como la visibilidad interna, la ubicación de los elementos por el espacio de maniobra interno, la empaquetadura interior (plástico, papel, tela, cartón, entre otros) que no permita ver el estado real del artículo o los artículos, algunas ventajas como la posible portabilidad, rapidez y tal vez bajo costo. Frente a estas dos grandes posibilidades de solución nuestra propuesta ofrece grandes ventajas como lo son el costo de cada aparato o máquina de verificación, la portabilidad tanto en oficinas de envío y recepción como en vehículos transportistas, la facilidad de manejo por cualquier tipo de operario con instrucciones básicas, la posibilidad de imprimir el espectro o los espectros en el envío para que el cliente los firme y los constate al final de la entrega, la fácil calibración de acuerdo al tamaño, tipo o manejo del paquete y finalmente la técnica no invasiva que le da al cliente la tranquilidad de que su paquete no ha sido manipulado ni violentado.

Por todo lo anterior, a partir de 2016 los inventores han trabajado en la Universidad EAN elaborando un prototipo de este sistema de vibraciones con el apoyo de Colciencias, obteniendo resultados positivos y llevando a cabo de forma sorprendente la clasificación de diferentes tipos de materiales en su espectro de vibración para identificación de patrones como se describe a continuación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La figura 1 identifica la metodología de extracción de la firma del análisis del espectro de vibración, denominado por los inventores como "Firma ViSPA" (Vibration Spectrum Analysis) de cualquier elemento a analizar.

En forma general, y de acuerdo con las figuras 1 - 11 la metodología de utilización del prototipo para extraer la Firma ViSPA de productos o elementos y comparar su similitud se realiza así:

1. Ubicar el producto o elemento al que se quiere extraer la Firma ViSPA dentro de la caja vibrante o encima de la bandeja (2).

2. Iniciar la aplicación del software de extracción y guardado de la Firma ViSPA.

3. Iniciar ciclo de captura de firma por 3 veces con la pregunta: ¿Es la firma VISPA capturada $n=3$?

3.1. Impactar la caja vibrante con el sistema de percusión o actuador lineal eléctrico o pistilo (4a).

3.2. Capturar la señal de vibración en el software mediante los sensores de vibración o acelerómetros (5 y 6).

3.3. Repetir los pasos 3 y 4 dos veces más con el fin de promediar los resultados.

4. Verificar las n firmas ViSPA y sus similitudes en la caracterización cuantitativa en frecuencia.

5. Guardar la firma ViSPA resultante del producto o elemento.

La metodología para el proceso de verificar un producto específico mediante su firma ViSPA es realizada según los siguientes pasos:

- 1. Realizar los pasos del 1 al 4 del procedimiento de extracción de firma.*
- 2. Comparar la firma ViSPA guardada frente a la base de datos de firmas ViSPA e identificar la que tenga una mayor similitud.*
- 3. Informar visualmente que producto o productos son similares, iguales o semejantes de acuerdo a la aplicación.*

Este sistema tipo escáner de productos basado en análisis de vibraciones estáticas se compone de unas características físico mecánicas mínimas relacionadas a continuación. Sin embargo, para algunas aplicaciones específicas el versado en la materia podrá realizar de acuerdo con la presente invención algunos cambios en los sistemas base como los que se verán posteriormente.

1. Una base estática (1) que se separa de la base amortiguada o caja vibrante (2) utilizando resortes (3) para evitar el paso de la vibración de la base amortiguada o caja vibrante (2) a la base estática (1).

2. Una base amortiguada o caja vibrante (2) que permite introducir o colocar elementos o productos a analizar y que permita transmitir la vibración a estos productos.
3. Un sistema de impacto o impulso de generación de vibración (4) a la base amortiguada o caja vibrante (2) y por lo tanto a los elementos introducidos en la misma.
4. Un sistema de sensorización basado en medidores de vibración o acelerómetros para captar el espectro de vibración producida (5 y 6).

En una modalidad preferida, la base amortiguada o caja vibrante (2) puede ser fabricada en acero Cold Rolled para cumplir con el efecto de transmisor de vibración.

En otra modalidad particular de la invención, (figura 2) el prototipo consta de una base estática (1) y una base amortiguada o caja vibrante (2) que permite la transmisión de vibraciones mecánicas a los elementos en estudio mediante un actuador lineal eléctrico o pistilo (4a) que impactará la bandeja superior (2) y a la vez permite el acceso a las señales producidas por los objetos. Para esto, la base (2) cuenta con sujeciones robustas y a la vez flexibles (3) que permiten su vibración prolongada.

En otra modalidad más preferida de la invención existen dos cajas como se observa en la figura 4 y 5, una (2) contenida dentro de la otra (1), unidas por resortes (3) logrando así una vibración de la caja vibrante tomando la exterior como sistema de referencia. La caja vibrante (2) interna que se observa en la figura 3 tiene agujeros roscados para el posicionamiento de sensores y la extracción de información de vibraciones axiales (5) y radiales (6). La separación entre ambas cajas está dada por los resortes (3) calculados a tensión y con la capacidad de transmitir la menor cantidad de vibración a la caja estática (1) y almacenar y distribuir la vibración en la caja vibrante. Así mismo, las figuras 3, 4 y 5 muestran la ubicación de los resortes (3) anteriores y posteriores y sensores del tipo acelerómetros axial (5) y radial (6).

También se debe tener en cuenta que la caja vibrante (2) debe ser percutida para conseguir su vibración, por lo tanto, la caja exterior (1) tiene abertura que permite el golpe de excitación a la caja vibrante (2).

En otra modalidad preferida, el diseño cuenta con un paso para el cableado y una distancia entre cajas que permita el posicionamiento de los sensores, actuador lineal de impacto y cables.

En otra modalidad preferida de la invención el equipo o escáner de vibración comprende un sistema portátil de impulso (10) el cual se adhiere a un contenedor usando electroimanes (12). Dicho sistema portátil de impulso (10)

se encargará de producir la vibración y se acoplará al contenedor cuando este izado, secundado por dos sistemas de sensorización (13 y 14). El sistema recibirá la señal para habilitar el actuador lineal eléctrico o pistilo (4a) por radiofrecuencia y el sistema de sensado (13, 14) enviará la información del espectro también por radiofrecuencia. Este prototipo tiene una utilización industrial aplicado al sector transporte y en este caso específico al análisis de contenido interno de los contenedores.

A continuación, se muestran tres ejemplos de identificación de producto realizados dentro de las diferentes aplicaciones del prototipo:

EJEMPLOS

1. **Ejemplo 1.** Control de calidad sobre bandas transportadoras para verificación del estado de alimentos u otros productos.
2. **Ejemplo 2.** Identificación de paquetería respecto al contenido interno.
(Descrito anteriormente)
3. **Ejemplo 3.** Sistema de identificación portátil y adaptable a contenedores para la identificación de productos internos.

A futuro se tiene en ideación y fase de diseño un sistema de identificación del estado del cuerpo humano y sus partes, esto con el fin de lograr identificar problemas o posibles enfermedades.

EJEMPLO 1

Control de Calidad

Este sistema de acuerdo con la figura 2 comprende dos bases: una base estática y una base amortiguada o caja vibrante. La base estática (1) utilizada es en sí misma es el actuador lineal de impacto. A este actuador se le llama shaker electrodinámico o base estática (1) y produce una frecuencia de vibración que se transfiere a una bandeja superior en acero Cold Rolled en este caso específico la bandeja es la base amortiguada o caja vibrante (2) dinámica. Esta bandeja está soportada por cuatro resortes (3). El shaker electrodinámico es activado por un actuador lineal eléctrico o pistilo (4a) que impactará en la bandeja superior con un sistema de control para producir la frecuencia y amplitud deseada. El material colocado sobre la bandeja superior (2) recibirá toda la frecuencia de vibración inducida por el shaker y reaccionará imprimiendo a esta frecuencia su correspondiente disipación sobre el material a identificar. Esta disipación se medirá con sensores tipo acelerómetro axial (5) y radial (6) y permitirá identificar el estado del material a analizar. Este prototipo tiene una

utilización industrial de control de calidad aplicado en gran medida al sector alimentos.

La siguiente explicación de las partes hace referencia a la figura 2:

1. Shaker electrodinámico (base estática)
2. Bandeja superior en acero Cold Rolled (base dinámica)
3. Resortes a compresión (cuatro (4) resortes)
- 4a. Actuador lineal del shaker (pistilo que impactará en la bandeja superior)
5. Sensor tipo acelerómetro (Axial)
6. Sensor tipo acelerómetro (Radial)

EJEMPLO 2.

Identificación de Paquetería.

Este sistema de acuerdo con las figuras 3, 4 y 5 sirve para colocar objetos dentro de la caja vibrante (2), los objetos no pueden superar el tamaño interno de esta caja. Luego de colocados se activa un actuador lineal eléctrico o pistilo (4a) que golpea la caja produciendo vibración sobre la misma y transmitiéndosela al objeto a analizar. Los sensores acelerómetros (5 y 6) captan y envían a un

computador esta señal para guardarla y luego poder compararla. Este prototipo tiene una utilización industrial en empresas de paquetería.

Explicación partes.

1. Caja soporte metálica en acero inoxidable

2. Caja vibrante en acero Coled Rolled

3. Resortes a tensión (cuatro (4) resortes superiores y cuatro (4) resortes inferiores)

4a. Actuador lineal eléctrico o pistilo (sistema de impacto por impulso)

5. Sensor tipo acelerómetro (Axial)

6. Sensor tipo acelerómetro (Radial)

EJEMPLO 3.

Identificación en Contenedores

Este sistema presenta un claro ejemplo de una de las características fundamentales de la invención que es la portabilidad.

De acuerdo con la figura 6 y 7 que muestran desde dos ángulos un contenedor que incluye el sistema portátil de impulso (10) en el cual la base amortiguada o caja vibrante será el mismo contenedor (1), el cual será objeto de análisis una vez este izado por la grúa móvil portuaria (no mostrada).

El sistema de las figuras 8 y 9 que obedece al sistema portátil de impulso (10), se adhiere al contenedor usando electroimanes (12). Dicho sistema portátil de impulso (10) se encargará de producir la vibración y se acoplará al contenedor (2) cuando este izado, secundado por dos sistemas de sensorización, uno exactamente en la cara contraria al contenedor (dirección axial) (14) y otro en cualquiera de las otras caras disponibles del contenedor (dirección radial) (13). El sistema recibirá la señal para habilitar el actuador lineal eléctrico o pistilo (4a) por radiofrecuencia y el sistema de sensado (13, 14) enviará la información del espectro también por radiofrecuencia. Este prototipo tiene una utilización industrial aplicado al sector transporte y en este caso específico al análisis de contenido interno de los contenedores.

En las figuras 8, 9 y 9a se detalla el sistema portátil de impulso (10) basado en una base plana con cuatro electroimanes de sujeción (12), un sistema de control basado en electrónica de potencia (21) controlado por radio frecuencia (20) y un actuador lineal eléctrico o pistilo (4a) para el sistema de impacto o impulso de generación de vibración (4).

Explicación de las partes

Sistema portátil de impulso, explicación partes.

4a. Actuador lineal eléctrico o pistilo (sistema de impacto por impulso)

8. Actuador lineal eléctrico (pistilo que impactará en el contenedor)

Placa plana

12. Electroimanes (cuatro electroimanes de sujeción)

20. Sistema de recepción por radiofrecuencia para control del actuador lineal eléctrico o pistilo

21. Sistema de control de potencia de electroimanes y actuador lineal eléctrico o pistilo

Las figuras 10 y 11 detallan por su parte el sistema portátil de sensorización (13, 14) que comprende en una base plana con dos electroimanes de sujeción (12), un sistema de envío de espectro, control y monitorización por radiofrecuencia (23) y un sistema de sensorización basado en dos sensores del tipo acelerómetro (5).

Explicación de las partes

23. Sistema de envío de espectro por radiofrecuencia

5. Sensor tipo acelerómetro

13, 14. Placa plana

12. Electroimanes (dos electroimanes de sujeción)

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso para generar la firma análisis del producto.

Figura 2. Equipo o sistema de la invención para análisis de calidad de material.

Figura 3. Caja interna vibrante para identificación de paquetería.

Figura 4. Equipo o sistema de la invención para análisis de paquetería incluyendo la caja externa e interna.

Figura 5. Equipo o sistema de la invención para análisis de paquetería incluyendo la caja externa e interna vista frontal.

Figura 6. Equipo o sistema de la invención para identificación de contenedores.

Figura 7. Equipo o sistema de la invención para identificación de contenedores vista trasera.

Figura 8. Sistema portátil de la invención, vista frontal.

Figura 9. Vista trasera del sistema portátil de la invención.

Figura 9a. Es un sistema de impulso de generación de vibración compuesto por: un actuador tipo electroimán, soportado sobre una base metálica adherida a la caja vibrante.

Figura 10. Sistema de sensores del sistema portátil, vista frontal.

Figura 11. Sistema de sensores del sistema portátil, vista trasera

RESUMEN DE LA INVENCION

La invención se refiere a un escáner por vibraciones que incluye una base estática y una base amortiguada o caja vibrante dentro de la cual se pondrá el objeto a analizar. La base estática permitirá la utilización de un sistema dinámico de impulso que impactará la base amortiguada o caja vibrante produciendo una onda de vibración y como resultante un espectro que será captado por sensores del tipo acelerómetros. La base es amortiguada gracias a resortes calculados a tensión para dar sujeción, pero a la vez permitir la libre oscilación. Los acelerómetros están ubicados axial y radialmente a la base amortiguada o caja vibrante permitiendo captar la señal vibratoria y adquirirla en un equipo de cómputo para un posterior tratamiento, clasificado, guardado y comparación.