

VISUALIZACIÓN DE VIBRACIONES SIN CONTACTO MEDIANTE CÁMARAS DE ALTA VELOCIDAD

Pablo Alloza Frutos^{1*}
Sergio Anda Pérez²

¹Technical Director, TRACK-NOISE

²Technical & Sales Manager, VIBLENS – Ingeniería del Silencio

RESUMEN

Esta publicación presenta un caso de estudio y aplicación de tecnologías de visualización y análisis de vibraciones con cámaras de alta velocidad y algoritmos optical flow, frente a técnicas tradicionales de medición de vibraciones. La posibilidad de realizar mediciones de vibraciones sin contacto en varios puntos simultáneamente ofrece nuevos puntos de vista y aplicaciones en entornos y situaciones complejas, tanto en el sector industrial como en estructuras civiles. Se ha realizado una campaña de medidas en un entorno controlado con ambos métodos, analizando el alcance de los datos registrados. Tras su análisis y comparación, se presentan los resultados obtenidos, evaluando la precisión, la eficiencia y las ventajas y desventajas de cada tecnología.

ABSTRACT

This publication presents a case study and application of vibration visualization and analysis technologies using high-speed cameras and optical flow algorithms compared to traditional vibration measurement techniques. The ability to perform non-contact vibration measurements at multiple points simultaneously offers new perspectives and applications in complex environments and situations, both in the industrial sector and civil structures. A measurement campaign has been conducted in a controlled environment using both methods, analyzing the scope of the recorded data. Following their analysis and comparison, the obtained results are presented, evaluating the accuracy, efficiency, and advantages and disadvantages of each technology.

Palabras Clave— visualización, vibraciones, video.

1. INTRODUCCIÓN

El control de la transmisión de vibraciones es fundamental en maquinaria de industria, oficinas, edificios residenciales, etc. Cuando se detecta un problema, por necesidades normativas, de análisis o de certificación, es necesario realizar mediciones. Existen numerosos equipos y tecnologías disponibles; los métodos más clásicos consisten en un vibrómetro y uno o varios acelerómetros que puede tener la capacidad de medir entre 1 y 3 ejes cada uno. Las nuevas tecnologías en el mercado permiten realizar un análisis ODS (*Operating Deflection Shape*) basado en videos registrados con cámaras de alta velocidad. De esta forma se optimiza el tiempo y esfuerzo en la adquisición de datos, sobre todo en escenarios donde se requiere instrumentar muchos sensores, ya que el único hardware necesario es un cámara de video.

ODS (formas de deflexión operacional, traducido al castellano) es un método de análisis para visualizar el comportamiento de patrones de vibración de máquinas, objetos y estructuras bajo diferentes condiciones de uso. Es necesario realizar mediciones de vibración en varios puntos referenciados con la geometría del objeto evaluado. Los resultados obtenidos se muestran como modelos animados de la geometría del objeto bajo estudio, relacionados con cada modo de vibración calculado.

Con los métodos tradicionales se utilizan sensores de vibración, acelerómetros o vibrómetros láser; con esta nueva tecnología, cada pixel definido en el video (en función de su resolución) es evaluado, proporcionando datos de muchos puntos en una sola adquisición. Usando sensores de vibración, el número de puntos de medida es limitado y el tiempo y coste de instrumentación puede ser muy considerable, además de la necesidad de construir o definir la geometría. Los vibrómetros láser tienen la ventaja de ser una tecnología sin contacto, así que no añaden peso al objeto, y pueden generar la geometría directamente; pero el tiempo de

* *Autor de contacto:* alloza@track-noise.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

instalación y procesado también puede ser alto, además de ser instrumentación generalmente muy cara.

Con esta nueva tecnología para medir vibraciones, que utiliza algoritmos Optical Flow HR, se reduce considerablemente el tiempo de instrumentación y adquisición de datos, además de proporcionar un gran número de canales virtuales. La lente y el zoom de la cámara de alta velocidad definen el tamaño de pixel y por tanto la resolución espacial del desplazamiento. Por otro lado, la tasa de muestreo define la frecuencia máxima que se puede analizar, según el teorema de Nyquist, es necesario el doble de frecuencia de muestreo (fps) que la frecuencia máxima a evaluar. Los resultados se pueden analizar, al igual que con las tecnologías tradicionales, en el dominio temporal y en el dominio frecuencial.

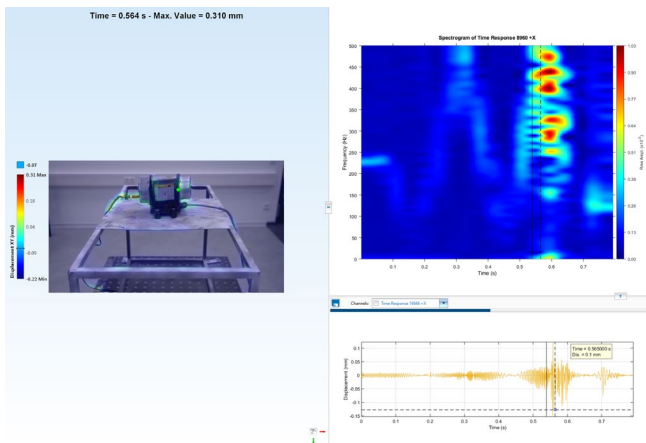


Figura 1. Ejemplo de análisis ODS con WaveCam en el dominio temporal: Motor eléctrico sobre soporte metálico. [4]

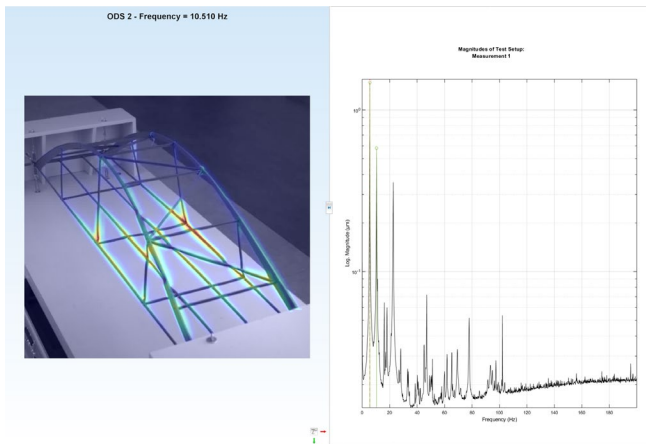


Figura 2. Ejemplo de análisis ODS con WaveCam en el dominio frecuencial: Maqueta de puente, resultado a 10.5 Hz. [4]

2. CASO DE ESTUDIO

2.1 Antecedentes

Se ha realizado una campaña de medidas utilizando diferentes técnicas de evaluación de vibraciones para compararlas entre sí. El objetivo fue evaluar unas unidades de climatización que tenían colocados amortiguadores nivelables de goma que parecían haberse degradado con el paso del tiempo y por estar a la intemperie. La máquina estaba en contacto con una carcasa protectora y las tuberías de aire y toda la instalación de tubos estaba en contacto rígido con el suelo/ Las bombas estaban ancladas rígidamente a la bancada, y ésta al suelo. El trazado de las tuberías del grupo de presión estaba desunido a las paredes mediante láminas de caucho.

A continuación, se muestra una vista general de la situación de la unidad exterior de climatización y de la instrumentación utilizada.



Figura 3. Vista general de unidad exterior de la máquina de aire acondicionado.



Figura 4. Instrumentación utilizada, cámara de alta velocidad y vibrómetro.

2.2 Cuadro resumen de puntos medidos

Lugar	Posición HSS	Medida HSS	Descripción	Med. SV
Azotea	1	2	Clima- pata 1 - Z	525
Azotea	2	3	Clima - pata 1 - Z	527
Azotea	2	3	Clima - pata 1 - Z	529
Azotea	3	4	Clima - pata 2 - Z	532
Azotea	3	4	Clima - pata 1 - X	533
Azotea	3	4	Clima - pata 1 - Y	534

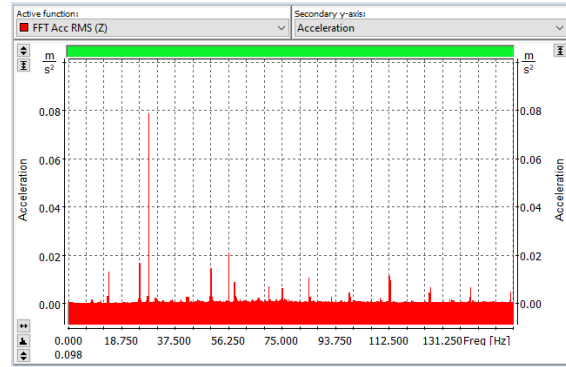


Figura 3. FFT SV527 (Pata 1Z).

2.3 Resultados mediciones

A continuación, se muestran los resultados de las mediciones realizadas con acelerómetro en un cuadro resumen:

Med. SV	Pico 1 [Hz // m/s ²]	Pico 2 [Hz // m/s ²]	Pico 3 [Hz // m/s ²]	Pico 4 [Hz // m/s ²]
525	16.11 // 0.024	32.23 // 0.127	64.94 // 0.0004	75 // 0.0001
527	14.06 // 0.013	25.59 // 0.001	28.22//0.079	50.4 // 0.001
529	14.06 // 0.014	25.10 // 0.011	28.22 // 0.039	56.45 // 0.024
532	14.06 // 0.015	25.20 // 0.008	28.22 / 0.039	56.44 // 0.013
533	14.06 // 0.026	28.22 // 0.094	56.44 // 0.12	84.67 // 0.043

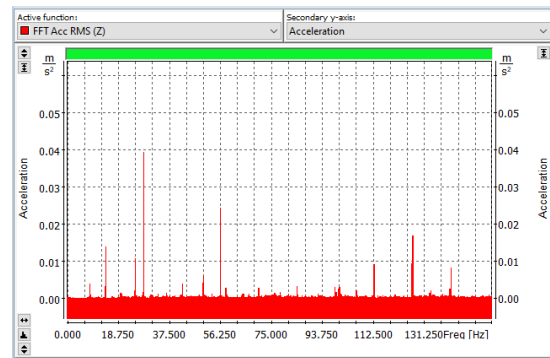


Figura 4. FFT SV529 (Pata 1Z).

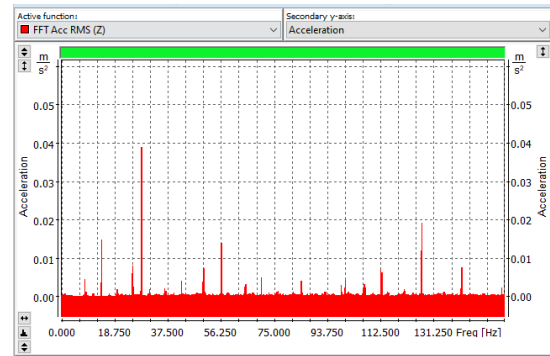


Figura 5. FFT SV532 (Pata 2Z).

Y los gráficos (FFT)

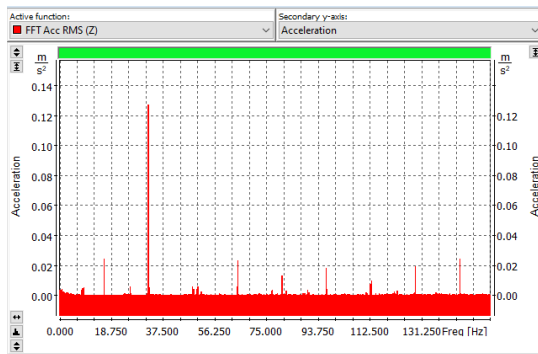


Figura 2. FFT SV525 (Pata 1Z).

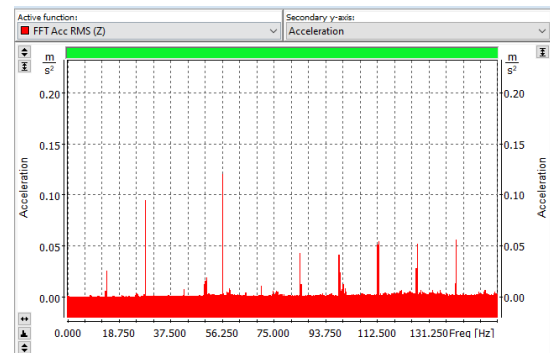


Figura 6. FFT SV533 (Pata 1X).

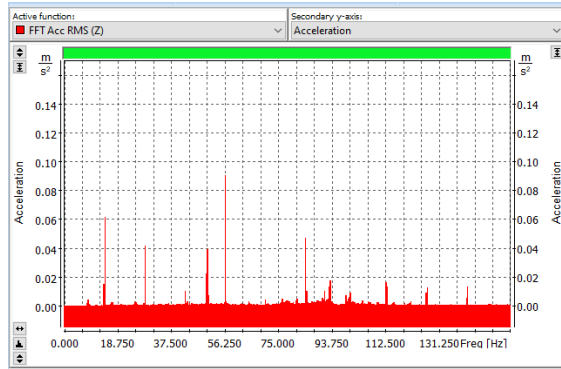


Figura 7. FFT SV534 (Pata 1Y).

A continuación se muestra el análisis mediante la herramienta WaveCam, centrado la evaluación en el soporte de la climatizadora (punto verde).

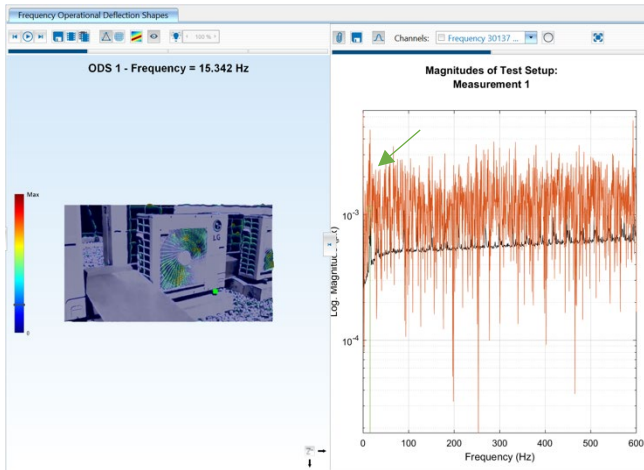


Figura 8. Resultado de análisis (Pata 1Z)

3. ECUACIONES UTILIZADAS

Razón de excitación (β):

$$\beta = f/f_0 \quad (1)$$

Atenuación antivibratoria (A) [%]:

$$A [\%] = 100 \left(1 - \frac{1}{\beta^2 - 1} \right) \quad (2)$$

4. EQUIPAMIENTO UTILIZADO

4.1 Medición tradicional de vibraciones

- Analizador de vibraciones marca Svantek, modelo SVAN954.
- Acelerómetro marca Svantek, modelo SV80.
- Cableado de conexión y base magnética

4.2 Medición con cámara de alta velocidad

- Software de visualización de vibraciones: WaveCam de gfai tech.
- Cámara de alta velocidad: Chronos 2.1 de Kron Technologies.

5. CONCLUSIONES

En esta publicación se ha evaluado un nuevo método de análisis ODS basado en video (WaveCam), comparándolo con otras tecnologías conocidas de análisis de vibraciones, en una campaña de mediciones sobre instalaciones industriales en un edificio residencial.

La herramienta WaveCam muestra resultados válidos comparándolos con métodos clásicos, como la evaluación mediante acelerómetros. Las mediciones y el procesamiento de datos son simples y rápidas, proporcionando una gran cantidad de resultados, ya que varios puntos de evaluación son calculados al mismo tiempo. Hay que tener en cuenta la influencia de las condiciones de luminosidad y de posibles superficies reflectantes, además de la necesidad de elegir varios puntos de evaluación adecuados.

A partir de los resultados obtenidos con ambas tecnologías, se pueden proponer soluciones de mejora y mitigación de vibraciones. Aunque la mayor energía se midió en frecuencias cercanas a 28 Hz, el primer pico se ha detectado alrededor de los 14 Hz, por lo que se propone sustituir los amortiguadores actuales por muelles metálicos de $3 < f_0 < 5$ Hz con lo que se logrará una atenuación $> 80\%$

Al colocar amortiguadores, se deben eliminar todos los contactos sólidos con cualquier estructura adyacente.

6. REFERENCIAS

- [1] Cyril M. Harris, "Manual de medidas acústicas y control del ruido", McGraw-Hill, Aravaca, 1995.
- [2] Bogatkov, Herfert, Gollnick. Rotational Operating Deflection Shapes Analysis with High Speed Camera. IMAC 2023, Austin, USA



[3] B. Schwarz, M.H. Richardson, “Introduction to Operating Deflection Shapes” CSI Reliability Week, Orlando, FL, October 1999.

[4] Vonrhein, Höna, “Vibration analysis base on video data for buildings and structures” Internoise 2023 Chiba, Japan.

[5] WaveCam Video vibration software.
<https://www.gfatech.com/products/structural-dynamics/vibration-analysis-with-wavecam> last accessed 2023-09-15