

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Implementación de la Técnica Euleriana de Video Amplificación y
Análisis Espectral de Pequeñas Vibraciones en Rango de Bajas
Frecuencias

Trabajo de investigación para obtener el grado académico
de Maestro en Física Aplicada que presenta:

Valentin Jorge Sarmiento Pumarayme

Asesor:

Richard Alberto Rivera Campos

Lima, 2025


Informe de Similitud

Yo, **Richard Alberto Rivera Campos**, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “Implementación de la técnica euleriana de video amplificación y análisis espectral de pequeñas vibraciones en rango de bajas frecuencias” del autor **Valentín Jorge Sarmiento Pumarayme**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 7%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 09/10/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

San Miguel, 10 de octubre de 2025

Apellidos y nombres del asesor: <u>Rivera Campos, Richard Alberto</u>	
DNI: 18099258	
ORCID: 0000-0003-3368-6419	Firma 

RESUMEN

Cualquier objeto que podamos observar en nuestro entorno está en movimiento, a veces de forma evidente y otras, que es en la mayoría de los casos, de forma casi imperceptible. La capacidad de percepción visual en los seres humanos es notablemente restringida en comparación con algunas especies animales. Solo somos capaces de captar una pequeña porción del espectro de luz y enfrentamos dificultades para detectar movimientos mínimos. Esta limitación implica que perdamos información valiosa sobre nuestro entorno.

Conscientes de esta limitación humana, diversos investigadores han estado experimentando con diferentes técnicas de procesamiento para videos digitales; en 2012, Hao-Yu Wu y su equipo del MIT (Massachusetts Institute of Technology) publicaron el artículo "Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World", presentando un innovador método que permite mejorar la intensidad de los colores y amplificar los pequeños movimientos presentes en registros de video. Esta técnica facilita la visualización de cambios prácticamente imperceptibles en video digitales, brindando así una nueva herramienta visual para mejorar nuestra comprensión del mundo que nos rodea.

La técnica de amplificación Euleriana ha encontrado amplias aplicaciones en una gran variedad de industrias y sectores. Por ejemplo, en el campo médico, se ha empleado esta técnica para detectar cambios sutiles en la tonalidad de la piel, lo cual resulta invaluable en el diagnóstico temprano de enfermedades dermatológicas y en la monitorización de la salud de los pacientes. En el sector del mantenimiento predictivo, donde se emplean equipos altamente sofisticados y costosos, donde detener la maquinaria para su evaluación no es preferible, o por el contrario no es posible instalar sensores convencionales, como en elementos rotativos o de difícil acceso. Para estos casos la amplificación Euleriana se aplica para detectar vibraciones perjudiciales en equipos en funcionamiento, como motores y conductos de fluidos, cuyo correcto funcionamiento es crucial para evitar accidentes de consecuencias significativas.

El presente trabajo de tesis se centra en la implementación del método de video amplificación Euleriano para pequeños movimientos. Este método al usar registros de video, es no invasivo, y como se mencionó anteriormente, tiene como objetivo amplificar las pequeñas vibraciones de bajas frecuencias presentes en una videograbación, los cuales suelen pasar desapercibidos a simple vista.

Se debe notar además que, dada la gran resolución de los videos digitales analizados, equivale a instalar tantos sensores como píxeles se evalúan por fotograma (miles), siendo esto último tal vez la mayor ventaja comparativa respecto de técnicas convencionales.

Dado que el movimiento captado por los píxeles de un video contiene diversos componentes frecuenciales, es posible también realizar un análisis espectral, pudiendo con esto, separar visualmente movimientos correspondientes a eventos distintos en frecuencia.

Por otro lado, uno de los aportes de este trabajo implica el uso de cámaras de teléfonos convencionales para los registros de video y un portátil de capacidad moderada (Windows 10 de 64 bits, 16GB de memoria RAM, Disco Duro SSD, Procesador Intel Core I7), así como el uso de software de licencia libre (Python v3.7) para obtener resultados útiles, aunque con cierta limitación de ancho de banda. Esta limitación puede superarse posteriormente utilizando una cámara de alta velocidad si fuera necesario.



CONTENIDO

RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	1
II. ARREGLO EXPERIMENTAL, HARDWARE Y SOFTWARE	1
III. AMPLIFICACIÓN DE PEQUEÑOS MOVIMIENTOS, FUNDAMENTOS TEÓRICOS	2
IV. LIMITACIONES DE LA APROXIMACIÓN LINEAL	2
V. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DE AMPLIFICACIÓN	3
V.A. Pirámide Laplaciana	4
a. Construcción de la pirámide Gaussiana de n niveles	4
b. Construcción de la pirámide Laplaciana	5
VI. HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA PARA VISUALIZAR EL ESPECTRO DE FOURIER –DESARROLLO Y CONTRASTE DE VALORES DE FRECUENCIAS	5
VI.A. Objetos Excitados con un Martillo de Impacto	6
a.1. Contrastando valores de las frecuencias características de una viga en voladizo de madera balsa	6
a.2. Contrastando valores de frecuencias características de una viga en voladizo de madera cedro	6
a.3. Contrastando valores de frecuencias características de una viga en voladizo de acero	7
VI.B. Objetos Excitados con un Actuador Electrodinámico	7
b.1. Contrastando valores de frecuencias características en una estructura reticular	7
b.2. Contrastando valores de las frecuencias características de una viga en voladizo de madera balsa	8
VII. RESULTADOS EXPERIMENTALES	8
a. Verificando la frecuencia del pulso cardiaco de una persona	8
b. Amplificando las vibraciones en una estructura reticular de base triangular	9
c. Amplificando las vibraciones en una estructura reticular de base cuadrada	10
VIII. CONCLUSIONES	10
IX. REFERENCIAS	11
X. ANEXO	11

Implementación de la Técnica Euleriana de Video Amplificación y Análisis Espectral de Pequeñas Vibraciones en Rango de Bajas Frecuencias

Valentin Sarmiento

Resumen— El sistema implementado tiene la capacidad de amplificar vibraciones sutiles de estructuras en movimiento utilizando la técnica de video amplificación Euleriana. El desarrollo de esta técnica, junto al análisis espectral previo la implementación de la técnica, permite visualizar vibraciones que suelen ser no observables directamente debido a su baja intensidad.

Palabras claves—Amplificación del movimiento, método Euleriano de video amplificación, transformada rápida de Fourier.

I. INTRODUCCIÓN

Las vibraciones son movimientos repetitivos alrededor de una posición de equilibrio y son provocadas por una o varias fuerzas externas que actúan continuamente o solo durante un breve intervalo de tiempo [1]. Este movimiento implica el intercambio repetitivo de energía potencial (almacenada en el sistema en función de su posición) y energía cinética (asociada al movimiento del sistema). Las vibraciones ocurren en una variedad de objetos y sistemas, desde partículas subatómicas hasta estructuras macroscópicas. En el contexto de la física, la ingeniería y otras disciplinas, las vibraciones se pueden describir mediante métricas observadas en su comportamiento temporal y espectral.

Cuando la frecuencia natural de la vibración de una estructura coincide con la frecuencia de la excitación externa, se presenta un fenómeno conocido como resonancia, el cual puede conducir a fallas estructurales. Debido a los eventuales efectos nocivos que vibraciones excesivas pueden tener en una estructura, las pruebas de vibración se volvieron un procedimiento estándar en el diseño y desarrollo de la mayoría de los sistemas de ingeniería [2].

Entre los dispositivos más comunes que registran vibraciones tenemos a los acelerómetros, los sismógrafos, velocímetros, micrófonos y termógrafos de vibración, los cuales utilizan en su operación principios electro dinámicos, piezoeléctricos, capacitivos, ópticos, magnéticos, electromagnéticos, radiación infrarroja y muchos otros más.

Si nos centramos en los acelerómetros, dispositivos que son los más comunes para registrar vibraciones, es necesario colocarlos de forma fija sobre la estructura analizada en una cantidad que varía según la naturaleza del elemento en estudio y los canales disponibles en la plataforma de adquisición de datos utilizada. Por otro lado, no siempre es posible desplegar acelerómetros en lugares determinados por razones operativas o de seguridad por lo que el presente estudio propone una alternativa complementaria.

En los años 2005 y 2006, Liu [3, 4], Wang [5] y otros investigadores realizaron un análisis detallado de movimientos sutiles de interés en grabaciones de vídeo, sus enfoques se basaron en una perspectiva matemática Lagrangiana, que implica la interpolación de datos conocidos para generar datos nuevos. En contraste, la investigación del 2012 liderada por Wu-Yu [6, 7], adoptó una perspectiva matemática de naturaleza Euleriana, que

consiste en aproximaciones sucesivas de una ecuación diferencial ordinaria mediante pasos pequeños para resaltar cambios sutiles en secuencias de fotogramas en una videograbación.

El desarrollo del presente trabajo se basa en la técnica propuesta por Wu-Yu para amplificar pequeños movimientos; para registrar cada fotograma del video, utilizamos principalmente la cámara de un smartphone de gama media que provee una resolución aceptable (resolución mínima de 640x480 píxeles). Utilizando la técnica de video amplificación Euleriana, cada píxel de un fotograma se comporta como un sensor de movimiento. Siendo que las imágenes captadas por una cámara disponen de miles de píxeles, esto, aplicado a nuestro objetivo equivale a instalar tantos acelerómetros como píxeles se evalúan por fotograma (miles); este último es la mayor ventaja comparativa respecto de técnicas convencionales de registro de movimiento.

II. ARREGLO EXPERIMENTAL, HARDWARE Y SOFTWARE

Al diseñar el arreglo experimental para amplificar los pequeños movimientos, es necesario tener ciertas consideraciones.

La video cámara debe de estar montada en un trípode y este sobre una superficie estable libre de vibraciones externas, a una distancia mínima de 50 cm del sistema bajo análisis; la iluminación general debe de ser la más adecuada, de preferencia iluminación led o luz natural; las imágenes a registrar deben de tener un buen nivel de contraste y estar debidamente enfocadas.

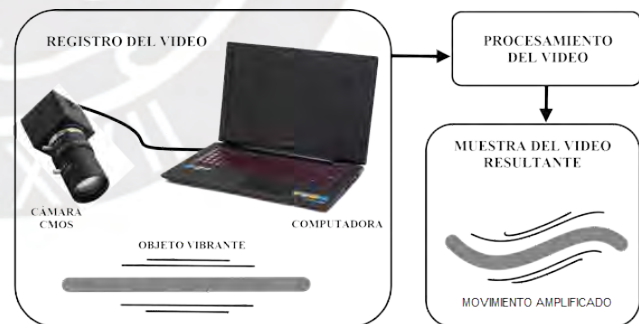


Fig. 1. Esquema general del Sistema de Amplificación de Movimiento.

La dimensión de cada fotograma capturado por la cámara de vídeo varía según la resolución de la misma. En los experimentos, se optó por vídeos de alta definición (1280x720 píxeles) con una duración mínima de 30 segundos, lo que proporciona una muestra de 900 fotogramas. el tiempo requerido para procesar los fotogramas adquiridos a esta resolución fue alrededor de los 10 minutos.

El desarrollo del software se llevó a cabo empleando el lenguaje de programación Python v3.7 de licencia libre, junto con sus diversas librerías especializadas en el procesamiento de

imágenes. Se ha observado que la velocidad de ejecución del programa es directamente dependiente de las capacidades de procesamiento de los recursos de cómputo utilizados. En este caso, se empleó una computadora equipada con un procesador Intel Core i7-4710HQ de segunda generación, arquitectura de 64 bits, y un disco duro SSD, respaldada por 16 GB de memoria RAM. Además, incorpora una unidad gráfica independiente GeForce GTX 860M (2 GB) de Nvidia. Para la captura de videos, se utilizó la cámara del smartphone Samsung Galaxy Note 8.

III. AMPLIFICACIÓN DE PEQUEÑOS MOVIMIENTOS, FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Si empleamos un microscopio para examinar un objeto, podríamos observar las pequeñas irregularidades de su superficie. Además, al observar con mayor detalle, es posible notar pequeños movimientos que generan sutiles cambios en la tonalidad del color de la superficie del objeto. De manera análoga, el método computacional de video amplificación Euleriano [6], analiza las pequeñas variaciones de tonalidad o intensidad de un píxel entre fotogramas consecutivos de un vídeo. Debido a que estos cambios son mínimos, el comportamiento de su intensidad luminosa puede aproximarse como una función lineal en el tiempo, para luego calcular su comportamiento en el dominio de la frecuencia.

Cada fotograma puede ser interpretado como una matriz de intensidad, donde cada elemento representa la luminosidad de un píxel en una ubicación particular. Si se representa la variación temporal de la intensidad de un píxel ubicado en una posición x (de una fila o columna de la matriz que representa un fotograma) [7] como una función de desplazamiento $\delta(t)$, se obtiene:

$$I(x, t) = f(x + \delta(t)) \quad (1)$$

Entonces para $t=0$ y sin desplazamiento, $I(x, 0) = f(x)$.

Con el objetivo de amplificar los desplazamientos, es necesario modificar la señal de la ecuación (1) e introducir un factor de amplificación. Para lograr esto, se empieza restando dos fotogramas consecutivos con el fin de detectar las variaciones de intensidad de cada píxel. Este proceso permite obtener:

$$B(x, t) = I(x, t) - I(x, 0) \quad (2)$$

Si se considera que los desplazamientos tienen una pequeña amplitud, se puede aplicar la serie de Taylor de primer orden para aproximar la función de cambio de intensidad lumínica de cada píxel a una función lineal, entonces, tomando la ecuación (1) y asumiendo siempre que el desplazamiento $\delta(t)$ es pequeño, se puede aproximar el primer término como:

$$I(x, t) \approx f(x) + \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x} \quad (3)$$

Reemplazando $I(x, t)$ de la ecuación (3) en la ecuación (2) y conociendo que $I(x, 0) = f(x)$, se tiene que las variaciones de intensidad en x toman la forma:

$$B(x, t) \approx \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x} \quad (4)$$

De acuerdo a Horn & Schunck [8]. La ecuación 4 es la aproximación de primer orden a la ecuación de persistencia de brillo en flujo óptico. La variación de intensidad en x será entonces el producto entre el desplazamiento $\delta(t)$ y la gradiente espacial $\frac{\partial f(x)}{\partial x}$.

Ahora se multiplica la señal obtenida para las variaciones de intensidad, $B(x, t)$, por un factor de amplificación α y luego se suma a la señal original, $I(x, t)$, para obtener:

$$\tilde{I}(x, t) = I(x, t) + \alpha B(x, t) \quad (5)$$

Combinando las ecuaciones (3), (4) y (5), se tiene:

$$\tilde{I}(x, t) \approx f(x) + (1 + \alpha) \delta(t) \frac{\partial f(x)}{\partial x} \quad (6)$$

Siempre que $(1 + \alpha)$ sea pequeña, al menos lo suficiente como para que una función de Taylor de primer orden sea válida, se puede relacionar la ecuación anterior a la amplificación del desplazamiento, tal que:

$$\tilde{I}(x, t) \approx f(x + (1 + \alpha) \delta(t)) \quad (7)$$

Este enfoque demuestra que el procedimiento planteado, amplifica los sutiles desplazamientos espaciales, $\delta(t)$, entre fotogramas consecutivos de un video digital, por un factor $(1 + \alpha)$.

A continuación, se presenta una figura que ilustra la teoría anteriormente mencionada junto a una breve descripción de la misma.

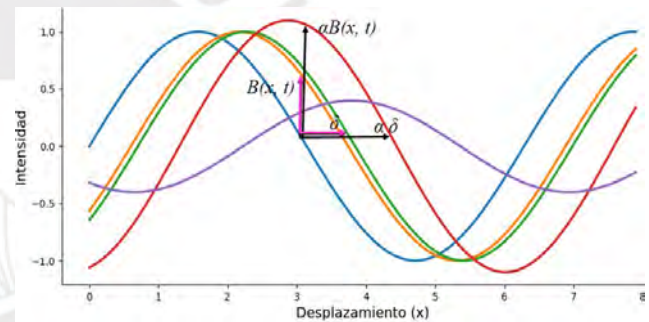


Fig. 2. $f(x)$, $f(x+\delta)$, $f(x) + \delta(t) [\partial f(x)/\partial x]$,

$B(x, t)$, $f(x) + (1+\alpha) \cdot B(x, t)$.

La variación de intensidad en un píxel en la posición x es el producto entre el desplazamiento y la gradiente espacial, esto puede verse como un triángulo rectángulo en la Figura 2, cuyos catetos representan, la variación de intensidad temporal (borde vertical marcado $B(x, t)$) y el desplazamiento (borde horizontal marcado δ), cuya hipotenusa (curva verde entre las curvas) tiene una pendiente igual a la derivada espacial del fotograma ($\frac{\partial f(x)}{\partial x}$).

La variación de las intensidades píxel a píxel son aproximadas al desplazamiento espacial. La señal de entrada es mostrada a dos tiempos: $I(x, 0) = f(x)$ para $t=0$ (azul) e $I(x, t) = f(x + \delta)$ para un tiempo t (naranja), la serie de Taylor de primer orden de $I(x, t)$ alrededor de x se aproxima a la señal trasladada (verde). La diferencia puntual entre los fotogramas (morado) es amplificada y añadida a la señal original para generar un mayor desplazamiento (rojo). Aquí, el factor de amplificación α es 1, amplificando el movimiento al 100%.

IV. LIMITACIONES DE LA APROXIMACIÓN LINEAL

La amplificación lineal, fundamentada en aproximaciones de la serie de Taylor de primer orden, pierde precisión aceptable cuando el factor de amplificación es considerable o cuando el movimiento analizado es muy amplio. En situaciones donde el movimiento de entrada excede ciertos límites, la serie de Taylor

inicial se vuelve imprecisa (ver ecuación 3), resultando en una salida que contiene distorsiones no deseadas, como movimientos espurios (ruido), en lugar de la amplificación esperada.

Otra limitación del método es que, además de amplificar el movimiento en la videograbación, también amplifica el ruido presente en él. Por ejemplo, si consideramos que el valor de intensidad $I(x, t)$ incluye un término independiente de ruido gaussiano $n(x, t)$ con una varianza σ^2 agregado a él, la diferencia entre fotogramas en el tiempo t y en el tiempo θ contiene el término de ruido $n(x,t)-n(x,\theta)$, con una varianza de ruido de $2\sigma^2$. Este término de ruido se amplifica por un factor α , y como resultado, el video resultante tendrá un ruido con una varianza de $2\alpha^2\sigma^2$, lo que implica un nivel de ruido mayor que en los fotogramas del video original antes del procesamiento [9, 10].

Una limitación adicional es que únicamente se puede capturar movimientos que se producen a frecuencias menores que la frecuencia de muestreo de Nyquist de la cámara utilizada (14 fotogramas por segundo).

V. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DE AMPLIFICACIÓN

A continuación, se describe el algoritmo de amplificación paso a paso:

1. Entrada del video

- El algoritmo recibe como entrada un video, compuesto por una secuencia de imágenes o fotogramas, que contiene los movimientos a amplificar.
- Cada fotograma del video se representa como una matriz de píxeles.

2. Descomposición del video

El objetivo es separar la información espacial y temporal del video para analizar los pequeños movimientos. Esto se hace en dos partes:

a. Filtrado espacial (Pirámide Laplaciana [11,12,13]):

- Se descompone cada fotograma del video en varios niveles de detalle o resolución decreciente (Figura 3), utilizando el algoritmo de la pirámide Laplaciana (detallado en V.A. página 4).
- Cada nivel o capa generada, contienen solo los detalles específicos de cada nivel, eliminando la información redundante que ya esté representado en niveles diferentes.
- Esto permite luego, analizar las frecuencias espaciales del video de manera jerárquica según el nivel de la pirámide.

b. Filtrado temporal (Análisis por bandas):

- Una vez que los niveles espaciales han sido separados (Figura 3), se analiza cada nivel procesando las variaciones de intensidades de los píxeles a lo largo del tiempo entre fotogramas consecutivos correspondientes a un mismo nivel.
- El tiempo transcurrido entre fotogramas consecutivos se calcula como $d = 1/fps$, donde el valor de fps (fotograma por segundo) corresponde a la velocidad a la que la cámara captura cada fotograma del video.
- Para analizar la frecuencia de la variación de intensidad de píxeles o regiones específicas en una secuencia de

fotogramas a través del tiempo (ver Figura 4), se usa la Transformada Rápida de Fourier (FFT) [14, 15, 16]. Este proceso es útil para identificar frecuencias temporales asociadas a cambios de intensidad debido a pequeños movimientos presentes en el video.

- Una vez obtenidos todos los valores de frecuencias, se aísla aquellas correspondientes a los movimientos que se desean amplificar, utilizando un filtro o máscara pasa banda (Figura 5).
- Para facilitar la elección del rango de frecuencias que incluya la frecuencia del movimiento a amplificar, se desarrolló una herramienta complementaria (detallada en VI, página 5). Esta herramienta permite, de una forma sencilla, estimar el rango de frecuencias más adecuado.

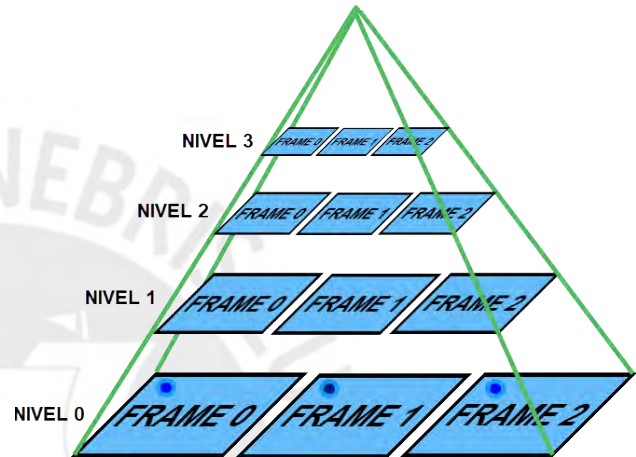


Fig. 3. Representación de la descomposición de un video en 4 niveles mediante el algoritmo de la pirámide Laplaciana. En esta representación, el video original consta de únicamente 3 fotogramas. El punto azul representa un píxel en una posición específica, cuya intensidad varía entre los diferentes fotogramas de un mismo nivel a lo largo del tiempo.

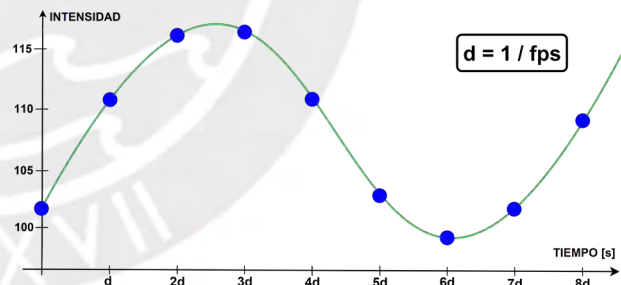


Fig. 4. Representación de la variación de intensidad de un píxel a lo largo del tiempo entre nueve fotogramas consecutivos de un mismo nivel. Los distintos valores de intensidad, registrados a lo largo de un intervalo de tiempo, describen una señal sinusoidal con un período de $7d$.

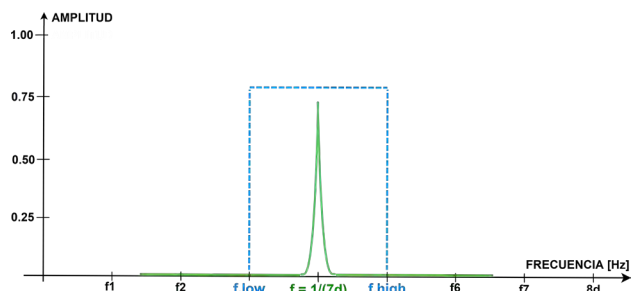


Fig. 5. Representación del espectro en frecuencias de la señal de la Figura 4. El rango de frecuencias comprendidas entre f_{low} y f_{high} contiene a la frecuencia del movimiento que podría desearse aislar para su posterior amplificación.

3. Amplificación del movimiento

- Se aplica la Transformada Inversa de Fourier (IFFT) a la señal filtrada obtenida en el paso anterior. Dado que la información original es real, se descarta la parte imaginaria del resultado. Entonces para amplificar la señal filtrada original, se multiplica la parte real de la IFFT por el factor de amplificación.
- Luego del paso anterior se logra amplificar las variaciones de intensidad dentro de rango de las frecuencias seleccionadas.

4. Reconstrucción del video

Después de amplificar las señales, se reconstruye el video aplicando el proceso inverso:

- Se combinan los niveles de resolución espacial en una imagen completa mediante la reconstrucción de la pirámide Laplaciana, para esto se duplican las dimensiones del fotograma de un nivel superior y se le suma al fotograma del nivel inferior, repitiendo este proceso hasta llegar al nivel de la base de la pirámide.
- Se ensambla los fotogramas procesados para formar el video con los pequeños movimientos amplificados.

5. Salida del video

El resultado final es un nuevo video donde los movimientos sutiles ahora son visibles según el rango de frecuencias elegido.

A continuación, se detalla el algoritmo para la obtención de la pirámide Laplaciana de n niveles:

V.A. Pirámide Laplaciana

El algoritmo de la pirámide Laplaciana aplicada a una estructura de datos, es una técnica utilizada en procesamiento de imágenes para la detección de bordes, la compresión de imágenes y otras aplicaciones de visión por computadora. Esta técnica se basa en la idea de que los detalles de una imagen se pueden representar mediante diferencias entre versiones suavizadas de la misma.

Para crear una pirámide Laplaciana de n niveles es necesario construir previamente una pirámide Gaussiana a continuación, describimos los dos pasos necesarios para la obtención de una pirámide Laplaciana.

a. Construcción de la pirámide Gaussiana de n niveles

La pirámide Gaussiana se basa en el uso de un filtro del mismo nombre. el cual aplica una máscara con distribución gaussiana a cada píxel que compone un fotograma para reemplazar su valor por el promedio ponderado de sus píxeles vecinos; dando lugar a una nueva imagen más suave y con menos detalles finos (Figura 6), la máscara gaussiana da más peso a los píxeles cercanos y menos a los lejanos alrededor un píxel específico.

El proceso comienza con la creación de una serie de imágenes suavizadas, derivadas de una imagen inicial, mediante la aplicación de un filtro Gaussiano. Se toma una imagen i , se le aplica el filtro para suavizarla y luego se reduce su tamaño a la mitad. La imagen resultante se convierte en el nivel $i+1$ de la pirámide en formación. Este proceso se repite hasta formar los n niveles en la pirámide (Figura 7).

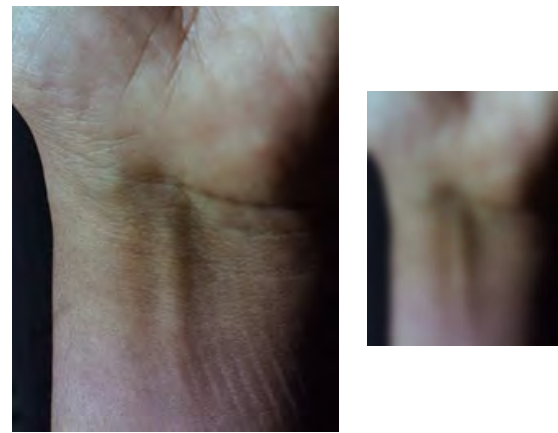


Fig. 6. Imagen original a la izquierda e imagen resultante luego de reducir sus dimensiones a la mitad aplicando un filtro Gaussiano

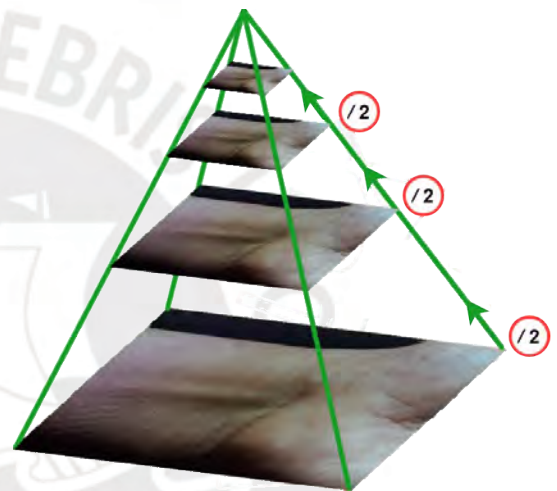


Fig. 7. Visualización una pirámide Gaussiana ejemplo de 4 niveles, donde cada imagen, comenzando con la imagen de la base de la pirámide, es reducida a la mitad de sus dimensiones con respecto a la imagen anterior.

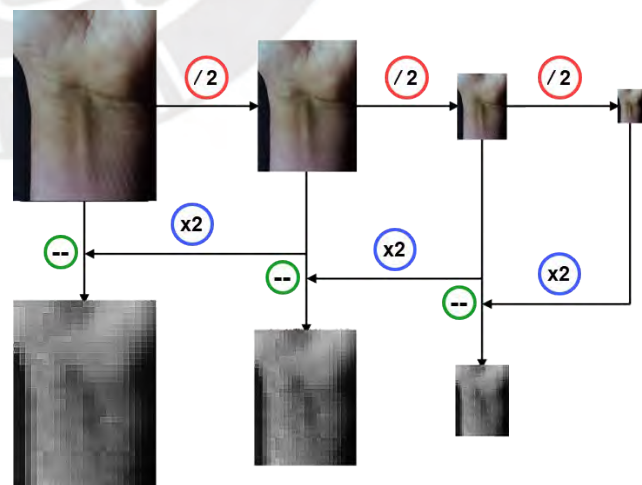


Fig. 8. Luego de construir una pirámide Gaussiana (fila superior de imágenes, pirámide ejemplo de 4 niveles), se procede a construir la pirámide Laplaciana (fila inferior de imágenes), se toma el último nivel de la pirámide Gaussiana, se duplica su tamaño y se resta del nivel anterior de la pirámide. Este proceso se repite, duplicando las dimensiones del resultado en cada iteración y restándola del nivel correspondiente, hasta llegar a la base de la pirámide.

b. Construcción de la pirámide Laplaciana

Una vez creada la pirámide Gaussiana, se procede a construir la pirámide Laplaciana. Se comienza con la imagen del nivel superior n de la pirámide Gaussiana, la cual se duplica en tamaño utilizando un algoritmo de interpolación y luego se le resta la imagen del nivel inferior $n-1$, obteniendo una nueva imagen. Este proceso se repite de forma iterativa con cada nueva imagen obtenida hasta llegar a la imagen base de la pirámide (Figura 8).

Este algoritmo produce una versión filtrada de la imagen original que resalta los detalles y las discontinuidades, en particular, los contornos o bordes de los objetos presentes en la imagen, así como las transiciones de intensidad en la misma.

VI. HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA PARA VISUALIZAR EL ESPECTRO DE FOURIER – DESARROLLO Y CONTRASTE DE VALORES DE FRECUENCIAS

Para una mayor asistencia al usuario del software, se desarrolló una herramienta complementaria que permite visualizar las frecuencias características presentes en el sistema en movimiento, previo a la aplicación del algoritmo de amplificación Euleriano.

Esta herramienta resulta muy útil al momento de escoger el rango de frecuencias de los movimientos presentes en el video que se deseen amplificar. A continuación, describimos paso a paso el algoritmo de la herramienta complementaria.

1. Selección de una región de interés (ROI)

- Con la ayuda del mouse, el usuario escoge una región o zona de interés dentro de los márgenes de un fotograma (rectángulo rosa en la Figura 9).
- La ROI, a criterio del usuario, es la región que presenta las mejores condiciones para aplicar el algoritmo de la herramienta complementaria, como contraste o iluminación óptima.

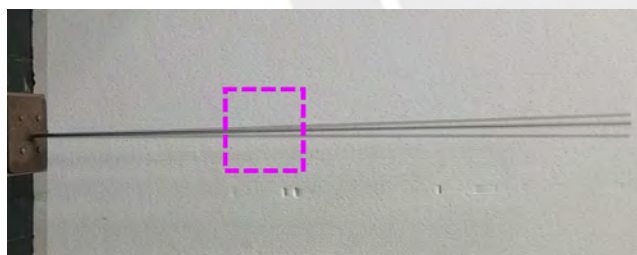


Fig. 9. Imagen ejemplo de un video que muestra una viga en voladizo en movimiento, donde el usuario, con la ayuda del mouse, selecciona una región específica que presenta las mejores condiciones para aplicar el algoritmo de la herramienta complementaria.

2. Aumentando la resolución de la ROI

- Se descarta toda el área del fotograma que queda fuera de los límites de la ROI, generando un nuevo fotograma más pequeño.
- Con el fin de mejorar la resolución del nuevo fotograma, sus dimensiones se amplían mediante la técnica de interpolación bilineal, alcanzando hasta cuatro veces su tamaño original (Figura 10.A).

3. Hallar el contorno y centroide de los objetos presentes en el fotograma

- Se identifican los contornos de los objetos presentes en el

nuevo fotograma y se calcula la posición del centroide de la área formada (Figura 10.B).

4. Determinar la variación de la posición del centroide a lo largo del tiempo

- El tiempo transcurrido entre fotogramas consecutivos se calcula como $d = 1/fps$.
- En cada intervalo de tiempo d se identifica la posición x e y del centroide. Para este ejemplo la posición del centroide cambia principalmente solo en el eje y (Figura 11).

5. Cálculo de la FFT y Visualización del espectro en frecuencias

- Con la ayuda de la Transformada Rápida de Fourier se puede convertir la señal generada, representada en el dominio del espacio por distintas posiciones del centroide a lo largo del tiempo, al dominio de las frecuencias (Figura 12).

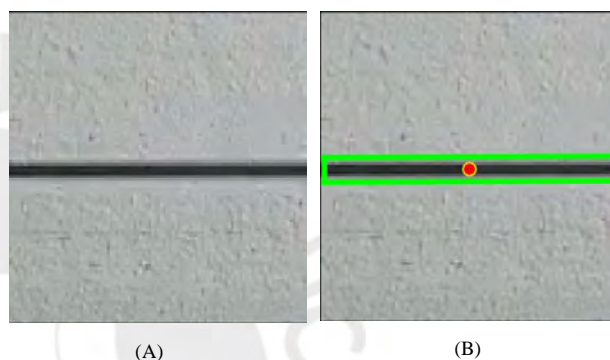


Fig. 10. (A) ROI con resolución amplificada hasta en 4 veces sus dimensiones originales. (B) Contorno (líneas verdes) y centroide (punto rojo) de un objeto presente en la ROI.

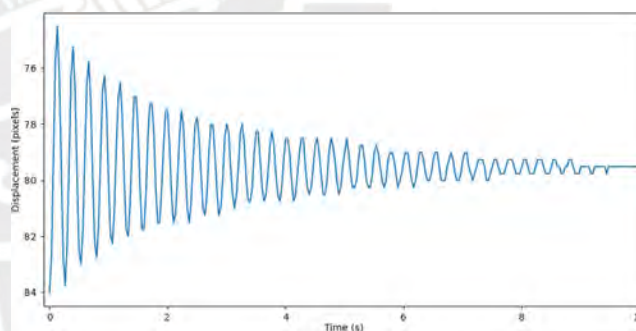


Fig. 11. Variación de la posición vertical del centroide, entre fotogramas, a lo largo del tiempo

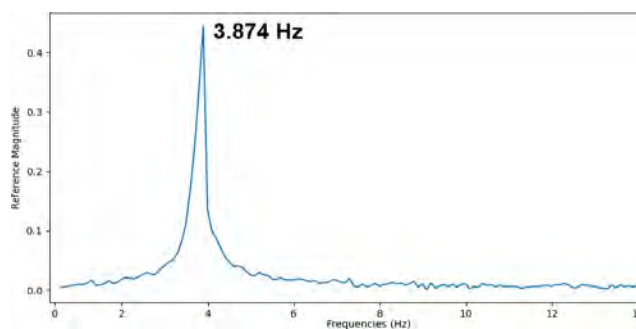


Fig. 12. Espectro en frecuencias de la señal mostrada en la Figura 11. Se puede identificar fácilmente la frecuencia de oscilación del objeto en movimiento.

6. Contrastando resultados usando equipo de laboratorio para análisis de señales

Con la finalidad de comprobar la efectividad de la herramienta complementaria se contrastó sus resultados con los resultados obtenidos por un equipo de análisis de señales de laboratorio.

Con la ayuda de un mini acelerómetro (Bruel & Kjaer - 4374) y un analizador de señales (Bruel & Kjaer - Type 3160-B-042) se realizaron mediciones en tres vigas en voladizo con diferentes propiedades mecánicas (madera balsa, madera cedro y acero) y en una estructura reticulada de madera en forma de paralelepípedo de 3 niveles. Todos estos objetos fueron excitados usando un martillo de impacto (ver Figura 13) y un actuador electrodinámico (ver Figura 14).



Fig. 13. Excitando una viga en voladizo de madera balsa con un martillo de impacto y recolección de datos para el análisis de las señales.

En la Figura anterior, utilizando un martillo de impacto (Bruel & Kjaer - 8202), se excitó la viga de madera balsa con un golpe controlado, el mini acelerómetro colocado en la superficie de la viga junto con el software de captura y procesamiento de señales, registra la respuesta de la estructura al impacto en términos de aceleración y fuerza de impacto a lo largo del tiempo, permitiendo así identificar sus características dinámicas.

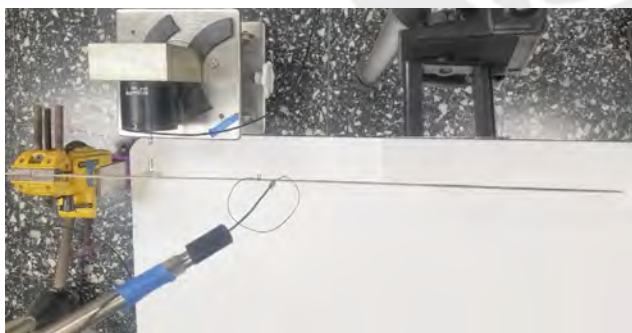


Fig. 14. Uso de un actuador electrodinámico para inducir vibración en una viga en voladizo de madera balsa y recolección de datos para el análisis de las señales.

El actuador electrodinámico (Bruel & Kjaer - 4810) puede producir un rango de frecuencias, desde muy bajas hasta muy altas, este dispositivo genera fuerzas dinámicas que varían en frecuencia y amplitud, y junto al mini acelerómetro, colocado en la superficie de la viga, permite estudiar la respuesta vibratoria de la estructura en prueba e identificar sus características dinámicas.

A continuación, comparamos los resultados obtenidos con los instrumentos de laboratorio versus aquellos generados por la herramienta complementaria desarrollada para determinar las frecuencias características presentes en un sistema en movimiento.

VI.A. Objetos Excitados con un Martillo de Impacto

En los siguientes experimentos, se excitaron diferentes objetos con el martillo de impacto y luego se compararon los resultados obtenidos.

(a.1) Contrastando valores de las frecuencias características de una viga en voladizo de madera balsa

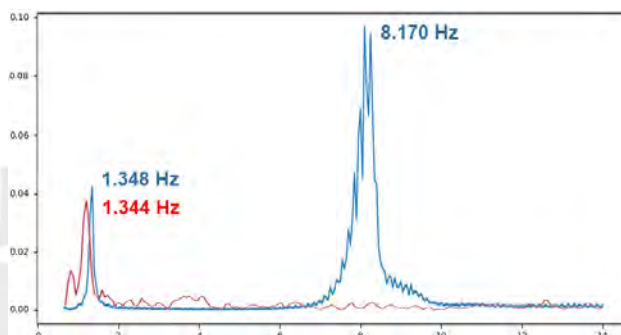


Fig. 15. Espectro de frecuencias de la viga de madera balsa. Señal en azul, hallada con el equipo de laboratorio de análisis de señales. Señal en rojo, hallada con la herramienta complementaria.

La diferencia entre la medición realizada con el equipo de análisis de señales y la herramienta complementaria fue de 0.004 Hz. Como puede observarse Figura 15, para la señal en rojo, el software no pudo detectar la segunda frecuencia característica de 8,170 Hz, debido al breve tiempo que este estuvo presente en el video. Esto puede resolverse utilizando una cámara de alta velocidad, que permita obtener una mayor cantidad de muestras y, por lo tanto, capturar más datos sobre ese valor de frecuencia.

(a.2) Contrastando valores de frecuencias características de una viga en voladizo de madera cedro



Fig. 16. Viga en voladizo de madera cedro usada en este experimento.

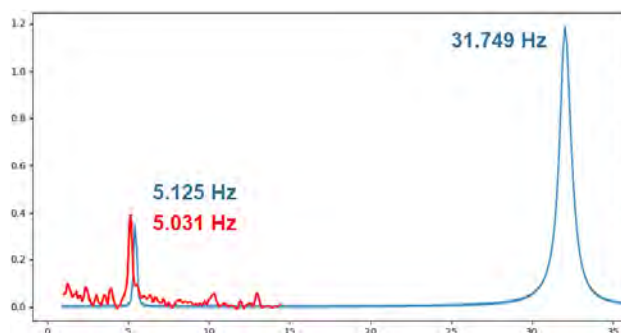


Fig. 17. Espectro de frecuencias de la viga de madera cedro. Señal en azul, hallada con el equipo de laboratorio de análisis de señales. Señal en rojo, hallada con la herramienta complementaria.

La diferencia entre la medición realizada con el equipo de análisis de señales de laboratorio y el programa fue de 0.094 Hz. Cabe notar que el software no pudo detectar la segunda frecuencia característica de 31,7 Hz, puesto que el arreglo experimental del presente trabajo solo se puede identificar frecuencias hasta un máximo de 14 Hz. Este problema podrá resolverse al utilizar una cámara de alta velocidad, que permita tener un mayor ancho de banda de frecuencias a procesar.

(a.3) Contrastando valores de frecuencias características de una viga en voladizo de acero



Fig. 18. Viga en voladizo de acero usada en este experimento.

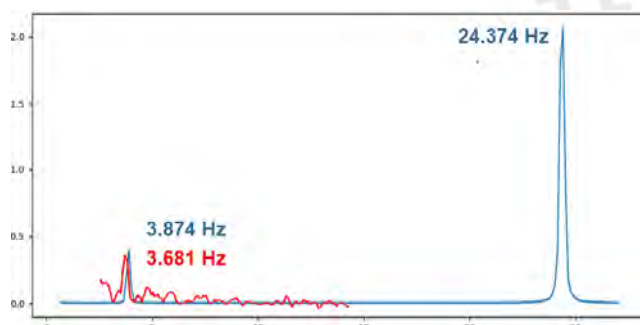


Fig. 19. Espectro de frecuencias de la viga de acero. Señal en azul, hallada con el equipo de laboratorio de análisis de señales. Señal en rojo, hallada con la herramienta complementaria.

La diferencia entre la medición realizada con el equipo de análisis de señales y el software fue de 0.193 Hz. Cabe destacar que la herramienta complementaria no pudo detectar la segunda frecuencia característica debido a las mismas razones explicadas en el caso de la viga de madera de cedro (a.2).

VI.B. Objetos Excitados con un Actuador Electrodinámico

En seguida se evalúa el comportamiento dinámico de dos estructuras, un paralelepípedo reticulado de madera de 3 niveles y una viga en voladizo de madera balsa. El actuador electrodinámico realizó un barrido de frecuencias desde 0 a 50 Hz y luego se compararon los resultados obtenidos.

(b.1) Contrastando valores de frecuencias características en una estructura reticular



Fig. 20. Uso de un actuador electrodinámico para inducir vibración en una estructura reticulada y recolección de datos para el análisis de las señales.

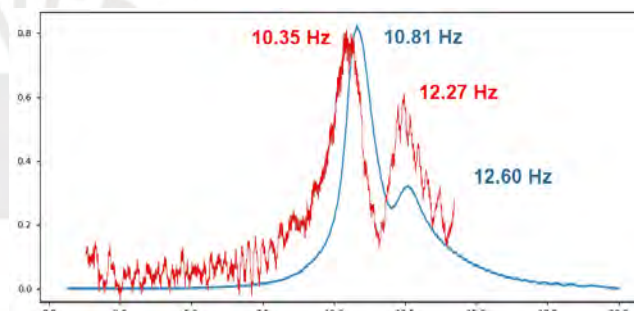


Fig. 21. Espectro de frecuencias de la estructura reticular. Señal en azul, hallada con el equipo de laboratorio de análisis de señales. Señal en rojo, hallada con la herramienta complementaria.

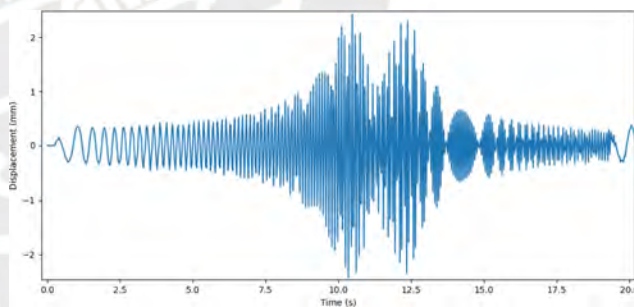


Fig. 22. Amplitud del movimiento en el eje horizontal del nodo superior derecho de la estructura reticulada a lo largo del tiempo.

En la figura 22, se observa que la envolvente de la curva temporal después del barrido de frecuencias es similar a la magnitud del espectro de frecuencias presentado en la Figura 21. Además, la envolvente muestra dos amplitudes máximas, que corresponden a las dos frecuencias características indicadas en la misma figura.

La diferencia promedio entre la medición realizada con el equipo de análisis de señales de laboratorio y la herramienta complementaria fue de 0.390 Hz. Aunque el espectro obtenido con el software desarrollado resultó con algo de ruido en su magnitud, puede diferenciarse claramente las dos frecuencias características presentes en la estructura en movimiento.

(b.2) Contrastando valores de las frecuencias características de una viga en voladizo de madera balsa

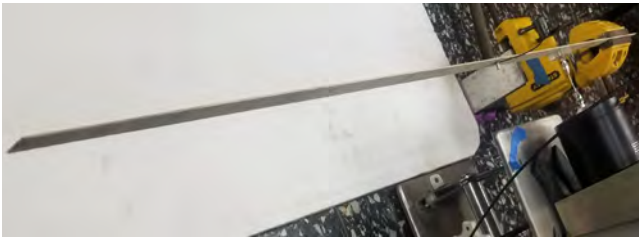


Fig. 23. Uso de un actuador electrodinámico para inducir vibración en una viga en voladizo de madera balsa y recolección de datos para el análisis de las señales.

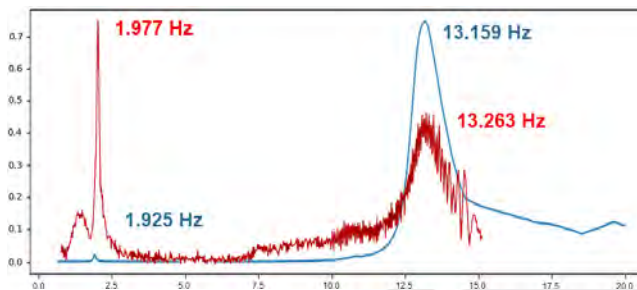


Fig. 24. Espectro de frecuencias de la viga en voladizo de madera balsa. Señal en azul, hallada con el equipo de laboratorio de análisis de señales. Señal en rojo, hallada con la herramienta complementaria.

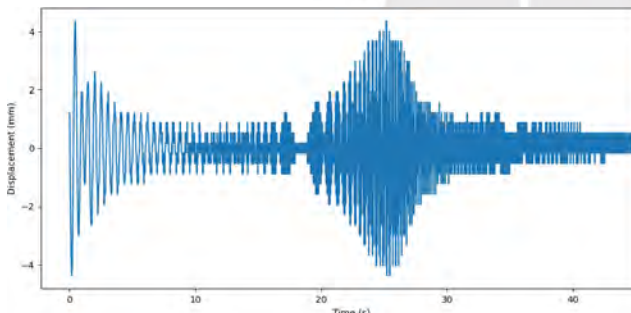


Fig. 25. Amplitud del movimiento en el eje horizontal de la viga en voladizo de madera balsa a lo largo del tiempo.

En la Figura 25, se observa que la envolvente de la curva temporal después del barrido de frecuencias es similar a la magnitud del espectro de frecuencias presentado en la Figura 24. Además, la envolvente muestra dos amplitudes máximas, que corresponden a las dos frecuencias características indicadas en la misma figura.

La diferencia promedio entre la medición realizada con el equipo de análisis de señales y el software desarrollado fue de 0.078 Hz. Aunque el espectro obtenido muestra ciertos niveles de ruido en su magnitud, es posible notar con claridad las dos frecuencias características presentes en la estructura en movimiento.

VII. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Antes de presentar algunos resultados experimentales, se muestra la interfaz de usuario del programa desarrollado. En ella, se destacan los parámetros configurables que permiten generar un video con el movimiento amplificado. Por lo general, basta con

ajustar el rango de frecuencias (mínima y máxima) y el factor de amplificación, el cual determina la intensidad con la que se realizan los pequeños desplazamientos dentro del rango seleccionado. En el anexo al final del documento se detallan todas las opciones disponibles en la interfaz.

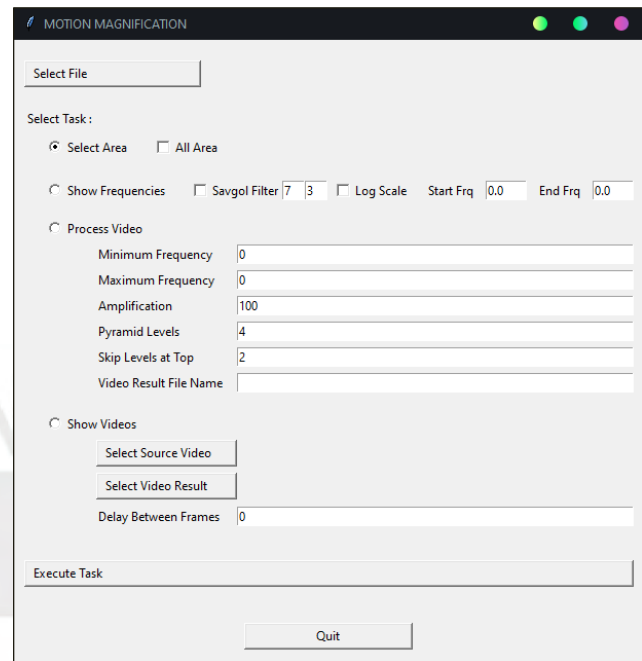


Fig. 26. Interface de usuario del programa desarrollado.

A continuación, se muestran algunos resultados experimentales para ilustrar la capacidad del método.

(a) Verificando la frecuencia del pulso cardíaco de una persona

Primero, se determina las frecuencias presentes en el video utilizando la herramienta complementaria la cual ayuda a escoger un rango de frecuencias de interés de un movimiento en particular.

En el video original (Figura 28), la muñeca aparenta estar completamente inmóvil. Sin embargo, al examinarlo detenidamente, se observan leves movimientos involuntarios producidos por la frecuencia cardíaca del sujeto [17]. Para este análisis, en lugar de seleccionar una región de interés (ROI) específica, se procesó la totalidad del área del video. Tras aplicar el algoritmo de amplificación con un rango de frecuencia entre 0.5 y 1.5 Hz, estos movimientos fisiológicos se hacen claramente visibles (Figura 29).

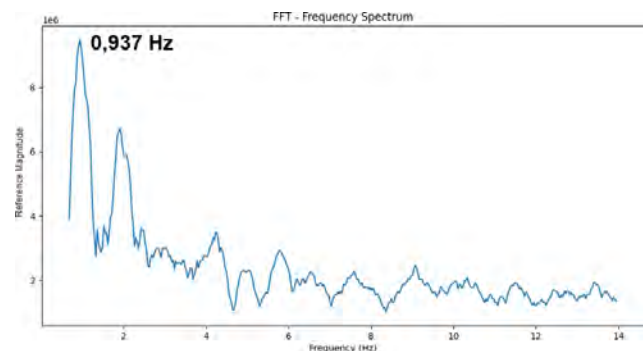


Fig. 27. Espectro de las frecuencias involucradas en el movimiento de la muñeca, hallada con la herramienta complementaria. En promedio, el pulso de un ser humano es de aproximadamente un segundo.



Fig. 28. Fotograma del video original, si se observa detenidamente, se puede apreciar levemente el pulso cardiaco y el movimiento involuntario de toda la muñeca.

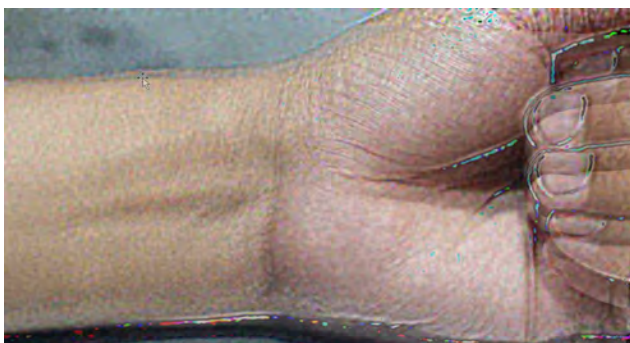


Fig. 29. Fotograma del video con movimientos amplificados en el rango de frecuencias de 0,5 a 1,5 Hz. Note que no solo se amplifica los movimientos si no también el ruido generado al aplicar el algoritmo de amplificación, el cual se manifiesta como manchas de colores

En la imagen anterior, se observa que el algoritmo no solo amplifica el movimiento, sino también el ruido presente en el video. Esto se manifiesta como manchas de moteado en los fotogramas del video y líneas de colores. Debido a la naturaleza del método de amplificación de video Euleriano, el ruido siempre estará presente en mayor o menor grado en el video resultante, sin embargo, existen soluciones mediante métodos alternativos derivados de la técnica original, los cuales se abordarán en versiones posteriores de este trabajo.

Se midió varias veces la frecuencia cardíaca mediante un pulsioxímetro clínico, obteniendo un valor promedio de 57.33 lpm (latidos por minuto), equivalente a 0.956 lps (latidos por segundo) es decir 0.956 Hz. Este resultado presenta una discrepancia de 0.019 Hz respecto al valor estimado mediante el análisis de la FFT (Figura 27).

(b) Amplificando las vibraciones en una estructura reticular de madera con base triangular

Para modificar las propiedades dinámicas de la estructura, se incrementó su masa agregando plastilina (Figura 31). Este cambio permitió obtener frecuencias características inferiores a los 15 Hz. Para excitar la estructura desde su estado de reposo, se aplicó un impacto controlado de baja intensidad en la retícula más cercana a la base, mientras se registraba en video su respuesta dinámica.

Siguiendo una metodología análoga a la del ensayo previo, se identifican las frecuencias características presentes en el video. En este caso, se delimita una región de interés (ROI), indicada por un rectángulo rojo en la Figura 31, región que permite seleccionar un rango de frecuencias más adecuado, luego se procede a aplicar el algoritmo de amplificación.

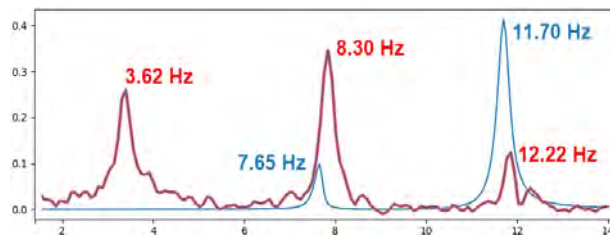


Fig. 30. Espectro de frecuencias de la estructura reticular de base triangular. Señal en azul, hallada con el equipo de laboratorio de análisis de señales. Señal en rojo, hallada con la herramienta complementaria.

En La figura anterior, se puede notar que la herramienta complementaria identificó una tercera frecuencia característica a los 3.62 Hz. que no fue visible usando el equipo de laboratorio. Cabe destacar que el acelerómetro del equipo utilizado para registrar las vibraciones, solo es sensible a un eje específico según su orientación; mientras que el método implementado en la herramienta complementaria resulta sensible a vibraciones en múltiples ejes simultáneamente. Esta diferencia explica la detección de la una tercera frecuencia característica, no capturada por el acelerómetro debido a su limitación direccional.

La diferencia promedio entre las frecuencias características identificadas por la herramienta desarrollada y el equipo de laboratorio fue de 0.59 Hz, lo que demuestra la buena fiabilidad del método propuesto.

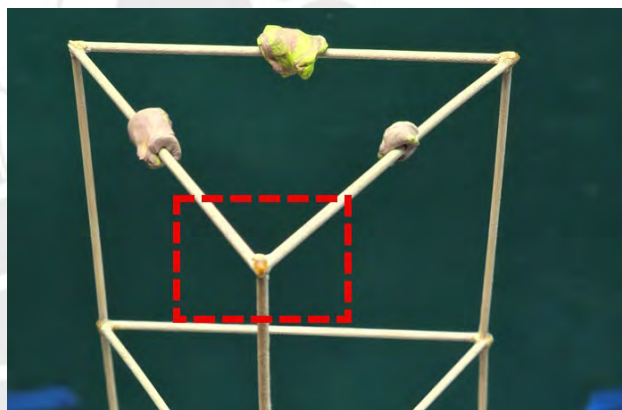


Fig. 31. fotograma del video original, en el video se puede apreciar levemente el movimiento de vaivén de la estructura reticular.

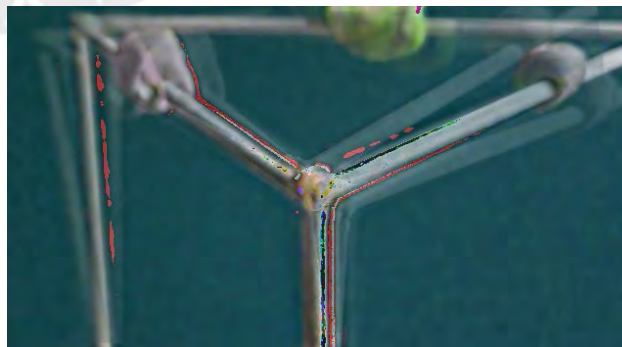


Fig. 32. Fotograma del video con movimientos amplificados entre los 6.0 Hz y 9.0 Hz

En el video obtenido luego del procesamiento, se puede apreciar no solo el movimiento de vaivén de la estructura, sino también los movimientos de flexo torción presentes en sistemas de ese tipo.

(c) Amplificando las vibraciones en una estructura reticular de madera con base cuadrada

Análogamente al ensayo anterior, se aumentó masa al sistema para modificar sus características dinámicas (Figura 34). Para excitar la estructura, se aplica un ligero impacto en la retícula más cercana a la base mientras se registra en video su respuesta dinámica. El proceso comienza con la identificación de las frecuencias características asociadas a los movimientos vibratorios. Para facilitar la identificación, se selecciona una región de interés (ROI), como la ilustrada en la Figura 34. Una vez determinado el rango de frecuencias más óptimo se procede a aplicar el método de amplificación Euleriano.

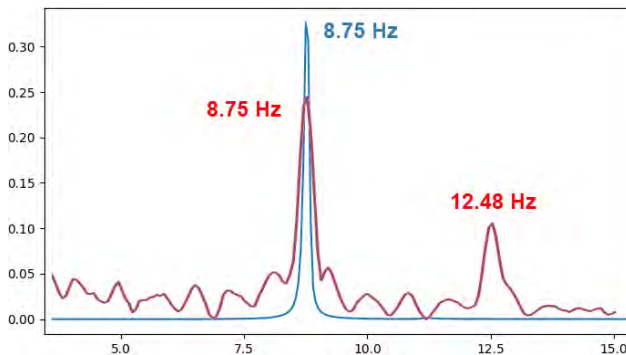


Fig. 33. Espectro de frecuencias de la estructura reticular de base cuadrada.
Señal en azul, hallada con el equipo de laboratorio de análisis de señales.
Señal en rojo, hallada con la herramienta complementaria.

La herramienta complementaria no solo determinó con mayor precisión la primera frecuencia característica del sistema (8.75 Hz), sino que también identificó una segunda frecuencia en 12.48 Hz. La razón de esta identificación adicional es la misma que se explicó en el ensayo anterior (b): la sensibilidad multieje del método.



Fig. 34. Montaje experimental para registrar el movimiento de la estructura.

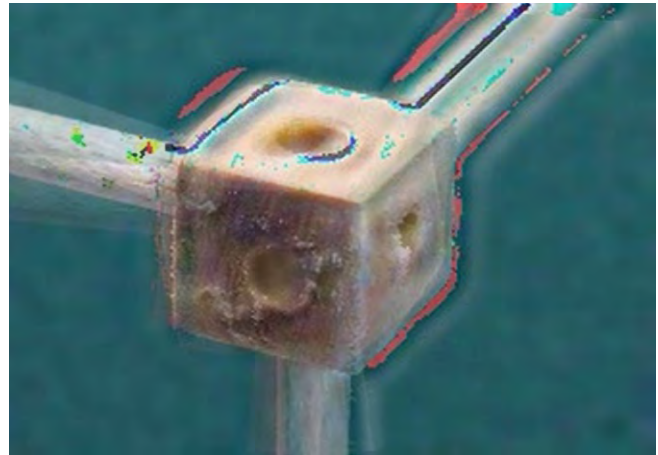


Fig. 35. Fotograma del video con movimientos amplificados entre los 7.5 Hz y 10.0 Hz.

Después de aplicar el algoritmo de amplificación, se genera un nuevo video en el que el movimiento de vaivén, poco perceptible en el video original, se vuelve mucho más evidente en el video resultante.

VIII. CONCLUSIONES

La técnica de video amplificación Euleriana, implementada en este trabajo, permitió detectar y visualizar movimientos sutiles y casi imperceptibles en las diferentes estructuras analizadas. Esto fue especialmente útil para la identificación de patrones de vibración que no fueron visibles a simple vista.

La herramienta complementaria para la visualización de las frecuencias características involucradas en el movimiento de una estructura ha demostrado su eficacia y utilidad, ya que permite al usuario tener un mejor criterio para seleccionar las frecuencias de interés en el video cuyos pequeños movimientos desea amplificar.

Un importante aporte de este trabajo es el uso de cámaras de teléfonos convencionales para la captura de videos y de un portátil con capacidad moderada para el procesamiento de datos. Sin embargo, el rendimiento del software puede mejorar significativamente con una actualización del hardware. Por ejemplo, una cámara de alta velocidad que proporcione un mayor ancho de banda ampliaría el rango de frecuencias detectables. Asimismo, un equipo computacional de mayores prestaciones incrementaría la velocidad de procesamiento de los datos.

El programa desarrollado en conjunto al arreglo experimental está pensado para realizar ensayos de forma asincrónica, es decir que no está pensado para mostrar resultados en tiempo real, sin embargo, con algunos cambios en el software y mejoras del hardware empleado, el sistema podrá ser implementado para mostrar resultados en tiempo real.

El método implementado, con las adaptaciones necesarias, podría extenderse al análisis de vibraciones en estructuras industriales y civiles, tales como motores, puentes, torres de alta tensión y antenas de comunicaciones. Permitiría identificar modos de vibración críticos que generan fatiga en los materiales, así como detectar fallos incipientes antes de que deriven en daños mayores.

Además, esta técnica tendría aplicaciones innovadoras en otros campos como la detección de micro vibraciones en tarjetas PCB sometidas a estrés térmico, útil para evaluar su integridad en electrónica de potencia. Monitoreo de frecuencia cardíaca y respiratoria sin contacto físico, aplicable en escenarios clínicos delicados (neonatología o pacientes con quemaduras graves).

IX. REFERENCIAS

- [1] Glen White, Introducción al Análisis de Vibraciones, pág. 16-19, 1990-2010 - Azima DLL.
- [2] Singiresu S. Rao. Vibraciones Mecánicas, Quinta Edición, pág. 11, 2012.
- [3] Liu C., Torralba A., Freeman W. T., Durand F., and Adelson E. H. 2005. Motion magnification. ACM Trans. Graph. 24, 519–526.
- [4] Liu C., Freeman W., Szeliski R., and Kang S. B. 2006. Noise estimation from a single image. In IEEE CVPR, vol. 1, 901 – 908.
- [5] Wang J., Drucker S. M., Agrawala M., and Cohen M. F. 2006. The cartoon animation filter. ACM Trans. Graph. 25, 1169–1173.
- [6] Wu, H.-Y., Rubinstein, M., Shih, E., Gutttag, J. V., Durand, F., Freeman, W.T. Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world. ACM Trans. Graph. 31, 4 (2012), 65.
- [7] N. Wadhwa, H. Wu, A. Davis, M. Rubinstein, E. Shih, G. Mysore, J. Chen, O. Buyukozturk, J. Gutttag, W. Freeman, F. Durand, Eulerian Video Magnification and Analysis, vol 60, No 1, 2017.
- [8] Horn, B.K., Schunck, B.G. Determining optical flow. In 1981 Technical Symposium East (1981). International Society for Optics and Photonics, 319–331.
- [9] Liu C., Torralba A., Freeman W. T., Durand F., and Adelson E. H. 2005. Motion magnification. ACM Trans. Graph. 24, 519–526
- [10] Liu C., Freeman W., Szeliski R., and Kang S. B. 2006. Noise estimation from a single image. In IEEE CVPR, vol. 1, 901 – 908.
- [11] BURT, P., AND ADELSON, E. 1983. The laplacian pyramid as a compact image code. IEEE Trans. Comm. 31, 4, 532–540.
- [12] Wadhwa, N., Rubinstein, M., Durand, F., Freeman, W.T. Riesz, Pyramids for fast phase-based video magnification. In ICCP 2014 (2014). IEE 1-10.
- [13] WANG, J., AND ADELSON, E. 1994. Representing moving images with layers. IEEE Trans. Image Processing 3, 5, 625–638.
- [14] Mitsuo Takeda and Kazuhiro Mutoh, “Fourier transform profilometry for the automatic measurement of 3-D object shapes”, Applied Optics Vol. 22, No. 24, 3977-3982, 15 December 1983.
- [15] R. Gonzales, R. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1992, pp 81 - 125.
- [16] D. Ballard and C. Brown Computer Vision, Prentice-Hall, 1982, pp 24 - 30.
- [17] Rangaraj M. Rangayyan, Biomedical Signal Processing, IEEE Press, 2015

X. ANEXO

A continuación, se describen las opciones mostradas en la interface de usuario mostradas en la Figura 28.

- **Select File:** Permite escoger y cargar el video a procesar.
- **Select Task:** Permite escoger una tarea determinada.
 - **Select Area:** Con la ayuda del mouse, permite escoger una zona o región de interés en el video, el programa solo considera la zona escogida e ignora todo lo demás al momento de aplicar algún algoritmo.
 - **All Area:** A diferencia de la opción anterior, permite trabajar con toda el área del video.
 - **Show Frequencies:** Muestra el espectro de frecuencias de los objetos en movimiento presentes en el video.
 - **Savgol Filter:** A veces, el espectro de frecuencia se muestra con algo de ruido, para atenuar este ruido se puede aplicar el filtro Savitzky-Golay, junto al filtro se tiene la opción de indicar el tamaño de la ventana del filtro y el orden del polinomio del filtro.
 - **Log Scale:** Muestra el espectro de frecuencias en escala logarítmica.
 - **Start Frq y End Frq:** No muestra todo el espectro de frecuencias, si no por el contrario un rango determinado.
 - **Process Video:**
 - **Minimum Frequency:** Luego de usar la herramienta *Show Frequencies*, el usuario colocará aquí el valor inferior del rango de frecuencias que se usará al momento de procesar el video con el algoritmo Euleriano.
 - **Maximun Frequency:** Luego de usar la herramienta *Show Frequencies*, el usuario colocará aquí el valor superior del rango de frecuencias que usará al momento

de procesar el video con el algoritmo Euleriano.

- **Amplification:** Factor de amplificación de un movimiento para un rango de frecuencias determinado.
- **Pyramid Levels:** Cantidad de niveles que se usará en el algoritmo de la pirámide Laplaciana.
- **Skip Levels at Top:** Para reducir el tiempo de procesamiento el usuario podrá prescindir o no de un cierto número de niveles superiores de la pirámide Laplaciana.
- **Video Result File Name:** Nombre del archivo resultante luego de aplicar el algoritmo Euleriano.
- **Show Videos:** Muestra a la vez el video original y el video resultante luego de aplicar el algoritmo de amplificación de movimientos.
 - **Select Source Video:** Video Original.
 - **Select Video Result:** Video Resultante.
 - **Delay Between Frames:** Permite ralentizar los videos mostrados.
- **Execute Task:** Ejecuta la tarea previamente seleccionada.
- **Quit:** Cierra la aplicación.