



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL BIOMÉDICA

APLICACIONES BIOMÉDICAS DE LA TÉCNICA DE AMPLIFICACIÓN DE VIDEO EULERIANA

FERNANDA JAVIERA SANDOVAL GUAJARDO

Trabajo para optar al Título de
Ingeniera Civil Biomédica

Profesor Guía:

ALEJANDRO WEINSTEIN

Julio - 2022

Valparaíso - Chile

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres y hermana, los cuales me han apoyado en todo este proceso universitario, permitiendome llegar a este final. También, hago un nombramiento especial a mis abuelos, a quienes les debo todo y que sin ellos no sería la persona que soy ahora.

Ata, espero que desde el cielo veas que tan lejos llegue.

Agradecimientos

Quiero agradecer al profesor Alejandro Weinstein por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo bajo su guía y también a todos los miembros del Fablab, que me dieron la oportunidad de participar en el evento, la cual fue una experiencia que siempre recordaré.

Resumen

Resumen: La amplificación de video euleriana es una técnica de procesamiento de imágenes utilizada para detectar cambios en el entorno que muchas veces son imperceptibles para el ojo humano. Básicamente, lo que hace esta técnica es revelar variaciones temporales en los videos, por ejemplo, pequeñas variaciones en movimiento que a simple vista no se destacan en un video sin procesar. Esta técnica se está utilizando en aplicaciones tales como detectar eventos de apnea en neonatales.

En este proyecto se diseñó una experiencia utilizando la amplificación de video euleriana para la estimación de la frecuencia cardiaca. Se tomaron datos de un sujeto en reposo y en actividad, en donde se comparó esta aplicación con otros dos métodos descritos más adelante. Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios, en donde la diferencia entre los tres métodos comparados en estado de reposo no difería mucho entre sí, en cambio, en estado de actividad los resultados obtenidos difirieron bastante. Sin embargo, a pesar de no tener una aplicación más precisa y en tiempo real se logró cumplir con el diseño de una experiencia en donde el estudiante fuera participe de su propio aprendizaje.

También se diseñó una experiencia demostrativa que se aplicó en el evento “Reiniciatec”, para alumnos de 3ro y 4to medio, la cual despertó el interés tanto de los futuros alumnos, como de los demás asistentes. Si bien le hubiera dado más dinamismo el tener una aplicación en tiempo real, se valora la motivación de los asistentes por querer saber más de la técnica.

Palabras Clave: Eulerian_video_magnification, Laboratory_experience, Learning.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS.....	1
2.	MARCO TEÓRICO	2
3.	ESTADO DEL ARTE	4
4.	METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN	6
4.1	DISEÑO DE EXPERIENCIA DE LABORATORIO PARA INGENIERÍA BIOMÉDICA	6
4.2	DISEÑO DE EXPERIENCIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LA CARRERA	8
5.	RESULTADOS	8
5.1	PAUTA EXPERIENCIA DE LABORATORIO PARA ALUMNOS DE LA CARRERA	8
5.2	EXPERIENCIA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA PARA LA DIVULGACIÓN DE LA CARRERA	17
6.	DISCUSIÓN	21
7.	CONCLUSIÓN.....	22
8.	REFERENCIAS	22
9.	ANEXOS	23
9.1	ANEXO 1	23
9.2	ANEXO 2	25

Aplicaciones biomédicas de la técnica de amplificación de video Euleriana

Fernanda Javiera Sandoval Guajardo

Escuela de Ingeniería Civil Biomédica

Facultad de Ingeniería, Universidad de Valparaíso, Chile

Palabras clave: Eulerian_video_magnification, Laboratory_experience, Learning.

1. INTRODUCCIÓN

El entorno está lleno de señales que muchas veces son imperceptibles para los sentidos humanos, desde un cambio sutil en el color, un pequeño movimiento asociado a las expresiones de la cara o los movimientos sutiles que hacemos al respirar. Para poder captar este tipo de señales y muchas más es que existe una técnica llamada amplificación de video euleriana. Lo que hace esta técnica es revelar variaciones temporales en los videos, filtrarlas y amplificarlas de acuerdo a la aplicación que se le quiera dar.

Esta técnica ha sido trabajada en múltiples aplicaciones, tales como: El diseño de un método sin contacto a través de la utilización de un teléfono inteligente para poder revelar el tremor subclínico del Parkinson y terminar siendo una herramienta que ayuda al médico a detectar dicho tremor [1]. También, a través de la grabación de la cabeza y el pecho se pudo obtener la onda de movimiento de la respiración en los siguientes patrones: respiración normal, contener la respiración, respiración profunda y respiración rápida.

Otra de las aplicaciones en la que se ha utilizado es para medir el pulso de la muñeca. El método también se puede utilizar para poder analizar dicha señal y poder extraer información vital de la señal del pulso de una persona. Por último, se ha utilizado para poder detectar enfermedades neonatales, tales como ataques epilépticos y eventos de apnea potencialmente mortales [2].

Es por esto que, en el presente trabajo de título se considera a la amplificación de video euleriana como una técnica interesante para ser utilizada en la enseñanza de la carrera de Ingeniería Civil Biomédica, debido a que dentro de nuestra formación debemos desarrollar habilidades para desarrollar o utilizar este tipo de técnicas innovadoras para poder solucionar problemas en el ámbito de la salud.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es determinar e implementar soluciones en el ámbito de la Ingeniería Biomédica utilizando la técnica de amplificación de video euleriana como método de enseñanza.

Los objetivos específicos de este proyecto son:

OE1: Implementar la técnica de amplificación de video euleriana para ser utilizada como experiencia de laboratorio de ingeniería Biomédica.

OE2: Implementar la técnica de amplificación de video euleriana para ser utilizada en la divulgación de la carrera de Ingeniería Biomédica.

2. MARCO TEÓRICO

El procesamiento de imágenes es el siguiente:

Descomposición del video de entrada

La primera etapa es la descomposición del video de entrada, la cual consiste en aplicar el método de la pirámide laplaciana, la cual consiste en la descomposición de imágenes en diferentes escalas espacialmente. Existen 2 tipos de descomposición piramidal: la gaussiana y la laplaciana: La primera se construye primeramente suavizando la imagen a través de un filtro gaussiano y luego se reduce (ver figura 1). La pirámide laplaciana es similar a la gaussiana, pero esta guarda la imagen de diferencia de las versiones borrosas entre cada nivel y el nivel más pequeño se conserva (como se puede observar en la figura 2). Finalmente, las imágenes de diferencia se pueden utilizar para reconstruir la imagen original [2][3].



Figura 1: Ejemplo del proceso de la imagen al aplicar la pirámide gaussiana, el número que aparece en la parte inferior corresponde a los niveles de la pirámide [4].

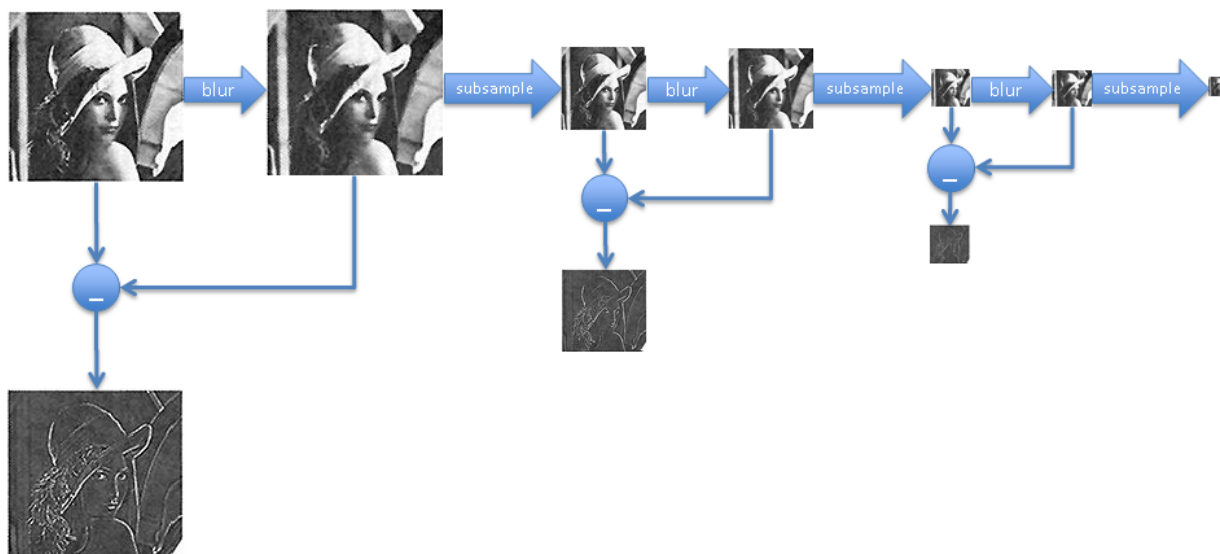


Figura 2: Ejemplo del proceso de la imagen cuando se le aplica la pirámide laplaciana [4].

Filtro temporal

La segunda etapa consiste en la aplicación de un filtro temporal a todas las bandas resultantes de la etapa anterior para poder extraer las bandas de frecuencia de interés. La selección de filtros va a depender del tipo de aplicación que se le quiera dar a la técnica, por ejemplo, se suele utilizar un filtro con un paso de banda ancho para la amplificación del movimiento, mientras que, se prefiere usar un filtro con un paso de banda estrecho para la amplificación del color que se utiliza, por ejemplo, para poder ver el flujo sanguíneo [5].

Amplificación y reconstrucción

La última etapa, consiste en que, una vez obtenidas las bandas de frecuencia de interés en cada nivel, estas bandas son amplificadas por un factor alfa, el cual también es manejado por el usuario dependiendo de la aplicación que se le quiera dar a la técnica. Finalmente, las señales filtradas y amplificadas pasan al proceso de reconstrucción el que da como salida el video amplificado [5].

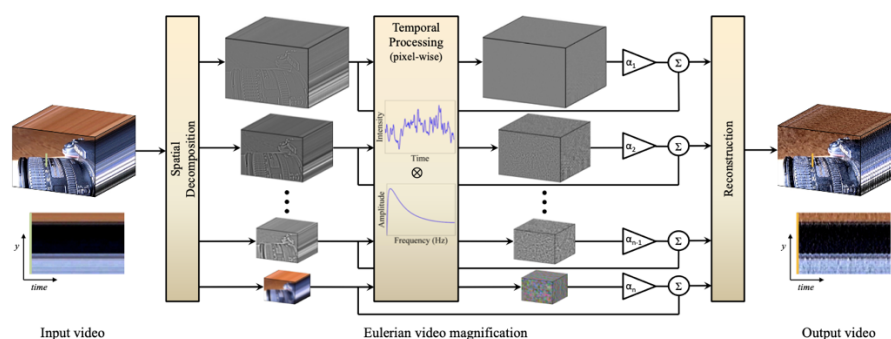


Figura 3: Diagrama del proceso de la amplificación de video Euleriana [3].

A continuación, en la figura 4 se puede ver el efecto de la amplificación de video euleriana, como se mencionó anteriormente, la aplicación de los filtros va a depender de la aplicación que se le da a la técnica, como por ejemplo, en la figura a continuación se puede ver la aplicación de la técnica en donde se le aplico un filtro para poder resaltar los cambios de color que en este caso corresponden al flujo sanguíneo.

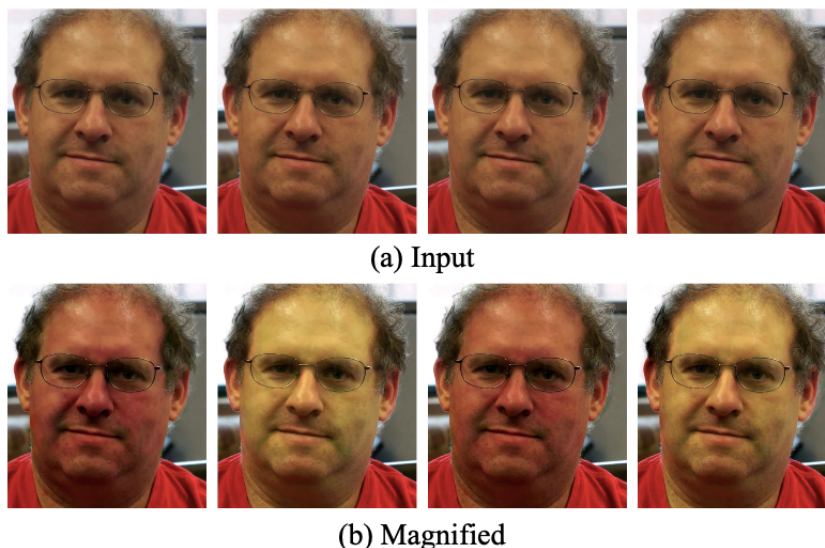


Figura 4: Resultado de la utilización de la técnica de amplificación euleriana, en este caso, se magnifico el color, lo que dio como resultado que se pudiera observar el flujo sanguíneo en la cara del sujeto de prueba [3].

3. ESTADO DEL ARTE

Para este trabajo se buscaron experiencias de laboratorios implementadas en las universidades de todos los países, de las cuales se seleccionaron las que estaban disponibles para lectura completa y que estén en el idioma inglés o español. De esta búsqueda se lograron encontrar 3 experiencias que se describirán a continuación.

La primera experiencia de laboratorio es de la Universidad de Sevilla para alumnos de pregrado de la carrera de Ingeniería Química. Previo a la explicación de la experiencia se menciona que en muchas sesiones de laboratorio todavía siguen recetas estrictas que consisten en instrucciones rígidas que llevan a un solo resultado, lo que provoca un poco estimulación de la creatividad de los alumnos y disminuye su compromiso con la actividad.

Es por esto que se diseñó una experiencia de laboratorio en donde los alumnos son participantes activos de su aprendizaje, se promueve el trabajo en equipo y los alumnos pueden interactuar de manera activa de la experiencia. Esta consistía en que los alumnos fueron llevados a una planta piloto, en donde fueron capaces de poner en marcha, operar y parar una instalación, manipulando una serie de actuadores, midiendo variables y también supervisando los elementos de seguridad. Dentro de esta actividad se les solicitó que observaran el efecto de sus propias acciones al manipular los parámetros dentro de la planta piloto, obteniendo una mayor libertad de la que se tiene en una experiencia de laboratorio tradicional.

Al final de esta experiencia, los alumnos que participaron salieron más motivados, mejoraron sus habilidades para trabajar en equipo y tienen una mayor comprensión de los temas enseñados en la experiencia realizada [6].

La segunda experiencia de laboratorio es de la Universidad de Toronto para estudiantes de Ingeniería Biomédica, en donde se aplicó una experiencia que explora el uso de EMG (electromiografía) para detectar reflejos motores involuntarios evocados por TENS (Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea) para el ramo de fisiología. La presente experiencia tiene 3 objetivos: 1) Apoyar el aprendizaje de los conceptos fisiológicos del curso por parte de los estudiantes. 2) Enseñar a los estudiantes como usar un sistema de

monitoreo fisiológico inalámbrico para adquirir y analizar bioseñales relevantes. 3) Crear una experiencia satisfactoria que promueva la autopercepción de las habilidades de ingeniería del individuo.

La primera parte de la experiencia consistía en la colocación de los electrodos de simulacion y registro del dispositivo TENS, en el cual se buscaba registrar señales del sóleo (músculo encargado de realizar la extension del pie). Se les instruyó a los estudiantes que registraran de 5 a 7 pulsos de estimulación, las señales obtenidas fueron posteriormente amplificadas y filtradas [7].

Lo que se destaca de la experiencia es que se les introdujo a los estudiantes la oportunidad de aplicar los conceptos aprendidos en fisiología y además se les incorpora el procesamiento de señales, el cual es bastante útil dentro de la carrera.

La tercera experiencia de laboratorio es desarrollada por la Universidad de Tucumán para los alumnos que estudian bioingeniería, en donde se desarrollo una experiencia para enseñar a los alumnos algunos aspectos de la fisiología sensorial. Los alumnos tuvieron que observar y analizar los cambios en la descarga aferente primaria de un solo nervio vibrissal producido durante la estimulación mecánica, para esto se utilizó una rata, a la cual se le conectaron electrodos y se preparó el sistema de adquisición, posteriormente, los datos adquiridos fueron procesados y analizados.

Lo importante de esta experiencia, es que se destaca que al exponer a los alumnos al proceso de investigación se desarrolla su pensamiento crítico como su juicio reflexivo, esta experiencia también ayudó a desarrollar las habilidades de investigación de los alumnos y su interés por la ciencia [8].

4. METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN

A continuación, se mencionará la metodología implementada para el diseño de las experiencias con el fin de cumplir con ambos objetivos específicos.

4.1 DISEÑO DE EXPERIENCIA DE LABORATORIO PARA INGENIERÍA BIOMÉDICA

La metodología para poder cumplir con el objetivo propuesto al inicio de este trabajo se ve representado en el diagrama que se muestra a continuación (ver Figura 5). Se explicará a continuación, como se llegó al prototipo final, ya que se realizaron varias iteraciones antes de llegar al resultado final.

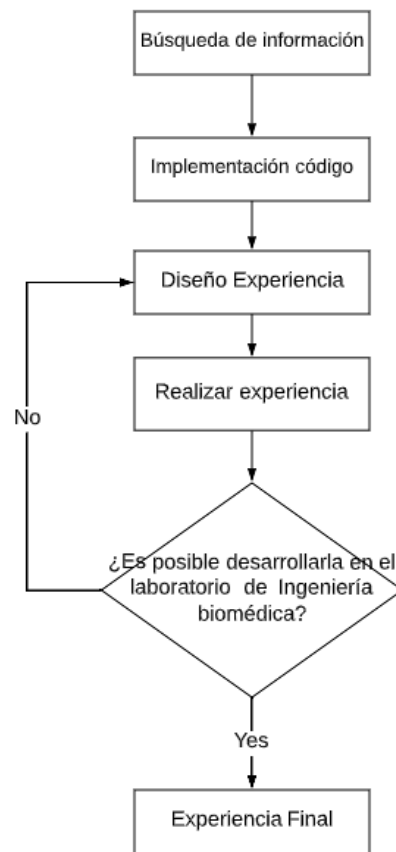


Figura 5: Diagrama del proceso para el diseño de la experiencia para Ingeniería Biomédica.

Tal como se puede ver en el diagrama, primeramente, se buscó e implementó el código Python que utilizara la técnica. Para ello, se utilizó GitHub, el cual es una plataforma que almacena varios proyectos que utilizan varios lenguajes de programación. Dentro de la plataforma, se buscó como palabra clave “Eulerian video Magnification”, la cual arrojó 72 resultados. Dentro de estos resultados se filtró por lenguaje de programación, lo que arrojó como resultado final 22 proyectos posibles para el diseño de la experiencia, dentro de las cuales finalmente se utilizó el código que aplica la técnica para la estimación de la frecuencia cardíaca [9].

Para el diseño de la experiencia, se tomó en cuenta la aplicación en donde se utiliza la técnica de EVM, la cual es la estimación de la frecuencia cardíaca. Tomando en cuenta esto, se decidió que dentro de la experiencia se debía evaluar la reproducibilidad de la técnica y su precisión, es decir, evaluar que, al aplicar la técnica, esta no diera resultados muy variables entre aplicaciones y también evaluar sus resultados comparándolo con otros métodos. Para la selección de los comparadores, en este caso se decantó por la utilización de un monitor de presión arterial, el cual es muy común de tener en los hogares para la evaluación rutinaria y también se utilizó el Polar H10, el cual es un sensor de frecuencia cardíaca.

Aprovechando que ya se tenía la aplicación de la técnica a través del código Python y los comparadores a utilizar, se agregó otro factor a evaluar en la experiencia a diseñar. Este factor fue evaluar la técnica y sus comparadores en el sujeto de prueba en estado de reposo y actividad, ya que de esta forma se podía evidenciar mejor los resultados de todos los métodos y así obtener mejores resultados. También se tomó la decisión considerar un mínimo de 8 mediciones en reposo y 8 en actividad para cada método, esta decisión se tomó debido a que inicialmente se habían realizado 4 mediciones para cada método en reposo y 4 mediciones con el sujeto de prueba en actividad, y con esta cantidad de resultados no era posible obtener suficientes conclusiones sobre el cambio y la diferencia entre los métodos.

Una vez obtenidos los datos de las mediciones, se procedió a representarlos en una tabla para posteriormente graficarlos. Para la forma en que se graficaron los datos, se tomó en cuenta la mejor forma en que el alumno pudiera realizar un análisis de los datos. Es por esto, que se utilizó el diagrama de violín que es útil para poder visualizar la distribución de datos.

Finalmente, para que la experiencia no fuera solo de aplicación y analizar los datos, si no que el alumno a través de los resultados obtenidos pudiera sacar conclusiones para la toma de decisiones, se agregaron 2 preguntas en donde, primeramente, se le coloca al alumno en el supuesto de que ya es un Ingeniero Biomédico egresado y debe decidir a partir de sus resultados si utilizaría esta técnica como ayuda para el diagnóstico de pacientes. Esta pregunta se plantea con el objetivo de que el alumno, en su posición de ingeniero biomédico, se enfrente a estas situaciones que en su ambiente laboral ocurren a menudo, en donde frecuentemente van saliendo tecnologías innovadoras que pueden ser o no útiles en el ámbito hospitalario, por lo que el alumno esta vez puede él mismo realizar estas pruebas para tomar una decisión.

La segunda pregunta que se planteó fue que el alumno pensara en las posibles aplicaciones de la amplificación de video euleriana, independiente de si los resultados obtenidos fueron buenos o malos. Esta pregunta se planteó debido a que el Ingeniero biomédico está en la constante búsqueda de soluciones en el ámbito de la salud, como lo es, el innovar en tecnologías para poder prevenir y mejorar enfermedades.

Para poder llegar al diseño de la experiencia final, previamente se tuvo que diseñar modelos anteriores, realizarlos y plantearse una pregunta fundamental: ¿Es posible desarrollarla en el laboratorio de Ingeniería Biomédica? A través de esta pregunta, se lograron realizar modificaciones importantes en el diseño de la experiencia, ya que, al realizar el diseño desde el hogar se tienen más herramientas en comparación de estar en el laboratorio, por lo que plantearse en ese escenario fue de mucha utilidad a la hora del diseño de la experiencia.

4.2 DISEÑO DE EXPERIENCIA PARA LA DIVULGACIÓN DE LA CARRERA

Para el diseño de la experiencia para poder cumplir con el segundo objetivo, se presentó la oportunidad de trabajar con el Fablab a través de la participación en el evento “Reiniciatec”, el cual fue un evento de divulgación en donde se presentaron varias carreras de la universidad (incluida la carrera de Ingeniería civil Biomédica) orientada a alumnos de 3ro y 4to medio.

Para la preparación de la participación en el evento, se trabajó específicamente con Edén Jofre Romeo, coordinadora del evento y del Fablab, en donde se coordinaron varias reuniones para la aclaración de dudas en torno al stand y del evento.

A través de las reuniones (ver tabla 1), se pudo diseñar una experiencia demostrativa, en donde primeramente se preparó un video corto en donde se explicaba en que consistía la técnica de amplificación de video euleriana y sus aplicaciones, todo esto acompañado de videos en donde se mostraban los resultados de los videos al ser procesados.

Una vez que los alumnos observaran este video para poder captar su atención, se les explicaba en que consistía la técnica y como funcionaba, para después invitarlos a que ellos mismos (si es que querían) probaran esta técnica y así observar su video procesado.

Fecha	Contenido de la reunión
16 Mayo	Explicación del evento y participación. Día del evento: 11 Junio
20 Mayo	Resolución de dudas sobre el formato de la experiencia y el diseño de esta
27 junio	Envío del primero video para recibir comentarios y correcciones.
6 Junio	Corrección final del video

Tabla 1: Resumen de reuniones para la planificación del evento.

Retroalimentación

Para poder evaluar el desempeño de la participación del evento, posterior a este se envió una encuesta corta en donde los encuestados mencionaban las fortalezas y debilidades de la experiencia demostrativa realizada en el evento. Los encuestados fueron los profesores presentes en el stand de la carrera y las compañeras de carrera que participaron en la promoción.

5. RESULTADOS

5.1 PAUTA EXPERIENCIA DE LABORATORIO PARA ALUMNOS DE LA CARRERA

La amplificación de video Euleriana es una técnica de procesamiento de imágenes que es utilizada para revelar y amplificar pequeños movimientos y cambios en videos. Este tipo de variaciones no son perceptibles por el ojo humano. En la siguiente experiencia se utiliza la amplificación de video euleriana para estimar la frecuencia cardiaca ¿Cómo funciona esta aplicación?

En los archivos adjuntos a la experiencia el alumno encontrará varios programas escritos en el lenguaje Python. No debe remover ninguno de los archivos en la carpeta. El archivo “main.py” tiene como función definir el rango de frecuencia para la transformada rápida de fourier y llamar en orden a las siguientes funciones para el procesamiento del video:

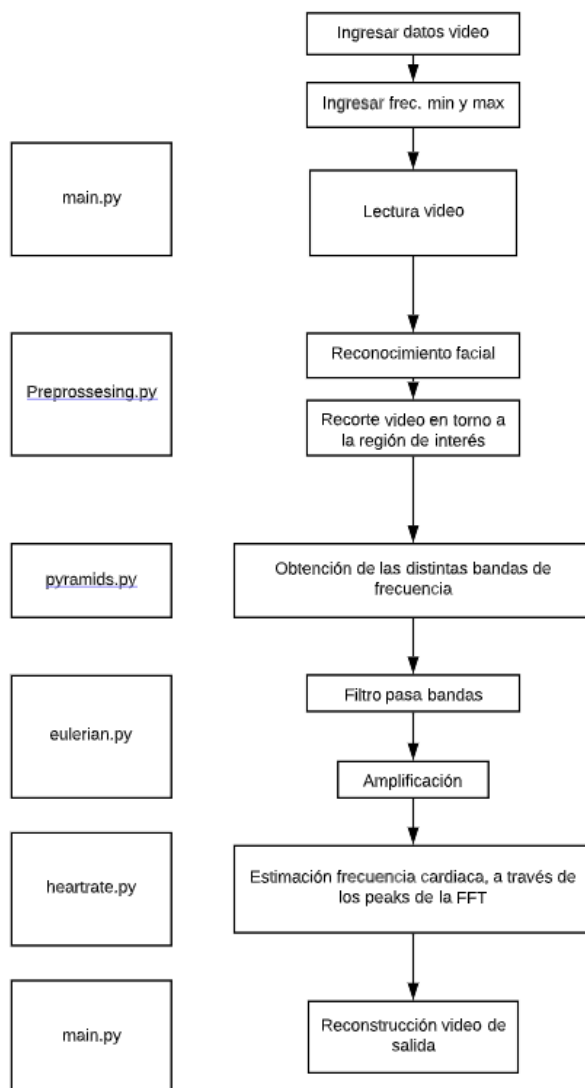


Figura 6: Diagrama explicativo del funcionamiento del código adjunto a la experiencia.

Experiencia de laboratorio de Ing. Civil biomédica.

Objetivo: Desarrollar las capacidades de análisis del alumno, a través de la interacción directa con un método innovador y poco conocido, en donde deberá evaluar si el método mencionado en la introducción es apto para ser utilizado en el ámbito de la salud.

Trabajo previo

1.-Deberá tener instalado las siguientes librerías: numpy, scipy y cv2.

2.-Modificar la línea 13 del archivo main.py, ingresando la ubicación del video que deberá grabar el grupo y subirlo a la carpeta “videos” de la carpeta enviada.

3.- El grupo debe modificar la línea 8 y 9 del archivo main.py que corresponde al filtro de acuerdo a lo que estime el grupo conveniente para el análisis de los resultados.

4.- Cada grupo debe disponer de: Monitor de presión arterial (en donde se utilizará el parámetro de frecuencia cardíaca) y algún sensor de frecuencia cardíaca (para esta experiencia se utilizó el Polar H10)

Trabajo en el laboratorio

1. Seleccione un sujeto de prueba para realizar la siguiente actividad: Primeramente, el sujeto de prueba deberá estar sentado tranquilamente mientras se le instalan los dispositivos de medición. Luego, se procederá a realizar la medición del monitor de presión arterial y al mismo tiempo el sujeto debe estar grabando su cara a través cualquier dispositivo que genere un archivo de video (la duración del video será del tiempo en que el monitor demora en ejecutar la medición). Finalmente, se deben anotar los resultados obtenidos del monitor, del sensor de frecuencia cardíaca y de lo obtenido con el código de EVM (Eulerian video magnification) que está adjunto a la experiencia.

Este proceso se debe repetir por lo menos 8 veces, ya que entre más datos se tengan mejor es la interpretación de los gráficos

2. Realice la misma actividad mencionada anteriormente, pero previamente, el sujeto de prueba deberá realizar actividad física (como, por ejemplo, correr, saltar, etc.). Después de hacer ejercicio deberá repetir las mediciones que realizó en estado de reposo. Debe calcular bien los tiempos de medición y el tiempo de realizar actividad física, puesto que, este proceso se debe repetir la misma cantidad de veces que las mediciones realizadas en reposo. Al igual que la actividad anterior, debe anotar los resultados obtenidos en cada medición de: Monitor de presión arterial, sensor de frecuencia cardíaca y lo obtenido luego de procesar el video.

3. Presente, mediante una tabla y gráficos, los resultados obtenidos en los puntos anteriores. También debe calcular el promedio y la desviación estándar de las mediciones obtenidas en reposo y actividad de cada uno de los métodos utilizados.

4. En su opinión, ¿utilizaría esta técnica para el diagnóstico, si o no? ¿Por qué?

5. ¿Qué usos le daría a esta aplicación independiente de los resultados obtenidos?

Informe

Elabore un informe con todos los resultados obtenidos, observaciones y análisis de lo obtenido en esta experiencia.

Desarrollo.

Para la primera parte de esta experiencia, con el sujeto de prueba en reposo, se procedió a instalar el monitor de presión arterial y el sensor de frecuencia cardíaca. Para el caso del sensor, se utilizó un Polar H10, el cual mide frecuencia cardíaca a través de un cinturón que se ubica en el pecho del sujeto. Se debe instalar una aplicación para mostrar los resultados que obtiene del dispositivo que se conecta a través de Bluetooth.

Una vez vinculado el dispositivo, se obtiene el siguiente resultado:

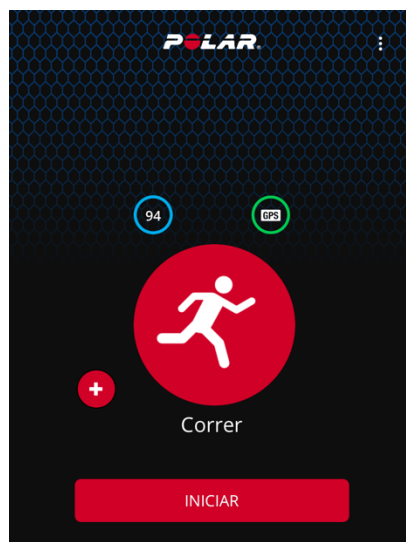


Figura 7: Captura de pantalla de la aplicación “Polar beat”, una vez vinculado el dispositivo de medición al teléfono.

Como se puede observar en la figura 7, una vez logrado la vinculación del dispositivo, se muestran los resultados en la pantalla. Lo importante de esa imagen es que en azul se muestra la frecuencia cardiaca captada por el dispositivo, la cual es considerada para todas las mediciones realizadas en la experiencia.

Una vez instalado el sensor de frecuencia cardiaca y el monitor de presión arterial, se procedió a tomar una captura de pantalla del parámetro medido por la aplicación “Polar Beat”. Después se accedió a la cámara frontal del teléfono y se procedió a grabar al mismo tiempo en que el monitor de presión arterial estuviera realizando la medición, tal como se puede observar en la figura 8. Finalmente, una vez terminada la medición, se procedió a dar un intervalo de descanso de 2-3 minutos y se repitió el mismo procedimiento hasta tener un total de 8 mediciones con los 3 métodos en reposo, obteniendo así un total de 24 datos.



Figura 8: Imagen representativa de cómo se realizó la medición utilizando los 2 dispositivos y al mismo tiempo se procede a grabar con la cámara frontal del teléfono. Imágen tomada sólo con fines de demostración, en la realidad, el cinturón debe ir debajo de la polera.

Una vez obtenido los datos de los 2 dispositivos y los videos resultantes del estado en reposo, se procedió a copiar los videos al computador para que posteriormente fueran procesados por el código Python que aplica la amplificación de video euleriana y así anotar los datos faltantes, obteniendo así, la siguiente tabla:

	Polar H10 [bpm]	EVM [bpm]	Monitor de presión arterial (Braun ExactFit) [bpm]
Reposo 1	94	96,7	97
Reposo 2	99	101,98	95
Reposo 3	99	96,8	96
Reposo 4	98	101,2	100
Reposo 5	98	105,84	100
Reposo 6	101	104,76	99
Reposo 7	99	96,85	103
Reposo 8	99	105,01	100
Promedio	98,375	101,1425	98,75
Desviación estándar	1.8666	3.6714	2.4366

Tabla 2: Datos resultantes de las 8 mediciones, utilizando los 3 métodos comparativos.

Como observación, para el procesamiento de los videos se utilizo un filtro de banda de paso de 1.4-1.8 Hz, que corresponde al rango de frecuencias de un individuo en reposo y así poder aislar las frecuencias no deseadas en esta aplicación.

Con la tabla resultante de la obtención de los datos, se procedió a graficarlos utilizando Python para obtener el diagrama de violín y se calculó el promedio de la frecuencia cardiaca obtenida para cada uno de los métodos (ver Tabla 2).

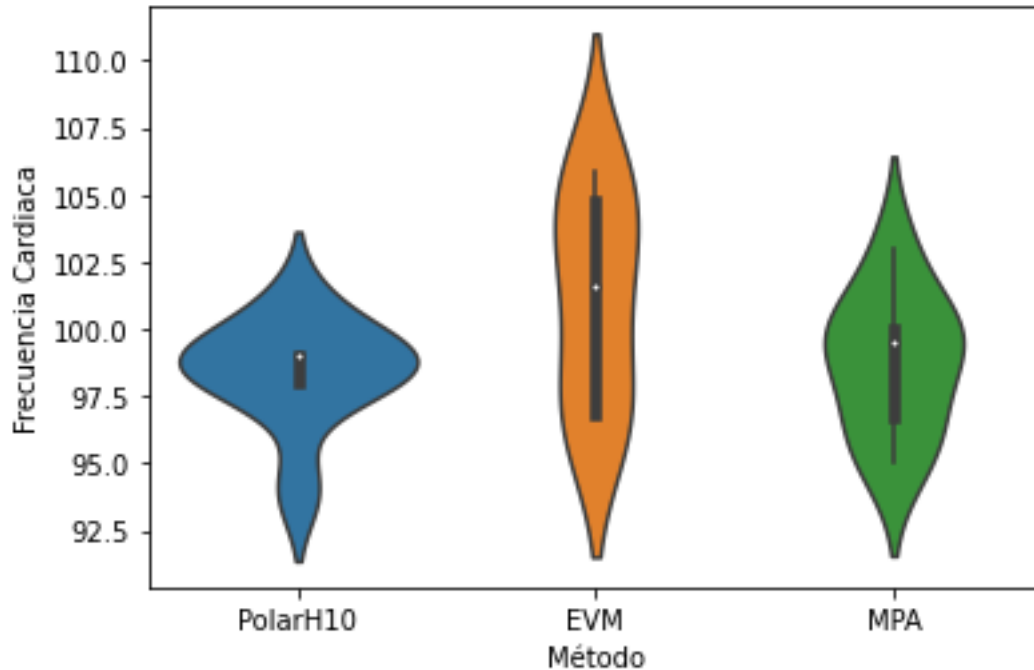


Figura 9: Diagrama de violín resultante de los datos obtenidos de la medición de frecuencia en estado de reposo utilizando los tres métodos comparativos. MPA: Monitor de presión arterial.

Segunda parte

Para la segunda parte de esta experiencia se procedió a instalar los dispositivos de la misma forma que en la primera parte. Sin embargo, previo a realizar la primera medición, el sujeto de prueba realizó actividad física. En este caso se utilizó una trotadora con la cual el sujeto de prueba realizó un trote intenso durante 5 minutos (considerando que se tenían que realizar 8 mediciones), tal como se puede observar en la figura 10.



Figura 10: Imagen demostrativa del sujeto de prueba situado en la trotadora utilizando el dispositivo polar H10 (Imagen representativa, en la realidad este dispositivo debe ir debajo de la polera.)

Después de que el sujeto de prueba realizó los 5 minutos de trote intenso se procedió a capturar los datos de “Polar beat”. Luego, se procede a ubicar al sujeto de prueba en la misma posición representada en la Figura 8, grabando el video de la cara del sujeto al mismo tiempo en que el monitor de presión arterial está funcionando.

Finalmente, una vez obtenido los datos y los videos, estos últimos fueron subidos al computador para posteriormente ser procesados uno a uno para obtener los datos de la utilización de la amplificación de video euleriana. Para la obtención de los datos se utilizó un filtro banda de paso de 2.4 – 3 Hz, los cuales corresponden a las frecuencias altas del ritmo cardiaco de una persona en actividad. La tabla resultante de todos estos datos se observa a continuación (ver tabla 3). Al igual que la tabla anterior, se calcularon los promedios y desviación estándar de frecuencia cardiaca de cada uno de los métodos para una mejor comparación.

	Polar H10 [bpm]	EVM [bpm]	Monitor de presión arterial (Braun ExactFit) [bpm]
Actividad 1	170	155.14	138
Actividad 2	174	147.93	132
Actividad 3	174	178.01	142
Actividad 4	163	152.63	140
Actividad 5	171	144.87	131
Actividad 6	174	160.91	139
Actividad 7	173	152.03	145
Actividad 8	166	161.14	123

Promedio	170.625	156.5825	136.25
Desviación estándar	3.6495	9.1233	6.2849

Tabla 3: Tabla comparativa de los 3 métodos.

Una vez obtenida la tabla, se graficaron los datos obteniendo el siguiente resultado.

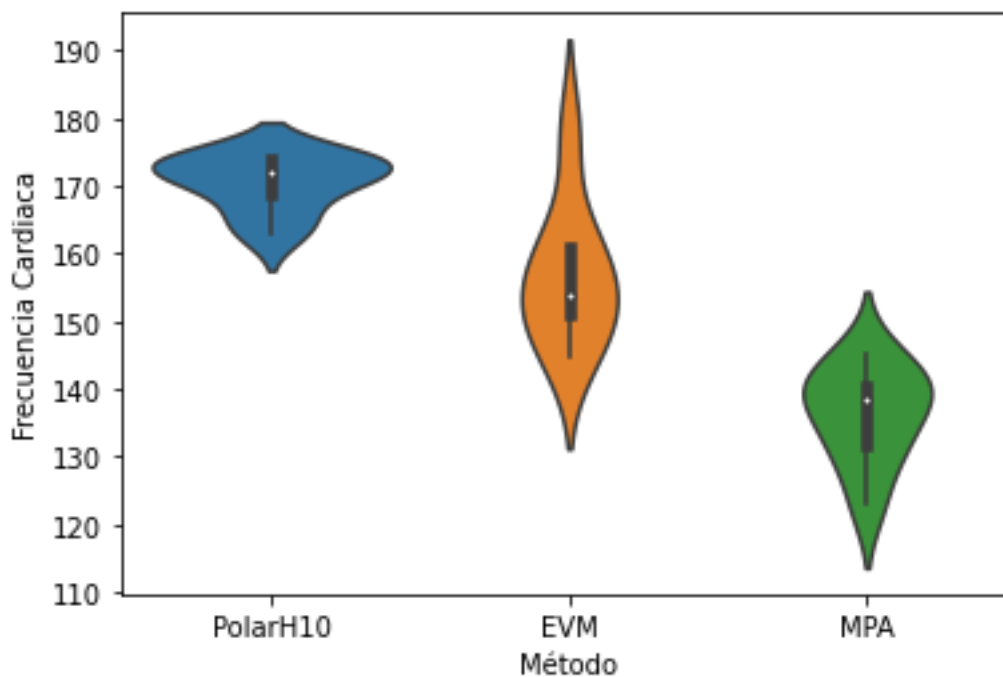


Figura 11: Diagrama de violín resultante de los datos obtenidos de la medición de frecuencia en estado de actividad utilizando los tres métodos comparativos. MPA: Monitor de presión arterial.

En base a la primera parte de la experiencia, se pueden observar las siguientes diferencias entre los métodos: Como primera observación, al calcular el promedio obtenido entre los métodos se puede observar que la diferencia entre estos no es mucha (PolarH10: 98.375, EVM: 101,1425 MPA: 98,75) siendo las más cercanas entre si los métodos PolarH10 y monitor de presión arterial, y la que más se aleja es utilizando la técnica de amplificación de video euleriana. La segunda diferencia es al obtener la desviación estándar entre los métodos (este dato indica que tan dispersos están los datos alrededor de la media), dando como resultado que el menor valor lo obtuvo el método PolarH10 con 1.86 y el mayor valor se obtuvo con los datos utilizando el método de la amplificación de video euleriana.

Los datos obtenidos con la desviación estándar también son observables al analizar el diagrama de violín obtenido con los datos utilizando los tres métodos (ver figura 9). El diagrama de violín es utilizado para poder observar la densidad de los datos en cada uno de los métodos, obteniendo así, que el método utilizando la técnica de amplificación de video euleriana es la que tiene una mayor dispersión de los datos en comparación con los otros dos métodos utilizados, después le sigue el método utilizando el monitor de presión arterial y finalmente, el método que tiene una mayor concentración de datos y menor dispersión es el método utilizando el Polar H10.

Se puede decir que se obtuvieron resultados inesperados, ya que al inicio de esta no se esperaba que al comparar la amplificación de video euleriana con los otros dos dispositivos de medición se obtuvieran datos similares entre sí. Esto se puede observar al comparar los promedios de los tres métodos, si bien después al calcular la desviación estándar se puede observar que la amplificación de video euleriana tiene una mayor dispersión de datos, estos no estuvieron tan alejados en comparación a los otros dos métodos, lo que deja un resultado satisfactorio de la evaluación en estado de reposo.

En base a la segunda parte de la experiencia, se obtuvieron resultados muy diferentes entre sí. Primeramente, al obtener los promedios de los datos al utilizar los tres métodos, se puede apreciar una variación significativa entre ellos (PolarH10: 170.62, EVM: 156.58, MPA: 136.25). La segunda observación es al obtener los datos de desviación estándar de los tres métodos lo que, a diferencia de la evaluación en estado de reposo, la dispersión de datos fue mayor obteniendo así los siguientes datos: PolarH10: 3.64, EVM: 9.12, MPA: 6.28, la mayor desviación estándar obtenida fue con el método de amplificación de video euleriana.

Al analizar el diagrama de violín obtenido con los datos utilizando los tres métodos, se puede observar que en donde hay una mayor concentración de datos es muy distinta para los tres métodos. Primeramente para el método Polar H10, su mayor densidad de datos se encuentra entre los 170 -175 bpm aproximadamente, luego se puede observar que en el diagrama de la amplificación de video euleriana la mayor densidad se encuentra entre los 150-160 bpm aproximadamente y finalmente en el diagrama del monitor de presión arterial, se puede observar que la mayor densidad se encuentra en 140 bpm aproximadamente.

Finalmente, se puede concluir que la técnica de la amplificación de video euleriana para la obtención de parámetros de frecuencia cardíaca, tiene mejores resultados para la evaluación en estado de reposo que en actividad, puesto que, dado los resultados obtenidos, esta técnica no sería precisa ante los cambios de actividad en el sujeto de prueba, como se puede observar en la tabla 3. Los promedios entre los 3 métodos varían mucho entre sí, al igual que su desviación estándar. También, se puede concluir que a esta técnica le falta seguir perfeccionándose para que detecte mejor los cambios de frecuencia cardíaca al realizar actividad física y para la realización de esta experiencia, no se pudo lograr la implementación de esta técnica en tiempo real lo que hubiera facilitado su realización para la obtención de los resultados.

4.-Imagine que usted ya es ingeniero biomédico, ¿utilizaría esta técnica para el diagnostico, si o no? ¿Por qué?

Como ingeniero biomédico, con los resultados obtenidos anteriormente recomendaría utilizar esta técnica como un apoyo al diagnostico, a pesar que aún debe mejorarse, esto no quiere decir que no sirva. Este tipo de herramientas son potenciales para ser usadas en telemedicina, con una mejora continua de la técnica, quizás utilizando otros métodos de procesamiento en donde se puedan obtener resultados más precisos y se puedan obtener resultados en tiempo real podría facilitar la utilización de esta técnica en las funciones ya mencionadas.

5.- Usted como futuro ingeniero biomédico ¿Qué usos le daría a esta aplicación independiente de los resultados obtenidos?

Como se mencionó anteriormente, esta herramienta podría utilizarse para telemedicina, para otorgarle a las personas que viven en zonas de difícil acceso una opción más fácil para poder tener un control en su salud. También, se podría utilizar para poder tener una monitorización del paciente sin tener que utilizar otros métodos que podrían ser más intrusivos como, por ejemplo, la monitorización de recién nacidos o pacientes pediátricos.

5.2 EXPERIENCIA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA PARA LA DIVULGACIÓN DE LA CARRERA

El 11 de junio de 2022 se llevó a cabo el evento del fablab “Reiniciatec” que, como se mencionó anteriormente en la sección 4.2, es una jornada inmersiva dirigida a alumnos de 3ro y 4to medio en donde pudieron conocer las diferentes carreras de la universidad y también conocer las experiencias que cada carrera ofrecía.



Figura 12: Imagen promocional del evento.

Para el evento, primeramente se preparó un video explicando a grandes rasgos la técnica de amplificación de video euleriana y sus potenciales aplicaciones en el ambito de la ingeniería biomédica. Además, se adjuntaron videos aplicando la técnica para poder captar el interés de los futuros alumnos y que estos se acercaran al stand de la carrera para resolver sus dudas. También, dentro de la planificación del evento, se incluyó al final una demostración, en donde los alumnos que asistían al stand pudieron probar la técnica en ellos mismos.

El stand de la carrera de Ingeniería Civil Biomédica consistió en 2 partes. Primero estaba la parte en donde participó el equipo de promoción de la carrera, en donde los asistentes podían resolver sus dudas de la carrera. La segunda parte consistió en la experiencia demostrativa diseñada para el cumplimiento del segundo objetivo de este trabajo. Para ello se necesitó: El computador para procesar los videos y una pantalla adicional para mostrar el video mencionado anteriormente (ver figuras 13 y 14).



Figura 13: imagen del stan en donde se realizo la experiencia demostrativa.



Figura 14: imagen del stand de la carrera de ingeniería civil biomédica.

Previo a la llegada de los asistentes, se realizó una prueba en donde se probó la parte práctica de la experiencia para confirmar que todo funcionaba correctamente.



Figura 15: Captura del video de testeo.



Figura 16: Captura del video de testeo post procesamiento.

El procedimiento para interactuar con los interesados fue el siguiente: Primero, los alumnos se acercaban a la primera parte del stand para resolver sus dudas de la carrera o bien para que les explicaran en que consistía. Después se les invitaba a pasar a la segunda parte del stand, en donde se les explicaba en que consistía la amplificación de video euleriana, explicando a grandes rasgos las etapas de procesamiento de la técnica (reconocimiento facial, descomposición del video de entrada, filtro, amplificación, reconstrucción y estimación de la frecuencia cardíaca).

También se les mencionó las posibles aplicaciones de esta técnica en la Ingeniería Biomédica (Telemedicina y el monitoreo de pacientes aislados, por ejemplo) y se les preguntaba que tipo de aplicaciones se les podía ocurrir a ellos después de mencionar los ejemplos anteriores. Por ejemplo, una de las respuestas fue la aplicación de la técnica para poder monitorear a los adultos mayores.

Finalmente, se les preguntaba a los alumnos si estarían interesados en probar la técnica de amplificación de video euleriana en uno de ellos (ver figura 17), a lo cual varios se mostraron interesados.



Figura 17: Imagen de la parte demostrativa de la experiencia, en donde se procedió a grabar un video de la voluntaria para que este sea procesado. (La voluntaria dio su consentimiento para que se le tomara una foto del procedimiento).

La experiencia demostrativa se repitió por lo menos 7 veces durante el evento.

Respaldo de la actividad

Una vez terminado el evento, se envió una encuesta por correo electrónico a los profesores que estaban en el stand y al equipo que promocionó la carrera para poder contar su opinión.

¿Le gustó el desempeño de Fernanda Sandoval durante el evento del día sábado 11 de junio?	Nombre las cosas buenas y las cosas a mejorar, cualquier tipo de retroalimentación es bienvenida para poder mejorar en el futuro.
Sí. Tu desempeño fue muy bueno. Se agradece tu participación.	Lo bueno es que se observa que se cumple el objetivo de atraer la atención de las personas que participan del evento, al mismo tiempo que realizan una experiencia que los motive para saber más sobre la ingeniería biomédica. Un aspecto a mejorar es el contar con un monitor adicional en donde se pueda observar el procesamiento que se realiza del video y el resultado, de tal manera que toda la gente que pasa alrededor pueda ver lo que se está haciendo.
Fue una actividad que llamó la atención a los asistentes.	Sugiero mejorar el título del proyecto para que sea entendido por el público en general.
Totalmente, el desempeño fue muy bueno, atrajo la atención de interesados y presentó de manera impecable su aplicación.	La presentación y la posibilidad de interactuar fueron los puntos fuertes, quizás modificaría un poco el nombre de la aplicación para aterrizar cuando se presente a los estudiantes de enseñanza media.

Tabla 4: Respuesta de los encuestados realizada al finalizar la actividad por medio de correo electrónico.

6. DISCUSIÓN

En este trabajo se diseñó una experiencia de laboratorio que motiva al grupo de alumnos a trabajar en equipo, a desarrollar su interés investigativo y su mirada crítica utilizando una técnica innovadora que con su desarrollo podría abrir el paso a nuevas aplicaciones en salud. También a través de estas herramientas aplicativas se puede explicar este tipo de técnicas en donde el alumno puede aprender de una manera más activa sin tener que recurrir a los métodos tradicionales, que sería un tipo de aprendizaje pasivo en donde el alumno no es participe de lo que se le enseña.

Esta experiencia, así como tiene sus fortalezas, tiene sus debilidades. Una de estas es que la aplicación de esta técnica para el desarrollo de esta experiencia no es simple, debido a que primeramente se tiene que grabar un video, después este se tiene que guardar en la carpeta para que se pueda procesar el código y este proceso se tiene que repetir cada vez que el grupo quiera tomar nuevos datos. Por lo que, hubiera sido más sencillo que la aplicación de la técnica fuera en tiempo real, es decir, que en la pantalla se proyectara de inmediato el video procesado del sujeto con su frecuencia cardiaca, lo cual no fue posible de desarrollar para este trabajo.

Otra de las debilidades de esta experiencia, es que se tuvo que utilizar un filtro para tomar los datos en estado de reposo y utilizar otro filtro de rango de frecuencias más alto para tomar los datos en estado de actividad, ya que, si se utilizaba un filtro que abarcara tanto frecuencias bajas como altas, los resultados de esta aplicación arrojaban que no había mucha diferencia entre el estado de reposo y actividad. También los datos obtenidos con el sujeto en estado de actividad no eran precisos en comparación con los otros métodos utilizados como comparadores, por lo que las debilidades mencionadas anteriormente hacen referencia a que este tipo de técnicas deben seguir mejorándose para que sean más precisas y que se pueda medir en tiempo real.

Para la experiencia demostrativa aplicada en el evento “Reiniciatec”, las fortalezas recaen en que se pudo exponer e interactuar con los estudiantes de 3ro y 4to medio a través de la amplificación de video euleriana, lo que terminó siendo una experiencia que llamo la atención de los asistentes al evento y los alumnos se interesaron mucho más por la carrera que antes no conocían o querían saber más de ella.

Las debilidades de esta aplicación, tales como se pueden observar en la retroalimentación es que hubiera sido mucho mejor tener una pantalla adicional ya que, durante la exposición, los alumnos se interesaron por saber mucho más del proceso que ocurría en el código y como después esto resultaba en un video procesado, por lo que la pantalla del computador era pequeña para la cantidad de asistentes que querían ver ese proceso. Otra falencia, es que el título que se le dio al video preparado para los alumnos era muy técnico “Estimación de la frecuencia cardiaca a través de la amplificación de video euleriana”, lo que hacía que al inicio no se entendiera muy bien de que se trataba la aplicación. También, repitiendo lo que se dijo para la experiencia del objetivo 1, si se hubiera logrado aplicar esta técnica en tiempo real, se habría podido tener una experiencia más dinámica para los alumnos asistentes al evento, aunque sin lograr lo anterior de igual manera se pudo mantener un dinamismo con los alumnos.

7. CONCLUSIÓN

A través de la información recolectada a lo largo de este trabajo, se logró implementar la técnica de amplificación de video euleriana para ser utilizada como experiencia de laboratorio de Ingeniería Biomédica, que a pesar de las debilidades descritas anteriormente en la discusión, se puede destacar que el alumno, a través de las actividades propuestas descritas a lo largo de este trabajo, puede ser participe de su propio aprendizaje en donde tiene la libertad de llegar a varias conclusiones con los resultados obtenidos, los cuales fueron bastante interesantes sobretodo los datos obtenidos en estado de reposo, y así formar su propia opinión como futuro ingeniero biomédico en la evaluación de técnicas innovadoras que irán surgiendo en el futuro, para poder determinar si estas son de ayuda en el ámbito hospitalario, como también determinar las posibles aplicaciones en donde se pueden utilizar en el ámbito de la salud.

Los grandes aportes de implementar la técnica de amplificación de video euleriana para ser utilizada en la divulgación de la carrera de ingeniería Biomédica, es que se logró llamar la atención de los futuros estudiantes haciéndolos participes de esta experiencia demostrativa, en donde, así como a todos en la carrera hubo algo que les llamo la atención para ingresar a ella, se espera que la actividad realizada iniciara alguna motivación en los alumnos asistentes para dar este gran paso.

8. REFERENCIAS

- [1] S. Williams, H. Fang, S. Relton, C. Graham and J. Alty, "Seeing the unseen: Could Eulerian video magnification aid clinician detection of subclinical Parkinson's tremor?", *Journal of Clinical Neuroscience*, vol. 81, pp. 101-104, 2020. Available: 10.1016/j.jocn.2020.09.046 [Accessed 13 December 2021].
- [2] H. Shahadi, H. Albattat, Z. Al-allaq and A. Thahab, "Eulerian video magnification: a review", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 18, no. 2, p. 799, 2020. Available: 10.11591/ijeecs.v18.i2.pp799-811 [Accessed 13 December 2021].
- [3] H. Wu, M. Rubinstein, E. Shih, J. Guttag, F. Durand and W. Freeman, "Eulerian video magnification for revealing subtle changes in the world", *ACM Transactions on Graphics*, vol. 31, no. 4, pp. 1-8, 2012. Available: 10.1145/2185520.2185561 [Accessed 13 December 2021].
- [4] "Día 179 (compresión de imagen): descripción general de la pirámide laplaciana", ICHI.PRO, 2021. [Online]. Available: <https://ichi.pro/es/dia-179-compresion-de-imagen-descripcion-general-de-la-piramide-laplaciana-238541443372071>. [Accessed: 13- Dec- 2021].
- [5] N. Wadhwa et al., "Eulerian video magnification and analysis", *Communications of the ACM*, vol. 60, no. 1, pp. 87-95, 2016. Available: 10.1145/3015573 [Accessed 13 December 2021].
- [6] F. J. Gutiérrez Ortiz, "A pilot-scale laboratory experience for an inductive learning of hydrodynamics in a sieve-tray tower", *Educ. Chem. Eng.*, vol. 29, pp. 42–55, 2019, doi: 10.1016/j.ece.2019.08.001.
- [7] K. S. Franz, K. Patel, y D. M. Kilkenny, "A biomedical Engineering Laboratory module for exploring involuntary muscle reflexes using Electromyography", *J. Biol. Eng.*, vol. 14, núm. 1, p. 26, 2020, doi: 10.1186/s13036-020-00248-z.
- [8] A. L. Albarracín, F. D. Farfán, y C. J. Felice, "Laboratory experience for teaching sensory physiology", *Adv. Physiol. Educ.*, vol. 33, núm. 2, pp. 115–120, 2009, doi: 10.1152/advan.90200.200

[9] "GitHub - rohintangirala/eulerian-remote-heartrate-detection: Remote heart rate detection through Eulerian magnification of face videos", GitHub, 2021. [Online]. Available: <https://github.com/rohintangirala/eulerian-remote-heartrate-detection>. [Accessed: 13- Dec- 2021].

9. ANEXOS

LINK ANEXOS: https://drive.google.com/file/d/1Ue-x3b8FRfGiVkB8yoP_n5iuCtwUGRy-/view?usp=share_link

9.1 ANEXO 1

La amplificación de video Euleriana es una técnica de procesamiento de imágenes que es utilizada para revelar y amplificar pequeños movimientos y cambios en videos. Este tipo de variaciones no son perceptibles por el ojo humano. En la siguiente experiencia se utiliza la amplificación de video euleriana para estimar la frecuencia cardiaca ¿Cómo funciona esta aplicación?

En los archivos adjuntos a la experiencia el alumno encontrará varios programas escritos en el lenguaje Python. No debe remover ninguno de los archivos en la carpeta. El archivo "main.py" tiene como función definir el rango de frecuencia para la transformada rápida de fourier y llamar en orden a las siguientes funciones para el procesamiento del video:

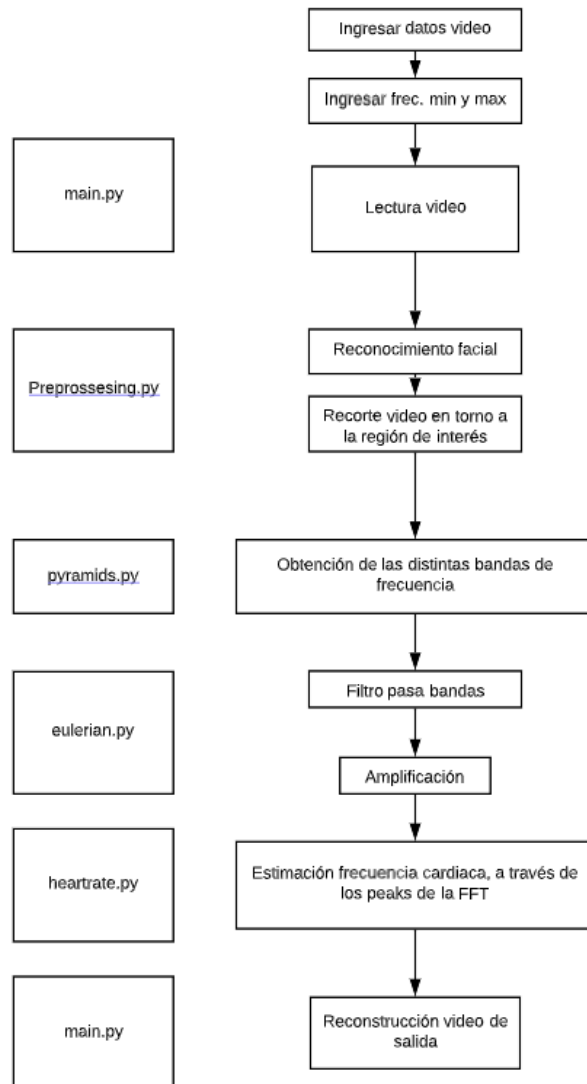


Figura 18: Diagrama explicativo del funcionamiento del código adjunto a la experiencia.

Experiencia de laboratorio de Ing. Civil biomédica.

Objetivo: A) Desarrollar las capacidades de análisis del alumno, a través de la interacción directa con un método innovador y poco conocido, en donde deberá evaluar si el método mencionado en la introducción es apto para ser utilizado en el ámbito de la salud.

Trabajo previo

1.-Deberá tener instalado las siguientes librerías: numpy, scipy y cv2.

2.-Modificar la línea 13 del archivo main.py, ingresando la ubicación del video que deberá grabar el grupo y subirlo a la carpeta “videos” de la carpeta enviada.

3.- El grupo debe modificar la línea 8 y 9 del archivo main.py que corresponde al filtro de acuerdo a lo que estime el grupo conveniente para el análisis de los resultados.

4.- Cada grupo debe disponer de: Monitor de presión arterial (en donde se utilizará el parámetro de frecuencia cardiaca), algún sensor de frecuencia cardiaca (para esta experiencia se utilizó el Polar H10)

Trabajo en el laboratorio

1. Seleccione un sujeto de prueba para realizar la siguiente actividad: Primeramente, el sujeto de prueba deberá estar sentado tranquilamente mientras se le instalan los dispositivos de medición. Luego, se procederá a realizar la medición del monitor de presión arterial y al mismo tiempo el sujeto debe estar grabando su cara a través cualquier dispositivo que genere un archivo de video (la duración del video será del tiempo en que el monitor demora en ejecutar la medición). Finalmente, se deben anotar los resultados obtenidos del monitor, del sensor de frecuencia cardiaca y de lo obtenido con el código de EVM (Eulerian video magnification) que está adjunto a la experiencia.

Este proceso se debe repetir por lo menos 8 veces, ya que entre más datos se tengan mejor es la interpretación de los gráficos

2. Realice la misma actividad mencionada anteriormente, pero previamente, el sujeto de prueba deberá realizar actividad física (como, por ejemplo, correr, saltar, etc.). Después de hacer ejercicio deberá repetir las mediciones que realizó en estado de reposo. Debe calcular bien los tiempos de medición y el tiempo de realizar actividad física, puesto que, este proceso se debe repetir la misma cantidad de veces que las mediciones realizadas en reposo. Al igual que la actividad anterior, debe anotar los resultados obtenidos en cada medición de: Monitor de presión arterial, sensor de frecuencia cardiaca y lo obtenido luego de procesar el video.

3. Presente, mediante una tabla y gráficos, los resultados obtenidos en los puntos anteriores. También debe calcular el promedio y la desviación estándar de las mediciones obtenidas en reposo y actividad de cada uno de los métodos utilizados.

4. En su opinión, ¿utilizaría esta técnica para el diagnóstico, si o no? ¿Por qué?

5. ¿Qué usos le daría a esta aplicación independiente de los resultados obtenidos?

9.2 ANEXO 2

Main.py

```
import cv2
import pyramids
import heartrate
import preprocessing
import eulerian
# Frequency range for Fast-Fourier Transform
freq_min = 1
freq_max = 1.8

# Preprocessing phase
print("Reading + preprocessing video...")
video_frames, frame_ct, fps =
```

```
preprocessing.read_video("/Users/fernandasandovalguajardo/Desktop/eulerian-remote-heartrate-detection-master/videos/IMG_4250.MOV")

# Build Laplacian video pyramid
print("Building Laplacian video pyramid...") lap_video =
pyramids.build_video_pyramid(video_frames)

amplified_video_pyramid = []
for i, video in enumerate(lap_video):
    if i == 0 or i == len(lap_video)-1:

continue

# Eulerian magnification with temporal FFT filtering
print("Running FFT and Eulerian magnification...")
result, fft, frequencies = eulerian.fft_filter(video, freq_min,

freq_max, fps)
    lap_video[i] += result

# Calculate heart rate
print("Calculating heart rate...")
heart_rate = heartrate.find_heart_rate(fft, frequencies, freq_min,

freq_max)

# Collapse laplacian pyramid to generate final video
print("Rebuilding final video...")
amplified_frames = pyramids.collapse_laplacian_video_pyramid(lap_video,
frame_ct)

# Output heart rate and final video
print("Heart rate: ", heart_rate, "bpm")
print("Displaying final video...")
for frame in amplified_frames:
cv2.imshow("frame", frame)
    cv2.waitKey(100)
```
