



Estudio del comportamiento de los fluidos expulsados por mecanismos fisiológicos voluntarios e involuntarios del aparato respiratorio y su disminución mediante la utilización de distintos tipos de prendas de protección empleando una cámara de alta velocidad

León Benítez, Paúl Sebastián

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Castellanos Villa, Santiago David PhD.

05 de marzo del 2022



5. Para CopyLeaks.docx

Scanned on: 23:31 July 18, 2022 UTC



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO DAVID
CASTELLANOS
VILLA



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	68
Words with Minor Changes	72
Paraphrased Words	0
Omitted Words	137



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Estudio del comportamiento de los fluidos expulsados por mecanismos fisiológicos voluntarios e involuntarios del aparato respiratorio y su disminución mediante la utilización de distintos tipos de prendas de protección empleando una cámara de alta velocidad”** fue realizado por el señor **León Benítez, Paúl Sebastián**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de julio de 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO DAVID
CASTELLANOS
VILLA

.....
Ing. Castellanos Villa, Santiago David. PhD

C. C1716962608



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecánica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **León Benítez, Paúl Sebastián**, con cédula de ciudadanía No.1722934575, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Estudio del comportamiento de los fluidos expulsados por mecanismos fisiológicos voluntarios e involuntarios del aparato respiratorio y su disminución mediante la utilización de distintos tipos de prendas de protección empleando una cámara de alta velocidad”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 05 de marzo de 2022

.....
León Benítez, Paúl Sebastián

C.C.: 1722934575



Departamento de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Autorización de Publicación

Yo **León Benítez, Paúl Sebastián**, con cédula de ciudadanía No. 1722934575, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Estudio del comportamiento de los fluidos expulsados por mecanismos fisiológicos voluntarios e involuntarios del aparato respiratorio y su disminución mediante la utilización de distintos tipos de prendas de protección empleando una cámara de alta velocidad”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 05 de marzo de 2022

León Benítez, Paúl Sebastián

C.C.: 1722934575

Dedicatoria

Dedicado a mis padres por darme la vida; a mi tía y abuelos por todo el apoyo emocional indispensable; pero, sobre todo a mi hermano, Carlos Miguel León Benítez, por la visión que planteó en mí como enfoque personal para no desviar mi atención de esta meta, mi título es todo tuyo.

Agradecimiento

Iniciar con un profundo agradecimiento a mi madre y tía, Mirta Benítez y Grace Jaqueline Benítez, por el apoyo incondicional, las noches de desvelo, el sacrificio y compañía en cada una de las distintas actividades a lo largo de mi vida estudiantil.

Gracias a mi padre, Antonio León, por ser un guía en mi camino, por el cariño y muestra de las cosas buenas y malas que trae la vida. Agradezco a mi abuelo, Jorge Benítez, por las enseñanzas compartidas y los consejos, los llevo en un rincón especial del corazón. Agradezco también a mi abuela, Maura Vargas, por el cariño inmenso, el apoyo emocional y económico que ha sido parte indispensable para mi desarrollo personal y social.

Agradecer al Ingeniero Luis Jiménez por su tiempo y apoyo en la realización de este proyecto de titulación, de la misma manera, agradecer a mi tutor de proyecto, Dr. Santiago Castellanos, por su colaboración indispensable en el contenido y presentación del proyecto.

Finalmente, un sincero agradecimiento a cada familiar y amigo que creyó en mí y en mi capacidad para cumplir esta meta.

Índice de contenidos

Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras	11
Resumen	14
Abstract.....	15
Capítulo I Generalidades.....	16
Título del Proyecto.....	16
Unidad Académica Responsable.....	16
Responsable del Proyecto	16
Línea de investigación.....	16
Colaboradores Científicos	17
<i>Director del Proyecto</i>	17
<i>Colaboradores Externos</i>	17
Localización Geográfica.....	17
Antecedentes	18
<i>Tipos de mascarillas</i>	18
<i>Registro de estudios experimentales realizados por otros investigadores</i>	21
<i>Técnicas utilizadas en el proyecto para visualización de fluidos invisibles</i>	27
Definición del Problema.....	29
Justificación del proyecto.....	30

Alcance	30
Objetivos	31
<i>Objetivo General</i>	31
<i>Objetivos Específicos</i>	31
Capítulo II Estado del Arte	32
Pandemia por COVID-19	32
<i>Impacto de la pandemia por COVID-19 en la economía</i>	32
<i>Propagación del COVID – 19 por bioaerosoles y droplets – diferencias</i>	33
Métodos utilizados para el estudio de propagación de partículas en el área de salud.....	34
<i>Con cámaras de alta velocidad</i>	34
<i>Por imágenes Schlieren</i>	36
<i>Por BOS: Schlieren orientado al fondo</i>	37
<i>Por configuración de imágenes de campo oscuro</i>	38
Tipos de prendas de protección utilizadas en el estudio y estándares de seguridad	39
<i>Protectores faciales de una sola capa</i>	39
<i>Mascarillas quirúrgicas</i>	40
<i>Respirador KN95</i>	41
Capítulo III Técnica para la Visualización de Flujos Invisibles mediante BOS.....	42
Configuración experimental.....	42
Software utilizado para el procesamiento de imágenes mediante BOS.....	45
<i>En la grabación de videos</i>	46
<i>En el pre-procesamiento</i>	48
<i>En el post-procesamiento de imágenes</i>	49

<i>Limitaciones en el uso del software para tratamiento de imágenes por BOS</i>	52
Establecimiento de las condiciones óptimas para la toma de videos	54
<i>Descarte de variables</i>	54
<i>Comparación entre variables</i>	56
Procedimiento para la toma y procesamiento de imágenes mediante BOS	60
Aplicación del procedimiento BOS a los casos de estudio	60
Capítulo IV Técnica para la Visualización de Flujos Invisibles por Imágenes de Campo Oscuro ...	64
Configuración experimental	64
<i>Casos de estudio</i>	64
<i>Condiciones y sujeto de prueba</i>	65
<i>Configuraciones del escenario</i>	65
Visualizaciones experimentales y resultados técnicos	66
<i>Tiempos de duración y esparcimientos</i>	66
<i>Seguimiento a partículas para obtención de velocidades</i>	68
<i>Resultados visuales de la eficiencia de cada tipo de mascarilla</i>	80
<i>Cantidades de partículas expulsadas</i>	82
<i>Cantidades de partículas expulsadas en el tiempo de duración del fenómeno</i>	88
Capítulo VIII Conclusiones y Recomendaciones	93
Conclusiones	93
Recomendaciones	95
Trabajos Futuros	96
Referencias	97
Apéndices	100

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Estudios experimentales para medir la efectividad de las mascarillas disponibles en el mercado</i>	22
Tabla 2 <i>Características de la cámara Ultra High Speed Phantom v2512</i>	47
Tabla 3 <i>Resultados de aplicar la técnica BOS al flujo de una secadora con cuatro fondos y dos lentes distintos</i>	59
Tabla 4 <i>Velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al pronunciar el vocablo "ta" usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	72
Tabla 5 <i>Velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al toser usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	74
Tabla 6 <i>Velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al estornudar usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	75
Tabla 7 <i>Cantidades porcentuales de la mezcla saliva-moco al pronunciar el vocablo "ta" en repetidas ocasiones</i>	86
Tabla 8 <i>Cantidades porcentuales de la mezcla saliva-moco en los tres casos de estudio, con tres coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	87

Índice de figuras

Figura 1 <i>Máscara de médico de la plaga</i>	18
Figura 2 <i>Capas de una mascarilla quirúrgica</i>	19
Figura 3 <i>Capas de una mascarilla KN95 elaborada bajo estándar GB 2626 – 2006</i>	20
Figura 4 <i>Colocación correcta de una mascarilla según la norma OSHA 29 CFR 1910.134</i>	21
Figura 5 <i>Ejemplo de escenario de una técnica Schlieren convencional</i>	37

Figura 6 Configuración para la toma de imágenes de campo oscuro determinada en el proyecto	39
Figura 7 Protector facial de una sola capa – buff Neotropical Adventure Gear	40
Figura 8 Mascarilla quirúrgica SERWOUD tipo IIR, elaborada bajo el estandar EN 14683:2019 .	40
Figura 9 Respirador KN95, elaborada bajo el estandar GB2626-2006.....	41
Figura 10 Resultado de la aplicación de la técnica BOS al flujo de una vela	43
Figura 11 Escenario para la toma de imágenes Schlieren del flujo de una secadora.....	44
Figura 12 Diagrama de funcionamiento de la técnica BOS	46
Figura 13 Opción en el programa Image-J para separar un fotograma del video	48
Figura 14 Flujograma de funcionamiento de la macro “Guardado_Automatico_BOS.ijm”	49
Figura 15 Ediciones a la forma de presentación de datos realizados en el GUI	51
Figura 16 Cuadro de enfoque de la cámara en las cuatro pruebas de luz, al estudiar el flujo de aire de una secadora	54
Figura 17 Lentes disponibles	55
Figura 18 Tamaños de cuadro mínimo posible enfocado por distintos lentes.....	56
Figura 19 Fondos empleados en para la técnica BOS.....	57
Figura 20 Escenario para la toma de imágenes Schlieren de los casos de estudio	61
Figura 21 Resultado de la aplicación de la técnica BOS al hablar	61
Figura 22 Resultado de la aplicación del procedimiento experimental BOS al toser	62
Figura 23 Escenario para la toma de imágenes de campo oscuro del proyecto	66
Figura 24 Pronunciación del vocablo “ta” registrado con imágenes de alta velocidad a 1000 fps	67
Figura 25 Estornudo registrado con imágenes de alta velocidad a 1000 fps	67
Figura 26 Tos registrada con imágenes de alta velocidad a 1000 fps.....	68

Figura 27 <i>Barra de mediciones del programa PCC v3.6</i>	68
Figura 28 <i>Fotograma inicial necesario para la calibración de los experimentos</i>	69
Figura 29 <i>Velocidades de las partículas expulsadas en un estornudo</i>	70
Figura 30 <i>Partículas seguidas en una Tos en el programa PCC posterior a la calibración</i>	71
Figura 31 <i>Gráfica de velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al pronunciar el vocablo "ta" usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	77
Figura 32 <i>Gráfica de velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al toser usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	78
Figura 33 <i>Gráfica de velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al estornudar usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	79
Figura 34 <i>Dispersión de droplets y bioaerosoles en los tres casos de estudio, con tres coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	80
Figura 35 <i>Dispersión máxima de bioaerosoles con tres coberturas faciales diferentes</i>	81
Figura 36 <i>Imágenes binarias para el cálculo de cantidades de droplets y bioaerosoles en los tres casos de estudio, con tres coberturas faciales diferentes y sin protector facial</i>	82
Figura 37 <i>Flujograma de funcionamiento del programa para la binarización por la función graytresh</i>	83
Figura 38 <i>Flujograma de funcionamiento del programa para la binarización por la función adapttresh</i>	85
Figura 39 <i>Curvas de comportamiento de las diferentes prendas de protección al pronunciar el vocablo "ta"</i>	89
Figura 40 <i>Curvas de comportamiento de las diferentes prendas de protección al toser</i>	90
Figura 41 <i>Curvas de comportamiento de las diferentes prendas de protección al estornudar</i>	91

Resumen

Debido a la presencia de nuevas variantes del virus SRAS-CoV-2, a marzo de 2022, el uso de una mascarilla continuó siendo una de las prácticas comunes para la prevención contra la pandemia por COVID-19. El proyecto tuvo como primera intención, evaluar de forma cualitativa y cuantitativa, la efectividad del uso de los distintos tipos de prendas de protección en la disminución de bioaerosoles y droplets expulsados al hablar, estornudar y toser. Para ello, mediante la técnica Schlieren orientado al fondo se trataron, una a una, las imágenes del video obtenido con una cámara alta velocidad. Se concluyó que la aplicación de la técnica con las herramientas computacionales disponibles es insensible a variaciones de temperatura de 17°, correspondiente a fenómenos naturales antropogénicos. A posteriori, se obtuvieron resultados in situ en la grabación de los fenómenos del aparato respiratorio como hablar, toser y estornudar; bajo configuraciones de imágenes de campo oscuro. Al comparar un protector facial de una sola capa, con una mascarilla quirúrgica y una mascarilla KN95, los resultados confirmaron que la mascarilla KN95 presentó una mayor efectividad al evitar el filtro de partículas en todos los casos de estudio; por el contrario, se evidenció que el uso de un revestimiento de tela de una capa no se puede considerar una práctica aceptable para evitar el contagio, debido a la permisividad al paso de partículas expulsadas principalmente al estornudar y toser. Finalmente, como base para posteriores investigaciones sobre BOS, se entregó un procedimiento a seguir para el tratamiento de imágenes mediante dicha técnica, con el software empleado y su codificación.

Palabras claves: bioaerosoles, droplets, schlieren, cámara de alta velocidad, metodología para tratamiento de imágenes.

Abstract

The use of a facemask continued to be one of the common practices for the prevention of the COVID-19 pandemic as of March 2022. The project's first intention was to qualify and quantify the effectiveness of using different types of protective clothing. The cases taken to observe the decrease of bioaerosols and droplets were talking, coughing, and sneezing. For this purpose, the images of the video obtained with a high-speed camera were treated one by one using the Background-Oriented Schlieren technique. It was concluded that the technique application with the aid of computational available tools is unsensible to variations of temperature of 17°, which corresponds to natural anthropogenic phenomena. Afterward, in situ results were obtained in the recording of respiratory apparatus phenomena such as talking, coughing, and sneezing; under darkfield imaging configurations. When comparing a single facial protector with a surgical mask and a KN95 mask, the results confirmed that the KN95 mask gave major effectiveness in avoiding particle filtration in every case study. On the contrary, the use of a single-layer nasal mouthguard is not an acceptable practice to avoid transmission, due to the high particle filtration when the person sneezes or coughs. Finally, as a basis for further research on BOS, it is described a procedure to be followed for image processing using this technique, with the software used and its coding also included.

Key words: bioaerosols, droplets, schlieren, high-speed chamber, methodology for image treatment.

Capítulo I

Generalidades

Título del Proyecto

Estudio del comportamiento de los fluidos expulsados por mecanismos fisiológicos voluntarios e involuntarios del aparato respiratorio y su disminución mediante la utilización de distintos tipos de prendas de protección empleando una cámara de alta velocidad.

Unidad Académica Responsable

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Responsable del Proyecto

El responsable del proyecto es el señor LEÓN BENÍTEZ PAÚL SEBASTIÁN, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Teléfonos: +593987079544 e-mail: psleon@espe.edu.ec.

Línea de investigación

Las líneas de investigación son:

- Energía y Termo fluidos
- Tecnologías de Información y Comunicación

Colaboradores Científicos

Director del Proyecto

- Ing. Santiago David Castellanos Villa. PhD. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ecuador.

Colaboradores Externos

- Ing. Luis Oswaldo Jiménez Grijalva. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ecuador.
- Ing. Nicolás Marcelo Páez Flor. PhD. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ecuador.
- Ing. David Cesar Loza Matovelle. PhD. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ecuador.
- Ing. Luis Miguel Carrión Matamoros. PhD. Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Ecuador.

Localización Geográfica

El proyecto se realiza en el Departamento de Ciencias de la Ingeniería y Mecánica, específicamente en el Laboratorio de Reología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Sangolquí-Pichincha – Ecuador.

Antecedentes

A diario se suman muertes ocasionadas por SARS-CoV2. Tras dos años del inicio de la pandemia, al 22 de febrero de 2022, la pandemia ha afectado a más de 450 millones de personas y contabiliza cerca de 6 millones de personas fallecidas del total de la población mundial (Hannah et al., 2020).

Tipos de mascarillas

La regulación de la morbilidad por covid-19 más conocida es el uso de mascarilla. El cual remonta al año de 1700, con diferentes formas y tamaños. Conocidas como máscaras de “médico de la plaga o doctores de pico”, **figura 1**, Martin Kirschner se refirió a las mascarillas como “medidas para combatir infecciones” (Davies et al., 2013).

Figura 1

Máscara de médico de la plaga



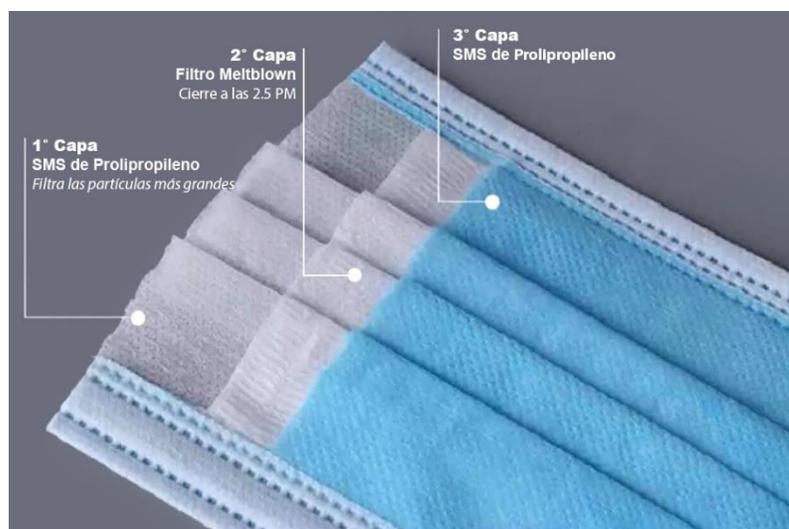
Nota. Adoptado de ¿Por qué usaban los médicos de la peste negra sus máscaras picudas características? [Fotografía], por Blakemore E., 2020, National Geographic (<https://www.nationalgeographic.es/historia/2020/03/por-que-usaban-medicos-pestes-negras-mascaras-picudas>)

Teniendo en consideración que las mascarillas forman parte del equipo de protección para el área de salud, esta práctica se adoptó por parte de la población en general cuando comenzó la pandemia y se lo mantiene hasta la actualidad en la mayoría de los países, con el fin de reducir los contagios. Se desarrollaron mascarillas de diferentes materiales, desde protectores faciales con revestimiento de una sola capa y telas con menor filtración, hasta mascarillas de tres capas con material quirúrgico y respiradores N95 (Davies et al., 2013).

Las mascarillas quirúrgicas están diseñadas bajo el revestimiento de tres capas, la primera es una tela no tejida (SMS) constituida por filamentos continuos de polipropileno, la segunda una capa de filamentos continuos de bajo diámetro obtenidos por un proceso meltblown y la tercera capa idéntica a la primera, como se puede observar en la **figura 2**

Figura 2

Capas de una mascarilla quirúrgica

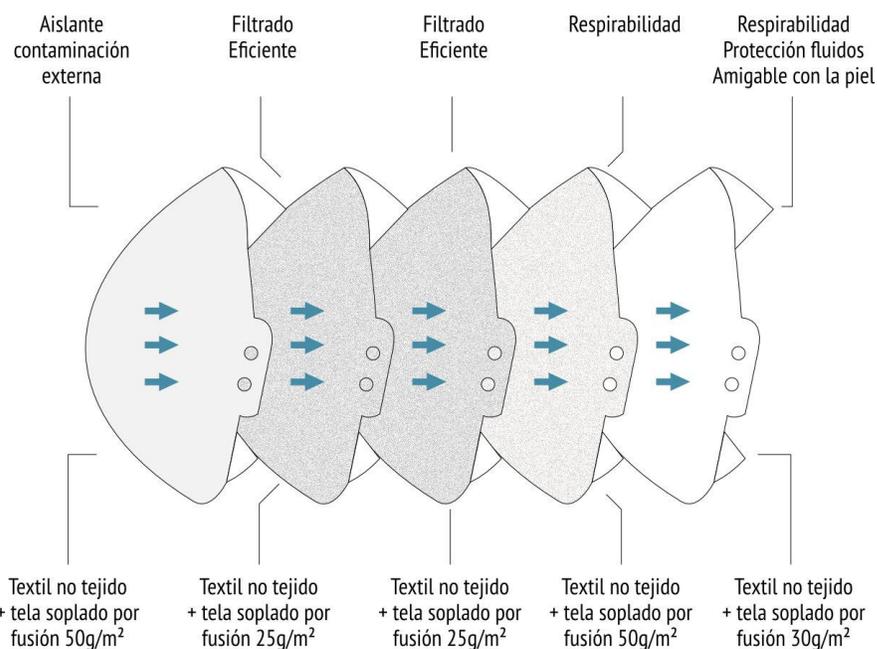


Nota. Adoptado de Máscaras Quirúrgicas Desechables [Fotografía], por Cast Bolzonella, 2020 (https://es.antinfortunistica-dpi.it/Mascaras_quirurgicas_desechables#)

Una mascarilla KN95 elaborada bajo el estándar de seguridad GB 2626 – 2006, consta de 5 capas, todas de tela no tejida obtenida por soplado de fusión, la primera y cuarta con gramaje de 50 g/m^2 , la segunda y tercera de 25 g/m^2 , finalmente una quinta capa de 30 g/m^2 , así se puede observar en la **figura 3**.

Figura 3

Capas de una mascarilla KN95 elaborada bajo estándar GB 2626 – 2006



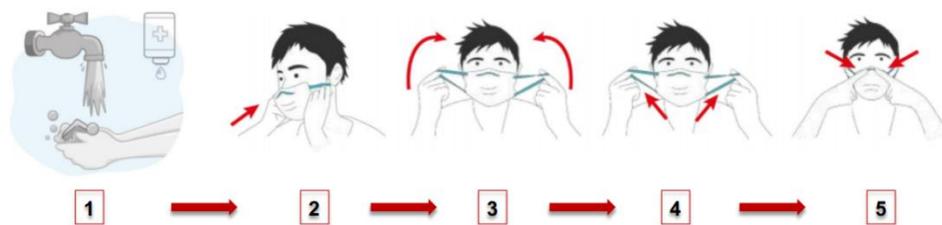
Nota. Adoptado de Respirador Descartable KN95 Modelo DC9599 [Fotografía], por Tonicomsa, 2020 (<https://tonicomsa.com/producto/respirador-descartable-qn95-modelo-dc9599/>)

La Organización Mundial de la Salud (2020) al hacer revisión de datos estadísticos sobre la propagación del SARS-Cov2 recomendó el uso de mascarillas como método de prevención; sin embargo, su uso no garantiza una total protección, pues se deben valorar,

entre otros factores: la forma de colocación, número de capas y filtros de cada mascarilla. La **figura 4** muestra la forma correcta de uso de mascarilla según la norma OSHA 29 CFR 1910.134.

Figura 4

Colocación correcta de una mascarilla según la norma OSHA 29 CFR 1910.134



Nota. Adoptado de Mascarillas – Normas y ensayos [Fotografía], por Cayuela, D. & Riba, M., 2020, INTEXTER (UPC) (<https://www.upc.edu/intexter/ca/covid19/docs/mascaretos-normativa-i-assajos-marta-riba-diana-cayuela.pdf>)

Registro de estudios experimentales realizados por otros investigadores

La **tabla 1** muestra un resumen a cerca de los estudios experimentales que se han realizado en los últimos años para evaluar la efectividad de distintos tipos de mascarillas, las normas utilizadas, su metodología y su tipo de aplicación (simulador/humanos).

Tabla 1

Estudios experimentales para medir la efectividad de las mascarillas disponibles en el mercado

Artículo (Título, autores, año)	Objetivo	Tipo de Mascarilla	Norma	Metodología	Aplicación	
					Simulación	Humanos
Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets	Describir una configuración para experimentos de visualización.	Pañuelo doblado	–	Utilización de visualizaciones cualitativas de tos y estornudo por simulación, para examinar como los materiales y diseños afectan la efectividad de las mascarillas	X	
Siddhartha Verma, Manhar Dhanak & John Frankenfield (2020)	Evaluar cualitativamente la eficacia de las máscaras faciales y otros equipos de protección	Mascarilla casera con 2 capas de algodón	–			
		Mascarilla N95	EN-149: 2001			

Experimental visualization of sneezing and efficacy of face masks and shields	Documentar el alcance de un estornudo típico en un entorno inactivo y evaluar la eficacia de varias mascarillas y protectores faciales estándar y no estándar, bajo la influencia del estornudo.	Mascarilla N-95	EN 14683: 2019	Por medio de una cámara e iluminación láser visualizar los estornudos simulados, usando el número de Reynolds, aire comprimido, válvula solenoide.	X
Venugopal Arumuru, Jangyadatta Pasa & Sidhartha Sankar (2020).		Mascarilla quirúrgica de 3 capas	-		
		Protector facial	-		

<p>Eficacia de la mascarilla facial con filtro de partículas N95 y de la mascarilla quirúrgica durante la respiración humana: dos vías para la penetración de partículas</p>	<p>Diferenciar el aporte proveniente de cada una de las vías, para partículas cuyo tamaño oscila entre 0.03-1 um en condiciones de respiración real</p>	<p>Mascarillas FFR N95</p>	<p>EN-149: 2001</p>	<p>Selección de 25 sujetos que cumplen con los requisitos NIOSH y mascarillas con la norma OSHA. Se determinó la penetración, así como la tasa de concentración de aerosoles según el tamaño de partículas con ayuda de un impactador eléctrico de baja presión (ELPI, Dekati. Ltd. Finlandia) mientras realizaban movimientos de cabeza y respiración.</p>	<p>X</p>
<p>Sergey,A., Hiroki,H., Eninger, R., Reponen,T., Mckay,R. & Lee, S. (2021).</p>		<p>Mascarilla quirúrgica</p>	<p>—</p>		

A critical note on
filtering-face-piece
filtration efficiency
determination applying
EN149

Zoller, J., Meyer, J. &
Dittler, C. (2021)

Investigar el rango
de valores de
eficiencia de
filtración de
aerosoles de
prueba de aceite
en mascarillas
autofiltrantes FFP2

Mascarilla
autofiltrante
FFP2

EN-149:
2001

Uso de un equipo de
prueba de filtro (PMFT
1000, Palas GmbH,
Karlsruhe,Alemania)
con aerosol de aceite
eléctricamente neutro.

Un contador óptico de
partículas (OPC Promo
Led 2300, Aleman),
aplica luz led en un
ángulo de dispersión
de 90°.

X

Análisis del ajuste de mascarillas autofiltrantes en combinación con las mascarillas quirúrgicas para la protección del profesional sanitario en su atención a pacientes afectados de SARS-COV-2 a partir de un estudio experimental	Determinar y cuantificar el nivel de ajuste de las mascarillas autofiltrantes FFP2 combinadas con las mascarillas quirúrgicas mediante serie de pruebas de ajuste (fit test).	Mascarilla autofiltrante FFP2(N95) KN95	EN149: 2001 GB2626-2006	Por medio de un medidor de ajuste de mascarilla FFP modelo PortaCount Pro+8038 compatible con normas y metodología OSHA 29 CFR 1910.134. Se realizaron series de pruebas de ajuste sobre diferentes modelos de mascarillas autofiltrantes FFP2 con y sin mascarilla quirúrgica para diferentes situaciones de respiración	X
García, R., Cabanas, R., Huertas., S., Monné, Pol., Moizé, L. & Calvo, J. (2021).		Mascarilla quirúrgica	YY 09469		

Nota. Se tomaron en consideración los estudios con mayor relevancia desde el 2021 hasta la fecha

Como se observa en la **tabla 1**, los estudios realizados bajo norma son aplicados al estricto trabajo de máquinas simulando una eyección del aparato respiratorio, con el objetivo de obtener resultados repetibles, motivo por el que no se trabaja con fluidos expulsados directamente por mecanismos fisiológicos.

Por otro lado, los estudios realizados en humanos, se basan en verificar la filtración de partículas desde el medio exterior, hacia el interior del tracto respiratorio de la persona y la adaptabilidad de las mascarillas al rostro humano en acciones sencillas como agacharse o respirar.

Y finalmente, los estudios no consideran la eficiencia que tiene la mascarilla para reducir el paso de partículas desde el interior de la mascarilla hacia el medio exterior en acciones incontrolables como es un estornudo o una tos.

Técnicas utilizadas en el proyecto para visualización de fluidos invisibles

A continuación, se va a presentar los estudios realizados hasta la fecha por dos técnicas utilizadas para la visualización de fluidos normalmente invisibles al ojo humano, su funcionamiento se puede encontrar en el capítulo III.

Técnica Schlieren Orientada al Fondo (BOS). “Las primeras descripciones del principio y la aplicación del método de Schlieren orientado al fondo se pueden encontrar en publicaciones de 2000” (Raffel, 2015).

Raffel et al. (2000) se centró en el principio BOS que utiliza un patrón de puntos aleatorios en el fondo y describió su aplicación a la visualización de la estela del rotor de un helicóptero en vuelo estacionario.

Kane et al. (2016) diseñan una lente especial “para analizar el flujo supersónico fuera de una tobera convergente-divergente que opera en condiciones de sobre-expansión”, mediante en un sistema BOS.

Thompson (2020) en su artículo Stopping the spread para Vision Research, Inc. aplica la técnica BOS para demostrar que las personas al hablar o toser generan una gran nube de gas turbulento multifásico, donde distinguen las fases de bioaerosoles, como gas saturado y caliente expulsado desde el aparato respiratorio, y los droplets, como gotas más grandes de saliva.

Jayaweera et al. (2020) en su artículo crítico sobre la dicotomía entre droplets y aerosoles menciona que la mayoría de los estudios sobre el virus COVID-19 se han realizado en simuladores humanos.

Técnica por Configuración de Imágenes de Campo Oscuro. Por otro lado, Turner et al. (1941) utilizó videos de alta velocidad para registrar estornudos utilizando una configuración de imágenes de campo oscuro y destacó partes de la naturaleza compleja de tales emisiones.

Scharfman et al. (2016) en su artículo de investigación sobre visualización de eyecciones de estornudos observa de forma directa los mecanismos físicos de formación de droplets a la salida de la boca durante el estornudo y una tos, mediante configuraciones de imágenes de campo oscuro.

Bahl et al. (2020) en su artículo sobre coberturas faciales y máscarillas, analizan la eficacia de 3 coberturas faciales para minimizar la dispersión de gotas y la aerosolización, mediante evidencia visual de imágenes tomadas con una cámara de alta velocidad y un sistema de iluminación puntual.

Definición del Problema

Las personas en el diario vivir, no podemos observar la cantidad de partículas que expulsamos en mecanismos propios del aparato respiratorio, como toser o estornudar, debido a que son flujos de alta velocidad invisibles al ojo humano. Por tal motivo, el primer problema a solventar es la necesidad de encontrar un mecanismo para la visualización de las partículas eyectadas en este tipo de fenómenos fisiológicos.

Además, los estudios realizados con fin de verificar la eficiencia de las mascarillas, toman como base una normativa. Normativa que reduce los estudios a la aplicación de máquinas simulando eyecciones de partículas del aparato respiratorio, para obtener resultados repetibles. De tal manera que no se trabaja casos reales de fluidos expulsados directamente del tracto respiratorio.

Otra normativa en cambio, está dispuesta a la adaptabilidad de las mascarillas al rostro humano en acciones sencillas como agacharse o respirar. La normativa no toma en cuenta la eficiencia que tiene la mascarilla para reducir el paso de partículas desde el tracto respiratorio, al interior de la mascarilla, hacia el medio exterior; sobre todo en acciones incontrolables como es un estornudo.

Así, una segunda necesidad fue buscar un mecanismo para la cuantificación de las partículas. Partículas expulsadas en acciones involuntarias del aparato respiratorio como estornudar, para observar su disminución al usar los tipos de prendas de protección más comunes.

Justificación del proyecto

Debido a la presencia de nuevas variantes del virus SARS-CoV-2, sigue latente la necesidad de protección ante una pandemia que no cesa. Somos conscientes del uso de mascarilla, sin embargo, muchas veces usamos prendas de protección sin los debidos estándares de seguridad.

La investigación que propone el proyecto permite una evaluación cualitativa y cuantitativa de la efectividad del uso de los distintos tipos de mascarillas para la disminución del flujo de fluidos expulsados al hablar, toser y estornudar.

La velocidad de las partículas virales emitidas por el aparato respiratorio es extremadamente alta, por lo que la investigación amerita del uso de equipo de laboratorio de alta gama, como es la cámara de ultra alta velocidad Phantom v2512 (Phantom High Speed, s.f.) del Laboratorio de Reología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Alcance

El estudio tiene como finalidad la determinación de un mecanismo para visualizar partículas expulsadas por personas en acciones como hablar, toser o estornudar y otro para la cuantificación de las mismas.

Para permitir la visualización de las partículas expulsadas por fenómenos naturales antropogénicos, se proponen dos técnicas: la primera es una técnica de visualización de gradientes de densidad invisibles, Schlieren orientada al fondo (BOS); la segunda conocida como configuración de imágenes de campo oscuro está basada en una iluminación intensa puntual y un correcto posicionamiento de la luz hacia el sensor de la cámara.

Se buscará también un mecanismo, para la cuantificación de estas partículas, para lo que se propone la codificación de un programa en Matlab.

Objetivos

Objetivo General

Estudiar el comportamiento de los fluidos expulsados por mecanismos fisiológicos voluntarios e involuntarios del aparato respiratorio y su disminución mediante la utilización de distintos tipos de prendas de protección empleando una cámara de alta velocidad.

Objetivos Especificos

- Determinar un mecanismo para visualizar los fluidos expulsados al hablar, toser y estornudar, usando una la cámara de alta velocidad.
- Determinar y validar un mecanismo para la cuantificación de partículas expulsadas en casos reales de hablar, toser y estornudar.
- Cuantificar las partículas expulsadas al hablar, toser y estornudar mediante tratamiento de imágenes para verificar su disminución al usar distintos tipos de prendas de protección más comunes.
- Presentar resultados del tipo de prenda de protección más efectiva en la disminución del filtrado de partículas analizando las cantidades de partículas en cada caso.

Capítulo II

Estado del Arte

En el capítulo II se presenta información necesaria para la comprensión del estudio, organizada en el siguiente orden:

- Primera parte: sobre la pandemia por COVID–19, su impacto en la economía y propagación por droplets y bioaerosoles.
- Segunda parte: el fundamento de los métodos utilizados en el estudio de propagación de partículas, entre ellos:
 - Con cámaras de alta velocidad y su configuración óptica imprescindible
 - Por técnicas Schlieren convencionales y por la técnica Schlieren orientada al fondo (BOS)
 - Por configuraciones de campo oscuro
- Tercera parte: los tipos de prendas de protección utilizadas en el estudio y sus respectivos estándares de seguridad bajo los que fueron elaborados.

Pandemia por COVID-19

Impacto de la pandemia por COVID-19 en la economía

El desarrollo de la pandemia por COVID-19 tuvo un gran impacto y no solo en la morbilidad, sino también en la crisis económica a nivel mundial. El Banco Mundial y el PNUD realizaron encuestas de carácter socioeconómico de los hogares, para así poder analizar los mercados laborales, ingresos económicos, entre otros puntos (Grupo Banco Mundial, 2021).

Como se ve en el gráfico 2 de OECD (2020), la deuda pública de la recaudación tributaria del Ecuador ha incrementado con el inicio de la pandemia en los últimos años, índice que indica el fuerte impacto de la crisis actual, combinado con la situación de debilidad fiscal previa, que está generando necesidades de financiamiento público.

El Banco Central del Ecuador, en su publicación sobre el análisis del impacto de pandemia en el desarrollo económico de microempresarios en Jipijapa; determinó el nivel exploratorio, descriptivo y documental, apoyado por un análisis bibliométrico, llegando a la conclusión de la existencia de una situación económica deficiente pre pandemia, que fue afectada aún más por la pandemia (Baque et al., 2021).

Propagación del COVID – 19 por bioaerosoles y droplets – diferencias

Se ha demostrado que la exhalación, el estornudo o la tos, tienen un comportamiento turbulento de emisión de micro partículas. Por tal razón, se pueden encontrar droplets con SARS-CoV2 en pertenencias personales o incluso los bioaerosoles permanecer en un ambiente. Por consiguiente, es necesario la evaluación de la eficacia de las mascarillas como método de protección (Bae et al., 2020).

Pero de este conjunto de partículas de origen biológico que pueden causar contagio o propagación del virus, en acciones cotidianas ¿Qué son considerados droplets? y ¿Qué son considerados aerosoles?

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Centro para el Control y prevención de Enfermedades (CDC) definen a las partículas generadas por fenómenos naturales antropogénicos, solidas o liquidas en el aire, en dos tipos: droplets (diámetro aerodinámico $> 5\mu\text{m}$) y bioaerosoles o núcleos de gotas (diámetro $< 5\mu\text{m}$) (Jayaweera et al., 2020). Sin embargo, según Pöhlker et al. (2021) las “partículas con diámetros menores a $100\mu\text{m}$ a

menudo se denominan aerosoles o núcleos de gotitas en el contexto de las emisiones respiratorias”.

Según Jayaweera et al. (2020) otras postulaciones mencionan que los droplets “caen más rápido de lo que se evaporan”, a diferencia de los bioaerosoles los cuales se dispersan en el aire por medio de su evaporación y pueden permanecer más tiempo en el ambiente.

Una forma más sencilla de comprender el significado de bioaerosol es visualizarlo como droplets que se han evaporado o partículas con diámetros pequeños.

En todos los casos del presente estudio, se usa el término “droplet” para referirse a partículas líquidas expulsadas directamente del tracto respiratorio e independientemente de su tamaño, caen más rápido de lo que se evaporan. En contraposición, “aerosol” representa al conjunto de partículas que por su evaporación se mantienen un mayor tiempo en el ambiente. Finalmente, la expresión “partículas” se refiere a la combinación de los dos términos anteriores.

Según Anfinrud et al. (2020) los droplets se depositan en las regiones superiores de las vías respiratorias para ser expulsadas o tragadas, a diferencia de los aerosoles, que pueden penetrar hasta las profundidades de los pulmones, por lo que representan un mayor de riesgo a la salud.

Métodos utilizados para el estudio de propagación de partículas en el área de salud

Con cámaras de alta velocidad

Uno de los métodos para la prevención de contagio menos aplicado, pero mucho más eficiente, es la concientización del alcance de esparcimiento de partículas que

expulsamos al simple hecho de hablar o la gran cantidad de partículas expulsadas en una tos, en un estornudo. Sin embargo, fenómenos naturales antropogénicos propios del aparato respiratorio ocurren a velocidades imperceptibles por el ojo humano.

Las imágenes de cámaras de alta velocidad proporcionan un espacio-tiempo fácilmente obtenido y resuelto espacialmente que abarca la física de cualquier fenómeno de varios órdenes de magnitud desde submicrosegundos hasta milisegundos (Koch, 2021).

El recurrir a cámaras de alta velocidad para investigaciones sobre temas de salud remonta al año de 1941, donde Turner et al. hacen el registro de fenómenos naturales antropogénicos como un estornudo o una tos a velocidad de 1300 *fps*. Sin embargo, con el desarrollo de la tecnología, el aumento de la potencia computacional permite que las cámaras de alta velocidad sean utilizadas para la visualización de flujos invisibles al ojo humano, característica propia de imágenes Schlieren.

Una vez establecida la herramienta necesaria para la visualización de las partículas, como es una cámara de alta velocidad, es necesario utilizar la configuración óptica y las condiciones de iluminación adecuadas, pues es un factor clave para obtener imágenes de calidad y datos eficaces (Long, n.d.).

Configuraciones ópticas imprescindibles en una cámara.

Profundidad de Campo. Una de las variables dentro de la configuración óptica es la profundidad de campo que puede definirse como la distancia por delante y por detrás del punto enfocado que aparece con nitidez en una foto. Para variar la profundidad de campo de la foto existen tres elementos: la apertura del diafragma, la distancia focal y la distancia real entre la cámara y el punto enfocado.

El aumento de la profundidad de campo se debe al efecto de cada una de las siguientes condiciones: menor apertura de diafragma, menor distancia focal y mayor distancia entre la cámara y el objeto enfocado.

Tiempo de Exposición. Una segunda variable importante en la configuración óptica para obtención de imágenes de calidad es el tiempo de exposición, que no es más que tiempo que el rayo de luz penetra en la cámara y alcanza el sensor digital, en otras palabras, es el tiempo que está haciéndose la foto. Por ejemplo, en fotos de la caída de gotas de lluvia en el suelo se utiliza un tiempo de exposición muy bajo para congelarlas, mientras en fotos de cascadas donde el agua parece sedosa, se utiliza tiempos de exposición altos.

Por imágenes Schlieren

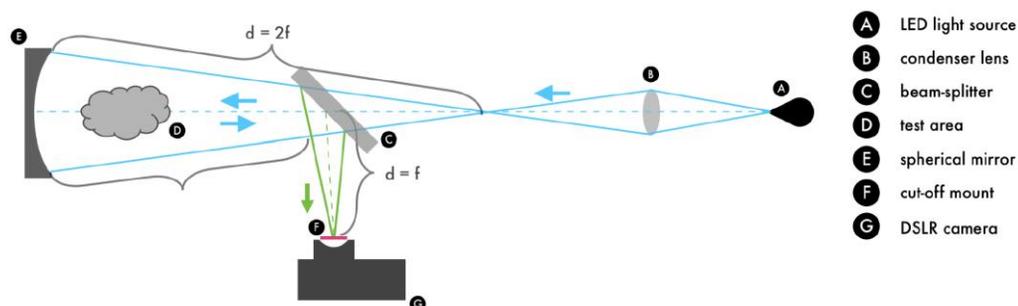
Taylor (2017) define una técnica Schlieren como “un método de prueba no invasivo, para visualizar gradientes de densidad dentro de flujos que de otro modo serían invisibles.”

Adri & Hern (2014) explican el fundamento de la técnica como una diferencia de temperaturas que produce una variación de densidades, lo que conduce a cambios del índice de refracción. Estas diferencias de índices de refracción desviarán la dirección de un rayo de luz propagándose a través del aire actuando en la lente.

Al grabar videos con técnicas Schlieren convencionales, **figura 6**, los resultados se observan ipso facto en la grabación. Sin embargo, y a diferencia de las imágenes tradicionales Schlieren, que utilizan espejos parabólicos especializados; la técnica Schlieren Orientado al Fondo, BOS, requiere una configuración óptica más simple, **figura 7**, (Thompson, 2020).

Figura 5

Ejemplo de escenario de una técnica Schlieren convencional



Nota. Adoptado de Shen & Meng (2013). Single-mirror coincident system design.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109819>

Por BOS: Schlieren orientado al fondo

Se habla de sistemas BOS desde la aparición misma de imágenes Schlieren, en el año 2000, Dalziel et al., aplican la variante “refractometría de seguimiento de puntos” y obtienen resultados equivalentes a los de un BOS (Raffel, 2015).

La ventaja que ofrecen los sistemas BOS ante sistemas Schlieren convencionales radica en la minimización del número de componentes ópticos alineados necesarios para el funcionamiento (Shen & Meng, 2013).

El funcionamiento de los sistemas BOS se basa en comparar una imagen de un fondo sin distorsionar, con una nueva imagen del fondo distorsionado por el flujo de estudio. El análisis se realiza por pixel basado en la relación de Gladstone-Dale, **ecuación 1**; al estudiar un gas perfecto, se obtiene la **ecuación 2**; y aplicado a pequeñas variaciones de presión y temperatura, se obtiene la **ecuación 3** (Shen & Meng, 2013).

$$(n - 1) = K\rho \quad (1)$$

$$(n - 1)T = KP \quad (2)$$

$$\Delta n = \frac{K'}{T} (\Delta P - \frac{P}{T} \Delta T) \quad (3)$$

Donde n es el índice de refracción del gas, ρ es la densidad del fluido, P es la presión, T es la temperatura y K & K' son constantes.

Y aunque los sistemas BOS más simples se pueden implementar con una cámara, imagen de fondo adecuada y computadora para el procesamiento posterior; esta técnica está disponible desde que la potencia informática se vuelve lo suficientemente potente como para procesar rápidamente los datos de desviación de los rayos captados por la cámara (Shen & Meng, 2013).

Por configuración de imágenes de campo oscuro

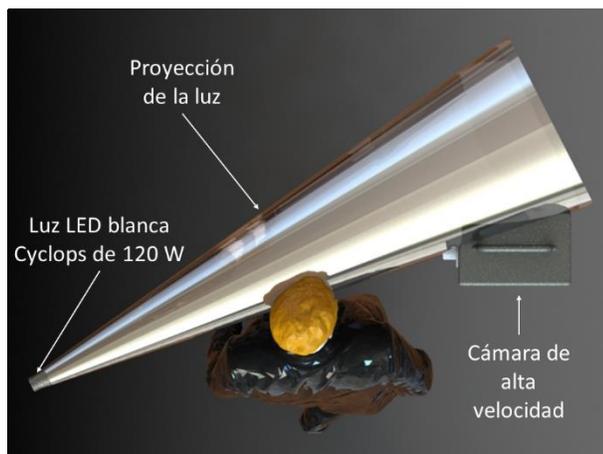
Otro método para la visualización de flujos propios del aparato respiratorio es realizar configuraciones de imágenes de campo oscuro, la primera aplicación de imágenes de alta velocidad a la salud pública remonta al año de 1941, donde Turner et al. menciona la importancia de la luz intensa para mostrar partículas que de otro modo serían invisibles en condiciones ordinarias.

El principio de la toma de imágenes de campo oscuro, se basa en la obtención de la imagen rodeada de una luz intensa enfocada. La refracción espectral se bloquea, mientras la luz ilumina el flujo en cuestión (Nadort et al., 2013). En la presente investigación se denominan imágenes de campo oscuro a las tomas bajo el escenario mostrado en la **figura**

6.

Figura 6

Configuración para la toma de imágenes de campo oscuro determinada en el proyecto



Tipos de prendas de protección utilizadas en el estudio y estándares de seguridad

Protectores faciales de una sola capa

El protector facial de una sola capa, comúnmente conocidos como buff, fue diseñado para una gran protección frente al calor, su uso es realmente cómodo y permite una gran variedad de colocaciones diferentes en la cabeza o rostro, sin embargo, a raíz de la pandemia las personas lo han utilizado como reemplazo al uso de mascarilla.

Existen buffs de distintos materiales y tecnologías, el buff presentado en la **figura 7** de la marca Neotropical Adventure Gear es utilizado en el presente estudio como una de las prendas de protección a observar su eficacia y está diseñado con un tejido 100% de microfibra de polyester y tecnología que proporciona una barrera contra el viento.

Figura 7

Protector facial de una sola capa – buff Neotropical Adventure Gear



Mascarillas quirúrgicas

Las mascarillas quirúrgicas fueron diseñadas para proteger a las personas que las usan del contacto por gotitas y salpicaduras que pueden contener gérmenes. La **figura 8** muestra la mascarilla utilizada en el estudio, además la norma europea EN 14683:2019 para mascarillas tipo IIR bajo el cual fue realizada, cumpliendo un filtrado de partículas BFE mayor a 98%.

Figura 8

Mascarilla quirúrgica SERWOOD tipo IIR, elaborada bajo el estándar EN 14683:2019



Respirador KN95

Las mascarillas respiratorias KN95 ofrece más protección que una mascarilla médica porque filtra tanto las partículas grandes como las pequeñas cuando la persona que la usa, inhala. La **figura 9** muestra el respirador KN95 utilizado en el estudio y el estándar técnico GB2626-2006 bajo el cual fue elaborado y probado.

Figura 9

Respirador KN95, elaborada bajo el estandar GB2626-2006



Capítulo III

Técnica para la Visualización de Flujos Invisibles mediante BOS

El capítulo III está dedicado a la explicación del primer mecanismo aplicado para la visualización de partículas invisibles, para lo que se procedió en el siguiente orden:

- Primera parte: explicación del escenario utilizado en las pruebas y los motivos de las variables.
- Segunda parte: software empleado, descripción de funcionamiento del mismo, adaptaciones realizadas para el procesamiento de video, y las limitaciones en su uso.
- Tercera parte: explica el cómo se establecieron las condiciones óptimas para la grabación de videos a los que se aplicará la técnica BOS.
- Cuarta parte: procedimiento a seguir para la aplicación de la técnica BOS, desde el guardado de las imágenes necesarias para el post-procesamiento hasta obtener el video procesado mediante la técnica.
- Quinta parte: Los resultados de aplicar la técnica BOS a los casos de estudio, como una tos y hablar.

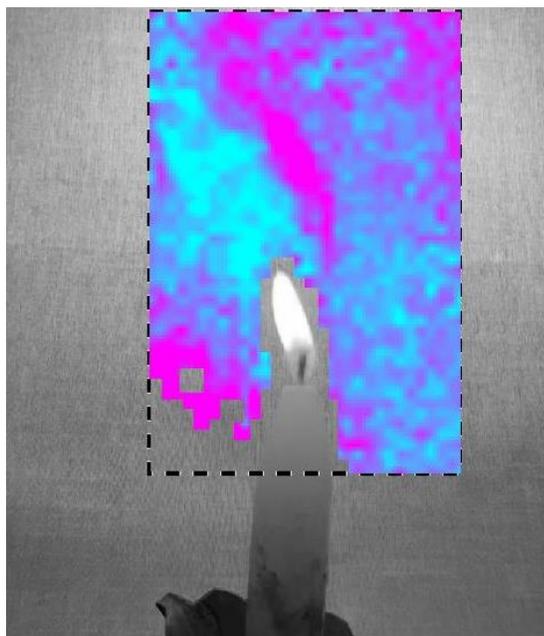
Configuración experimental

Videos sobre fenómenos como el flujo de calor de una vela procesados mediante BOS se han realizado de forma empírica, la **figura 10** muestra una prueba de aplicación de la técnica BOS realizada por el autor de este estudio, para observar el flujo de calor que despiden una vela. La coloración artificial lila muestra las partes en las que existe un índice de refracción más distorsionado, indicando el camino que ha tomado el flujo de calor de la vela

después de encenderla; mientras las partes en celeste muestran los pixeles en los que no existe mayor variación del índice de refracción, indicando la ausencia de un flujo de calor en el aire en dicha ubicación.

Figura 10

Resultado de la aplicación de la técnica BOS al flujo de una vela



De forma progresiva, con el fin de obtener las condiciones óptimas para el escenario de grabación de videos, se procedió a tomar como objeto de prueba una secadora de cabello.

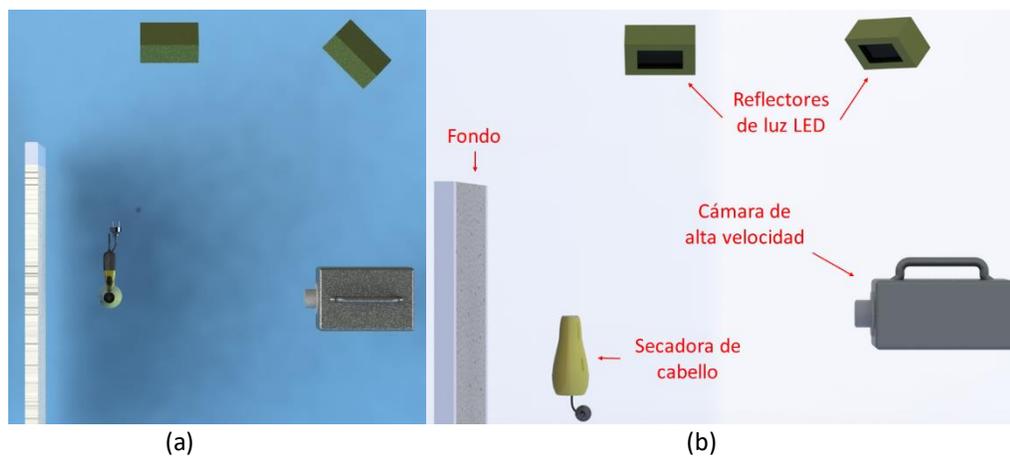
Se pretende estudiar ahora el flujo de aire que expulsa una secadora de cabello, con el fin de apreciar la sensibilidad de la técnica BOS, para luego aplicarla a fenómenos fisiológicos del aparato respiratorio.

Pensando en la aplicación que se dará al procedimiento, el escenario para la grabación de videos se presenta en la **figura 11**. Sin embargo, es necesario tomar en

consideración que el sujeto de prueba no es una persona, sino una secadora, con el objetivo de establecer un escenario óptimo para la toma de videos.

Figura 11

Escenario para la toma de imágenes Schlieren del flujo de una secadora



Nota. Vistas del escenario: (a) Superior y (b) Frontal

Las imágenes fueron tomadas con la cámara de alta velocidad, Phantom v2512, del Laboratorio de Reología de la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE, desde la posición lateral al objeto/sujeto de prueba, perpendicular a la dirección de avance principal del fenómeno de estudio, con iluminación de dos reflectores de luz LED mostrados en la **figura 11** con color verde oscuro, que proporcionen un nivel de iluminación superior a 50000 lx.

El primer reflector de luz LED apuntó directamente a la parte frontal del objeto/sujeto de prueba en la dirección de avance del fenómeno de estudio, el segundo estuvo ubicado a 30° del eje de ubicación de la cámara, desde la vista superior mostrada en la **figura 11 (a)**.

Para lograr una visión completa del fenómeno el objeto/sujeto estuvo ubicado a una distancia de 90 *cm* desde la cámara y a una distancia de 30 *cm* desde el fondo, en la vista superior, **figura 11 (a)**. Además, en la vista frontal, **figura 11 (b)**, el objeto/sujeto debe ubicarse de tal modo que se encuentre en el borde izquierdo del cuadro que enfoque la cámara.

En cuanto a las configuraciones de la cámara, para obtener una mayor amplitud de campo se cerró el diafragma de la cámara hasta un máximo de $f/16$ y el enfoque fue ajustado a la distancia media entre la persona y el fondo 1.1 *m*. Los videos fueron filmados con una velocidad de cuadros de 1000 *fps* y finalmente, el tiempo de exposición fue ajustado entre las pruebas para verificar que no haya pérdida de los patrones de cada fondo.

Software utilizado para el procesamiento de imágenes mediante BOS

Para la aplicación del código de la técnica BOS, previamente se tiene que tomar dos acciones: la grabación de videos y el almacenamiento de cada fotograma como imagen separada. La **figura 12** indica un esquema de la forma secuencial a seguir para aplicar la técnica BOS y poder observar el flujo invisible en análisis.

Figura 12

Diagrama de funcionamiento de la técnica BOS



En la grabación de videos

Supliendo el primer paso, se utilizó la cámara de alta velocidad, Phantom v2512, con las características mostradas en la **tabla 2**. Para ello, es necesaria la instalación del programa Phantom Camera Control Application (PCC), para el estudio se utilizó la versión 3.6.

Tabla 2*Características de la cámara Ultra High Speed Phantom v2512*

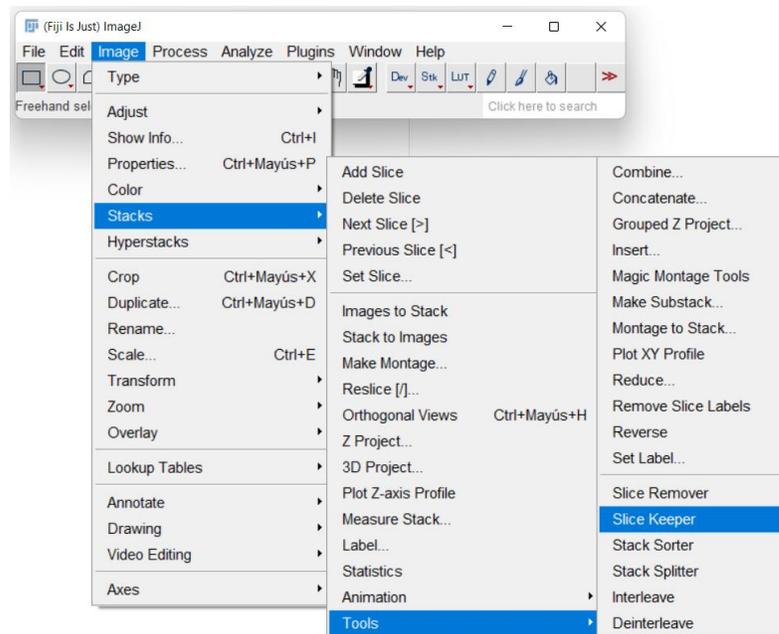
Velocidades de fotos y exposición	
FPS superior a máxima resolución	25 700 <i>fps</i> a 1280 × 800
FPS máximo	1 000 000 a 256 × 32
FPS mínimo	100 <i>fps</i>
Función de exposición	Auto-exposición
Imágenes	
Tipo de sensor	CMOS
Tamaño del sensor	35.8 × 22.4; 42.2mm diagonal
Resolución máxima	1280 × 800
Profundidad de bits	12 <i>bits</i>
Tamaño del pixel	28 <i>micras</i>
Conectividad y señales	
Tipo de transmisión de datos	Por cable de ethernet
Velocidad de transmisión de datos	1 GB y 10 GB
	Código de tiempo
	FSYNC
Conexiones	GPS
	Datos de rango
	Disparador
Máximo de particiones de la memoria	63
RAM	
Grabación continua	Si
Velocidad de rendimiento	25 <i>GPx</i>

En el pre-procesamiento

Sobre el segundo paso, el programa utilizado para el almacenamiento de los fotogramas por separado fue: “ImageJ”, el programa tiene la opción para separar un fotograma de toda la pila de fotogramas del video, como se observa en la **figura 13**.

Figura 13

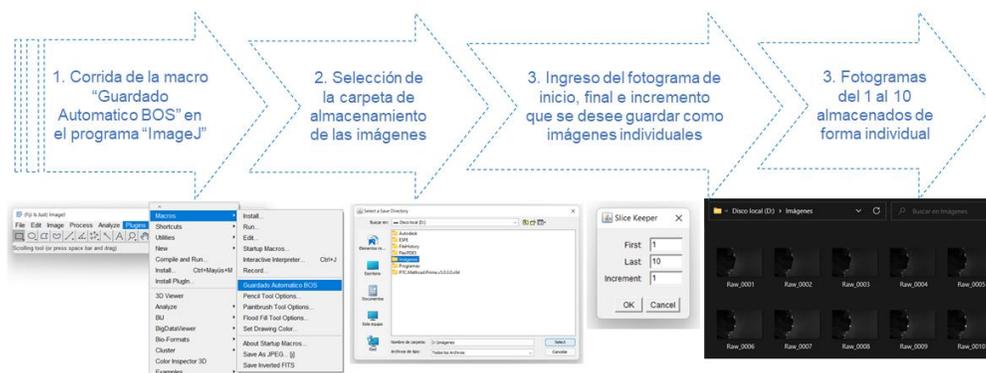
Opción en el programa Image-J para separar un fotograma del video



Sin embargo, guardar uno a uno los mil fotogramas que se obtienen en un segundo de grabación en un video de una cámara de alta velocidad es trabajo muy pesado, por lo que se redactó una macro, que nos ayude con dicho trabajo. La macro se encuentra expuesta en el Anexo A, con el nombre: Guardado_Automático_BOS.ijm y su trabajo es tomar la acción mostrada en la **figura 13** para la cantidad de fotogramas que indiquemos antes de su corrida, posteriormente, guardar cada imagen previamente abierta y tras almacenarla con el nombre secuencial “Raw_#”, cerrarla. Como se indica en la **figura 14**.

Figura 14

Flujograma de funcionamiento de la macro "Guardado_Automático_BOS.ijm"



Uno de los requisitos para que el programa Image-J acepte los videos es que el formato del video sea AVI, por lo que la cámara y el programa PCC simplifican mucho el trabajo.

En el post-procesamiento de imágenes

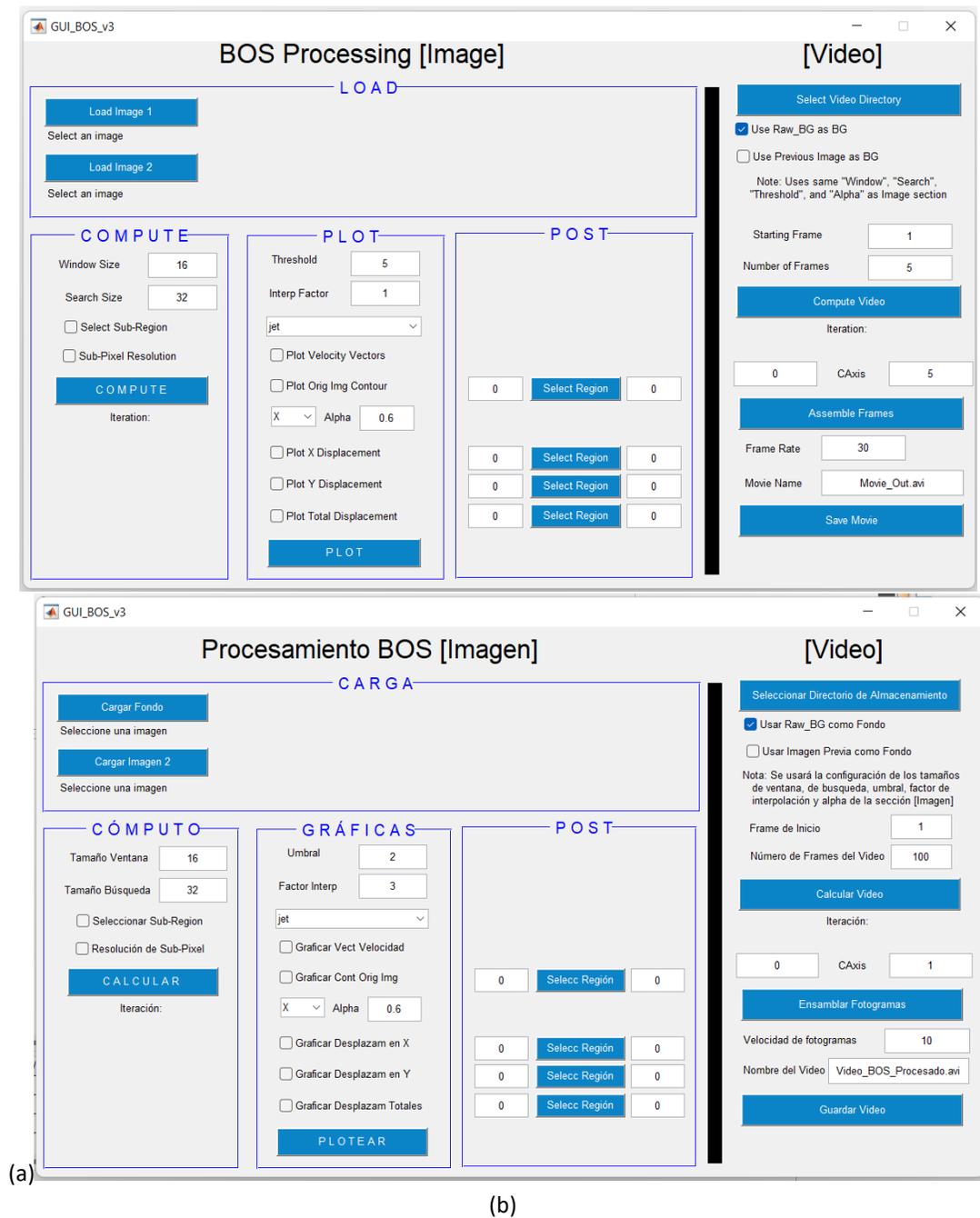
Para el procesamiento de las imágenes obtenidas en el paso 2, la tercera herramienta digital que se utilizó como base, fue el código "GUI_BOS_v3.m". El programador del código otorga permiso a cualquier persona que obtenga una copia de este software y los archivos de documentación asociados (el "Software"), para operar con el Software sin restricciones. Incluidos entre otros: los derechos de uso, copia, modificación, fusión, publicación, distribución, sublicenciar y/o vender copias del Software.

Además, permite que las personas a las que se les proporcione el Software lo hagan, sujeto a las siguientes condiciones: el Software se proporciona "tal cual", sin garantía de ningún tipo, expresa o implícita. En ningún caso, los autores o titulares de los derechos de autor serán responsables de cualquier reclamo, daños u otra responsabilidad.

El GUI del código fue editado de manera inicial en la forma de presentación de las variables a controlar en el procesamiento de las imágenes y videos, de tal manera que indique las variables controlables en el procesamiento en idioma español, como se observa en la **figura 15**; importante y necesario para replicar el procedimiento que se describe en el siguiente inciso. El GUI editado en idioma español se adjunta en el Anexo B.

Figura 15

Ediciones a la forma de presentación de datos realizados en el GUI



Nota. GUI del programa: (a) Inicial y (b) Editado por el autor.

Después de editar la forma de presentación de datos, se modificó el contenido del código, de forma que el usuario pueda controlar las variables de procesamiento de videos de forma interactiva y no queden variables seteadas por defecto, como fue codificado de manera original. De este modo, el usuario antes de correr de forma automática el procesamiento de video, tiene la opción de revisar la respuesta que tienen las variables en el procesamiento de una de sus imágenes con respecto a su fondo y editar las variables hasta obtener un resultado visual óptimo.

Una vez obtenido el resultado visual deseado en la parte de **post-procesamiento [Imagen]**, el programa guarda la última configuración de variables establecida por el usuario y la utiliza cuando el usuario realiza el **post-procesamiento [Video]**. Se entrega como Anexo B con el nombre "GUI_BOS_v3.m" el código modificado con las acciones antes descritas.

Limitaciones en el uso del software para tratamiento de imágenes por BOS

A continuación, se acotará algunas de las restricciones para el pre-procesamiento o guardado de las imágenes del video. También se explicará algunas de las trabas en cuanto al recurso computacional para procesamiento de las imágenes y tiempos de duración por cantidad de imágenes del video.

Condiciones del estudio. El responsable de la investigación utilizó una computadora portátil con procesador Core *i7* de octava generación, memoria *RAM* de 8 *GB*, con disco sólido de 100 *GB* y un disco duro de 1 *TB* y tarjeta de video extra *NVIDIA GEFORCE GTX*.

En el Almacenamiento de las Imágenes del Video. Con la computadora antes mencionada, se es imposible la ejecución de la macro "Guardado_Automatico_BOS" para un

video con una cantidad de fotogramas mayor a 2800, debido a que la macro recorta un fotograma del video a la vez y lo deja abierto hasta llegar a la cantidad total de fotogramas que el usuario imponga, por lo que la tarjeta de video, no soporta la apertura de más de 2800 imágenes al tiempo.

En el Tiempo de Procesamiento. Con respecto a cantidad de imágenes, el programa puede demorar en el peor de los casos hasta 10 s por imagen, suponiendo que se procese imágenes con resolución de 1280×800 , propia de la cámara Phantom v2512 con un lente de 50 mm, con búsqueda de ventanas de 8 pixeles en un cuadro de búsqueda de 16 pixeles, común para la mayoría de fenómenos.

Lo que indica tiempo de procesamiento cercano a 3 horas para una cantidad de 1000 fotogramas o 1 segundo de fenómeno a 1000 *fps*, tiempo aproximado de duración de un fenómeno como un estornudo.

Este tiempo indica solo el procesamiento del recurso computacional, sin embargo, a esto hay que aumentar el tiempo de pre-procesamiento (guardado) del total de imágenes que se aproxima a 10 minutos por 100 imágenes. Lo que implica tiempos total aproximado de procesamiento por fenómeno de 4 horas.

En el Recurso Computacional Utilizado. Adicional al tiempo de procesamiento es clave mencionar que la memoria *RAM* del computador portátil utilizado, soportó el almacenamiento de 3000 imágenes procesadas por el método BOS, después de lo que el vector que contiene las imágenes procesadas en el programa supera el espacio de almacenamiento de la memoria *RAM*, por lo que el programa no puede seguir almacenando más imágenes. Lo que revela la necesidad de un recurso computacional con memoria *RAM* más amplia para procesamiento de videos de más de 3000 fotogramas.

Establecimiento de las condiciones óptimas para la toma de videos

Descarte de variables

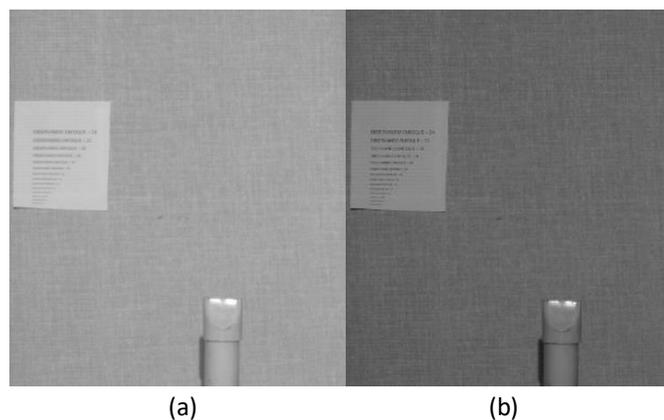
Para establecer los escenarios de las pruebas se usan una combinación de entre las variables: dirección de la luz, lentes y fondo. El descarte de las variables fue progresivo hasta llegar a las condiciones óptimas que apliquen al caso de estudio.

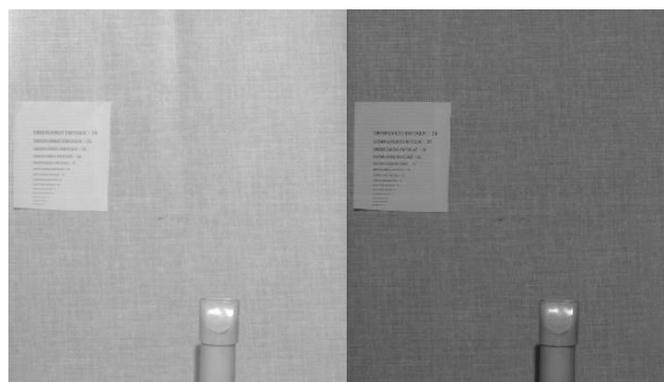
La primera variable tomada en cuenta fue la necesidad de luz frontal hacia el objeto, la segunda fue la necesidad de luz posterior al fondo. Se toma un fondo que permita el paso de luz, como es la tela mostrada en la **figura 19 (a)**, y una lente que permita capturar el cuadro de todo el experimento, **figura 17 (c)**.

Basados en el mejor enfoque posible al fondo en la imagen, de cada una de las imágenes de la **figura 16**, se puede observar que la granulometría del fondo de la **figura 16 (a)** y **(c)** presenta una mejor resolución que las otras imágenes, por lo que se determinó la necesidad de uso tanto de luz frontal, como posterior al fondo.

Figura 16

Cuadro de enfoque de la cámara en las cuatro pruebas de luz, al estudiar el flujo de aire de una secadora





(c)

(d)

Nota. Cuadro de la cámara: (a) Con luz frontal, (b) Sin luz frontal, (c) Con luz posterior y (d) Sin luz posterior

La segunda variable tomada en cuenta fue el lente, para lo que se dispone de tres lentes, **figura 17**. Tomando en cuenta el tamaño de cuadro de la imagen mínimo posible para cada lente, **figura 18**, se descartó el uso del lente Sigma 20mm, debido a que la imagen obtenida (cuadro) es muy amplio para los fenómenos naturales antropogénicos de estudio, lo que hace que perdamos resolución en el área de interés, como es el fondo.

Figura 17

Lentes disponibles



(a)

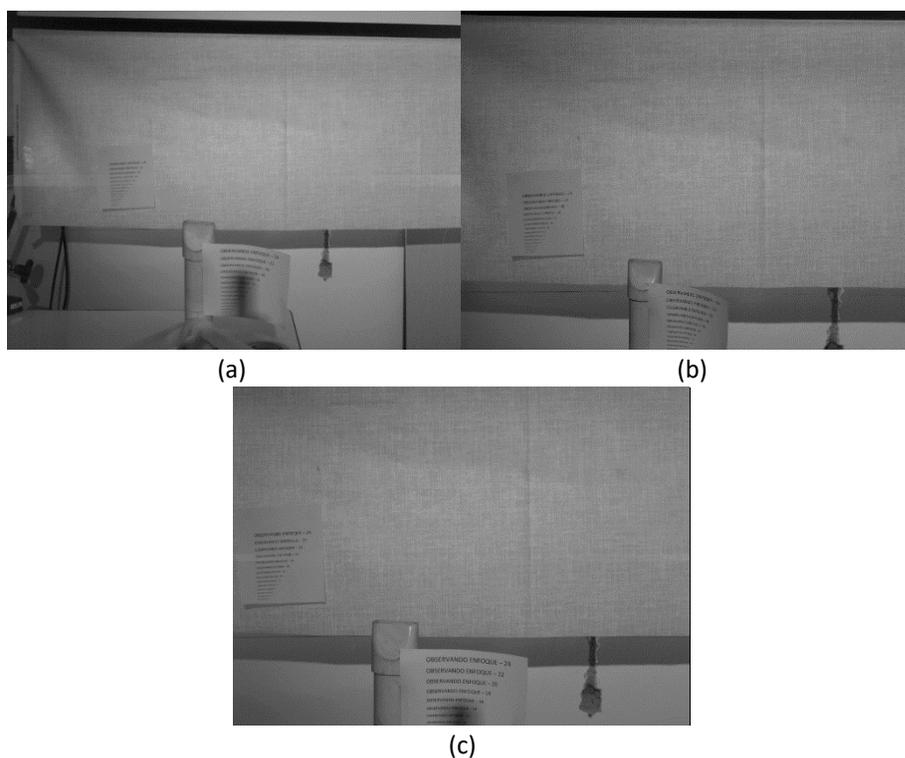
(b)

(c)

Nota. Lente: (a) Sigma 20mm 1:1.4 (b) Nikon 50mm 1:1.8 (c) Nikon 85mm 1:1.8

Figura 18

Tamaños de cuadro mínimo posible enfocado por distintos lentes



Nota. Cuadro de la cámara con lente: (a) Sigma 20mm, (b) Nikon 50mm y (c) Nikon 85mm

Comparación entre variables

Del descarte de variables anterior, se determinó para grabaciones póstumas la necesidad de uso de luz, tanto frontal como lateral, en el caso imposible de paso de luz posterior. Por otro lado, los lentes a contrastar, posterior al descarte, fueron los mostrados en la **figura 17 (b)** y **figura 17 (c)**. La variable a contrastar fue el fondo, para lo que se tomó en cuenta cuatro diferentes, mostrados en la **figura 19**.

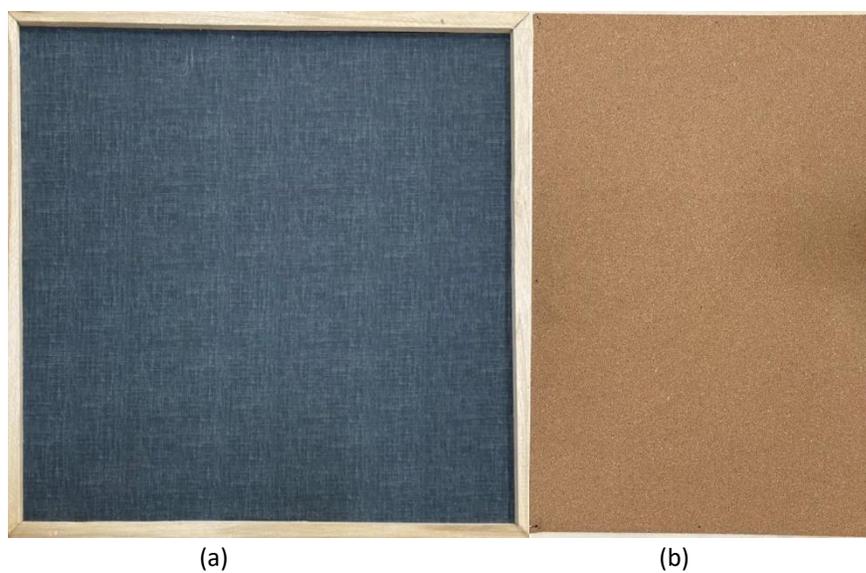
Los cuadros mostrados de la **figura 19 (c)** y **(d)** tienen un tamaño de 35×25 cm y los puntos más finos fueron pintados con marcador de CD para evitar

manchones, los puntos más gruesos con marcador de pizarra permanente y la densidad de negro con respecto al total de píxeles de cada imagen, explicada en la **ecuación 5**, es de 11.43 y 41.89 %, respectivamente.

Las imágenes procesadas por BOS en la combinación de los distintos fondos con los dos lentes antes mencionados, **tabla 3**, muestran una coloración artificial lila para un gradiente de densidad alto y un celeste para un gradiente de densidad bajo, sin embargo, como se observa en todas las figuras, existe un llamado “ruido visual”, observado como puntos de coloración lila seguido de otro azul, seguido de un lila, infinitamente; lo que indica que la técnica BOS aplicada es algo insensible a la detección de estos gradientes de densidad bajos.

Figura 19

Fondos empleados en para la técnica BOS





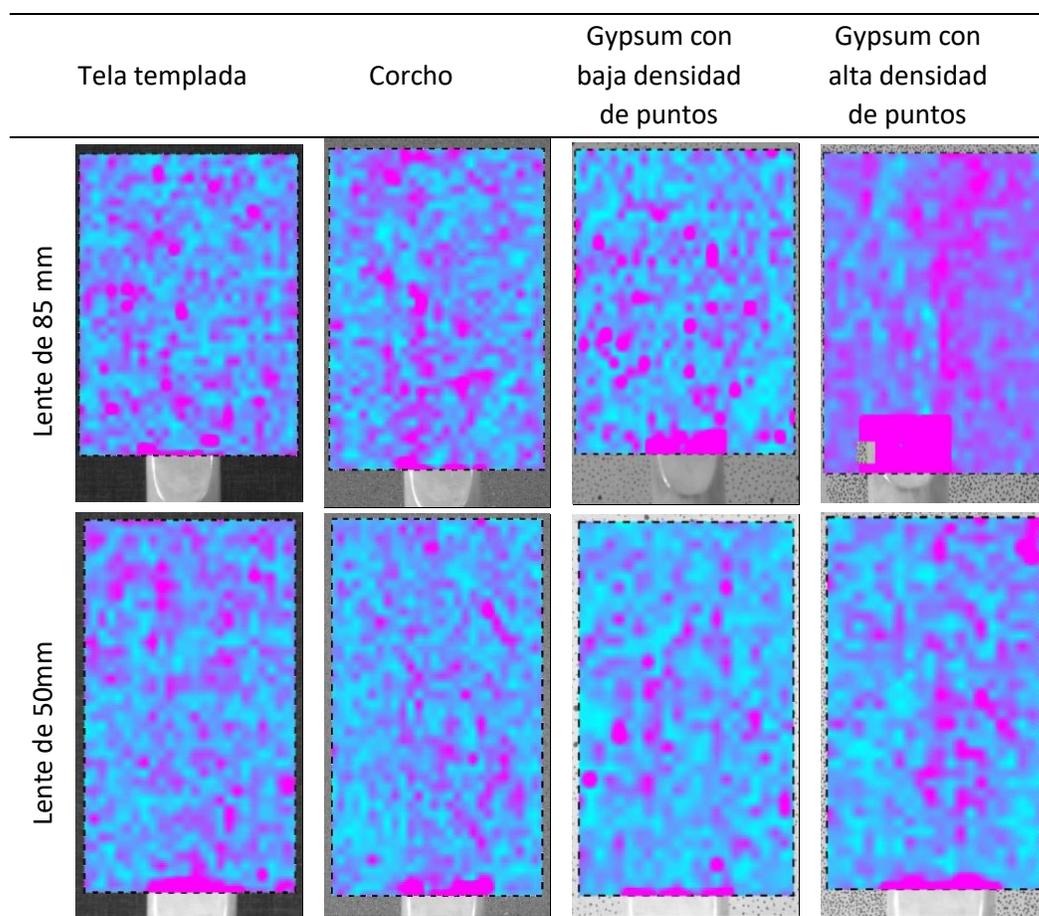
(c)

(d)

Nota. Fondo de: (a) Tela templada, (b) Corcho, (c) Gypsum y densidad de puntos baja, (d) Gypsum y densidad de puntos alta

Tabla 3

Resultados de aplicar la técnica BOS al flujo de una secadora con cuatro fondos y dos lentes distintos



La combinación tanto de tela, como de gypsum con baja densidad de puntos y un lente de 85mm de la **tabla 3** son claro ejemplo de la presencia de ruido completo, sin información alguna.

A diferencia del resultado de la combinación de un lente de 50mm grabado con fondo de gypsum con alta densidad de puntos, donde a pesar del ruido se puede entender, por la alta intensidad del color lila específicamente en el área superior a la boquilla de salida

de aire de la secadora, que es esta la combinación óptima que reduce el ruido y permite observar de mejor manera el flujo de aire de la secadora, entendida por color lila.

Procedimiento para la toma y procesamiento de imágenes mediante BOS

Dado el hecho que una secadora es un objeto que genera siempre el mismo flujo de aire, se logró establecer condiciones igualitarias para poder determinar un procedimiento a seguir para la grabación y procesamiento de videos por la técnica BOS. El Anexo G detalla de forma minuciosa, el procedimiento explícito a seguir desde el montaje del escenario para la grabación del video, hasta la obtención del video procesado por BOS.

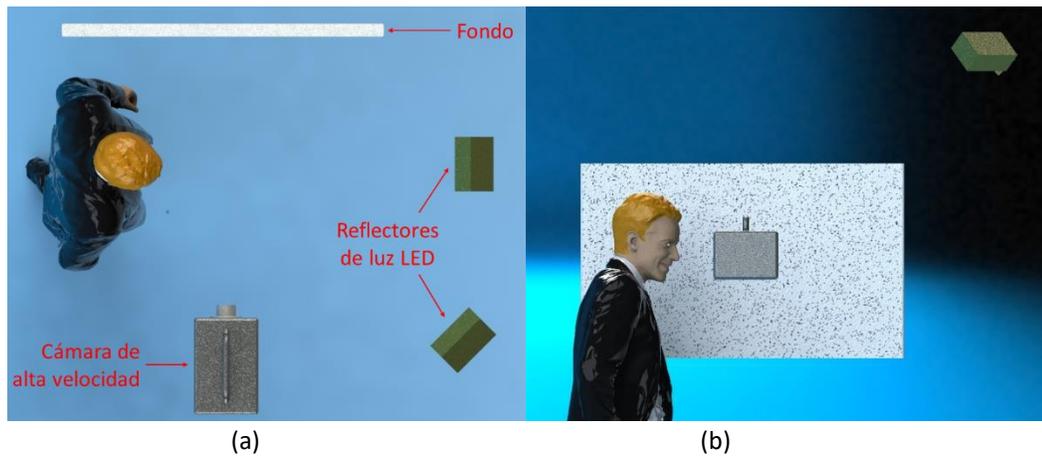
Aplicación del procedimiento BOS a los casos de estudio

Establecido el procedimiento completo y tomando en cuenta que el análisis ejecutado por el programa “GUI_BOS_v3” es más sensible a la detección de aerosoles, para la observación del fluido expulsado por el sujeto de prueba, se consideraron los siguientes casos de estudio: hablando y tos; pues para ambos casos la formación de bioaerosoles es mayor a la formación de droplets, en contraposición a un estornudo.

El escenario utilizado para la grabación de videos de los casos mencionados es idéntico al mostrado en la **figura 11**, sin embargo, ahora el sujeto/objeto de prueba es una persona, el autor del estudio, de tal manera se observa en la **figura 20**.

Figura 20

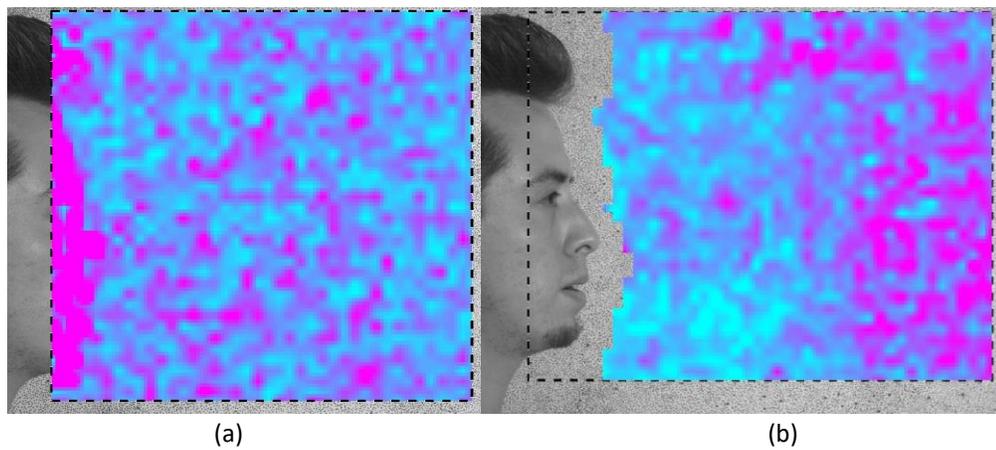
Escenario para la toma de imágenes Schlieren de los casos de estudio



Nota. Vistas del escenario: (a) Superior y (b) Frontal

Figura 21

Resultado de la aplicación de la técnica BOS al hablar



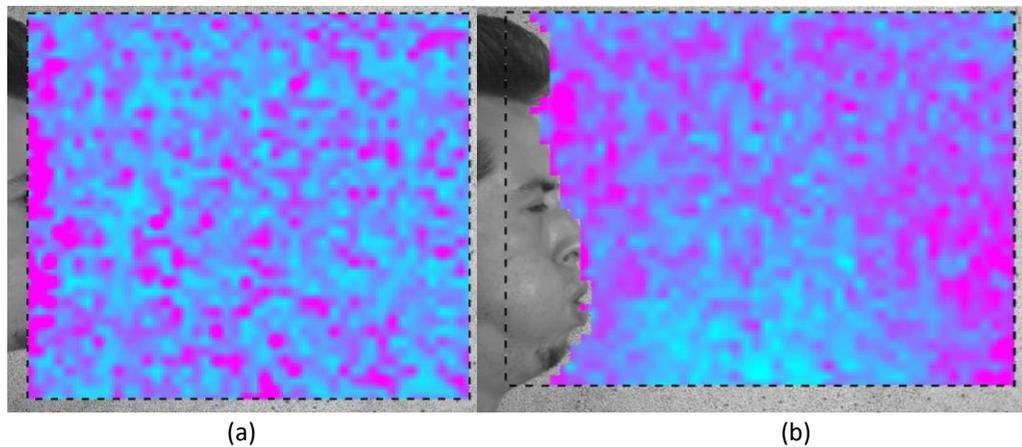
Nota: Imagen mostrada a: (a) 0.001 y (b) 0.969 s desde el inicio del fenómeno

Al observar la coloración lila de diferente intensidad en todo el cuadro del primer fotograma tras el inicio del fenómeno podemos entender que existe mucho ruido que

distorsionará los resultados, es decir, cambio de coloración debido a razones diferentes al gradiente de densidad producido al hablar. Sin embargo, se muestran resultados burdos del flujo de calor expulsado al hablar en la **figura 21 (b)** donde todo el fluido expulsado al ejecutar la acción se puede observar en lila intenso.

Figura 22

Resultado de la aplicación del procedimiento experimental BOS al toser



Nota: Imagen mostrada a: (a) 0.001 y (b) 0.684 s desde el inicio del fenómeno

De la misma manera que en la **figura 21 (a)**, en la **figura 22 (a)** también se observa ruido producido por razones externas al gradiente de densidad producido por el flujo de la persona al toser, mientras la **figura 22 (b)** muestra una completa insensibilidad al método.

Analizando la teoría de funcionamiento de la técnica BOS, antedicha en la **ecuación 3**, que expresa una relación directa entre la variación de la temperatura, que provoca una variación en la densidad y esta a su vez una variación en el índice de refracción, se midió las temperaturas que genera la persona al balbucear y toser, para las que se obtuvo variaciones de 32° y 27° , con respecto a temperatura ambiente, respectivamente.

De esta manera, se determinó una condición ineludible para la aplicación del procedimiento, como es la necesidad de variaciones de temperatura superiores a 125°, como es en el caso del flujo de la secadora, donde aún se puede divisar resultados a grandes rasgos del fenómeno. Sin embargo, la prueba del flujo aire caliente de una vela muestra, presentada al inicio del capítulo en la **figura 10**, muestra mejores resultados, este flujo presenta variaciones de 380° aproximadamente, con respecto a la temperatura ambiente.

Capítulo IV

Técnica para la Visualización de Flujos Invisibles por Imágenes de Campo Oscuro

El capítulo IV se desarrolla para presentar una segunda técnica de visualización de flujos del aparato respiratorio, conocida como Imágenes de Campo Oscuro.

El primer apartado del capítulo IV presentó los casos que se estudiaron, las prendas de protección utilizadas, las condiciones de las pruebas y el escenario utilizado en el estudio.

El segundo apartado proporcionó los resultados visuales, tiempos de duración de los fenómenos, velocidades, cantidades de partículas expulsadas con sustento técnico y curvas de comportamiento de las distintas prendas para cada caso de estudio.

Configuración experimental

Casos de estudio

Se grabaron videos de alta velocidad, utilizando una velocidad de fotogramas de 1000 *fps*. Para la grabación se tomaron en cuenta tres casos de estudio: el primer y segundo caso son inherentes a mecanismos fisiológicos voluntarios propios del aparato respiratorio, mientras el tercero es un mecanismo involuntario.

Primer caso. Aludió al sujeto de prueba hablando con un tono de voz alto, para lo que se observó al sujeto de prueba combinar todas las consonantes del abecedario con cada una de las vocales, de donde se determinó que la persona al pronunciar la consonante “T” y combinarla con la vocal “A” produce una mayor cantidad de droplets.

Segundo caso. En particular, tanto la tos como el estornudo consisten en una irritación inicial, un cierre de la glotis y un rápido aumento de la presión intratorácica. Luego de la reapertura de la glotis, el aire es expulsado a altas tasas de flujo (Banner, 1986). En el segundo caso el sujeto de prueba se provocó una tos.

Tercer caso. Finalmente, el último caso fue un estornudo provocado artificialmente, al estimular la membrana mucosa de la cavidad nasal. El estímulo fue provocado por el propio sujeto de prueba con un escarbadiantes.

Tipos de prendas de protección. En cada caso expuesto anteriormente, se expuso al sujeto de prueba a la protección de tres tipos de coberturas faciales: mascarilla KN95, mascarilla quirúrgica y cobertura de tela de una capa (buff); considerando también, el caso de no tener ningún tipo de protección facial.

Bioaerosoles. Además, tomando en cuenta que Verma et al. (2020) utilizan una mezcla de agua y glicerina vaporizada, para la visualización de la dispersión de aerosoles, al utilizar protectores faciales. De manera adicional al estudio, con fines comparativos visuales, se grabó al sujeto de prueba en la exhalación de esta mezcla.

Condiciones y sujeto de prueba

Para todos los casos, el sujeto de prueba fue el responsable del proyecto, una persona de 23 años. La temperatura y humedad relativa del experimento fueron 15 °C y 68 %, respectivamente.

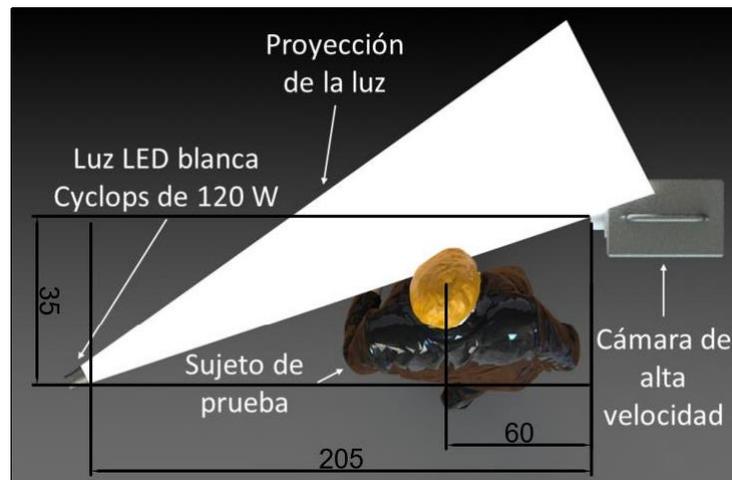
Configuraciones del escenario

La cámara de alta velocidad Phantom v2512 se ubicó de forma perpendicular a la dirección principal de avance de las partículas en los fenómenos naturales antropogénicos

de estudio. La luz LED blanca Cyclops de 120 W fue ubicada en la parte lateral del sujeto, contrario a la cámara; asegurándose que el borde del cono formado por la luz focal, incida sobre la mitad del lente de la cámara, como se observa en la **figura 23**.

Figura 23

Escenario para la toma de imágenes de campo oscuro del proyecto



Nota. Las unidades están en centímetros.

Visualizaciones experimentales y resultados técnicos

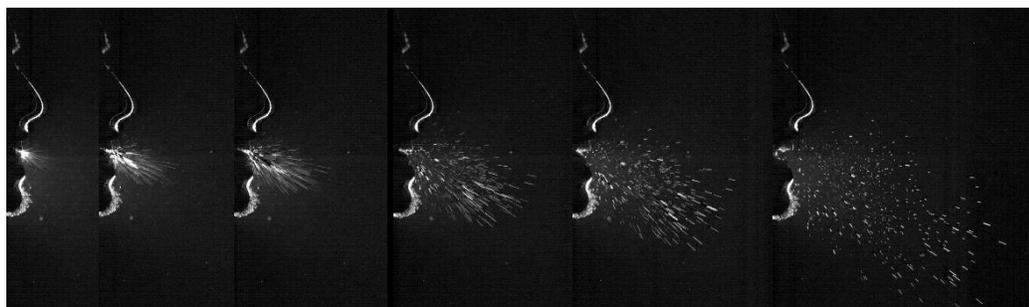
Tiempos de duración y esparcimientos

El conjunto de imágenes de la **figura 24** mostró la evolución en la eyección de droplets, tras el inicio de la pronunciación del vocablo “ta”, el tiempo total de duración del fenómeno fue 393 ms. En la **figura 25** se evidencia una nube típica de un estornudo, fenómeno que duró 316 ms. Las imágenes de la **figura 26** revelaron la forma de propagación que tienen las partículas expulsadas en una tos, con un tiempo de duración del fenómeno de

327 ms. El inicio del fenómeno se registró en el presente documento, mediante detección visual de los primeros droplets emitidos fuera de los labios.

Figura 24

Pronunciación del vocablo "ta" registrado con imágenes de alta velocidad a 1000 fps



(a) (b) (c) (d) (e) (f)
Nota: Imagen mostrada a: (a) 0.003, (b) 0.005, (c) 0.006, (d) 0.010, (e) 0.013 y (f) 0.023 s desde el inicio del fenómeno

Figura 25

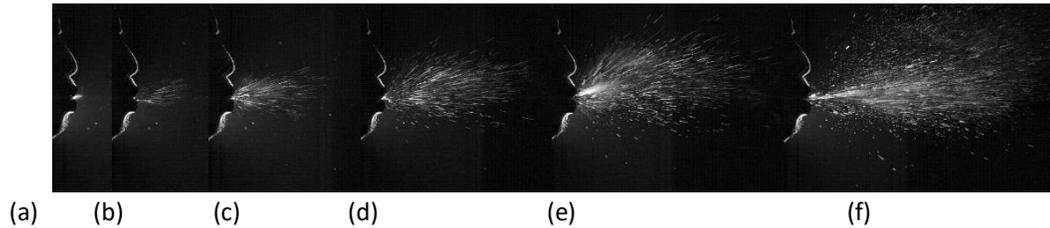
Estornudo registrado con imágenes de alta velocidad a 1000 fps



(a) (b) (c) (d) (e) (f)
Nota: Imagen mostrada a: (a) 0.008, (b) 0.015, (c) 0.019, (d) 0.029, (e) 0.048 y (f) 0.053 s desde el inicio del fenómeno

Figura 26

Tos registrada con imágenes de alta velocidad a 1000 fps



Nota: Imagen mostrada a: (a) 0.003, (b) 0.006, (c) 0.009, (d) 0.015, (e) 0.020 y (f) 0.037 s desde el inicio del fenómeno

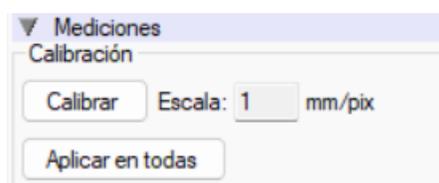
Seguimiento a partículas para obtención de velocidades

Calibración para el Seguimiento. El programa PCC permite hacer un seguimiento fotograma por fotograma a las partículas expulsadas por el sujeto de prueba y a su vez confiere la opción de calibrar con una medida conocida el tamaño real de un pixel en milímetros.

Como se observa en la **figura 27**, la opción de calibración se encuentra dentro de la barra de mediciones. Al seleccionar “calibrar”, tendremos que conocer el tamaño real de dos puntos de la imagen, ingresamos la medida en milímetros y el programa realiza la calibración transformando de pixeles a milímetros.

Figura 27

Barra de mediciones del programa PCC v3.6



La **figura 28** muestra el objeto de prueba de ancho conocido, como es un flexómetro, que fue ubicado en el plano principal de avance de las partículas expulsadas en los diferentes casos de estudio, cuyo valor fue introducido en el programa para que el mismo realice la calibración.

Figura 28

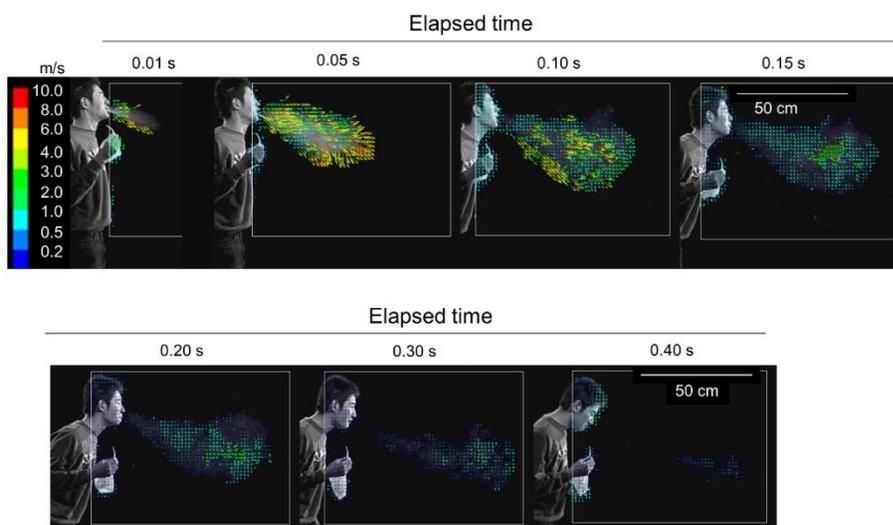
Fotograma inicial necesario para la calibración de los experimentos



Una vez calibrado el tamaño real del experimento, se procede a determinar en qué momento del fenómeno se tomarán las velocidades instantáneas de cada caso. Así, tomando en cuenta que existen velocidades de las partículas expulsadas al estornudar en toda la duración del fenómeno; en el estudio de Nishimura et al. (2013), **figura 29**, se puede observar que exactamente a 0.05 s del inicio del fenómeno existe un rango más amplio de velocidades producidas por partículas en el estornudo, para tomar en cuenta que en este tiempo existe una formación aún incompleta de la nube de partículas en ambos fenómenos.

Figura 29

Velocidades de las partículas expulsadas en un estornudo



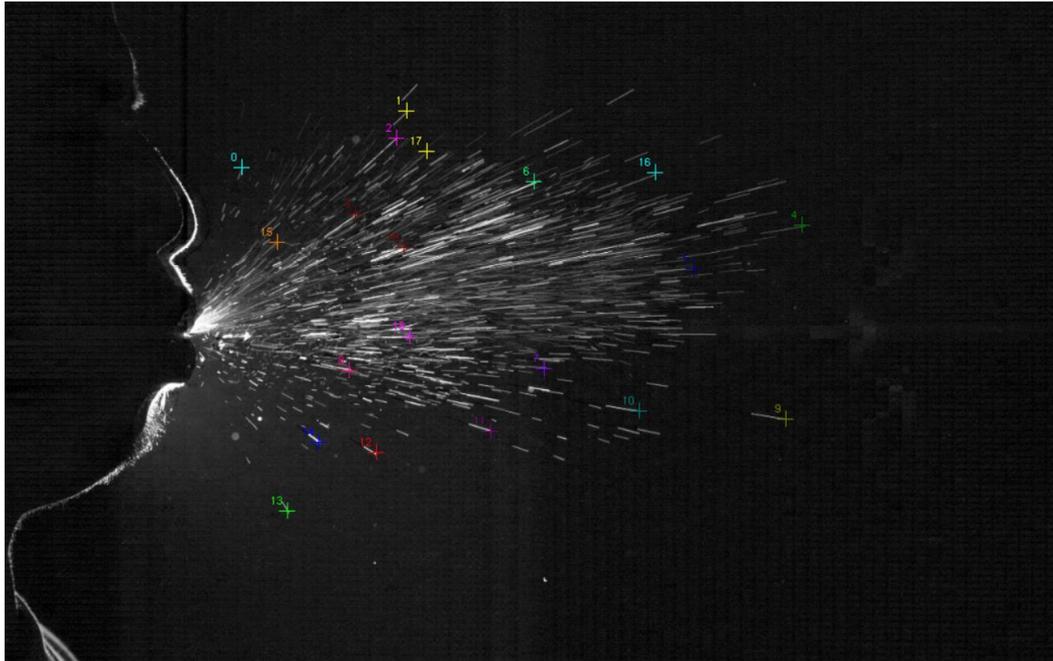
Nota: Tomado de A New Methodology for Studying Dynamics of Aerosol Particles in Sneeze and Cough Using a Digital High-Vision, High-Speed Video System and Vector Analyses [Figura], por Nishimura et al., 2013, PLoS ONE 8(11): e80244. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080244>

De tal manera, se tomó en consideración, la formación casi completa de la nube de partículas en los fenómenos, para encontrar las velocidades instantáneas de los casos de estudio, mostradas en las **tablas 4, 5 y 6**.

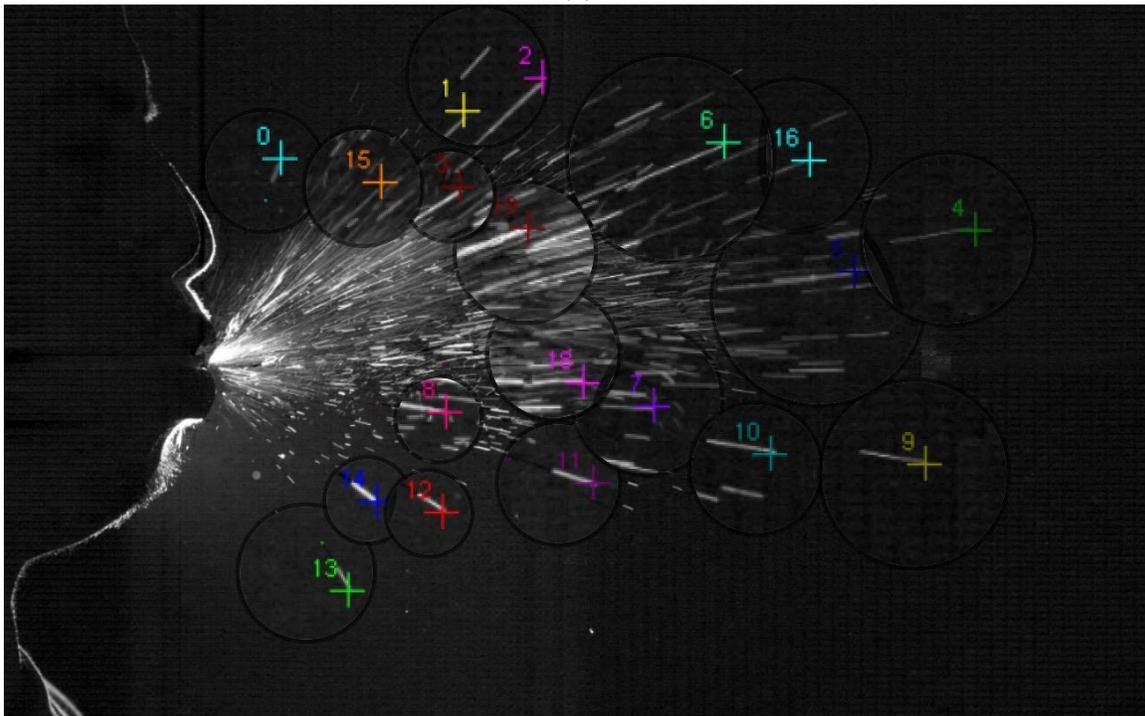
Seguimiento Manual de Partículas. La forma de seguir las partículas en el programa PCC puede ser de forma automatizada; sin embargo, esta presenta dificultades en encontrar partículas que hayan cambiado su forma, por lo que se realizó un seguimiento manual de un máximo de veinte partículas en el momento de la formación casi completa de la nube de partículas, previamente determinada, como se muestra en la **figura 30**, para una tos.

Figura 30

Partículas seguidas en una Tos en el programa PCC posterior a la calibración



(a)



(b)

Nota: Imagen mostrada a: (a) 0.016 y (b) 0.018 s desde el inicio del fenómeno

Para realizar el seguimiento manual, se tuvo que identificar el punto de partida de cada partícula en el momento de la formación casi completa de la nube de partículas, y de la misma manera, identificar el punto de ubicación del punto inicial en el fotograma siguiente.

De la misma manera que se realiza para una tos, se procede con los tres casos de estudio, en cada caso con sus diferentes prendas de protección facial.

Las velocidades encontradas para los diferentes casos de estudio, mostradas en las **tablas 4, 5 y 6**, son de partículas que se han filtrado en cada fenómeno, sin embargo, la mascarilla KN95 restringe completamente el paso de partículas hacia su parte frontal en todos los casos de estudio, como se puede observar en la **figura 34**, motivo por el cual no ha sido tomada en cuenta para la obtención de datos de velocidad.

Tabla 4

Velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al pronunciar el vocablo "ta" usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial

Número de partícula	Velocidad		
	Sin cobertor facial	De una sola capa	Mascarilla quirúrgica
1	3.40	6.86	0.44
2	5.05	5.94	0.40
3	3.49	3.49	0.23
4	8.38	3.28	0.20
5	6.62	3.01	0.22

6	7.08	2.20	0.30
7	11.64	1.41	
8	9.34	3.59	
9	11.81	17.66	
10	10.40	12.59	
11	5.49		
12	8.19		
13	9.59		
14	6.57		
15	4.85		
16	3.23		
17	7.54		
18	5.56		
19	4.70		
20	5.24		
<hr/>			
Velocidad máxima	11.81	17.66	0.44
Velocidad mínima	3.23	1.41	0.20
Velocidad Promedio	6.91	6.00	0.30
<hr/>			

Nota. Las velocidades instantáneas están expresadas en m/s. Tomadas a 0.010, 0.004 y 0.244 s del inicio del fenómeno, respectivamente.

En la **tabla 4** se observa que la disminución de la velocidad promedio de las partículas expulsadas al hablar cuando usamos un protector facial de una sola capa es mínima, se reduce de 6.91 a 6 m/s; sin embargo, al utilizar una mascarilla quirúrgica si se observa una notable disminución de la velocidad al pasar de 6.91 a 0.3 m/s.

Tabla 5

Velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al toser usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial

Número de partícula	Velocidad		
	Sin cobertor facial	De una sola capa	Mascarilla quirúrgica
1	7.57	9.91	1.98
2	6.51	14.07	1.31
3	13.48	12.52	0.52
4	9.30	6.75	1.31
5	10.18	10.64	
6	9.91	8.12	
7	24.58	7.89	
8	10.55	9.84	
9	19.63	11.61	
10	9.93	11.50	
11	19.54		
12	11.74		
13	12.03		
14	22.54		
15	4.75		
16	6.62		
17	6.93		
18	22.69		
19	9.10		
20	15.64		

Velocidad máxima	24.58	14.07	1.98
Velocidad mínima	4.75	6.75	0.52
Velocidad Promedio	12.66	10.28	1.28

Nota. Las velocidades instantáneas están expresadas en m/s. Tomadas a 0.033, 0.052 y 0.005 s del inicio del fenómeno, respectivamente.

En la **tabla 5** se observa que la disminución de la velocidad promedio de las partículas expulsadas al toser cuando usamos un protector facial de una sola capa, al igual que al hablar, es mínima, se reduce de 12.66 a 10.28 *m/s*; sin embargo, al utilizar una mascarilla quirúrgica si se observa una notable disminución de la velocidad al pasar de 12.66 a 1.28 *m/s*.

Tabla 6

Velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al estornudar usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial

Número de partícula	Velocidad		
	Sin cobertor facial	De una sola capa	Mascarilla quirúrgica
1	11.93	12.82	1.85
2	9.89	2.54	1.40
3	5.68	5.13	0.76
4	6.65	7.48	0.78
5	21.87	5.42	0.89

6	24.39	6.33	1.32
7	28.51	9.47	1.07
8	41.07	3.63	0.72
9	40.52	3.59	0.70
10	17.10	3.02	0.49
11	22.55		
12	49.17		
13	85.16		
14	29.86		
15	40.45		
16	75.61		
17	28.66		
18	44.88		
19	33.22		
20	22.96		
<hr/>			
Velocidad máxima	85.16	12.82	1.85
Velocidad mínima	5.68	2.54	0.49
Velocidad Promedio	33.06	5.94	1.00
<hr/>			

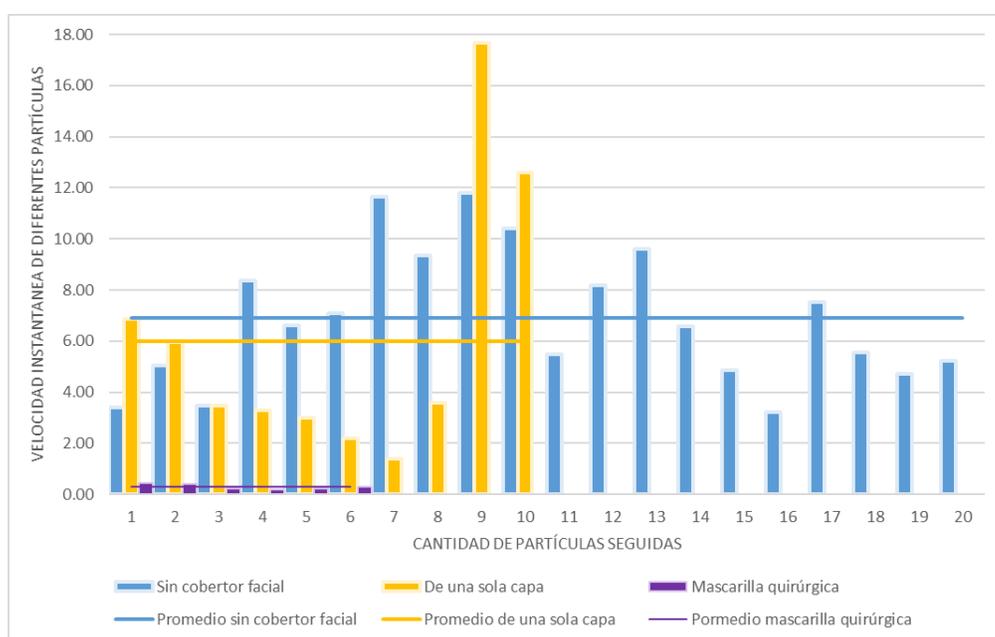
Nota. Las velocidades instantáneas están expresadas en m/s. Tomadas a 0.051, 0.028 y 0.067s del inicio del fenómeno, respectivamente.

En la **tabla 6** se observa que la disminución de la velocidad promedio de las partículas expulsadas al estornudar cuando usamos un protector facial de una sola capa, a diferencia de los dos casos anteriores, es alta, se reduce de 33.06 a 5.94 m/s; sin embargo,

al utilizar una mascarilla quirúrgica la disminución de la velocidad es aún mayor al pasar de 33.06 a 1 m/s.

Figura 31

Gráfica de velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al pronunciar el vocablo "ta" usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial



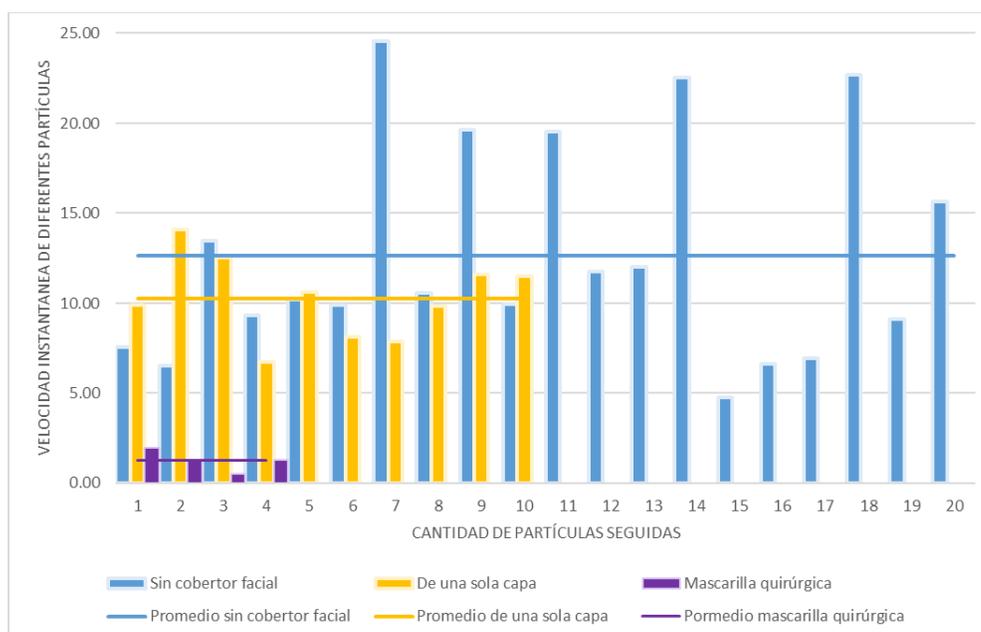
En la **figura 31**, se observa como la cantidad de partículas expulsadas al hablar, se ve disminuida a 1/2 al usar un cobertor naso-bucal de una sola capa, y a 3/10 al usar una mascarilla quirúrgica. Esto debido a la falta de claridad de más partículas en el fenómeno, a las que se pueda dar seguimiento.

Además, se observa una ligera disminución de la velocidad promedio de las partículas expulsadas al hablar, cuando se usó un protector facial de una sola capa. Mientras

al usar una mascarilla quirúrgica que reduce la velocidad de forma tan significativa que su valor se aproxima a cero.

Figura 32

Gráfica de velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al toser usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial



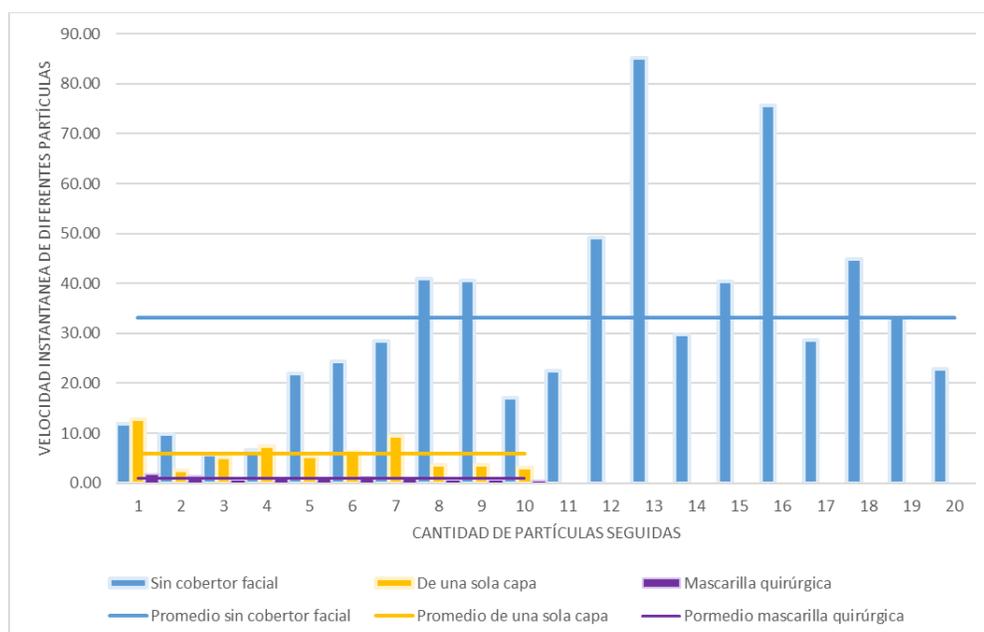
La **figura 32** muestra la misma tendencia de reducción de partículas de la figura anterior, la diferencia radica en la fracción de reducción de partículas. Al toser usando una mascarilla quirúrgica, la cantidad de partículas se reduce a $1/5$ de hacerlo sin usar ningún tipo de protección facial.

Además, se observa la misma ligera disminución de la velocidad promedio de las partículas expulsadas cuando se usó un protector facial de una sola capa, pero esta vez al toser. El usar una mascarilla quirúrgica aun que reduce la velocidad mucho más que el

protector facial de una sola capa, para el caso de toser las velocidades no son valores totalmente cercanos a cero, como al hablar en la figura anterior.

Figura 33

Gráfica de velocidades instantáneas de las partículas expulsadas al estornudar usando dos coberturas faciales diferentes y sin protector facial



El caso de un mecanismo fisiológico involuntario del aparato respiratorio, como es estornudar, presentado en la **figura 33**, a diferencia de las dos figuras anteriores que representan casos involuntarios del mismo; presenta una misma reducción a la mitad de partículas expulsadas, tanto al usar un protector naso-bucal de una sola capa, como una mascarilla quirúrgica.

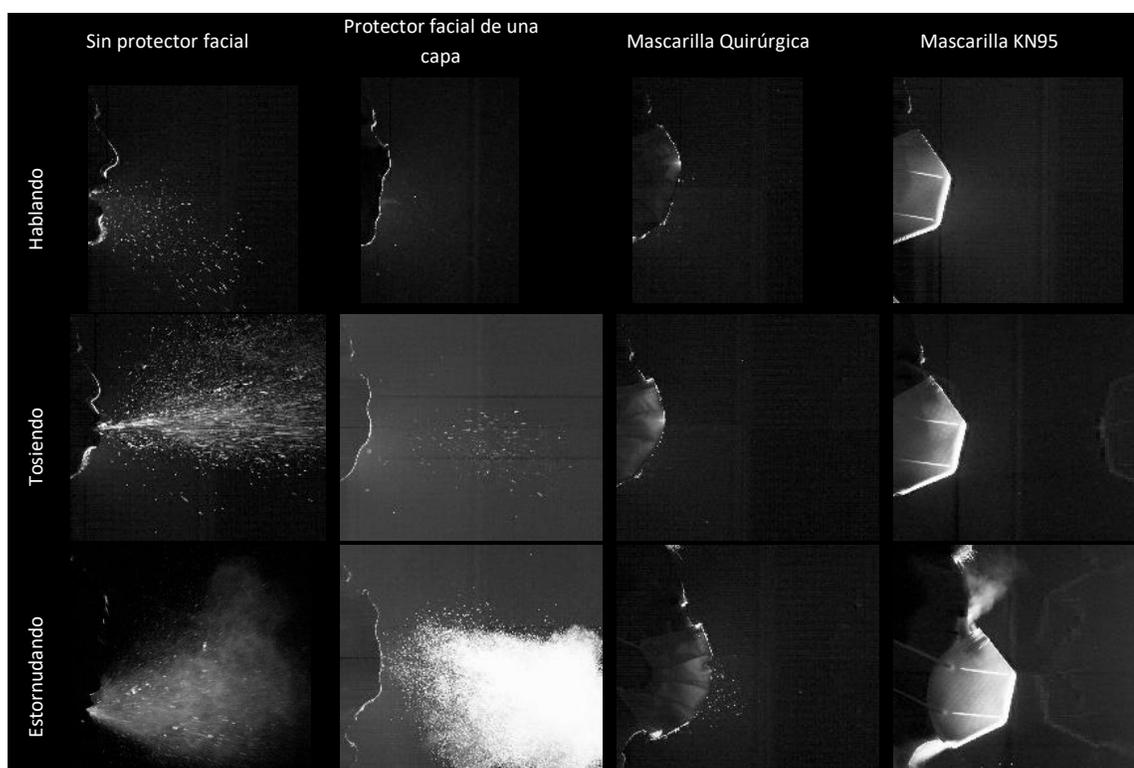
Sin embargo, existe una diferencia sustancial en la disminución de la velocidad promedio de las partículas expulsadas cuando se usó un protector facial de una sola capa,

que al usar una mascarilla quirúrgica, donde se reduce la velocidad en mayor cantidad, llegando a un valor muy cercano a cero.

Resultados visuales de la eficiencia de cada tipo de mascarilla

Figura 34

Dispersión de droplets y bioaerosoles en los tres casos de estudio, con tres coberturas faciales diferentes y sin protector facial.

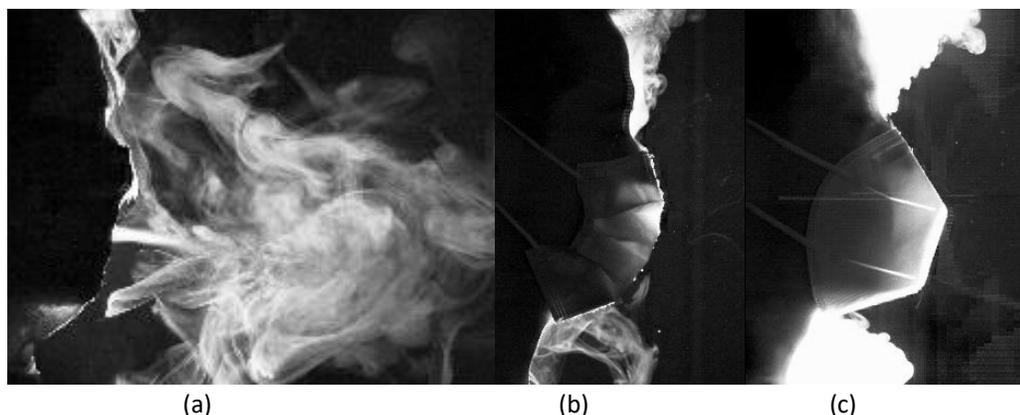


Las imágenes de la **figura 34** fueron tomadas en el momento de mayor dispersión de droplets y bioaerosoles para cada caso de estudio al utilizar las distintas prendas de protección. Esta figura muestra un resultado visual de la disminución de droplets generados en los tres casos de estudio: hablar, toser y estornudar; al usar las distintas prendas de protección facial.

Es de fácil observación que la mascarilla KN95 es la más efectividad en la disminución de droplets para cualquiera de los casos de estudio, sin embargo, y a pesar de esta disminución, la **figura 35**, muestra que los bioaerosoles generados con la mezcla glicerina – agua, tienden a dispersarse fuera del cobertor facial inevitablemente, lo que explica el aumento de la probabilidad de contagio del virus SARS-CoV-2 en ambientes cerrados.

Figura 35

Dispersión máxima de bioaerosoles con tres coberturas faciales diferentes.



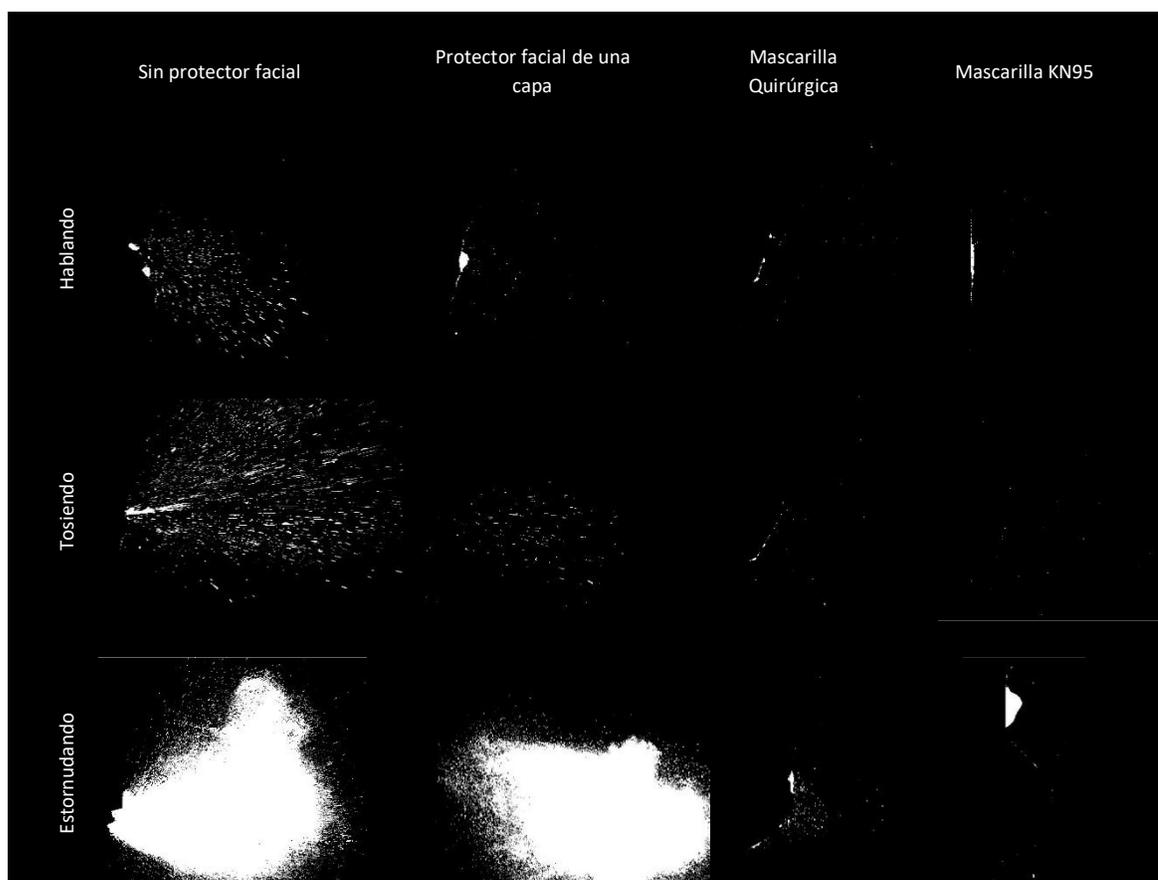
Nota: Dispersión al utilizar: (a) Protección de una sola capa, (b) mascarilla quirúrgica y (c) mascarilla KN95

Un cobertor naso-bucal de una sola capa dispersa aerosoles mayormente en dirección frontal al sujeto, sin embargo, en menor cantidad los aerosoles son expulsados hacia arriba y abajo del protector. En contraste, los protectores naso-bucales de tres y cinco capas como las mascarillas quirúrgicas y KN95, evitan el filtrado de aerosoles hacia la parte frontal del sujeto, pero permiten su dispersión hacia la parte inferior y superior del protector, como se observa en la **figura 35**.

Cantidades de partículas expulsadas

Figura 36

Imágenes binarias para el cálculo de cantidades de droplets y bioaerosoles en los tres casos de estudio, con tres coberturas faciales diferentes y sin protector facial.

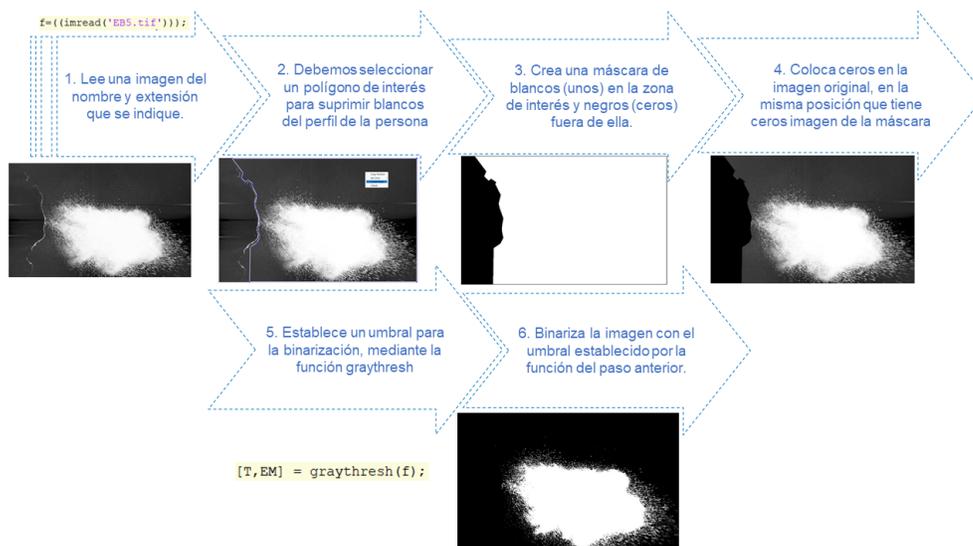


Con el objetivo de obtener cantidades porcentuales de la cantidad de droplets y aerosoles generados en cada caso de estudio, **tabla 7**, y observar la disminución de los mismos con el uso de los distintos protectores faciales, se realizó en Matlab un programa para la transformación de imágenes de una escala de grises a un matriz binaria, adjunto en

el Anexo F. El programa entiende como blancos las partículas expulsadas en cada fenómeno antropogénico y como negros al aire a su alrededor, como se observa en la **figura 36**.

Figura 37

Flujograma de funcionamiento del programa para la binarización por la función graythresh



Binarización de una imagen. La binarización se realiza siguiendo el orden que indica el flujograma de la **figura 37**. El primer paso es leer la imagen por medio del programa. A continuación, para suprimir blancos del perfil de la persona se lo realiza mediante un polígono, conocido por la función ROI, que crea una máscara con blancos (unos) en la zona de interés y negros (ceros) fuera de ella. Finalmente, coloca ceros en la imagen original, en la misma posición que tiene ceros imagen de la máscara.

Para binarizar una imagen es necesario establecer un umbral, bajo el cual se acepta los valores de la escala de grises como como blancos, entendidos por el programa como unos, y a partir del cual en adelante la intensidad será cero, entendiéndose como negro o aire alrededor.

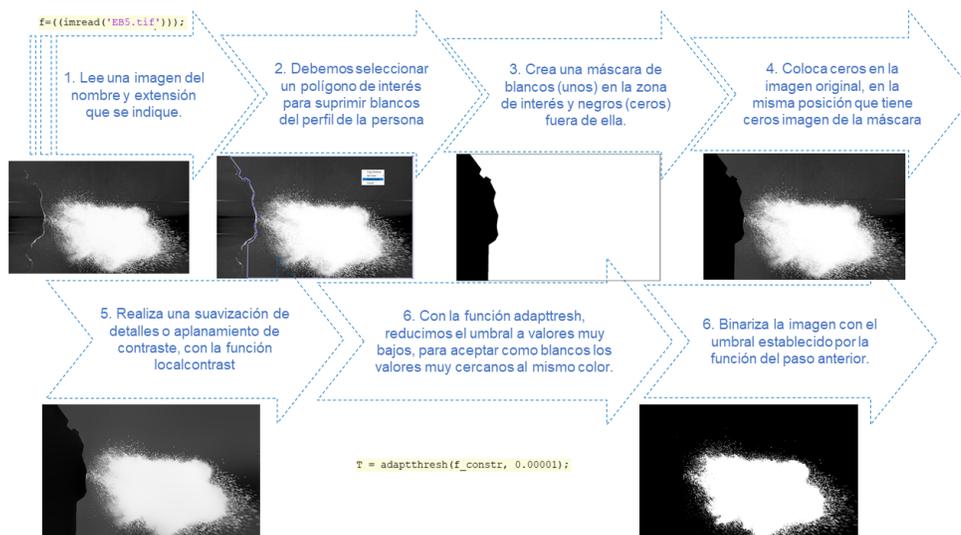
En el programa Matlab, la función “graythresh” (MathWorks, 2022), mediante el método Otsu entrega un umbral que minimiza la varianza entre clases de pixeles blancos y negros, mismo que es funcional para imágenes en las que la cantidad de blanco es notable.

Sin embargo, la función “graythresh” entrega un umbral que no es efectivo en la binarización de imágenes con cantidad de blancos baja, por lo que de forma alternativa se usa la función “adaptthresh” (MathWorks, 2021), la cual permite obtener un umbral adaptable localmente para la imagen en escala de grises, en la que reducimos el umbral a valores muy bajos.

Al binarizar la imagen directo por un método adaptativo, obtenemos señales de blancos que no forman parte de la respuesta del fenómeno, pero que forman parte del conjunto de intensidades menores al umbral indicado. Se eliminó estas intensidades mediante una suavización de detalles o aplanamiento de contraste de la imagen con la función localcontraste propia de Matlab, como se indica en el flujograma de la **figura 38**.

Figura 38

Flujograma de funcionamiento del programa para la binarización por la función *adaptthresh*



Conteo de la cantidad de blancos (partículas). Finalmente, después de obtener la imagen en forma de matriz binaria, se hizo un conteo tanto de la cantidad de pixeles blancos como negros, de la matriz que representa la imagen. De tal manera, se procede a obtener la cantidad porcentual de saliva (blancos) con respecto al total de pixeles que posee la imagen (suma de blancos y negros) como se indica en la **ecuación 4**.

$$C_{negros} \% = \frac{N_{negros}}{N_{negros} + N_{blancos}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

- N_{negros} es la cantidad de pixeles negros de una imagen binaria
- $N_{blancos}$ es la cantidad de pixeles blancos de una imagen binaria

$$C_{blancos} \% = 100 - C_{negros} \% \quad (5)$$

Para el cálculo computacional de la cantidad de blancos y negros, realizado en Matlab, las imágenes de la **figura 34** fueron transformadas a binarias, **figura 36**, ajustando el contraste de forma manual para cada caso.

Validación del código de conteo de blancos y negros. La validación se hizo de la siguiente manera: primero se grabaron tres videos extra del mismo sujeto de prueba pronunciando la palabra “ta”. Después, se procedió a sacar las imágenes del mayor tiempo de esparcimiento de partículas, para finalmente aplicar el código de binarización a cada caso, de lo que se obtuvieron los resultados mostrados en la **tabla 6**.

Tabla 7

Cantidades porcentuales de la mezcla saliva-moco al pronunciar el vocablo “ta” en repetidas ocasiones.

N° de prueba	Cantidad de	
	moco-saliva [%]	Error Relativo
Original	0.7212	0.00
2	0.8647	0.14
3	0.7058	0.02
4	0.3527	0.37

Los resultados mostrados en la **tabla 7** indican una variación máxima de 0.37 % de saliva-moco con respecto a la prueba original de pronunciamiento realizada en el mismo día del resto, para el caso de pronunciar la palabra “ta”. Resultado menor a 1% de variación en tres pruebas realizadas, con ello se considera al código funcional y procede a aplicar el mismo a los demás casos de estudio.

La **tabla 8** presenta datos de cantidades porcentuales de pixeles blancos con respecto al total de pixeles de la imagen, los datos de cantidades de partículas expulsadas en los diferentes casos de estudio, fueron sacados de las imágenes de la **figura 34**, tomadas al momento de la mayor dispersión de droplets y aerosoles en cada caso.

Tabla 8

Cantidades porcentuales de la mezcla saliva-moco en los tres casos de estudio, con tres coberturas faciales diferentes y sin protector facial.

	Sin protector facial [%]	Protector facial de una capa [%]	Mascarilla Quirúrgica [%]	Mascarilla KN95 [%]
Hablando	0.721200	0.189400	0.057910	0.011910
Tosiendo	2.845000	0.174300	0.036230	0.008881
Estornudando	33.44000	33.42000	0.228200	0.050490

En la **tabla 8** al observar de izquierda a derecha podemos ver una disminución progresiva de la cantidad porcentual de droplets y aerosoles conforme vamos utilizando distintos protectores faciales. Lo que indica que el usar una mascarilla KN95 ayuda a una mayor disminución al filtro de partículas al ambiente, con un porcentaje de 0.0119 % partículas en el cuadro captado por la cámara en el momento de mayor dispersión mientras hablamos, ya que el realizar la misma acción sin mascarilla, en porcentaje, se genera 0.7212 % de partículas.

Sin embargo, el estornudar sin una mascarilla produce un porcentaje de 33.44 % de partículas en el cuadro captado por la cámara al momento de su mayor esparcimiento;

porcentaje que se mantiene o disminuye de manera imperceptible al usar protectores faciales de una sola capa, como es en el caso de estudio, que llega al 33.42 % de partículas, pero que se ve disminuido notablemente a 0.05049 % al usar una mascarilla KN95.

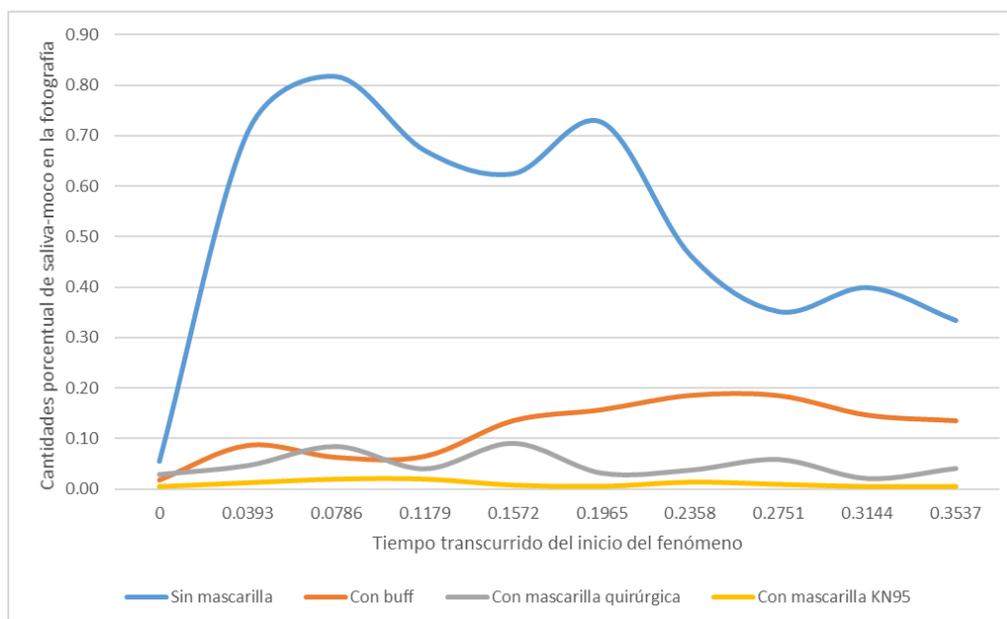
La tos por lo visto, es un fenómeno que genera partículas de forma media entre un estornudo y al hablar, con un porcentaje de partículas captadas por la cámara de 2.845 % en el caso de no usar ninguna mascarilla, pero al igual que los otros dos fenómenos en cuestión, los porcentajes de partículas, se ven reducidos al usar mascarillas, incluso de una sola capa.

Cantidades de partículas expulsadas en el tiempo de duración del fenómeno

A continuación, se presentan gráficas de la evolución de la cantidad de partículas captadas por la cámara desde el inicio de cada fenómeno fisiológico, hasta finalizar cada uno. Para lo que se dividió el tiempo de duración del fenómeno entre diez unidades para encontrar los fotogramas a analizar, mismos que se separaron cada uno como imagen apartada y se aplicaron el código de binarización y conteo de blancos y negros para obtener las cantidades porcentuales de la mezcla saliva-moco captada por la cámara, obteniendo los resultados mostrados en las **figuras 39, 40 y 41**.

Figura 39

Curvas de comportamiento de las diferentes prendas de protección al pronunciar el vocablo “ta”.



La **figura 39** en el caso de no usar ningún tipo de protección facial, muestra un aumento abrupto de la cantidad de partículas expulsadas al hablar en los primeros 0.039 s al iniciar la pronunciación del vocablo “ta” hasta un porcentaje superior a 0.8 %, después de este tiempo existe una disminución leve de la cantidad de partículas, hasta una cantidad porcentual mínima cercana al 0.3 %.

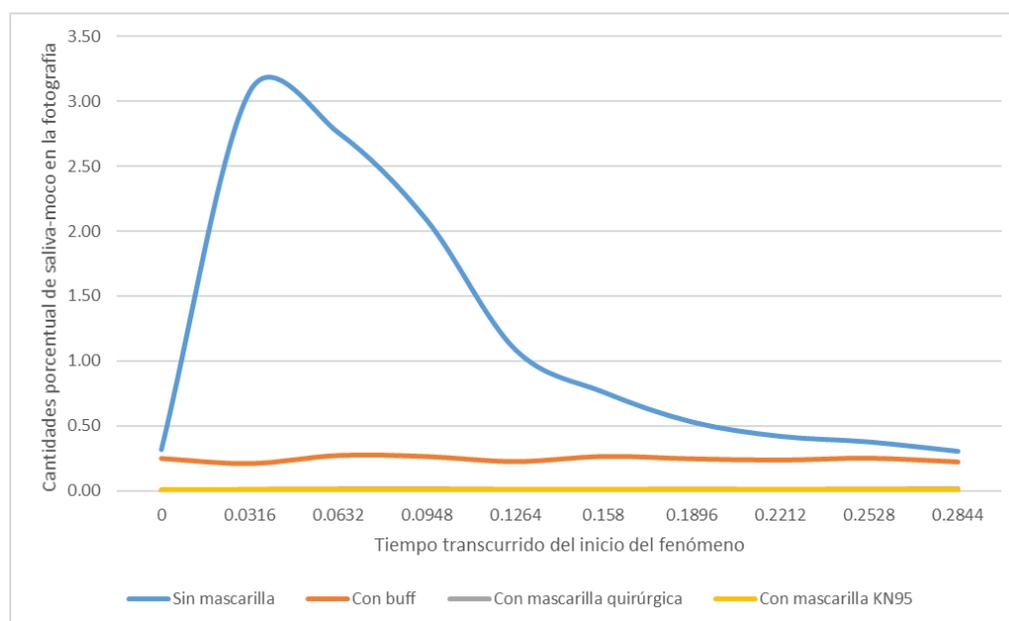
A diferencia del caso anterior, el usar protectores naso-bucales de una, tres o cinco capas, genera una protección al filtrado de partículas, debido a que evita expulsiones de la mezcla saliva-moco. Esto se ve evidenciado en aumentos leves de la cantidad de partículas, con cantidades máximas cercanas al 0.2 %, 0.1 % y 0.025 %, al usar protectores de una, tres o cinco capas, respectivamente.

Cave destacar que dicha cantidad de partículas se ve disminuida: tres veces al utilizar un buff, diez veces al utilizar una mascarilla quirúrgica y cincuenta veces al utilizar una

maskarilla KN95. Además, el tiempo de permanencia de las partículas en el cuadro que capta la cámara es muy corto, aproximándose a los 0.197 s desde la aparición de la primera partícula.

Figura 40

Curvas de comportamiento de las diferentes prendas de protección al toser.



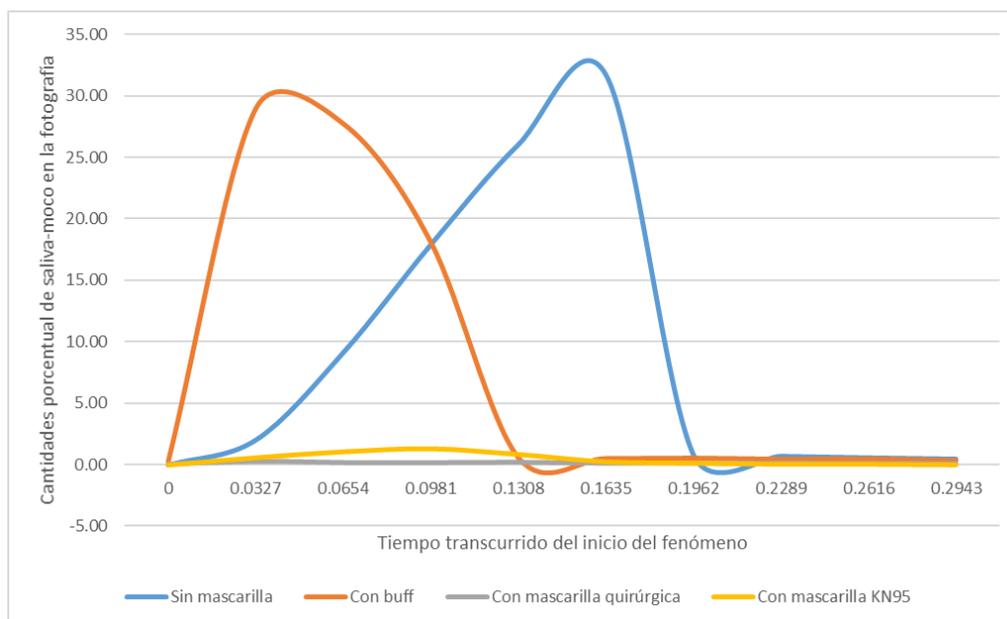
En la **figura 40** en el caso de no usar ningún tipo de protección facial, expone un aumento del 3 % de la cantidad de partículas expulsadas por una persona al toser en los primeros 0.032 s; luego, a los 0.158 s existe una disminución casi completa de las partículas del cuadro captado por la cámara.

También indica como la cantidad de partículas en los casos de usar protectores naso-bucales de una, tres y cinco capas, es menor al caso anterior, y además continua con cualquiera de los tres protectores; no existe aumento, ni disminución en el tiempo de duración del fenómeno.

Además, dicha cantidad de partículas se ve disminuida: cuatro veces al utilizar un buff, cien veces al utilizar una mascarilla quirúrgica y ciento sesenta veces al utilizar una mascarilla KN95.

Figura 41

Curvas de comportamiento de las diferentes prendas de protección al estornudar.



El usar protectores naso-bucales de una capa en un estornudo, provoca un acumulo de partículas en el interior del protector, que luego serán filtradas por el mismo produciendo un aumento abrupto en la cantidad de partículas en los primeros 0.033 s de inicio del fenómeno, como se observa en la **figura 41**.

A diferencia del caso que no se use mascarilla, donde la cantidad de partículas aumenta de forma progresiva hasta llegar a su límite máximo. Sin embargo, la cantidad de partículas se ve disminuida en porcentajes menores al 5%, es decir, la cantidad de partículas en el fenómeno, llega a valores similares al usar este tipo de protector naso-bucal.

Finalmente, la gráfica de la **figura 41**, muestra un tiempo máximo de duración de las partículas en el cuadro de la cámara de 0.197 s y una disminución de apenas el 15% de partículas al utilizar un buff, mientras a la par indica una reducción cercana a cero de partículas al utilizar tanto una mascarilla quirúrgica, como una mascarilla KN95.

Además, se observa como la cantidad de partículas incrementa de forma casi lineal hasta una cantidad porcentual de 30 % en los primeros 0.163 s del estornudo sin ningún cobertor facial, y después del cual la cantidad de partículas captadas por la cámara baja abruptamente a cero, debido a la gran velocidad de las partículas.

A diferencia de usar el protector naso-bucal de una sola capa, donde la mayor cantidad de partículas expulsadas en el fenómeno se obtienen en los primeros 0.033 s del inicio del fenómeno y disminuye de forma gradual en los siguientes 0.099 s. Esto se debe a que la velocidad de las partículas se ve reducida de forma sustancial al usar un protector facial de una sola capa.

El aumento en la cantidad de partículas para los tres casos de estudio se produce en los primeros 0.039 s de la aparición de la primera partícula de saliva. Al hablar se mantienen por mayor tiempo los aerosoles en el aire y por tanto la cantidad de partículas tiende a mantenerse a lo largo del tiempo y disminuir de forma lenta. Cuando tosemos la cantidad de droplets es mayor, así las partículas caen más rápido de lo que se evaporan, lo que produce una disminución forma constante y más rápida que al hablar. Finalmente al estornudar, existe aún más droplets que en una tos, así, a pesar de que se genera mayor cantidad de partículas, la disminución por su caída es mucho más rápida que una tos.

Capítulo VIII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se estudió el comportamiento de bioaerosoles y droplets expulsados al hablar, toser y estornudar, empleando la cámara de ultra alta velocidad Phantom v2512 por medio de la técnica Schlieren orientada al fondo (BOS) y por configuración de imágenes de campo oscuro, llegando a determinar una disminución máxima de partículas expulsadas al estornudar, toser y hablar, de 33.39, 2.836 y 0.7093 %, respectivamente; disminución que sucede cuando pasamos de no usar protección naso-bucal, a usar una mascarilla KN95.

El primer mecanismo utilizado en el estudio para la visualización de fluidos invisibles expulsados directamente del tracto respiratorio fue la técnica Schlieren orientada al fondo (BOS). Se determinó una condición ineludible para su aplicación, como es la necesidad de existencia de gradientes de temperatura mayores a 125° para resultados burdos y en el orden de los 400° para resultados óptimos.

Se procedió con una segunda técnica de visualización de partículas, como es la configuración de imágenes de campo oscuro, que permitió una correcta visualización de los fenómenos naturales antropogénicos en cuestión, como es hablar, toser y estornudar. Ver **figura 24, 25, 26 y 34**.

Se realizó un programa en Matlab para la cuantificación de partículas expulsadas en los fenómenos de estudio, mecanismo validado tras encontrar una variación máxima de 0.37% de cantidad porcentual de partículas expulsadas al pronunciar el vocablo “ta” entre tres pruebas realizadas (**tabla 7**).

Se obtuvo cantidades porcentuales relativas de partículas expulsadas en cada fenómeno fisiológico (**tabla 8**), cantidades que permiten observar una disminución de partículas de 33.21, 2.809 y 0.6633 %, expulsadas al estornudar, toser y hablar, respectivamente; cuando pasamos de no usar protección a usar una mascarilla quirúrgica. Y de 0.02, 2.671 y 0.5318 % expulsadas al estornudar, toser y hablar, respectivamente; cuando pasamos de no usar protección a usar un protector naso-bucal de una sola capa.

Se concluye que, el usar cualquier prenda de protección, incluso si es una tela con revestimiento de una sola capa, reduce la velocidad de las partículas expulsadas al hablar, toser y estornudar. Sin embargo, la mascarilla quirúrgica reduce en mayor medida la velocidad de partículas que un buff. Ver **tablas 4, 5 y 6**.

Independientemente del fenómeno antropogénico de estudio, se concluye que una mascarilla KN95 reduce el filtrado de partículas al ambiente en mayor cantidad que una mascarilla quirúrgica o protector facial de una sola capa. A pesar de ello, una mascarilla quirúrgica reduce más el paso de partículas al exterior que un buff. Ver **tabla 8**.

La cantidad de partículas expulsadas al hablar, en el caso de no usar ningún tipo de protección facial, aumenta de forma abrupta hasta un 0.8 % en los primeros 0.039 s de iniciar la pronunciación del vocablo "ta". Mientras, la cantidad de partículas al usar protectores naso-bucales de una, tres o cinco capas muestra aumentos leves; con valores máximos cercanos al 0.2, 0.1 y 0.025 %, respectivamente. Ver **Figura 39**.

Existe un aumento del 3% de la cantidad de partículas expulsadas por una persona al toser en los primeros 0.032 s desde la aparición de la primera partícula. Además, la cantidad de partículas en el caso de usar protectores naso-bucales de una, tres y cinco capas es menor al caso de no usar protección y además continua con cualquiera de los tres protectores. Ver **Figura 40**.

El usar protectores naso-bucales de una capa en un estornudo produce un aumento abrupto en la cantidad de partículas en los primeros 0.033 s desde la aparición de la primera partícula; a diferencia del caso de no usar mascarilla, donde la cantidad de partículas aumenta de forma progresiva hasta llegar a su límite máximo en 0.198 s. Ver **Figura 41**.

Recomendaciones

Debido a que el estornudo es un mecanismo fisiológico involuntario del aparato respiratorio que expulsa 33.44 % de partículas y la mascarilla KN95 es el protector naso-bucal que reduce dicha cantidad en mayor porcentaje, hasta un 0.005 %, se recomienda el usar solo mascarillas KN95 o con protección de capas capas en adelante.

Se recomienda adaptar el código para procesamiento por la técnica BOS adjunto en el Anexo B, con el fin de adaptar la sensibilidad del mismo a variaciones de temperatura de 17°, propias de mecanismos voluntarios e involuntarios del aparato respiratorio del ser humano. O a su vez, basado en el funcionamiento del código, reescribir un programa para el procesamiento de por la técnica BOS, con sensibilidad apta para los fenómenos antropogénicos en cuestión.

Para la grabación de videos de cualquier fenómeno a ser tratado por la técnica BOS, se recomienda aumentar la profundidad de campo cerrando al máximo el obturador de la cámara, mientras enfocamos siempre al fondo. Se recomienda también, mantener al máximo el tiempo de exposición en la configuración de la cámara, para no tener que aumentar la cantidad de luz que incide sobre el fondo. Y finalmente, ubicar el objeto de estudio a la distancia mínima de enfoque del lente, seguido del fondo ubicado al doble de la distancia mínima, para obtener la mayor resolución del fenómeno de estudio.

Para la toma de videos por imágenes de campo oscuro, se recomienda (1) configurar el escenario de acuerdo a lo establecido en la **figura 23** tomando en cuenta lo descrito en su parte inferior y (2) en las “Configuración de Cine” del programa PCC dar clic en “CSR (RSA)” una vez ubicado el sujeto de prueba para configurar el color más negro en el video.

Se recomienda la preferencia en el uso de una mascarilla quirúrgica de tres capas ante un protector naso-bucal de una sola capa, debido a que la mascarilla quirúrgica proporciona una disminución porcentual máxima de partículas de 33.21 %, a diferencia de un protector naso-bucal de una sola capa que reduce un porcentaje máximo de 2.671 %.

Trabajos Futuros

Para el tratamiento de imágenes por BOS se propone: (1) Adaptar el código GUI_BOS_v3.m con el objetivo de apreciar variaciones de temperatura cercanas a 17° para procesar fenómenos propios de mecanismos fisiológicos del aparato respiratorio, también se plantea (2) experimentar mayor y menor densidad de puntos en el fondo de gypsum, pues puede ser una variable decisiva para la obtención de resultados propicios.

Sobre el estudio de eficiencia en el filtrado de partículas desde el interior de la mascarilla, hacia el exterior de la misma en fenómenos fisiológicos reales, no simulados, se propone: (3) Repetir el estudio con público de diferente: edad, estatura, raza y sexo, para determinar una metodología /o procedimiento experimental; pues el presente estudio es uno de los primeros en realizar un experimento en seres humanos estudiando el filtrado de partículas desde el tracto respiratorio hacia el exterior de la mascarilla.

Referencias

- Adri, C., & Hern, D. M. (2014). *Estudio y caracterización de un sistema de velocimetría óptica para hacer mediciones de temperatura y velocidad.*
- Anfinrud, P., Stadnytskyi, V., Bax, C. E., & Bax, A. (2020). Visualizing Speech-Generated Oral Fluid Droplets with Laser Light Scattering. *New England Journal of Medicine*, 382(21), 2061–2063. <https://doi.org/10.1056/nejmc2007800>
- Arumuru, V., Pasa, J., & Samantaray, S. S. (2020). Experimental visualization of sneezing and efficacy of face masks and shields. *Physics of Fluids*, 32(11). <https://doi.org/10.1063/5.0030101>
- Bae, S., Kim, M. C., Kim, J. Y., Cha, H. H., Lim, J. S., Jung, J., ... & Kim, S. H. (2020). Notice of retraction: effectiveness of surgical and cotton masks in blocking SARS-CoV-2.
- Bahl, P., Bhattacharjee, S., de Silva, C., Chughtai, A. A., Doolan, C., & MacIntyre, C. R. (2020). Face coverings and mask to minimise droplet dispersion and aerosolisation: a video case study. *Thorax*, 75(11), 1024 LP – 1025. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2020-215748>
- Banner, A. S. (1986). Cough: physiology, evaluation, and treatment. *Lung*, 164(1), 79-92.
- Bansil, R., & Turner, B. S. (2006). Mucin structure, aggregation, physiological functions and biomedical applications. *Current opinion in colloid & interface science*, 11(2-3), 164-170.
- Baque, E., Solórzano, L., & Saldaña, J. (2021). Impacto de Covid-19 en el desarrollo económico de microempresarios en Jipijapa. *Cuestiones Económicas*, 31(3), <https://doi.org/10.47550/RCE/MEM/31.4>
- Blakemore, E. (2020). ¿Por qué usaban los médicos de la peste negra sus máscaras picudas características? [Fotografía]. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/historia/2020/03/por-que-usaban-medicos-pestes-negras-mascaras-picudas>
- Cast Bolzonella (2020) Máscaras Quirúrgicas Desechables [Fotografía] https://es.antinfortunistica-dpi.it/Mascaras_quirurgicas_desechables#
- Davies, A., Thompson, K. A., Giri, K., Kafatos, G., Walker, J., & Bennett, A. (2013). Testing the efficacy of homemade masks: would they protect in an influenza pandemic? *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 7(4), 413–418. <https://doi.org/10.1017/dmp.2013.43>
- García Vela, R., Cabanas Valdés, R., Huertas Ríos, S., Donat Roca, R., Monné Cuevas, P., Moizé Arcone, L., & Calvo Sanz, J. (2021). Análisis del ajuste de mascarillas autofiltrantes en combinación con las mascarillas quirúrgicas para la protección del profesional sanitario en su

- atención a pacientes afectados de SARS-COV-2 a partir de un estudio experimental. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 24(2), 67–83. <https://doi.org/10.12961/aprl.2021.24.02.06>
- Grinshpun, S. A., Haruta, H., Eninger, R. M., Reponen, T., McKay, R. T., & Lee, S. A. (2021). Eficacia de la mascarilla facial con filtro de partículas N95 y de la mascarilla quirúrgica durante la respiración humana: dos vías para la penetración de partículas. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 18(S1), S1–S14. <https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1877051>
- Grupo Banco Mundial. (2021). Una recuperación desigual: Tomando el pulso de América Latina y el Caribe después de la pandemia | PNUD en América Latina y el Caribe. *América Latina y El Caribe*, 1–16. https://www.latinamerica.undp.org/content/rblac/es/home/library/an-uneven-recovery.html?gclid=Cj0KCQjAzfuNBhCGARIsAD1nu-8u2Yoqca4Twh0tXbFY30II5G1INZTMvK5sACnlpzsQr1nHRKjIHH0aAsjhEALw_wcB
- Hannah R., Edouard M., Rodés L., Appel C., Giattino C., Ortiz E., Hasell J., Macdonald B., Beltekian D. and Roser M. (2020) - "Coronavirus Pandemic (COVID-19)". *Published online at OurWorldInData.org*. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/coronavirus>' [Online Resource]
- Jayaweera, M., Perera, H., Gunawardana, B., & Manatunge, J. (2020). Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. *Environmental Research*, 188(June), 109819. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109819>
- Kane, S. N., Mishra, A., & Dutta, A. K. (2016). Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1), 0–14. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Koch, J. (2021). Data-driven surrogates of rotating detonation engine physics with neural ordinary differential equations and high-speed camera footage. *Physics of Fluids*, 33(9). <https://doi.org/10.1063/5.0063624>
- Long, N. (n.d.). *Investigación de microfluidos con cámaras de alta velocidad*.
- MathWorks. (2021, diciembre). *Adaptive image threshold using local first-order statistics (adaptthresh)*. <https://la.mathworks.com/help/images/ref/adaptthresh.html>
- MathWorks. (2022, enero). *Global image threshold using Otsu's method (Graythresh)*. <https://la.mathworks.com/help/images/ref/graythresh.html?lang=en>
- Nadort, A., Woolthuis, R. G., van Leeuwen, T. G., & Faber, D. J. (2013). Quantitative laser speckle flowmetry of the in vivo microcirculation using sidestream dark field microscopy. *Biomedical Optics Express*, 4(11), 2347. <https://doi.org/10.1364/boe.4.002347>
- OECD. (2020). MAKING DEVELOPMENT HAPPEN Impacto financiero del COVID-19 en Ecuador :

desafíos y respuestas. *Making Development Happen*, 6, 21.

- Organización Mundial de la Salud. (2020). Recomendaciones sobre el uso de mascarillas en el contexto de la COVID-19. *Organización Mundial de La Salud*, 1–5. <https://extranet.who.int/iris/restricted/handle/10665/331789>
- Phantom High Speed. (s.f.). Utrahigh Speed Phantom v2512. <https://www.phantomhighspeed.com/products/cameras/ultrahighspeed/v2512>
- Pöhlker, M. L., Krüger, O. O., Förster, J.-D., Berkemeier, T., Elbert, W., Fröhlich-Nowoisky, J., Pöschl, U., Pöhlker, C., Bagheri, G., Bodenschatz, E., Huffman, J. A., Scheithauer, S., & Mikhailov, E. (2021). *Respiratory aerosols and droplets in the transmission of infectious diseases*. <http://arxiv.org/abs/2103.01188>
- Raffel, M., Richard, H., & Meier, G. E. A. (2000). On the applicability of background oriented optical tomography for large scale aerodynamic investigations. *Experiments in Fluids*, 28(5), 477-481.
- Raffel, M. (2015). Background-oriented schlieren (BOS) techniques. *Experiments in Fluids*, 56(3), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00348-015-1927-5>
- Saavedra, M., Villaseñor, A., Caicedo, A., Lázaro, D. & Solís, B. (2021). Impacto en la morbilidad por COVID-19 según las regulaciones del uso de mascarilla. *Rev. Médica de México*. 157 (3). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0016-38132021000300288&script=sci_arttext
- Scharfman, B. E., Techet, A. H., Bush, J. W. M., & Bourouiba, L. (2016). Visualization of sneeze ejecta: steps of fluid fragmentation leading to respiratory droplets. *Experiments in Fluids*, 57(2), 24. <https://doi.org/10.1007/s00348-015-2078-4>
- Schipper, R. G., Silletti, E., & Vingerhoeds, M. H. (2007). Saliva as research material: biochemical, physicochemical and practical aspects. *Archives of oral biology*, 52(12), 1114-1135.
- Shen, Z. M., & Meng, L. J. (2013). Development and evaluation of compact and high resolution CdTe/CZT detectors for handheld gamma camera and probe application. *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record*, 1–16. <https://doi.org/10.1109/NSSMIC.2013.6829333>
- Taylor, P. (2017). *High-Speed Imaging Uncovers The Invisible With Schlieren Imaging. Figure 1*, 1–4. <http://www.phantomhighspeed.com/DesktopModules/EasyDNNNews/DocumentDownload.aspx?portalid=0&moduleid=965&articleid=1361&documentid=42>
- Thompson, B. (2020). Stopping the spread. *Chemistry and Industry (London)*, 77(11), 36–39. https://doi.org/10.1002/cind.7711_11.x
- Tonicomsa (2020) Respirador Descartable KN95 Modelo DC9599 [Fotografía] (<https://tonicomsa.com/producto/respirador-descartable-kn95-modelo-dc9599/>)

- Turner, C. E., Jennison, M. W., & Edgerton, H. E. (1941). Public health applications of high-speed photography. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 31(4), 319-324.
- Verma, S., Dhanak, M., & Frankenfield, J. (2020). Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets. *Physics of Fluids*, 32(6). <https://doi.org/10.1063/5.0016018>
- Arumuru, V., Pasa, J., & Samantaray, S. S. (2020). Experimental visualization of sneezing and efficacy of face masks and shields. *Physics of Fluids*, 32(11). <https://doi.org/10.1063/5.0030101>
- García Vela, R., Cabanas Valdés, R., Huertas Ríos, S., Donat Roca, R., Monné Cuevas, P., Moizé Arcone, L., & Calvo Sanz, J. (2021). Análisis del ajuste de mascarillas autofiltrantes en combinación con las mascarillas quirúrgicas para la protección del profesional sanitario en su atención a pacientes afectados de SARS-COV-2 a partir de un estudio experimental. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 24(2), 67–83. <https://doi.org/10.12961/aprl.2021.24.02.06>
- Grinshpun, S. A., Haruta, H., Eninger, R. M., Reponen, T., McKay, R. T., & Lee, S. A. (2021). Eficacia de la mascarilla facial con filtro de partículas N95 y de la mascarilla quirúrgica durante la respiración humana: dos vías para la penetración de partículas. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 18(S1), S1–S14. <https://doi.org/10.1080/15459624.2021.1877051>
- Verma, S., Dhanak, M., & Frankenfield, J. (2020). Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets. *Physics of Fluids*, 32(6). <https://doi.org/10.1063/5.0016018>
- Zoller, J., Meyer, J., & Dittler, A. (2021). A critical note on filtering-face-piece filtration efficiency determination applying EN 149. *Journal of Aerosol Science*, 158(May). <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105830>

Apéndices

- Apéndice A: Macro para el programa ImageJ: Guardado_Automatico_BOS.ijm
- Apéndice B: Código para el post-procesamiento por BOS: GUI_BOS_v3.m
- Apéndice C: Manual de operación – Cámara de alta velocidad Phantom v2512.pdf
- Apéndice D: Videos de los fenómenos procesados por BOS
- Apéndice E: Videos de los fenómenos obtenidos por Imágenes de Campo Oscuro
- Apéndice F: Códigos de binarización y obtención de porcentajes de blancos y negros
- Apéndice G: Procedimiento para la toma y procesamiento de imágenes mediante BOS