

REINGENIERÍA DE MASCARILLAS ALTERNATIVAS AL CUBREBOCAS K-N95

REENGINEERING OF ALTERNATIVE MASKS TO THE K-N95 MOUTH COVER

¹Vasquez Martínez Marcelo, ²Bartolo Alemán Martha Hilaria, ³Robledo Taboada Luis Humberto,
⁴Martínez López Moisés, ⁵Morales Castillo Vicente

¹Pasante de ingeniería industrial, ²Maestra en Administración, ³Maestro en Ciencias, ⁴Ingeniero en
Mecatrónica, ⁵Ingeniero industrial en producción.

113160776@oaxaca.tecnm.mx, martha.bartolo@itoaxaca.edu.mx, luis.rt@itoaxaca.edu.mx,
moises.ml@itoaxaca.edu.mx, vicente.morales@itoaxaca.edu.mx.

^{1 2 3 4 5}Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Oaxaca, ^{1 2 3 4 5}Departamento de Ingeniería Industrial,
Avenida Ing. Víctor Bravo Ahuja No. 125 Esquina Calzada Tecnológico, (951)5015016 C.P. 68030, Oaxaca de Juárez,
Oaxaca.

Resumen -- Se sintetizaron diferentes tipos de materiales y componentes para ensamblar mascarillas tipo respirador como alternativa (sustentable y duradera) a un cubrebocas KN-95, para la fabricación de los componentes se utilizaron impresoras 3D de tipo inyección, donde se varió el espesor, altura de inyectado, tiempo de impresión, método de sujeción y densidad de relleno. Las pruebas de análisis morfológico (superficial y transversal) se realizaron con Microscopía Electrónica de Barrido. El grado de filtración de los filtros y la mascarilla se realizó con una prueba física que simuló un estornudo humano. La caracterización biológica se realizó in situ mediante el uso de medios de cultivo y la observación del crecimiento de organismos patógenos. Los resultados muestran una efectividad de la mascarilla similar al KN-95 tanto en el aspecto biológico como físico, además de tener mayor durabilidad y ser ecológica.

Palabras clave: Impresión 3D, mascarilla, covid-19.

Abstract -- Different types of materials and components were synthesized to assemble respirator-type masks as an alternative (sustainable and durable) to a KN-95 face mask. Injection-type 3D printers were used to manufacture the components, where the thickness and injection height were varied., printing time, clamping method and fill density. Morphological analysis tests (superficial and transversale) were performed with Scanning Electron Microscopy. The degree of filtration of the filters and the mask was made with a physical test that simulated a human sneeze. Biological characterization was carried out in situ by using culture media and observing the growth of pathogenic organisms. The results show an effectiveness of the

mask similar to KN-95 both in the biological and physical aspects, in addition to having greater durability and being ecological.

Key words: 3D printing, mask, covid-19.

INTRODUCCIÓN

Tras el brote de la enfermedad SARS-COV-2 (COVID-19) [1], el colapso de los distintos recursos clínicos de la región fue debido a que la infraestructura y recursos necesarios no fueron suficientes para dar abasto a la demanda por el creciente número de contagios que se presentaban [2], el desabasto de cubrebocas, guantes, líquido de desinfección y caretas de protección facial, trajo consigo la aparición de diversos tipos de aparatos y cubrebocas para hacer frente a dicha pandemia en todo el mundo [3-11].

Actualmente se trabaja con diversas alternativas para frenar el contagio por SARS-COV-2, de esta manera en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, optó por realizar la reingeniería de una mascarilla tipo respirador que pudiera ser universal de acuerdo a las características faciales de los diversos usuarios, además de brindar la oportunidad de obtener un producto con mayor durabilidad que los cubrebocas existentes que se encuentran en el mercado.

En esta investigación se encontró una configuración óptima del proceso de impresión 3D, el diseño y el material ideal para brindar una alta seguridad al usuario ante la posible infección del virus SARS-COV-2. Mediante el uso de impresoras 3D equipadas con tecnología de modelado por deposición fundida (FDM) [12-14], se buscó hacer frente a una pandemia global de

una manera fiable y ecológica utilizando los recursos actuales del laboratorio de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Oaxaca.

DESARROLLO

En el proceso de fabricación de las mascarillas se utilizó una impresora 3D Rostock Maxv4 Dual Extruder la cual tiene un área de impresión de 30x30x40 mm, y una impresora 3DWox1 con un área de impresión de 25x25x14 cm, ambas con tecnología de modelado por deposición fundida (FDM), dichas impresoras utilizan materiales termoplásticos para la fabricación de diversas piezas (Fig. 1).

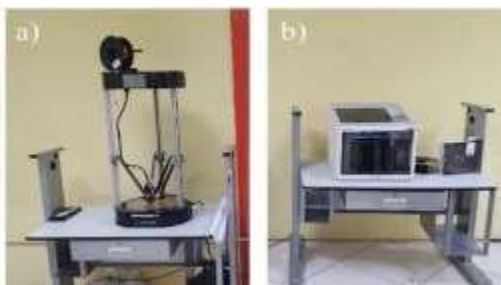


Figura 1. a) Impresora 3D Rostock y b) impresora 3DWox1.

Rediseño de mascarilla

En los últimos años se ha investigado la utilización de diversas mascarillas basadas en el proceso impresión 3D de polímeros [3,7,15-17], una de las más recientes es propuesta del grupo de investigación de la factoría [3].

El diseño de la mascarilla propuesta por el grupo de investigación de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Oaxaca es basado en un cubrebocas tipo respirador que consta de varios componentes ensamblados entre sí, dicho diseño se realizó en el software SolidWorks (Figura 2), aunado a esto se determinó el material base a utilizar y su eficiencia ante la filtración de organismos patógenos mediante diferentes pruebas y técnicas de caracterización.



Figura 2. Diseño en Solid Works.

Se definieron tres dimensiones de la mascarilla, basadas en la fisonomía de las personas oaxaqueñas (ver tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones de mascarilla

Mascarilla	Altura	Ancho externo	Ancho interno
Chica	55 mm	81 mm	80 mm
Mediana	55 mm	84 mm	83 mm
Grande	55 mm	87 mm	85 mm

Aunado a esto se agregaron orificios de sujeción de elástico de 1.5mm x 3mm a 2mm x 6 mm.

Selección de materiales

Algunos de los materiales que actualmente pueden ser utilizados en la impresión 3D son los siguientes: PLA (Acido Poli Láctico), ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), PETG (Poliéster de Glicol), TPU (Poliuretano Termoplástico), etc. [18]. El PLA es un bio-poliéster, por lo que este material es 100% biodegradable, sus principales características son: temperatura de impresión de 195 – 220°C, una velocidad de impresión entre los 40 – 100 mm/s, módulo de elasticidad de hasta 2.960 MPa (Mega Pascales), debido a estas propiedades y su fácil acceso se eligió como material base de las mascarillas.

Parámetros de impresión en 3D

En la tabla número 2 se muestran los parámetros que se variaron en el proceso de impresión 3D esto con el objetivo de optimizar sus propiedades físicas y mecánicas tales como la reducción de porosidad, mayor resistencia y alta durabilidad.

Tabla 2. Parámetros de impresión 3D

Método de sujeción	Densidad de relleno (%)	Tiempo (minutos)	Altura de Capa(mm)	Grosor de pared (mm)
Balsa	20	35	0.25	0.80
Skirt	20	70	0.25	.80
Skirt	20	24	0.25	.70
Skirt	20	24	0.30	.80
Skirt	20	28	0.25	.90
Skirt	25	23	0.25	.90

Selección de sello hermético

Para un correcto sello hermético [19], se realizó la selección de una goma de caucho de etileno propileno dieno en forma de perfil D (Fig. 3), con el objetivo de asegurar un sello uniforme alrededor de la mascarilla y prevenir la posible fuga o ingreso de partículas biológicas no deseadas.

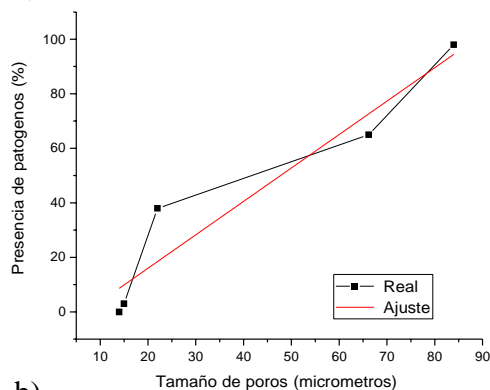


Figura 3. Goma de caucho elegida como sello hermético

Selección de filtros

La selección de filtros fue a partir de varias opciones de filtros basados en algodón y carbón activado, dicha selección se dio a mediante la prueba de dos técnicas de caracterización, por un lado la caracterización de tamaño de poro y espesor de las capas utilizando Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) y por otro lado el crecimiento de patógenos, con el objetivo de probar la efectividad de los filtros, con ello se obtuvieron las gráficas de la Figura 4, donde se aprecia que a partir de un tamaño de poro de 15 micrómetros la presencia de microorganismos es mínima, aunado a esto el espesor de las capas tiene un papel importante en el sistema de filtración pues como se observa en las gráficas capas gruesas (de más de 2 mm) tienen menor presencia de patógenos.

a)



b)

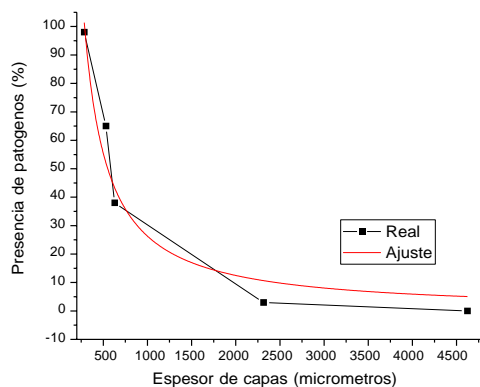


Figura 4. a) Gráfica de tamaño de poro vs Presencia de patógenos y b) Gráfica de espesor de capas vs Presencia de patógenos.

Al analizar las gráficas anteriores se determinó la ecuación del comportamiento de la presencia de patógenos con respecto a el diámetro de poro:

$$y = 1.22601 x \quad \text{Ec. (1)}$$

Esta ecuación indica que a menor tamaño de poro menor será la presencia de organismos patógenos externos, con ello se estima que la presencia de patógenos tendera a ser 0 si el diámetro de poro es menor a 15 micrómetros.

Con la ecuación 2 se determinó que a mayor espesor de la capa del filtro el porcentaje de microorganismos era menor, de tal manera que la ecuación muestra que con capas de más de 2400 micrómetros la presencia de microorganismos dañinos es muy baja.

$$y = 44163.60635 x^{-1.07502} \quad \text{Ec. (2)}$$

De esta manera se seleccionó un filtro compuesto por 3 capas (algodón, carbón activado y algodón) que forman un sistema de 4.5 milímetros de espesor y cuya eficiencia es bastante optima.

Ensamble final de la mascarilla fabricada pieza a pieza por impresión 3D

Una vez impresas las piezas del cuerpo de la mascarilla y seleccionados los filtros, la goma hermética y la cinta elástica se ensamblaron todos los componentes (Figura 5) para de esta manera formar el prototipo final.



Figura 5. Componentes del prototipo a) cuerpo fabricado, b) filtros, c) banda hermética y d) mascarilla ensamblada.











Pruebas y técnicas de caracterización

Durante el desarrollo del modelo propuesto por el equipo de investigación de ingeniería industrial se realizaron 3 técnicas de caracterización para determinar la eficiencia de la mascarilla y sus filtros, a continuación, se presentan los resultados.

Caracterización física de los filtros contra cubrebocas comerciales

Los filtros que se proponen son basados en capas, la primera es de carbón activado y fibra de algodón, la segunda capa es de carbón activado y la capa final es de carbón activado y fibra de algodón, la primera prueba se realizó mediante el uso de un aerosol que simula un estornudo humano y el uso de una superficie oscura que muestra las partículas filtradas a través de los poros de cada tipo de cubrebocas.

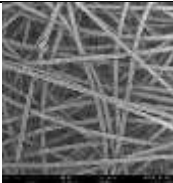

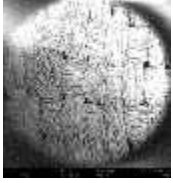


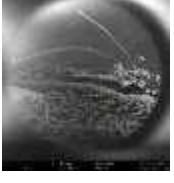


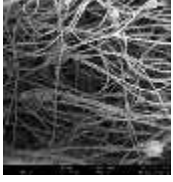

Tabla 3. Prueba física de los diferentes tipos de cubrebocas vs los filtros de las mascarillas propuestas.

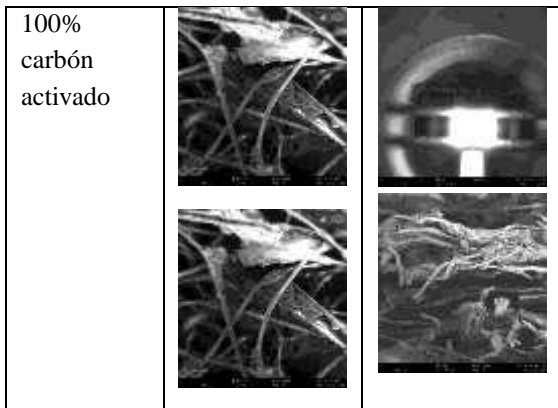
Tipo de cubrebocas	Realización de la prueba	Resultado
Azul comercial		
Blanco laboratorio Y Blanco-Azul laboratorio		
Tela- casero		
N-95		
Filtros de la Propuesta de Ingeniería Industrial		

Microscopia Electrónica de Barrido del prototipo propuesto contra cubrebocas comerciales

El análisis morfológico (superficial y de corte trasversal) a nivel microscópico se realizó mediante el uso de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) con un microscopio SEM Pure. Se muestran diferentes magnificaciones, con el fin de observar y analizar las estructuras y capas de cada cubrebocas con respecto a las mascarillas que se propone.

Tabla 4. Análisis con MEB (Microscopio Electrónico de Barrido) a incidencia normal y de corte trasversal.

Tipo de cubrebocas	Morfología a incidencia Normal	Morfología de corte a 90°
Azul comercial		
Tela-casero		
Azul blanco-laboratorio		
N -95		
Filtros Propuestos		
Algodón-carbón activado		



Análisis Microbiológico

Se expusieron los medios de cultivo o respiración humana (con los diferentes tipos de cubrebocas) durante un periodo de 5 minutos, esto se realizó dos veces por cada cubrebocas para mostrar la reproducibilidad (Fig. 5), los resultados se muestran en la tabla 5.



Figura 6. Prueba in situ de filtración biológica de la mascarilla propuesta.

Tabla 5. Pruebas in situ de las filtraciones de patógenos biológicos en cada tipo de cubrebocas y en las caretas propuestas.





Tipo de cubrebocas y explicación

Control de referencia (sin cubrebocas): Esta prueba se realizó hablando frente al medio cultivo y el mechero sin el uso de ningún cubrebocas, con el objetivo de observar el crecimiento de las

Resultado



Alta presencia de microorganismos patógenos

bacterias nativas del aliento humano.	
Blanco laboratorio Y Blanco- Azul laboratorio: Se utilizó un cubrebocas azul de laboratorio para observar su eficiencia de filtración de microorganismos.	Presencia media o del 50% de microorganismos patógenos
Tela- casero: Se realizo la misma prueba anterior con el cubrebocas casero.	
Alta presencia de microorganismos patógenos	
KN-95: En el caso de este cubrebocas se puso especial atención en la prueba pues es la competencia directa del cubrebocas diseñado por ingeniera industrial.	
Casi nula presencia de Organismos patógenos	
Mascarilla Propuesta por Ingeniería Industrial: En este caso se realizó la prueba de manera estándar para evaluar el resultado final.	
Nula presencia de microorganismos patógenos	

Prueba después de 3 meses

Con el fin de garantizar la efectividad y durabilidad del equipo de protección (filtros y mascarilla), se sometió a una prueba después de 3 meses de uso continuo, cabe resaltar que la mascarilla y los filtros se limpiaron superficialmente todos los días (cada 8 horas) mediante el uso de atomizador con una solución desinfectante rica en alcohol, aunado a lo anterior cada tercer día (24 horas de uso) los filtros se extrajeron y se sumergieron en una solución rica en alcohol para prevenir la contaminación por parte de organismos patógenos. En la Figura 7 se muestra el resultado de la prueba biológica realizada a la mascarilla después de haber sido utilizada durante 3 meses (480 horas), se observa una nula formación de colonias lo que demuestra su efectividad del equipo de protección después de un periodo de 3 meses.



Figura 7. Petri resultado de la exposición del medio de cultivo del aliento de una persona durante 5 minutos utilizando la mascarilla (después de 3 meses de uso diario).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de analizar las morfologías microscópicas de los cubre bocas ya mencionados, se puede entender de una manera más puntual el funcionamiento y eficiencia de los mismos [20]. Se observa que los cubrebocas que no pasaron la prueba de la simulación de estornudo tienen menor cantidad de capas [21-23], por ende el sistema total de capas tiene un grosor mucho menor, sumado a lo ya mencionado, las fibras de los cubre bocas casero y azul comercial están muy separadas formando poros de entre 30.4 a 87 micrómetros, en estos casos hay una mayor probabilidad de que diversos patógenos puedan atravesar el sistema de protección [23-26], dependiendo de la presión con la que estos se disipen (respiración normal o un estornudo) y del tamaño de las gotículas.

Es importante resaltar que el cubrebocas KN-95 y la mascarilla propuesta, son efectivos debido a la cantidad de capas que poseen [22-24], espesor de las mismas (mayores a 2400 micrómetros) y porosidad formada (10 a 15 micrómetros) por las fibras [21-26], se resalta que tanto el cubrebocas KN-95 como los filtros de la mascarilla propuesta tienen en el centro una capa gruesa

y compacta de carbón activado, la cual favorece la filtración de organismos biológicos.

El crecimiento de organismos patógenos (bacterias, virus y hongos) en los medios de cultivo de control (referencia experimental de inicio) y tela es muy alta por ende la filtración de un cubrebocas de tela es muy deficiente, por otro lado en las muestras del cubrebocas azul (de laboratorio) exponen una presencia intermedia de estos organismos por lo que su filtración es regular pero no eficiente, en el caso de los cubrebocas KN-95 y la propuesta diseñada por Ingeniería Industrial, se aprecia una nula o muy baja presencia de organismos patógenos por lo que se considera que ambos tienen una alta eficiencia de filtración de aire.

CONCLUSIONES

El sistema de filtros propuesto, está conformado por 3 etapas (dos de fibra de algodón y una intermedia de carbón activado), es efectivo debido a la cantidad de capas internas que posee cada etapa, es decir, capas dentro de las mismas capas y la composición de las mismas (algodón -carbón activado, carbón activado y una etapa más de algodón -carbón), la dispersión de sus fibras, el tamaño de poros producidos y espesor total del sistema, sumado a esto el material base fue inyectado de manera eficiente después de varias pruebas hasta llegar a un modelo sólido con mínima porosidad y alta densidad de área, en el caso de las pruebas biológicas se observa una presencia nula de patógenos en el medio de cultivo correspondiente a las mascarillas propuestas esto muestra una alta efectividad de las mascarillas por lo que es recomendable su uso.

El laboratorio de Ingeniería Industrial cuenta con el equipo tecnológico (impresoras 3d e inyectora de plástico) pero no con el material y moldes para realizar la producción en cadena de dichos productos, una vez obtenidos estos insumos, el laboratorio de Ingeniería Industrial del Tecnológico de Oaxaca estaría preparado para la creación en masa de estas mascarillas que son de bajo costo y buena efectividad de filtración patógena. Es importante mencionar que cada mascarilla debe llevar una limpieza diaria después de cada uso con un sanitizante base alcohol, esto con el fin de garantizar su eficiencia funcional y eliminación de patógenos.

Con el fin de demostrar la efectividad de las mascarillas se agregó una última prueba biológica donde es importante mencionar que después de 3 meses de uso no mostro filtración de organismos patógenos, sin embargo, es de alta relevancia mencionar las siguientes recomendaciones de uso:

-Desinfección diaria de la máscara y de los filtros superficialmente.

-Extracción y sanitización de los filtros cada tercer día, sumergiéndolos por 5 minutos en una solución rica en alcohol al 98%.

- Se considera 3 meses como tiempo de vida de prueba sin embargo con los cuidados adecuados, un uso ideal y poco desgaste los filtros pueden durar aún más tiempo.

- Para tener una mayor prevención se recomienda al usuario que después de 4 meses de uso se realice el cambio de los filtros.

Aunado a todo lo descrito anteriormente, se continuará investigando sobre mejores materiales y diseños para obtener prototipos más eficientes y económicos y de esta manera aportar solidariamente un producto clave a la sociedad oaxaqueña y mexicana en esta contingencia por el COVID 19.

REFERENCIAS

- [1] Guanlan, Z. Tomar medidas preventivas inmediatamente: evidencia de China sobre el COVID-19. *Gac Sanit.* 2020; 34 (3): 217-219.
- [2] Orellana centeno, J.E. EL CORONAVIRUS 19 (COVID 19) EN MÉXICO. *Rev Chil Salud Pública.* 2020;24(1): 72-73.
- [3] La Factoría 3d, 3D printable COVID-19 Emergency mask v2. La Factoría. 2020.
- [4] Weidenslaufer, C, Trufello, P, Ossandón, F, Cuevas, C, Roberts, R. Uso de mascarillas caseras: normativa nacional, recomendaciones internacionales y evidencia científica. *Asesoría Técnica Parlamentaria / Biblioteca de Congreso Nacional de Chile.* 2020; Boletín (7).
- [5] Caicoya, M, Trufello, P, Ossandón, F, Cuevas, C, Roberts, R. El papel de las mascarillas en el control de la epidemia COVID-19. *J healthc qual res.* 2020; 35 (4): 203-205.
- [6] OMS, Recomendaciones sobre el uso de mascarillas en el contexto de la COVID-19. *Orientaciones provisionales.* 2020; 1-14.
- [7] Servin Torres, E, Nava Leyva, H, Romero García, AT, Sánchez González, FJ, Huerta García, G. Equipo de protección personal y COVID-19. *Cirujano General.* 2020; 42 (2): 116-121.
- [8] Abhinav, A, Ashish, A, Deepak, G, Anoop, S. Novel and economical apparatus to decrease direct droplet exposure during endoscopy in the ongoing COVID-19 pandemic: A hypothesis-generating innovation. *Indian Journal of Gastroenterology.* 2020;39(3): 307-309.
- [9] Wu, Zg., Zheng, Hy., Gu, J. et al. Effects of Different Temperature and Time Durations of Virus Inactivation on Results of Real-time Fluorescence PCR Testing of COVID-19 Viruses. *CURR MED SCI* 40, 614–617 (2020)
- [10] Kumar Sngh, A, Ashok Kumar, U, Laxminarayana, P. Design and Development of Face Shield by 3D Printing for the COVID-19 Epidemics. *IJRASET.* 2020;8(VI): 380-384.
- [11] Tino, R, Moore, R, Antoline, S, Ravi, P, Wake, N. COVID-19 and the role of 3D printing in medicine. *Open Acces.* 2020;6(11): 1-8.
- [12] Nadal, A, Liébana, O, Pavón, J. Perspectivas para la impresión 3D en la construcción. *REIA.* 2017;7(8): 233-244.
- [13] Díaz del castillo rodriguez, F. IMPRESIÓN 3D, UNA INTRODUCCIÓN. México: 2018.
- [14] ERASMUS 3D, VET IO1 - Metodología para definir ejercicios de Impresión 3D adecuados para educación transversal: 2017.
- [15] Pedraja, J, Mestre, JM, Rabanal, JM, Morales, C, Aparicio, J. Papel de la impresión 3D para la protección de los profesionales del área quirúrgica y críticos en la pandemia de COVID-19. *Rev Esp Anestesiol Reanim.* 2020; 67 (8): 417-424.
- [16] Valera Aldás, J. Impresión 3D y COVID-19. *CienciAméricana.* 2020; 9 (2).
- [17] Anderson, IF Análisis de un caso generado en la Escuela Técnica N °2: máscaras faciales diseñadas con software CAD-STL e impresas en poliacido láctico (PLA) con impresoras 3D, para protección del SARS-CoV-2 o COVID-19 (Coronavirus). *Interfaces* 8. 2020; 1-22.
- [18] Rodríguez González Cortes, A, Galea, KURT, No-cortes, J, Sammut, EJ, Eddin Alzoubi, E. Utilización de un software gratuito de diseño CAD para la impresión en 3D de mascarillas faciales individualizadas a partir de escaneados faciales. *Quitessence: Publicación internacional de odontología.* 2020; 8 (5): 320-325.
- [19] Quiroz romero, F. Mascarillas quirúrgicas a propósito del COVID-19: Algunos aspectos técnicos. *Rev Colomb*

- Cir. 2020; 35 (Especial COVID-19): 200-202.
- [20] Sickbert-Bennett EE, Samet JM, Clapp PW, et al. Filtration Efficiency of Hospital Face Mask Alternatives Available for Use During the COVID-19 Pandemic. *JAMA Intern Med.* 2020;180(12):1607–1612.
- [21] R lipners, S, Ishacks, S. Applications of 3D Printing Technology to Address COVID-19–Related Supply Shortages. *The American Journal of Medicine.* 2020;133(7): 771-773.
- [22] Ryoung lee, H, Liao, L, Xiao, W, Vailionis, A, Ricco, AJ Análisis tridimensional de la distribución de partículas en las capas de filtro dentro de los respiradores N95 por aprendizaje profundo. *Nano Lett.* 2021; 21: 651-657.
- [23] Kumar, S, Pueh lee, H. The perspective of fluid flow behavior of respiratory droplets and aerosols through the facemasks in context of SARS-CoV-2. *Phys Fluids.* 2020;32(11301):.
- [24] Mittai, R, Meneveau, C, Wu, W. A mathematical framework for estimating risk of airborne transmission of COVID-19 with application to face mask use and social distancing. *Phys Fluids.* 2020;32(101903):
- [25] Tirupathi, R, Bharathidasan, K, Paladindala, V, Salim, S.A, Al-tawfiq, J.A. Comprehensive review of mask utility and challenges during the COVID-19 pandemic. *Le Infezioni in Medicina.* 2020; Suppl (1): 57-63.
- [26] Dugdale, C.M, Walensky, R.P. Filtration Efficiency, Effectiveness, and Availability of N95 Face Masks for COVID-19 Prevention. *JAMA Internal Medicine.* 2020;180(12): 1612-1613.



Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons
Atribución 4.0.