



## Diseño prototipo de ejercitador para apoyo en pacientes post covid-19

**Said Robles Casolco<sup>1</sup>**

[srcasolco@gmail.com](mailto:srcasolco@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-1217-7682>

Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero

**Agustín Guzmán Cortés**

[agustin.guzman@utpuebla.edu.mx](mailto:agustin.guzman@utpuebla.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0003-4571-224X>

Universidad Tecnológica de Puebla

**Mary C. Hernández Herrera**

[plan\\_gamadero@tcnm.mx](mailto:plan_gamadero@tcnm.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-2170-2322>

Instituto Tecnológico de Gustavo A. Madero

**Juan Luis Caro Becerra**

[juan.caro@upzmg.edu.mx](mailto:juan.caro@upzmg.edu.mx)

<https://orcid.org/0000-0002-3884-2188>

Universidad Politécnica de la Zona  
Metropolitana de Guadalajara

### RESUMEN

En problemas de respiración es importante suministrar un flujo continuo y preciso de oxígeno, en este estudio se realiza una profunda investigación de las secuelas que puede presentar un paciente post Covid. Los resultados mostrados son impresiones en 3D del diseño prototipo de ejercitado de aire a través del software Diseño Asistido por Computadora CAD, con el objeto de buscar innovaciones en ergonomía y su correcta funcionabilidad, así como monitorear, medir y controlar las principales variables como el flujo de aire y tiempo indicado. Un objetivo particular es generar nueva información estadística con base en uso de las alarmas que se vayan a programar, con el propósito que el paciente pueda tener una pronta rehabilitación y sobre todo una mejor forma regular de su respiración. Dentro de las principales características del equipo es que sea portátil, ligero, compacto, ergonómico y que tenga la capacidad de comunicación inalámbrica por medio de un puerto estándar como el bluetooth y de esta forma se pueda conectar a un teléfono inteligente mediante una aplicación que se desarrollará específicamente para este dispositivo, dicha aplicación será gratis y se podrá descargar desde un sitio web público, bastara solo con registrarse.

**Palabras clave:** *diseño 3D; ejercitador; prototipador*

---

<sup>1</sup> Autor principal:

Correspondencia: [srcasolco@gmail.com](mailto:srcasolco@gmail.com)

# Prototype design of an exercise to support post covid-19 patients

## ABSTRACT

In breathing problems, it is important to provide a continuous and accurate flow of oxygen, in this study a thorough investigation of the sequelae that can present a post Covid patient. The results shown are 3D prints of the prototyped design of the air exerciser through the Computer Assistent Design CAD software, in order to search for innovations in ergonomics and its correct functionality, as well as to monitor, measure and control the main variables such as air flow and indicate time. A particular goal is to generate new statistical information based on the use of the alarms that will be programmed, with the purpose that the patient can have a prompt rehabilitation and above all a better way of breathing. Among the main features of the equipment is that it is portable, lightweight, compact, ergonomic and has the ability to communicate wirelessly through a standard port such as Bluetooth and this can be connected to smartphone through an application that will be developed specifically for the device, the application will be free and can be downloaded from a public website, just by registering.

**Key words:** *design 3D; exercise; prototype*

*Artículo recibido 05 mayo 2023*

*Aceptado para publicación: 05 junio 2023*

## INTRODUCCIÓN

El 27 de febrero del 2020, se registró el primer caso COVID-19 (SARS-CoV-2) en la Ciudad de México, algo que cambiaría por completo la vida de los ciudadanos, puesto que el 23 de marzo toda la población del territorio Mexicano inició un proceso de aislamiento social (BBC, 2020), el cual consideramos que pasaría pronto, como en el 2009 con la influenza, pero el 30 de abril del 2020, siendo 64 días después del primer diagnóstico, el número de pacientes comenzó a aumentar de manera exponencial, alcanzando un total de 19,224 casos confirmados y 1,859 fallecidos. El virus, se declaró pandemia y afectó a miles de personas en todo el mundo (Montejo, 2020)

Esta pandemia llegó a cambiar la vida de todos, ya que la anterior pandemia registrada en México fue la de 1918 (octubre-diciembre; epidemia de influenza) manteniéndonos encerrados en nuestros hogares para evitar el crecimiento de contagios y poder evitar la saturación de pacientes con necesidades de atención respiratoria en los hospitales.

Según las investigaciones publicadas por (Cortes Rivera, 2020 y CDC 2007), hay diversas enfermedades infecciosas que pueden causar una gran variedad de síntomas crónicos que ejemplifican el limitado conocimiento que se tiene acerca de la interacción del sistema inmunitario en la fase de convalecencia tras padecer una enfermedad infecciosa. Síndrome de tipo post infecciosos se han logrado describir con otros coronavirus. El coronavirus asociado al síndrome respiratorio agudo grave (SARS-CoV-2) causó un brote epidémico en 2020 que se inició en Wuhan, sudeste de China, con más de 8,000 casos registrados y 774 fallecimientos (Ruiz Bravo, 2020).

Estudios de seguimiento de los sobrevivientes de esta epidemia revelaron que un 50% de los sobrevivientes presentaba fatiga y trastorno del sueño a los 12 meses, un 50% padecía un síndrome de fatiga crónica a los cuatro años y un 25% reunía criterios de síndrome de encefalomielitis mialgica (Carod-Artal, 2021).

Por otra parte, se han descrito secuelas de disfunción de múltiples órganos, a los seis meses de la infección un 27% de los sujetos presentaba una reducción en la capacidad de difusión pulmonar para el monóxido de carbono y una disminución en la capacidad física (*ibid*). La disfunción prolongada de órganos tras padecer COVID-19 se ha estudiado en diversos artículos. Según (Self,2020), el síntoma pulmonar más frecuente del síndrome post-COVID-10 es la disnea, con una frecuencia del 30 al 72%

a los tres meses, mientras que la reducción en la capacidad de difusión es la afectación fisiológica más común.

La frecuencia de secuelas pulmonares alta analizadas mediante técnica de difusión de monóxido de carbono en una serie de 110 pacientes fue del 47,2%. El 50% de los 349 supervivientes de COVID-19 de una serie china tenía un patrón radiológico anormal con opacidad en vidrio esmerilado en la tomografía de tórax a los seis meses (Cleto 2022); se desconoce la prevalencia de embolia pulmonar secuelar en estos pacientes, ya que no se realizó una angiografía pulmonar.

Se han observado bronquiectasias y cambios fibróticos pulmonares en el 25 y en el 65% de los pacientes ingresados por COVID-19 leve-moderada y grave, respectivamente, a los tres meses del alta. Se ha descrito dolor torácico en el 20% de los supervivientes de COVID-19 a los 60 días del seguimiento, y palpitations y dolor torácico en el 9 y el 5% de los casos, respectivamente, a los seis meses.

La respuesta inflamatoria puede causar daño y muerte de los cardiomiocitos en la fase aguda, pero, en la fase crónica, la fibrosis miocárdica y la cardiomiopatía pueden favorecer la aparición de arritmias. La prevalencia de alteraciones en la resonancia cardíaca en una serie de 100 pacientes estudiados a los 71 días del alta fue del 78%; además, un 60% presentaba hallazgos sugestivos de inflamación en el miocardio.

La incidencia de complicaciones tromboembólicas y trombosis descritas en una serie de 163 pacientes a los 30 días del alta fue del 2.5% e incluyen embolia pulmonar, trombo intracardiaco e ictus isquémico, dichas investigaciones han detectado micro y macro trombosis pulmonar en el 20-30% de los pacientes con COVID-19 (Arias Rodríguez, *et al.* 2022)

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La Sociedad Americana de Tórax (ATS) y la Sociedad Europea Respiratoria (ERS) establecen los estándares mínimos para el buen funcionamiento de los espirómetros. Existen dos tipos de espirómetros, de acuerdo a su funcionamiento: de volumen y flujo. Espirómetros de volumen También llamados de circuito cerrado, registran la cantidad de aire que se desplaza a través de la vía aérea en una inhalación o exhalación en un tiempo determinado, obteniendo el volumen directamente y el flujo por diferenciación, lo que permite el registro de la curva de volumen/tiempo al instante (Rivero,

2018), además de que se puede añadir un circuito electrónico o digital para obtener la curva de flujo/volumen. (CDC, 2007).

Espirómetros de flujo: Son los más utilizados en la actualidad, llamados también de circuito abierto. Pueden ser bidireccionales, es decir, registrar flujo espiratorio e inspiratorio. Miden directamente la velocidad del flujo ventilatorio y por integración el volumen a través de un sensor mediante digitalización. Algunos disponen de una pantalla donde se observa el trazo de las curvas en tiempo real, otros se pueden conectar a un ordenador para poder visualizarlas y los esfuerzos pueden grabarse y utilizarse posteriormente. Son livianos y fáciles de transportar, el riesgo de contaminación disminuye al tener boquillas, filtros y en algunos casos, sensores de flujo desechables (Rivero, 2018).

**Los principales parámetros a considerar en estos dispositivos son:**

*Capacidad vital forzada*: cantidad máxima de aire exhalado forzadamente partiendo de una inhalación total; recibe también el nombre de volumen espiratorio forzado. Se compone por la suma del volumen corriente, volumen de reserva inspiratorio y volumen de reserva espiratorio. El valor normal es  $\geq 80\%$ .

Pico espiratorio flujo (PEF): es el flujo instantáneo máximo de la maniobra CVF; se expresa en litros.

*Volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1)*: cantidad de aire exhalado abruptamente en el primer segundo después de una inhalación máxima, su valor normal es  $> 80\%$ .

*Índice VEF1 /CVF*: es la fracción de aire que exhala un individuo en un segundo respecto a su capacidad vital forzada. Este indicador es determinante para detectar obstrucción, mas no para dar seguimiento a la progresión de la enfermedad, ya que VEF1 tiende a disminuir proporcionalmente con el deterioro del CVF. El valor normal es  $\geq 70\%$  de acuerdo con el límite inferior de normalidad.

*Volumen espiratorio forzado en seis segundos (VEF6)*: este parámetro ha sido utilizado como sustituto de CVF, ya que implica menos esfuerzo por parte el paciente, es más repetible que CVF en pacientes con obstrucción y tiene menor posibilidad de que exista fatiga u otras complicaciones como síncope, sin embargo, existe poca información acerca de los predichos de este volumen.

*Índice VEF6 /CVF*: puede utilizarse en sustitución del índice VEF1/CVF.

*Volumen extrapolado*: cantidad de aire accidentalmente antes de iniciar la exhalación abruptamente, se relaciona con espirómetros de circuito abierto o inseguridad del paciente al realizar la maniobra (Romero, 2013).

### **Fabricación del prototipo**

El prototipo propuesto inicia con unos modelos en 3D, los cuales fueron diseñados con el software CAD, para poder simular el ensamble de sus diferentes piezas como se muestra en la figura 1, para posteriormente iniciar su impresión en 3D, de algunas de las piezas, como la carcasa y la solapa, ya que los demás componentes solo se modelaron para tener una idea más clara del tamaño, forma y peso.

### **Figura 1.**

*Vistas del modelo CAD del Ejercitador*



**Fuente:** Elaboración propia

El material con el cual se han realizado las primeras impresiones es ABS y PLA, siendo este último el más accesible en precio y configuración de parámetros a configurar en la impresora 3D, ver figura 2 y 3.

### **Figura 2:**

*Impresión prototipo en ABS*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.**

*Impresión prototipo en PLA*



Fuente: Elaboración propia

El prototipo contara con un display como se muestra en la figura 4; para poder visualizar mensajes de comunicación y configuración, para que cuando ya esté conectado mediante puerto inalámbrico bluetooth, se pueda continuar la configuración de uso mediante la interface de la aplicación a desarrollar (APP), como se muestra en la figura 5.

**Figura 4.**

*Display del ejercitador*



Fuente: Elaboración propia

El Ejercitador contará con un sistema de batería, el cual provee la energía suficiente para alimentar los componentes electrónicos, como el display, la tarjeta de control de plataforma abierta en su presentación nano y la tarjeta de comunicación bluetooth, dicho sistema se ha probado con dos tipos de baterías y finalmente será con las de tipo botón de litio, en un arreglo de 3 piezas o similar, como se muestra en las figuras 6 y 7.

**Figura 6.**

*Batería recargable de 9 volts como fuente principal de energía para el ejercitador*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 7.**

*Batería de litio*



**Fuente:** Elaboración propia

Como ya se mencionó se utilizará una plataforma abierta de programación incluida una tarjeta de control en su presentación nano, en combinación con una tarjeta de comunicación inalámbrica bluetooth, la cual se puede observar en la figura 8.

### **Figura 8.**

*Tarjeta de comunicación inalámbrica*



**Fuente:** Elaboración propia

Finalmente se utilizará un ventilador de alta potencia para generar los flujos de aire en forma unidireccional según el tipo de tratamiento elegido por el usuario, este ventilador hará la función de

turbina de los espirómetros comerciales, como se muestra en la figura 9.

**Figura 9.**

*Ventilador turbine*



Fuente: Elaboración propia

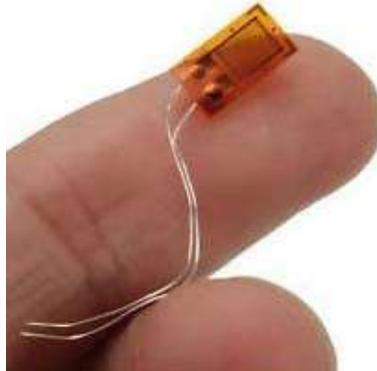
**Funcionamiento del ejercitador pulmonar**

El uso será medido por el control de la aplicación y captado por el sensor extensiométrico, como se muestra en la figura 10, teniendo estadísticas en el dispositivo ya que los datos serán enviados a las clínicas que se encuentren en las regiones donde se tenga alcance de poder participar en programas piloto de control y seguimiento de tratamientos de mejora post Covid. Ya que hasta el momento en México se han registrado más de 7,621,062 de casos confirmados, de los cuales 6,869,584 se han recuperado, 7,839 siguen activos y 334,167 de defunciones (CONACYT, 2022).

El sensor extensiométrico será el primer contacto, y será el que proporcione la información de entrada mediante su flexión, ya que es de alta precisión, este dato llegara al microcontrolador y será procesado por el programa, y responderá según el tratamiento seleccionado en la APP, y desde el primer dato recibido este será guardado y registrado para su envío.

## Figura 10.

*Sensor extensiométrico*

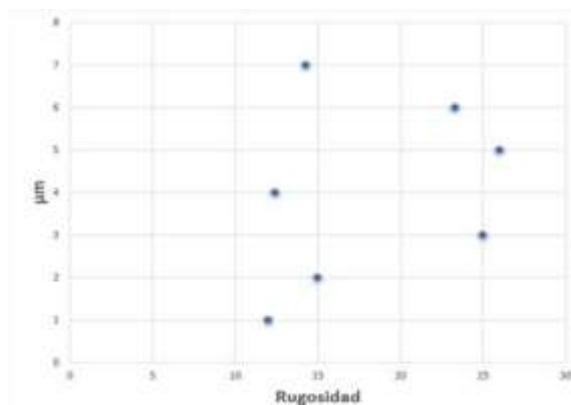


Fuente:

## RESULTADOS

Por la sensibilidad del equipo, se procedió después de la impresión 3D a la realización de una examinación por vía no destructiva, para saber la capacidad de rugosidad de acuerdo a la velocidad de impresión y de los materiales utilizados, con el uso de un rugosímetro académico se realizaron mediciones en 7 puntos importantes de la sujeción considerando que en estos puntos localizados tuvieron valiosa información de acuerdo a que en los puntos evaluados no existe un desplazamiento mayor al indicado. Como se muestra en el gráfico 1. Con estos datos podemos comprobar que el diseño y la operación de impresión son una buena práctica para la aplicación de equipos de rehabilitación.

**Gráfico 1.** *Valores de rugosidad del equipo por impresión 3D*



Fuente: Elaboración propia

Como parte del equipo electrónico significativo se realizaron pruebas de pérdidas de señal en wifi, con la funcionalidad de poder obtener una respuesta de acuerdo al ancho de banda, distancia del equipo, diseño y programación.

Considerando la experimentación que se obtuvo a partir del gráfico 2, el cual representa una pérdida de señal de acuerdo a la distancia donde el equipo tiene una recepción de 1 a 14 m. Considerando que en la mayoría de los hogares los puntos de wifi, pueden estar a distancias de los cuales se consideran en este rango, el software y hardware son los ideales para la aplicación del equipo desarrollado.

## Gráfico 2.

*Pérdida por señal por distancias a la frecuencia*



Fuente: Elaboración propia

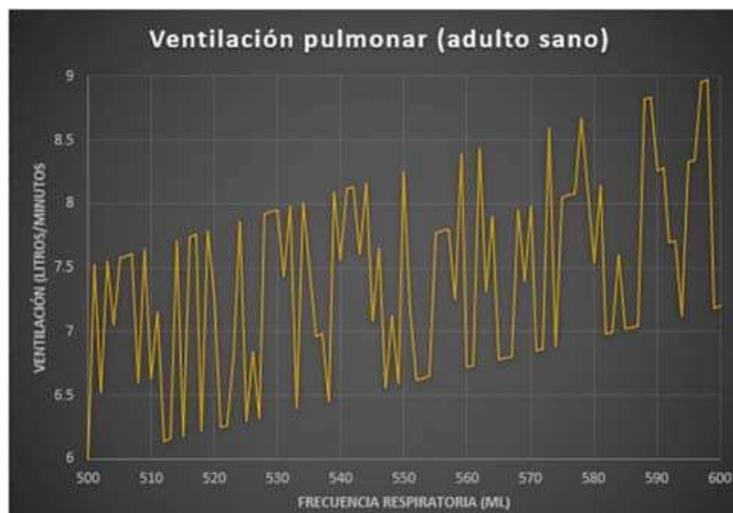
Considerando la experimentación y los valores de ventilación de acuerdo al funcionamiento del equipo, se muestra el gráfico 3, considerando la siguiente relación de ventilación pulmonar, el volumen de aire que se mueve entre el interior de los pulmones y el exterior por unidad de tiempo, siendo esta unidad normalmente el minuto.

Su determinación se realiza mediante el producto del volumen corriente por la frecuencia respiratoria. Para un individuo adulto, sano, de unos 70 kg de peso con una frecuencia respiratoria entre 12 y 15 ciclos/min y un volumen corriente de 500 a 600 ml, la ventilación sería de 6 a 7 lt/min. Aunque el volumen corriente podría tomarse tanto en la inspiración como en la espiración, se considera habitualmente el del aire espirado, estrictamente considerado debería ser la media entre el volumen inspirado y el espirado.

En relación al gráfico 3 la frecuencia respiratoria para el equipo se encuentra en los valores idóneos de utilización para personas saludables que colaboran en la obtención de valores experimentales y así realizar en un trabajo subsecuente el análisis de datos del equipo.

### Gráfico 3.

*Relación de ventilación pulmonar en pacientes*



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el desarrollo de esta investigación y puesta en marcha de un prototipo idóneo para poder realizar primeras evaluaciones con pacientes y obtener resultados de operación y mejora en pacientes post-covid.

De igual forma es valioso entender que el trabajo colaborativo de expertos en cada área, fomentó un desarrollo óptimo en la elaboración del diseño que es fundamental en la aplicación del ejercicio pulmonar, para ello es valioso entender que cada una de las partes en el diseño son consideradas de forma exterior e interior del diseño para la manufactura aditiva mediante la impresión 3D.

Un objetivo alcanzado es la disponibilidad del equipo de acuerdo a la formación e integración de componentes electrónicos para la interconexión y la conectividad a través de una programación individualizada, por estas razones el componente tiene una gran disposición para su operación como un dispositivo con un potencial para ser una opción en pacientes post-Covid 19.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Rodríguez, F. D., *et al.* (2022). Diagnóstico y tratamiento de tromboembolia pulmonar. Revisión bibliográfica. *Revista Mexicana de Angiología*. Sociedad Mexicana de Angiología y Cirugía Vasculiar y Endovascular, A. C. Publicado por Permanyer. México, D. F.
- BBC News Mundo (2020). Coronavirus en México: confirman los primeros casos de covid-19 en el país. 28 febrero de 2020. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-51677751>
- Carod Artal, F. J. (2021). Síndrome post-COVID-19: epidemiología, criterios diagnósticos y mecanismos patogénicos implicados. *Revista de Neurología*, Vol. 72, Núm. 11. Pp. 384-396. Disponible en: <https://neurologia.com/articulo/2021230>
- Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (2007). Guía de NIOSH para el entrenamiento en Espirometría. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional/NIOSH. Morgantown Virginia Occidental e Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias, México, D. F. Disponible en: [https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2004-154c\\_sp/pdfs/2004-154c.pdf](https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2004-154c_sp/pdfs/2004-154c.pdf)
- Cleto Gomera, L. (2022). Frecuencia de Covid-19 en personal de Salud en el Hospital Regional Taiwán 19 de marzo República Dominicana, en el periodo julio-diciembre 2021. Tesis de post grado para optar el título de Magister en: Medicina Familiar y Comunitaria. Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña. República Dominicana.
- Cortez Rivera, M. (2019). Myalgic encephalomyelitis/Cronic Fatigue Syndrome: A Comprehensive Review: Diagnostics (Basel). Vol. 9, Núm. 3. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31394725/>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2022). Informe Técnico Semanal COVID-19 México. Secretaría de Salud, Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/822055/Informe\\_Tecnico\\_Semanal\\_COVID-19\\_2023.05.02.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/822055/Informe_Tecnico_Semanal_COVID-19_2023.05.02.pdf)
- Montejo Mendoza, K., May Arias, M. R., Carrillo Carrillo, S. (2020). Modelando con la Covid-19. Instituto Tecnológico Superior De Los Reyes. Colegio de Bachilleres de Tabasco.

Villahermosa, Tabasco. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-superior-de-los-reyes/espanol/resena-modelando-con-la-covid-19-sit/51674042>

Romero de Ávila Cabezón, G., et al. (2013). Las 4 reglas de la espirometría. Cuadernos de Atención Primaria. Grupo de Trabajo de Enfermedades Respiratorias de Agamfec (Asociación Galega de Medicina Familiar e Comunitaria. Vol. 20, Páx 7. Disponible en: <https://www.agamfec.com/wp/wp-content/uploads/2014/07/20-7-50-het.pdf>

Rivero Yeveirino, D. (2019). Espirometría: conceptos básicos. Revista Alergia México. Vol. 66, Núm. 1. Disponible en: <https://revistaalergia.mx/ojs/index.php/ram/article/view/536>

Ruiz Bravo, A., Jiménez Valera, M. (2020). SARS-CoV-2 y pandemia de síndrome respiratorio agudo (COVID-19). Revista Ars Pharm, Vol. 62, Núm. 2. Pp. 63-79. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/ars/v61n2/2340-9894-ars-61-02-63.pdf>

Self, W. H., *et al*, (2020). Decline in SARS-CoV-2 Antibodies After Mild Among Frontline Health Care Personnel in a Multistate Hospital Network. MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report. Vol. 69, Num. 47, pp. 1762-1766. Disponible en: <https://doi.org/1015585/mmwr.mm6947a2>