



# **UNIVERSIDAD ESPECIALIZADA DE LAS AMÉRICAS**

**Facultad de Biociencias y Salud Pública**

**Escuela de Biociencias**

**Trabajo de Grado para optar por el título de Licenciado (a) en  
Ingeniería en Biomédica con Especialización en Electrónica Médica**

Modalidad Proyecto Tecnológico

Prototipo de un Sistema Inteligente Multiparámetros para Monitoreo y  
Terapia Remota dirigida a Pacientes post COVID-19 en la Ciudad de  
Panamá

Presentado por:

Guerrero Rodríguez, Ginny Gabriela 8-911-2176

González Quintero, Melanie Lisette 8-938-664

Asesor:

Ing. Jay Molino

Panamá, 2022

## **DEDICATORIA**

Que sean mis primeras palabras para agradecer a Dios por permitirme concluir esta etapa de mi vida. Quiero dedicar este proyecto, que equivale todo el esfuerzo que han realizado mis padres Patricia Rodriguez y José Guerrero, durante mi formación académica. Madre, no existen líneas para expresar lo agradecida que estoy por su apoyo. También dedicarlo a mi hermano Gean Guerrero, que me enseñó muchas cosas sin que él lo notara; y a mi sobrino Gianluca Guerrero, que fue una motivación en esta tesis.

Al igual, que al profesor Luys Santana por apoyarme siempre desde Electrónica 1. ¡Felicidades Melanie!, lo logramos! Fuiste una joven muy disciplinada y entregada a lo largo de este increíble proceso que decidimos iniciar juntas, que los éxitos a lo largo de tu vida sean infinitos.

(Ginny Guerrero)

Quiero dedicarle este trabajo de graduación a Dios, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y una luz en el sendero de mi vida.

A mis padres, Magalis Quintero y Jesús González, que han sido guía y apoyo incondicional a lo largo de mis estudios universitarios y carrera profesional; gracias a ustedes logré culminar esta etapa tan importante de mi vida. Dedico esta tesis a mi hermano, por ser una fuente de inspiración y ejemplo a seguir. A Williams, quien fue de gran apoyo emocional y estuvo siempre presente a lo largo de este camino.

Finalmente, dedico este proyecto a Ginny, mi compañera durante este gran reto, por su esfuerzo y perseverancia. A pesar de todos los obstáculos que se presentaron, siempre diste lo mejor de ti y ahora podemos celebrar esta meta alcanzada. Sé que lograrás todo lo que te propongas.

(Melanie González)

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, queremos dar gracias a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera y durante el desarrollo de este Trabajo de Grado.

Les agradecemos el apoyo dado a nuestros profesores en el transcurso de nuestra formación académica; al igual que a nuestro asesor PhD. Jay Molino, por su orientación y conocimientos durante la elaboración de esta tesis. Gracias a los coordinadores de los distintos laboratorios de UDELAS, que nos brindaron su tiempo, espacio y herramientas para llevar a cabo nuestro prototipo. De igual forma, agradecer al Doctor Samuel Guevara, médico general de la clínica de CIAES, por su colaboración en los aspectos clínicos de la tesis.

A nuestros padres, que con mucha paciencia y amor contribuyeron al desarrollo de esta tesis; a nuestros familiares y amigos por su tiempo

y participación en la validación del prototipo; igualmente a nuestros compañeros biomédicos por el ánimo brindado.

Por último, agradecimientos especiales al Ingeniero Luys Santana y al Técnico Williams Robinson, quienes nos ofrecieron desinteresadamente su tiempo, conocimiento, y todas las facilidades necesarias para que nuestro trabajo se llevara a cabo satisfactoriamente.

(Ginny & Melanie)

## CONTENIDO GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
<b>CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL DEL PROYECTO</b> .....	12
1.1. Antecedentes teóricos del proyecto.....	12
1.2. Diagnóstico de la situación actual .....	15
1.3. Justificación .....	18
1.4. Objetivos .....	19
1.4.1. Objetivo general.....	19
1.4.2. Objetivos específicos .....	19
1.5. Duración .....	20
1.6. Beneficiarios.....	20
1.7. Localización física .....	21
1.8. Marco institucional del proyecto .....	21
<b>CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....	23
2.1. Fundamentación teórica .....	23
2.1.1. Monitoreo Multisensorial .....	23
2.1.1.1. Oximetría de pulso por transmitancia o convencional (SpO2)..	23
2.1.1.2. Frecuencia cardiaca .....	24
2.1.1.3. Prueba de espirometría .....	24
2.1.2. Almacenamiento de datos.....	29
2.1.3. Aprendizaje automatizado .....	30
2.1.3.1. Sistema de recomendación .....	30
2.1.3.1.1. Filtrado colaborativo .....	30
2.1.4. Telesalud .....	31
2.1.4.1. Telemonitorización .....	32
2.1.4.2. Telerrehabilitación .....	32
2.1.5. Síndrome Post COVID-19.....	33
2.2. Propuesta de intervención.....	39
2.2.1. Materiales .....	39

2.2.1.1.	Componentes electrónicos .....	39
2.2.2.1.1.	MAX30100 .....	39
2.2.2.1.2.	SDP810-500 .....	40
2.2.2.1.3.	HC-06 .....	41
2.2.2.1.4.	Arduino Mega .....	41
2.2.1.2.	Instrumentos de medición y validación .....	41
2.2.1.2.1.	Wearfit SpO <sub>2</sub> Pulse Oximeter G&J .....	41
2.2.1.2.2.	Fluke VT650 .....	42
2.2.1.2.3.	Maquet Compressor Mini .....	42
2.2.1.2.4.	Jeringa de Calibración Welch Allyn .....	42
2.2.1.3.	Plataformas de código abierto .....	43
2.2.1.3.1.	Firestore .....	43
2.2.1.3.2.	App Inventor .....	43
2.2.1.3.3.	Arduino IDE .....	43
2.2.2.	Equipo tecnológico .....	44
2.2.2.1.	Impresora 3D Form 3B .....	44
2.2.2.1.1.	Standard Grey Resine .....	44
2.2.1.2.	Impresora 3D Mega Zero .....	45
2.2.1.3.	Máquina CNC WEGSTR .....	46
2.2.3.	Población y muestra .....	46
2.2.4.	Métodos y procedimiento .....	47
2.2.4.1.	Variables a medir .....	47
2.2.4.2.	Especificaciones técnicas del prototipo .....	48
2.2.4.3.	Diseño de la estructura .....	50
2.2.4.3.1.	Pulsioxímetro .....	50
2.2.4.3.2.	Espirómetro .....	51
2.2.4.3.3.	Carcasa del prototipo .....	56
2.2.4.4.	Diagrama electrónico .....	58
2.2.4.5.	Arquitectura del sistema .....	59
2.3.	Especificación operacional de las actividades y tareas a realizar .....	60

2.4. Productos .....	61
2.5. Cronograma de impartición del proyecto.....	62
2.6. Presupuesto .....	63
<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
3.1. Resultados de las validaciones técnicas .....	65
3.1.1. Oxímetro de Pulso .....	65
3.1.1.1. Prueba de exactitud .....	65
3.1.1.2. Prueba de esfuerzo .....	67
3.1.2. Espirómetro.....	68
3.1.2.1. Calibración .....	68
3.1.2.2. Prueba de exactitud .....	69
3.1.2.3. Prueba de 3 Litros .....	70
3.1.2.4. Prueba de fuga por burbujeo de presión directa .....	72
3.2. Resultados de las validaciones clínicas .....	73
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS E INFOGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>
<b>ÁPENDICE A: MANUAL DE USO DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>94</b>
<b>ÁPENDICE B: PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>97</b>
<b>ÁPENDICE C: CONSENTIMIENTO INFORMADO .....</b>	<b>103</b>



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, el recién descubierto coronavirus, causante de la enfermedad COVID-19, es el principal alarmante en los países del mundo y es considerado una pandemia. El brote de esta enfermedad surgió en Wuhan (China) en diciembre de 2019, causando síntomas como fiebre, tos seca y cansancio en los que la padecen; otros síntomas menos frecuentes que afectan a algunos pacientes son dolores y molestias musculares, congestión nasal, dolor de cabeza, conjuntivitis, dolor de garganta, diarrea, pérdida del gusto o el olfato y erupciones cutáneas o cambios de color en los dedos. Dichos síntomas suelen ser leves y comienzan gradualmente (OMS 2021).

Mientras que la mayoría de los pacientes (alrededor del 80%) se recuperan sin necesidad de recibir tratamiento hospitalario, los pacientes restantes terminan presentando cuadros graves y experimentan dificultades para respirar por lo que requieren asistencia hospitalaria. En ambos casos, muchos de estos síntomas y otros dados como secuela de la enfermedad se siguen presentando en los pacientes incluso después de obtener resultados negativos en la prueba de detección; esta condición se conoce como COVID prolongado y ya tiene un código en la Clasificación Internacional de Enfermedades designado como el Síndrome Post COVID, informó la Organización Mundial de la Salud (Loven and Villemain 2021). En Panamá, los síntomas más relevantes son la sensación de falta de aire y el cansancio crónico (Reyes 2021). En vista de lo anterior, este nuevo reto que se debe afrontar ha sido de gran interés como educandos en el ámbito de la salud, por lo que se optó desarrollar una propuesta que sea de apoyo a los pacientes recuperados de la COVID-19.

En consecuencia, este trabajo de grado contendrá tres capítulos en los que se describen el marco referencial, la descripción del proyecto y el análisis de resultados. En el primer capítulo, se exponen los distintos antecedentes teóricos que ayudan a definir y orientar el trabajo en base a proyectos e investigaciones anteriormente realizados; abarca igualmente el diagnóstico de la situación actual y la justificación que dan un panorama estadístico del problema a resolver; se mencionan el objetivo general y los específicos que ayudan a alcanzar los resultados; además, se indica la duración del proyecto, los beneficiarios directos e indirectos, y la localización física donde se llevara a cabo el desarrollo del prototipo. Por último, en el marco institucional se describen los aportes brindados por las instituciones involucradas para culminar exitosamente el proyecto.

# CAPÍTULO I

## **CAPÍTULO I: MARCO REFERENCIAL DEL PROYECTO**

### **1.1. Antecedentes teóricos del proyecto**

Los dispositivos multisensoriales de monitoreo se han desarrollado durante los últimos años para determinar los parámetros del paciente de forma continua. Uno de estos, fabricado por Munnoch y Jiagen, se basa en la telemonitorización para ayudar a las personas mayores; este dispositivo portátil ensambla múltiples entradas de sensores para simplificar la recopilación y el envío de datos de signos vitales. En la Universidad de Massachusetts se propuso un sistema que, a diferencia del anterior, usa sensores sin contacto y en tiempo real mediante una aplicación de Android que realiza el procesamiento de datos; al mismo tiempo. De igual forma en la Universidad de Concepción, se desarrolló un dispositivo que determina los parámetros fuera de rango con el fin de entregar asistencia médica si se requiere. Prawiro et al. implementaron la transmisión de los datos desde su dispositivo a un teléfono inteligente para mostrar la información al usuario y registrar todos los datos recibidos. En Portugal se ideó un dispositivo que permite la transmisión a través de una conexión a Internet Wi-Fi a bajo costo para la adquisición de parámetros cardíacos; mientras que Jin, Wang, Gui, Liu y Song en su prototipo transmiten todos los datos de detección a la nube, proporcionando un gran conjunto de datos (Gutiérrez 2016; Jin et al. 2014; Mahmud et al. 2016; Martinho, Prates, and Costa 2014; Munnoch and Jiang 2015; Prawiro et al. 2019).

Los estudios no solo se enfocan en la transmisión o recolección de datos. Es de vital importancia el almacenamiento de la data y su correspondiente análisis. Para ello Big Data en la salud ha cobrado increíble relevancia. Por ejemplo: Wullianallur y Viju Raghupathi detallaron los beneficios y desafíos de la Big Data para investigadores y profesionales médicos, resaltando que el análisis de macrodatos en el cuidado de la salud está evolucionando al proporcionar mayor información y mejorar los resultados al tiempo que se reducen los costos. De igual forma

Andreu-Perez et al. proporcionan una descripción general de los avances recientes en Big Data para ampliar el conocimiento sobre el manejo de enfermedades, desde el diagnóstico hasta la prevención y el tratamiento personalizado. El estudio de Marcela Peñaloza se enfoca en el procesamiento automatizado de datos en distintos proyectos, a fin de buscar su entendimiento y mejorar la toma de decisiones; por último, la investigación de Dimiter Dimitrov resaltó cómo el uso de varias tecnologías pueden reducir los costos generales para la prevención o el tratamiento de enfermedades crónicas, como dispositivos que autoadministran terapias o que rastrean datos de salud en tiempo real (Andreu-Perez et al. 2015; Dimitrov 2016; Peñaloza Báez 2018; Raghupathi and Raghupathi 2012).

Actualmente, como rama de la inteligencia artificial, el aprendizaje automático es utilizado para la predicción o diagnóstico de enfermedades, como lo plantearon los miembros de la Universidad de Montréal en su análisis de los sistemas de gestión de la salud y orientación de los médicos en sus decisiones de tratamiento. Un ejemplo es Chen et al. quienes propusieron un sistema que optimiza la predicción efectiva de brotes de enfermedades crónicas en comunidades de China. Satpathy et al. desarrolló un sistema que alerta al paciente cuando ocurra una descompensación, a través de un clasificador difuso que indica las condiciones patológicas de las enfermedades con mayor precisión. En el trabajo de Khan et. al. se detectó y monitoreó con precisión la condición cardíaca de los pacientes, de modo que el médico puede administrar inmediatamente un tratamiento adicional según los datos obtenidos (Chen et al. 2017; Hamet and Tremblay 2017; Khan and Algarni 2020; Satpathy et al. 2020).

Las terapias remotas permiten a los diferentes especialistas y pacientes mejorar su experiencia y facilitar el desarrollo de terapias de rehabilitación, como se aprecia en el prototipo de Juan Béjar que asigna, realiza y da seguimiento a las terapias de forma remota a través de un software. De manera similar en la

Universidad el Bosque presentan una aplicación móvil para llevar un control de las terapias visuales pasivas a pacientes que presenten problemas de movimientos sacádicos; al igual que un grupo de profesionales en China y Japón que propusieron un sistema de autorrehabilitación basado en la realidad virtual que reconoce los movimientos por medio de señales electromiográficas (EMG). Otros trabajos como los de Postolache et. al detallan el uso del monitoreo remoto a través de juegos de Realidad Virtual y Wearable Sensor Network para ayudar a los pacientes a lograr mejores resultados de rehabilitación en un corto período de tiempo; y profesionales de distintas instituciones en España describen una implementación de rehabilitación conjunta de ancianos (Béjar 2016; Epelde et al. 2014; Guo et al. 2016; Laverde, Bernal, and Martínez 2020; Postolache et al. 2021).

Al igual que en la influenza (H1N1) y otros coronavirus, como el síndrome respiratorio agudo severo (SARS) y el coronavirus del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV), el SARS-CoV-2 muestra una tendencia a afectar poblaciones más vulnerables a pesar de haber sido controlado. A raíz de esto, se desarrollan sistemas inteligentes que dan seguimientos a pacientes y que se enfocan en identificar métodos de diagnóstico y tratamiento. Tal es el caso del estudio de los miembros de Raymond-Poincaré & Pitié Salpêtrière en Francia, que ofrece a la comunidad médica una forma de diagnóstico a través de una prueba de Covid-19, y los de la Universidad de Pernambuco, que elaboraron un sistema inteligente basado en análisis de sangre para comprender el diagnóstico de la enfermedad a través del desempeño de varias técnicas de aprendizaje automático, y predecir el contagio del virus. El abordaje es diferente al de Abdulkareem et al. quien propone un modelo para diagnosticar pacientes en hospitales inteligentes. De igual forma con el objetivo de conocer la incidencia de esta enfermedad, la empresa de ciencias de la salud ZOE diseñó una aplicación que recopila información de los síntomas de los usuarios. Miembros de las Facultades de Medicina y Farmacia en Egipto caracterizaron las manifestaciones

que aparecen después de la erradicación de la infección y la gravedad de la enfermedad; y a su vez, investigadores europeos desarrollaron una escala que evalúa la gama completa de limitaciones funcionales para clasificar a los pacientes. Esto es relevante puesto que, tal como expresa la Dra. Lisa Mary Sheehy, la rehabilitación requerida por los sobrevivientes del COVID-19 debe ser progresiva e individualizada. Entre los tratamientos está el propuesto por Feng et al. donde se evidencia que la medicina tradicional china Qigong tienen el potencial de desempeñar un papel en la prevención, el tratamiento y la rehabilitación de infecciones respiratorias (Davido et al. 2020; Feng et al. 2020; Kamal et al. 2021; Klok et al. 2020; Mahase 2020; Sheehy 2020). (Abdulkareem et al. 2021; de Freitas Barbosa et al. 2020), Pandemic and post-pandemic Influenza; Lessons from SARS and MERS

Por último, en base a nuestras consultas, en Panamá no se han realizado investigaciones o proyectos que brinden diagnóstico o tratamiento al síndrome post COVID-19; sin embargo, actualmente se realizan tratamientos a los pacientes en clínicas especializadas en esta afección. De modo similar, en el área del diagnóstico médico automatizado no se han encontrado investigaciones o desarrollos.

## 1.2. Diagnóstico de la situación actual

En la actualidad, se desconoce la naturaleza exacta de los síntomas del síndrome post COVID-19 y el número de personas que experimentan estos síntomas varían según la población o el período de tiempo utilizado en el estudio. Sin embargo, se conoce que, como parte del proceso fisiopatológico de la COVID-19, se genera una respuesta inflamatoria intensa que tiene al tracto respiratorio y, principalmente, el pulmón como primer órgano afectado. Varios estudios apuntan que las secuelas de esta infección no sólo se limitan al aparato respiratorio, sino

que se han registrado secuelas en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso central y periférico (Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud 2020).

Diversos países del mundo han creado las primeras clínicas de atención Post-COVID, no sólo para atender las secuelas sino para estudiarlas y, así, obtener información científica sobre la gravedad y persistencias de las molestias (UAM 2020); este el caso de Westchester Medical Center (Nueva York, EEUU), UAB Medicine (Alabama, EEUU), San Raffaele University Hospital (Milán, Italia) y Sakra Institute of Rehabilitation (Bangalore, India) (33 hospitals; Post-COVID-19 follow-up clinic; Post COVID Recovery Rehabilitation Program). El seguimiento del paciente también ofrecerá la oportunidad extraordinaria de recopilar datos de manera estandarizada para definir mejor el impacto global de COVID-19, identificar necesidades clínicas específicas y diseñar la organización de planes de atención integral e individualizada (Landi et al. 2020).

Como explica el médico Alejandro Macías, el Síndrome Post-Covid se presenta entre el 10 y 60 por ciento de las personas que han dado positivo a COVID-19. (Schneider 2020); las secuelas pueden complicarse dependiendo del grado de afectación que generó el COVID-19 en cada persona, e incluso, puede manifestarse en aquellas que fueron asintomáticas (UAM 2020).

Estudios observacionales en Europa y parte de Asia reportaron los siguientes datos: en Italia, se informó la persistencia de los síntomas en el 87,4% de 143 pacientes dados de alta del hospital; en Francia, de 150 sobrevivientes de COVID-19 no crítico dos tercios presentaron síntomas persistentes a los 60 días de seguimiento, y un tercio informó sentirse peor que al inicio del COVID-19 agudo (Nalbandian et al. 2021); en España, un estudio confirmó una alta incidencia de persistencia de los síntomas en pacientes con COVID-19 (alrededor del 50%) de 422 evaluados en el servicio de urgencias (Moreno-Pérez et al. 2021); y en China,



se realizó una evaluación integral en 1.733 pacientes a los 6 meses de la aparición de los síntomas donde el 76% informó al menos un síntoma (Nalbandian et al. 2021). Hallazgos similares se informaron en Estados Unidos; de 488 pacientes que completaron la encuesta telefónica, el 32,6% informaron síntomas persistentes, incluido el 18,9% con síntomas nuevos o que empeoraron (Nalbandian et al. 2021).

Si bien por el momento no existe un protocolo de tratamiento universal, se debe enfatizar que existe tratamiento para mejorar la calidad de vida en los pacientes afectados (Miglis et al. 2021). En estos se toman en cuenta las condiciones médicas preexistentes y los equipos de atención proporcionan un seguimiento regular de cada paciente hasta que los síntomas desaparezcan o durante algún tiempo posterior (Oronsky et al. 2021).

En Panamá, la coordinadora Nacional de Infecciones Nosocomiales de la CSS, Gladys Guerrero, señaló que la CSS ha brindado atención especializada a más de 800 personas en las 10 clínicas post-covid instaladas en el país. La especialista indicó que se ha observado, además de la dificultad respiratoria, que en algunos pacientes persisten la tos, debilidad, sensación de fatiga en ocasiones extrema, insomnio, dolores articulares o musculares y en menor grado pérdida del equilibrio (Navarro 2021). Algo semejante ocurre en la clínica Manuel Ferrer Valdez; donde la doctora Carmen Guardia dijo que desde que abrió en septiembre hasta diciembre, han atendido a 600 pacientes, donde el 50% de ellos son nuevos, con un rango de edad entre 19 a 80 años (TVN Noticias 2021).

Con respecto a los tratamientos, el inmunólogo y alergólogo panameño Emilio Saturno menciona que toda persona que ha padecido COVID-19 debe evaluar el estado de su salud física y mental. Por ello, se proporciona el acceso a servicios de rehabilitación multidisciplinarios de terapia ocupacional, fisioterapia, medicina de rehabilitación, psicología clínica y psiquiatría (Rosenshain 2021).

### 1.3. Justificación

Aunque la COVID-19 afecta predominantemente al sistema respiratorio, la evidencia indica una enfermedad multisistémica (Barker-Davies et al. 2020). En los pacientes que la padecieron también se presentan lesiones en órganos como páncreas, corazón, riñón e hígado (Forbes 2020); estas afecciones a su vez causan secuelas entre las que se encuentran: fatiga crónica, falta de aire, fibrosis pulmonar, inflamación en algunos tejidos del corazón y problemas neurológicos (McCallum 2021). Posteriormente, la alta demanda de atención de estos pacientes puede reducir la efectividad de los sistemas de salud para tratar estas afecciones.

En América, se han registrado 150.3 millones de casos acumulados hasta el 1 de febrero del 2022 (PAHO 2022). En Panamá, la situación actual a la misma fecha indica que se han reportado 705 880 casos confirmados de los cuales 640 692 se han recuperado, 56 647 se encuentran en aislamiento domiciliario/hoteles y 789 hospitalizados en sala o en UCI (MINSa 2022), estos últimos sufren las secuelas más graves.

Con referencia al Síndrome Post-COVID, se estima a nivel mundial que cerca de un 12% de las personas lo han presentado (Sanchez 2021). Ante esta situación, los pacientes que requieren rehabilitación, en Panamá, acuden a clínicas Post-COVID que se encuentran ubicadas en provincias como: Panamá, Chiriquí, Coclé, Veraguas, Panamá Oeste, Herrera, Los Santos, Colón y Bocas del Toro; con un total de diez (10) en funcionamiento (MINSa and CSS 2021). Sin embargo, con el aumento excesivo de los nuevos casos diarios, se prevé que estas clínicas lleguen al máximo de su capacidad de atención, por lo que es necesaria una alternativa que alivie esta situación.

Además de beneficiar a los pacientes recuperados, este proyecto sirve de apoyo para cubrir la alta demanda de atención que enfrentan los profesionales de la

salud, quienes, después de afrontar la primera ola de COVID, ahora están luchando repentinamente contra este nuevo síndrome "post-COVID" (Garg et al. 2021). Igualmente, se contempla la protección de los familiares al reducir su exposición al virus, puesto que las terapias se realizan en casa, disminuyendo la necesidad de salir; lo que contribuye a prevenir el aumento de contagios por COVID-19.

En el mercado hay muchos dispositivos que se encargan de analizar una o dos señales fisiológicas con el fin de conocer un solo criterio a medir; sin embargo, surge la necesidad de contar con un dispositivo que utilice varios sensores para brindar un diagnóstico completo del estado del paciente. Por lo expuesto anteriormente, se plantea desarrollar un prototipo de un sistema que permita asistir de forma oportuna y eficaz a los pacientes a través de la obtención de varios parámetros básicos y datos introducidos por el usuario, con el fin de sugerir una rehabilitación guiada y accesible.

#### 1.4. Objetivos

##### 1.4.1. Objetivo general

- Desarrollar un sistema inteligente electrónico programable que sugiera terapias a pacientes post-COVID, según la obtención de parámetros fisiológicos requeridos.

##### 1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo que realice la medición de los principales parámetros fisiológicos, para el posterior acondicionamiento y manejo de las señales medidas.

- Crear una base de datos que almacene los parámetros obtenidos para, posteriormente, desarrollar el sistema inteligente que sugiera terapias para la rehabilitación del usuario.
- Evaluar el prototipo mediante un ensayo clínico y técnico con la colaboración de profesionales de la salud para aprobación preliminar.
- Desarrollar un sistema asequible a la población.

### 1.5. Duración

La duración del proyecto consta de alrededor de 12 meses dentro de los cuales se realizará la recopilación de información, diseño y construcción del prototipo, pruebas clínicas y redacción del trabajo de grado. Se estipula un tiempo extendido para cumplir con los objetivos detallados tomando en cuenta la etapa de sustentación previa a la graduación.

### 1.6. Beneficiarios

El proyecto está diseñado para mejorar la calidad de vida de los pacientes post COVID-19 mediante el monitoreo y la terapia accesible que sugiera el prototipo; de igual forma, tendrá un efecto paliativo para pacientes que presenten otras condiciones similares. De forma indirecta, alivia la carga laboral de médicos y demás miembros del personal de salud; se reduce la alta demanda de atención en los sistemas de salud; y contiene la propagación del virus en los familiares y la población en general, al reducir las salidas de los pacientes a las citas.

### 1.7. Localización física

El proyecto será realizado en la provincia de Panamá, distrito de Panamá, corregimiento de Ancón, calle Paseo de la Iguana, edificio 850 de la Universidad Especializada de las Américas; donde se encuentra ubicado el Laboratorio de Fabricación Digital, Robótica y Rehabilitación, equipado con maquinaria de fabricación digital para la construcción del prototipo y análisis de desempeño del mismo; el Laboratorio de Investigación Experimental de Bioseñales, que dispone de los instrumentos de medición necesarios para realizar las pruebas de validación; y el Laboratorio de Biomédica, el cual cuenta con amplio espacio para desarrollar pruebas experimentales del correcto funcionamiento del dispositivo.

### 1.8. Marco institucional del proyecto

La Universidad Especializada de las Américas, como institución oficial de educación superior, con proyección en la investigación y comprometidos al bienestar de la salud de la población nacional, brindará las áreas requeridas para llevar a cabo la elaboración del prototipo y para realizar sus pruebas básicas iniciales. La universidad también cuenta con profesionales en ingeniería y otras especialidades al servicio de sus estudiantes, por lo que servirán de guía en el proceso de fabricación del dispositivo. De igual forma la SENACYT, quien respalda como institución para propender la ciencia, por medio de convocatorias ganadas y del Sistema Nacional de Investigación, apoya a través de equipamiento el proceso de diseño del prototipo.

# **CAPÍTULO II**

## **CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### 2.1. Fundamentación teórica

#### 2.1.1. Monitoreo Multisensorial

Son sistemas que permiten medir simultáneamente un conjunto de parámetros en tiempo real con el fin de evaluar y controlar el estado de salud del paciente. En este caso, determinar la condición cardiorrespiratoria a partir de la saturación arterial de oxígeno, frecuencia cardiaca, capacidad vital forzada y la relación entre el volumen espiratorio forzado en el primer segundo y la capacidad vital forzada; captados con el set de diagnóstico digital.

##### 2.1.1.1. Oximetría de pulso por transmitancia o convencional (SpO<sub>2</sub>)

Esta técnica, ampliamente usada en medicina, monitorea la saturación de oxígeno en la sangre; aplicando la ley de Beer-Lambert, la cual establece que una concentración desconocida de un soluto disuelto en un solvente conocido puede evaluarse mediante la absorción de luz del soluto. El principio de oximetría se basa en análisis espectrofotométricos que miden las porciones de luz transmitida y absorbida por la hemoglobina (Rosa-Reyes et al. 2021).

El oxímetro de pulso emite luz con dos diferentes longitudes de onda, luz roja (con una longitud de onda de 660 nanómetros) y la luz infrarroja (con una longitud de onda de 940 nanómetros). La luz infrarroja se absorbe más por la hemoglobina oxigenada (O<sub>2</sub>Hb) y la luz roja visible por la no oxigenada, desoxihemoglobina o reducida (RHb). Mediante la relación de las concentraciones de O<sub>2</sub>Hb y RHb, se obtiene la saturación funcional de hemoglobina, como se observa en la Ecuación 1. Estas dos luces pasan a través del árbol arterial y el porcentaje de O<sub>2</sub>Hb y RHb es determinado por el fotodetector. Para el estudio de esta investigación se consideraron valores entre 70 a 99%. (López-Herranz 2003; OMS and OPS 2020)

$$\text{SaO}_2 \text{ funcional} = \frac{\text{O}_2\text{Hb}}{\text{O}_2\text{Hb} + \text{RHb}} \times 100\% \quad (1)$$

#### 2.1.1.2. Frecuencia cardiaca

Este parámetro indica la cantidad de veces que el corazón late por minuto y se emplea para rastrear la actividad del sistema nervioso autónomo (SNA) sobre la función cardiaca (Jesús Ortigosa, Rafael E. Reigal, Gabriel Carranque 2018). Los dispositivos utilizan dos LEDs y un fotosensor que, a través del cambio de la reflectividad de la sangre en el dedo índice, miden la frecuencia (Kumar et al. 2017). Cada latido del corazón aumenta el volumen sanguíneo en el tejido vascular del dedo y provoca una disminución de la potencia luminosa recibida por el fotosensor. El sensor mide la diferencia de tiempo entre cada una de las ondas R, más conocidos como intervalos RR, para luego calcular el ritmo cardíaco, ver Ecuación 2. Los intervalos RR son producto del control que el SNA ejerce sobre la inervación y regulación de la frecuencia. Para el estudio de esta investigación se consideraron valores entre 30 a 240lpm. (Jesús Ortigosa, Rafael E. Reigal, Gabriel Carranque 2018; OMS and OPS 2020)

$$\text{BPM} = \frac{60 \text{ s}}{\text{promedio intervalos RR}} \quad (2)$$

#### 2.1.1.3. Prueba de espirometría

Evalúa las propiedades mecánicas del sistema respiratorio e identifica la obstrucción al flujo aéreo para la evaluación y el seguimiento de las enfermedades respiratorias, a través de la medición de flujos y volúmenes de aire exhalado desde una inspiración máxima.

La práctica clínica habitual, se emplean usualmente tres valores (FVC, FEV1 y cociente FEV1/FVC), que se refieren a las principales variables de la espirometría forzada. La capacidad vital forzada (FVC), que representa el volumen máximo de



aire exhalado en una maniobra espiratoria de esfuerzo máximo, iniciada tras una maniobra de inspiración máxima, expresado en litros; y el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1), que corresponde al volumen máximo de aire exhalado en el primer segundo de la maniobra de FVC, también expresado en litros/segundos; a partir de estos parámetros se calcula el cociente FEV1/FVC, que aporta información sobre qué cantidad del aire total espirado lo hace en el primer segundo. (García-Río et al. 2013; Romero de Ávila Cabezón et al. 2013)

A partir de las ecuaciones de referencia (Ecuación 3 y 4) basadas en la Iniciativa Pulmonar Global Multiétnica (GLI-2012) y la Declaración Oficial de la Sociedad Respiratoria Europea (ERS), se determinan los valores FVC de referencia de los pacientes. (Global Lung Function Initiative; n.d., n.d.; MSD Manual n.d., n.d.)

En el caso de los pacientes masculinos se usa la siguiente ecuación:

$$FVC = Raza \cdot 1.1 \cdot ((0.0576 \cdot Estatura) - (0.0269 \cdot Edad) - 4.34) \quad (3)$$

Para las pacientes femeninas se usa la ecuación a continuación:

$$FVC = Raza \cdot 1.15 \cdot ((0.0443 \cdot Estatura) - (0.026 \cdot Edad) - 2.89) \quad (4)$$

Donde:

Raza	Caucásica	Europa, Israel, Australia, EE. UU., Canadá, Brasil, Chile, México, Uruguay, Venezuela, Argelia, Túnez.	1
	Afrodescendiente	Afroamericanos	0.87
	Asiática	Tailandia, Taiwán, Corea y China.	0.93

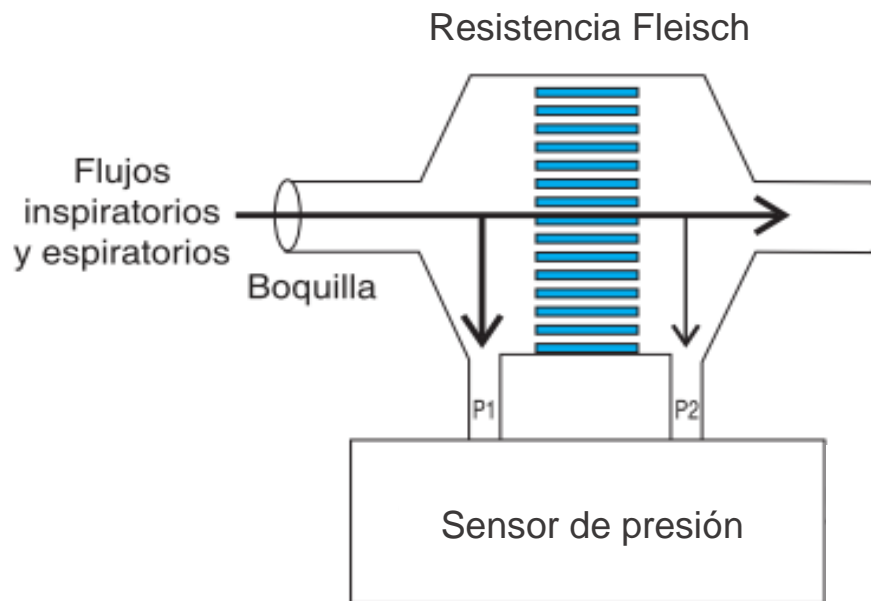
Para la obtención de los parámetros antes mencionados, se realiza una espirometría forzada, donde el paciente realiza una espiración máxima forzada (en el menor tiempo posible) tras una inspiración máxima. Es la técnica más útil y más habitualmente empleada. Para una mejor visualización de los resultados

arrojados por esta prueba, se opta por mostrar un gráfico donde se observen los volúmenes del paciente y su relación con el tiempo. (Romero de Ávila Cabezón et al. 2013)

El neumotacógrafo, un tipo de espirómetro, mide la diferencia de presión que se genera al pasar un flujo laminar a través de una resistencia conocida como tipo Fleisch (Benítez-Pérez et al. 2016), que debe cumplir con un máximo de 0.15 kPa/l·s, como se observa en la imagen 1, por ejemplo. Para cálculo de esta resistencia se empleó la Ecuación 7, dando un valor de 0.0855 kPa/l·s. (Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR) 2013)

El sensor de presión que compone al neumotacógrafo transforma la señal de presión diferencial en señal eléctrica, que luego es ampliada y procesada. Los cálculos realizados en las ecuaciones 5 a 13 consideran la temperatura del cuerpo humano (37°) y un flujo máximo de 14L/s. (Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR) 2013)

**Imagen N° 1** Componentes básicos y flujo de un espirómetro.



**Fuente:** (Benítez-Pérez et al. 2016).

El principio físico que rige su funcionamiento es la Ley de Poiseuille:

$$\Phi = \frac{dv}{dt} = v\pi R^2 = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8\mu L} \quad (5)$$

Donde:

$\Phi$  es el flujo expresado en l/m<sup>3</sup>

$v$  es el volumen de un líquido transferido en el tiempo  $t$  expresado en m<sup>3</sup>

$v$  es la mediana de la velocidad expresada en m/s

$L$  es la diferencia de longitud entre los puntos  $P_1$  y  $P_2$  escrita en m

$R$  el radio interno del tubo en m

$\Delta P$  las diferencias de presión entre las dos terminales expresada en Pa

$\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido escrito en (kg/m.s)x10<sup>5</sup>

Si el flujo se distribuye en  $n$  número de aperturas, de grosor  $L$  dentro la tubería, todos con el mismo radio  $r$ , entonces:

$$\Phi = \frac{n\pi R^4 \Delta P}{8\mu L} \quad (6)$$

De la Ecuación 6 se extrae la resistencia hidrodinámica:

$$R_h = \frac{8\mu L}{n\pi R^4} \quad (7)$$

El número de Reynolds es una cantidad adimensional que caracteriza el movimiento de fluido a través de una tubería u otra abertura similar. Es el cociente resultante de comparar las fuerzas de inercia y los términos viscosos de las Ecuaciones de Navier-Stokes que gobiernan el movimiento de los fluidos. A través de una abertura, este valor se describe por la fórmula:

$$R_e = \frac{V_s D_c}{\gamma} \quad (8)$$

Donde:

$V_s$  es la velocidad característica del fluido, cuya unidad es m/s

$D_c$  es el diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido escrito en m  
 $\gamma$  es la viscosidad cinemática del fluido expresada en  $(m^2/s) \times 10^{-5}$

Se considera que un fluido tiene flujo laminar si se calcula que el número de Reynolds es  $< 2000$ . Por lo que:

$$Re = \frac{V_s D_c}{\gamma} \leq 2000 \quad (9)$$

Para obtener el valor de la velocidad característica del fluido,

$$V_s = \frac{\Phi_{max}}{n \pi r^2} \quad (10)$$

Reemplazando  $V_s$  de la Ecuación 8 en la Ecuación 10 y despejando  $n$ , obtenemos el número mínimo de aperturas para el neumotacógrafo:

$$n \geq \frac{2\Phi_{max}}{\gamma r \pi Re} \quad (11)$$

La longitud de la tubería entre el inicio y el punto donde comienza el flujo completamente desarrollado se llama longitud de entrada hidrodinámica. Denotado por  $L_e$ , esta distancia es una función del Número de Reynolds del flujo, y se representa mediante la ecuación:

$$L_e = 0.05 Re D_c \leq L \quad (12)$$

Finalmente, el diámetro del neumotacómetro se calcularía así:

$$D_n = 2 \sqrt{\frac{n A_{ca}}{\phi \pi}} \quad (13)$$

Donde:

$\Phi$  es el porcentaje de porosidad ( $A_{CA}/A_T$ ) de la malla

$A_{CA}$  es el área abierta capilar

$A_T$  es el área total de la malla

La integración de los valores del flujo que proporciona el volumen movilizado se obtiene a partir de la siguiente ecuación: (Universidad de Sevilla n.d.)

$$V = \int_0^n \Phi(t)dt \quad (14)$$

Donde:

$t$  es el tiempo en que se toma una medición del flujo.

Aquellos equipos portátiles de menor capacidad computacional solo deben cumplir los requisitos internacionales para las mediciones de flujo (F), volumen (V) y tiempo (t) que realizan (Bremer et al. 2009; Freire 2015; Gutiérrez Clavería et al. 2007).

#### 2.1.2. Almacenamiento de datos

Al procesar grandes cantidades de datos se realizan la captación, almacenamiento, procesamiento y visualización en tiempos razonables de acuerdo con la velocidad a la que se producen, con la finalidad de analizarlos, entenderlos, generar hipótesis, tomar decisiones, extraer nuevas ideas y conocimientos, o crear nuevas formas de valor ajustadas en gran medida a nuestras necesidades potenciales (Peñaloza Báez 2018).

En la asistencia sanitaria, la heterogeneidad y variedad de los datos surgen como resultado de vincular la diversa gama de fuentes de datos biomédicos disponibles como: datos de sensores, imágenes, matrices de genes, pruebas de laboratorio, o datos demográficos. Su importancia radica en respaldar la base de la evidencia observacional para responder preguntas clínicas, que de otra manera no se resolverían mediante estudios basados únicamente en ensayos aleatorizados (Andreu-Perez et al. 2015).

### 2.1.3. Aprendizaje automatizado

A través de la experiencia y mediante el uso de datos, el aprendizaje automático (AA) estudia algoritmos informáticos para mejorarlos automáticamente, construyendo un modelo basado en la detección de asociaciones, patrones y tendencias en bases de datos, con datos de muestra, conocidos como "datos de entrenamiento". Su finalidad es realizar predicciones o decisiones sin estar programados explícitamente para hacerlo, a diferencia de otras técnicas que buscan encontrar relaciones causa-efecto o proyecciones basadas en la probabilidad. Para ello, comprende y requiere técnicas, algoritmos y enfoques analíticos en conjunto con nuevas propuestas para diseñar la arquitectura de la información que se procesa (Fernández 2019).

#### 2.1.3.1. Sistema de recomendación

Los sistemas de recomendación ofrecen a los usuarios recomendaciones personalizadas de información, para afrontar la problemática del exceso de datos y mejorar los servicios personalizados. Cuando un usuario interactúa con el sistema, proporciona un conjunto de datos sobre su condición. El propósito de estos algoritmos es mostrar a los usuarios atributos relevantes donde la relevancia puede tener dos significados diferentes: el primero se mide en términos de afinidad, por lo tanto, el objetivo es mostrarles aquellos atributos que presentan; el segundo se mide en términos de congruencia con otros atributos que los usuarios van a compartir. (Dumon 2019)

##### 2.1.3.1.1. Filtrado colaborativo

El sistema de recomendación de filtrado colaborativo genera recomendaciones específicas para el usuario basados en patrones, sin necesidad de información externa; utilizan toda la base de datos de elementos y usuarios para generar estas

predicciones. Primeramente se aplica un método de clasificación para encontrar a vecinos, es decir, usuarios con un historial similar al usuario actual; una vez que se ha construido una lista de vecinos se combinan sus características, a través del coeficiente de correlación de Pearson, que devuelve un valor entre -1 y +1 (como se aprecia en la Ecuación 13), para generar una lista con los N elementos más recomendables para el usuario actual en un momento determinado (Bankhele et al. 2017; Tran et al. 2021).

$$sim(a, b) = \frac{\sum_{p \in P} (r_a - \bar{r}_a)(r_b - \bar{r}_b)}{\sqrt{\sum_{p \in P} ((r_a - \bar{r}_a)^2) \sum_{p \in P} ((r_b - \bar{r}_b)^2)}} \quad (15)$$

Donde:

$P$  es el conjunto de atributos de los pacientes a y b

$p$  es el atributo actual

$r_a$  es el valor del paciente  $a$  para el atributo  $p$

$\bar{r}_a$  como la media sobre el conjunto  $P$  de atributos  $p$

$r_b$  es el valor del paciente  $b$  para el atributo  $p$

$\bar{r}_b$  como la media sobre el conjunto  $P$  de atributos  $p$

Este enfoque, basado exclusivamente en datos, se amplía mediante un conjunto de reglas de contraindicación basadas en evidencia que excluyen los resultados inadecuados de la lista de recomendaciones. (Elsweiler et al. 2017; Galán 2007)

#### 2.1.4. Telesalud

Actualmente este término se refiere a cualquier prestación de servicio sanitario a distancia, desde la prevención hasta la práctica curativa y la rehabilitación, con el objetivo de mejorar la atención de salud a través del intercambio de la información médica de un sitio a otro mediante las tecnologías de la información y comunicación (TIC) (dos Santos and Fernández 2013).

Entre las estrategias para incrementar la accesibilidad a los servicios de salud, mejorar la calidad asistencial a pacientes ubicados en zonas rurales, aumentar la eficiencia de los servicios de salud para optimizar recursos y disminuir los costos; se ha iniciado el uso de herramientas de la telesalud como: telemedicina, telemonitorización, telerrehabilitación, teleeducación y teleasistencia (Quispe-Juli, Moquillaza-Alcántara, and Arapa-Apaza 2019).

#### 2.1.4.1. Telemonitorización

La vigilancia remota de parámetros fisiológicos y biométricos (electrocardiograma, glucemia, peso, presión arterial, saturación de oxígeno en sangre, etc.) permite hacer un seguimiento de forma periódica, de pacientes crónicos, en estado de dependencia o en ingreso domiciliario, ya sea desde su hogar, residencias para mayores, o cualquier otra ubicación extrahospitalaria (Jorge and Pulido 2020). Además, la telemonitorización envía estos parámetros, así como cuestionarios sobre el estado de salud de los pacientes, a un centro sanitario. Cuando un parámetro presenta alguna anomalía, el profesional sanitario se pone en contacto con el paciente, para indicar lo que tiene que hacer (Bascones Serrano, Martorell Martínez, and Turrero Martín n.d.).

En la telemonitorización activa, el propio paciente incorpora a la aplicación informática, facilitada por el servicio sanitario, los datos proporcionados por sus dispositivos; a diferencia de la telemonitorización automática, donde el dispositivo de medida remite estos datos directamente a la aplicación, de manera automática, sin la participación del paciente (Bascones Serrano et al. n.d.).

#### 2.1.4.2. Telerrehabilitación

Este subcampo de la telemedicina consiste en un sistema para controlar la rehabilitación a distancia, permitiendo el tratamiento continuo de las



enfermedades al sustituir el enfoque tradicional cara-a-cara en la interacción entre el paciente y el rehabilitador a lo largo de la evaluación, monitoreo, intervención, supervisión, consulta y educación (Brennan et al. 2011). Además, se ha asociado con otras tecnologías como la monitorización remota de los parámetros cardiovasculares y respiratorios en distintos pacientes (Peretti et al. 2017).

Esta herramienta se utiliza para mejorar la calidad de vida de los pacientes y permitir una reintegración temprana, disminuir los costos tanto de la atención, para brindar atención de rehabilitación en los hogares, y cubrir situaciones en las que al paciente le resulte complicado llegar a las infraestructuras de rehabilitación tradicionales (Dodakian et al. 2017; Jorge and Pulido 2020).

#### 2.1.5. Síndrome Post COVID-19

En general, varias personas que se habían recuperado del COVID-19, aun presentan algunos síntomas posteriores a la prueba negativa del virus, ver cuadros N° 1 y 2. Estos síntomas podrían estar relacionados con inflamación residual (fase convaleciente) (Garg et al. 2021), daño orgánico, efectos inespecíficos de la hospitalización o ventilación prolongada, e impacto en condiciones de salud preexistentes. Expertos continúan buscando respuestas sobre esta afección que ahora se denomina síndrome post-COVID. Varios paradigmas de tratamiento a considerar para estos pacientes incluyen carga de líquidos y sal, terapia de ejercicio graduada y tratamiento farmacológico dirigido para la mejora de los síntomas, ver cuadros N° 3, y 4. (Miglis et al. 2021).

**Cuadro N° 1. Síntomas y signos de la post COVID-19**

Síntoma/Signo	Definición
Trastornos cognitivos	Alteraciones de una o varias de las funciones cognitivas para procesar y recordar la información.

Trastornos del sueño	Afecciones que provocan cambios en la forma de dormir; se puede presentar somnolencia, diurna excesiva, aumento del movimiento durante el sueño y dificultad para conciliar el sueño.
Dolor de cabeza	Dolor o molestia en cualquier región de la cabeza, que pueden afectar uno o ambos lados, aparecer puntualmente, extenderse desde un punto hacia el resto de la cabeza o ejercer presión.
Anosmia y disgeusia	Pérdida del olfato y la alteración del gusto, respectivamente.
Fatiga	Trastorno caracterizado por cansancio extremo e incapacidad para funcionar debido a la falta de energía.
Hipoxemia	Nivel de oxígeno en sangre inferior al normal, específicamente en las arterias.
Bradycardia	Descenso de la frecuencia cardíaca normal, a menos de 60 veces por minuto.
Palpitaciones	Sensaciones de que el corazón late rápido, está aleteando o golpea fuertemente.
Disnea	Sensación de falta de aire o dificultad para respirar.

**Fuente:** (González and Guerrero 2021; Holter n.d.; Instituto Nacional del Cancer 2021; Junta editorial de Cancer.Net 2018; Mayo Clinic 1952, n.d., n.d.; Miglis et al. 2021; Odriozola 2018; Sakra World Hospital 2021; Shiller n.d.).

**Cuadro N° 2. Monitoreo y evaluaciones de los síntomas**

Síntoma/Signo	Monitoreo
Trastornos cognitivos	Test de memoria inspirado en la prueba Rey Auditory Verbal Learning Test (RAVLT), Prueba de los Siete Minutos y Memory Impairment Screen (MIS); consiste en observar figuras y leer un conjunto de palabras

	detenidamente para, posteriormente, responder las preguntas.
Trastornos del sueño	El índice de calidad del sueño de Pittsburgh (PSQI) proporciona una medida subjetiva de la calidad y los patrones del sueño durante el mes anterior. Esta herramienta, se refiere a un cuestionario autoadministrado, que incluye preguntas abiertas y preguntas que deben responderse utilizando escalas semánticas y de frecuencia de eventos.
Dolor de cabeza	Verificación del sistema
Anosmia y disgeusia	Verificación del sistema
Fatiga	Verificación del sistema
Hipoxemia	Medición del sistema
Bradicardia	Medición del sistema
Palpitaciones	Medición del sistema
Disnea	Medición del sistema

**Fuente:** (Araque et al. 2020; Buysse, DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR n.d.; Equipo editorial de Psicología Online 1969; González and Guerrero 2021; Miglis et al. 2021; Sakra World Hospital 2021; Smyth, Carole A. MSN, ANP-GNP, APRN n.d.; Solomon et al. n.d.).

**Cuadro N° 3.** *Sugerencias para tratar los síntomas de la post COVID-19*

Síntoma/Signo	Sugerencias
Trastornos cognitivos	Practica ejercicios en forma regular; algunos ejemplos son: bailar, caminar, realizar deporte o bicicleta.
	Mantén una dieta saludable, con bajo contenido de grasas, alimentos procesados y carnes rojas; y alto contenido de frutas, vegetales y pescado.
	Evita el consumo de alcohol.
	No fume.

	<p>Entrene la mente y memoria con ejercicios como: crucigramas, puzzles, juegos de ingenio, lectura de libros y otras actividades intelectuales.</p>
	<p>Mantén una vida social activa.</p>
Trastornos del sueño	<p>Levántese y acuéstese a la misma hora todos los días, incluso los fines de semana y festivos, de ser posible.</p>
	<p>Mantenga una libreta al lado de la cama para anotar las cosas que le vienen a la mente; esto le ayudará a aparcar el pensamiento al momento de dormirse.</p>
	<p>Evite tomar siestas en el día, si puede.</p>
	<p>No se vaya a la cama con hambre o sed, pero asegúrese de haber comido al menos dos horas antes de acostarse.</p>
	<p>Evite la cafeína y la nicotina</p>
	<p>Evite el alcohol.</p>
	<p>Evite las comidas pesadas y ejercicio energético dentro de las 2 horas antes de acostarse.</p>
	<p>Si está despierto por más de 20 minutos, levántese de la cama, relájese y regrese cuando esté cansado.</p>
Dolor de cabeza	<p>Trate de evitar el alcohol.</p>
	<p>Duerma regularmente.</p>
	<p>Reduce el estrés.</p>
	<p>Coma de forma rutinaria.</p>
	<p>Si tiene dolor de cabeza diario, su médico de cabecera podría recetarle un medicamento preventivo para que lo tome durante algunas semanas o meses.</p>
Anosmia y disgeusia	<p>Mantenga su boca limpia y saludable, cepillándose los dientes por la mañana y por la noche y enjugándose la</p>

	boca con agua si se siente seca o incómoda; además evite los enjuagues bucales a base de alcohol.
	Se recomienda realizar comidas más pequeñas y con mayor frecuencia durante el día.
	Agregue sabores fuertes a la comida; por ejemplo: hierbas, condimentos, salsas, picantes, mostaza y encurtidos.
	Ingiera caramelos ácidos para aumentar la producción salival.
Fatiga	Consuma productos alimentarios biológicos, sin grasas animales ni lácteos de origen animal.
	Manténgase activo.
	Tome momentos de relajación; por ejemplo: lea o tome una ducha prolongada.
	Evite estrés y sobrecarga.
	Intente dormir bien por la noche.
Hipoxemia	Se recomienda asistir al centro de salud más cercano para monitorización continua y suministro de oxígeno hasta normalizar la saturación.
Bradycardia	Haga ejercicio.
	Siga una dieta saludable.
	Mantén un peso saludable y bajo control el colesterol.
	No fume.
	Si consume alcohol, hágalo con moderación.
Taquicardia	Reduce el estrés.
	Evite los estimulantes como: cafeína, nicotina y bebidas energéticas.
	Evite las drogas ilegales.

Disnea	Tome, como mínimo, dos litros de agua al día.
	Manténgase en espacios abiertos en los que se renueve el aire.
	Evite fumar.
	Manténgase activo físicamente.

**Fuente:** (Bruna Rabassa et al. 2011; Clínica Las Condes 2017; Cuideo 2018; Fernández Andrade et al. 2021; González and Guerrero 2021; Mayo Clinic n.d., n.d., n.d.; Medinistros 2018; Miglis et al. 2021; Nall 2021; NHS England n.d., n.d.; Sakra World Hospital 2021).

**Cuadro N° 4. Terapias para tratar los síntomas de la post COVID-19**

Síntoma/Signo	Terapias
Trastornos cognitivos	Actividades de memoria: Juegos “memory”, cartas con imágenes.
Trastornos del sueño	Terapias de relajación: Método del Dr. Herbert Benson, Terapia de respiración profunda, Técnica de Yoga.
Dolor de cabeza	
Fatiga	
Anosmia y disgeusia	Reeducación del olfato
Hipoxemia	Ejercicios de respiración: Fisioterapia respiratoria para personas afectadas por el Covid-19, La técnica del rectángulo de respiración.
Palpitaciones	
Disnea	

**Fuente:** (Castro and Macías 2010; Doty 2019; González and Guerrero 2021; Hospital Regional de Chepo 2021; Marla Apt 2021; Miglis et al. 2021; Murcia-Gallardo 2012; NHS n.d.; Sakra World Hospital 2021; Sepúlveda C, Weissbluth A, and González G 2020)

Para la selección de los síntomas y el entrenamiento del Modelo Predictivo se realizó un formulario de Google denominado *Secuelas PostCovid-19*, a través del enlace: [https://docs.google.com/forms/d/1eJHMOayD\\_wa5xfliak0rxo0UXCSbdZ0GAjQu5tELJJU/viewform?chromeless=1&edit\\_requested=true](https://docs.google.com/forms/d/1eJHMOayD_wa5xfliak0rxo0UXCSbdZ0GAjQu5tELJJU/viewform?chromeless=1&edit_requested=true), donde 60 usuarios brindaron sus datos generales, síntomas y tratamientos. (González and Guerrero 2021)

- 2.2. Propuesta de intervención
- 2.2.1. Materiales
- 2.2.1.1. Componentes electrónicos
- 2.2.2.1.1. MAX30100

Este dispositivo integra un pulsioxímetro y un monitor de frecuencia cardiaca; combina dos LEDs, un fotodetector, óptica, y procesamiento de la señal analógica con poco ruido, optimizado para detectar señales de la oxigenación sanguínea y el ritmo cardiaco. Como se menciona anteriormente, en oximetría se utilizan dos longitudes de onda diferentes IR (950nm) y RED (650nm) que se emiten hacia el dedo, tomando la medida de forma alterna. La relación R entre estas dos longitudes de onda se define con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{\log(I_{AC}) * \lambda_1}{\log(I_{AC}) * \lambda_2} \quad (16)$$

Donde:

$I_{AC}$  es la intensidad de la luz

$\lambda_1$  es 650 nm

$\lambda_2$  es 950 nm

Una vez calculado el valor de la relación R, se obtiene el valor real de SpO<sub>2</sub> a través de la ecuación:

$$SpO_2 = 110 - 25 * R \quad (17)$$

Simultáneamente, se guarda una marca de tiempo cuando la señal cae; una vez se tenga dos marcas de tiempo se obtiene la diferencia entre ellas en milisegundos, usando este valor se calcula el LPM con la siguiente ecuación (Strogonovs 2017):

$$BPM = \frac{60000}{\text{current beat timestamp} - \text{previous beat timest}} \quad (18)$$

Este módulo incluye reguladores de voltaje en placa, de ese modo solo se necesita una fuente de 3.3V para la alimentación. Su consumo de corriente es mínimo, por lo que es ideal para aplicaciones portátiles y su uso con la plataforma Arduino. Puede ser utilizado en equipos de monitoreo médico, asistentes de estado físico y wearables en general. (Maxim Integrated 2014)

#### 2.2.2.1.2. SDP810-500

La serie SDP800 se basa en la tecnología CMOSens® patentada de Sensirion, que combina el sensor, el procesamiento de señales y la calibración digital en un pequeño chip CMOS. El SDP810-500 mide la presión diferencial de forma versátil y flexible en cuanto a la velocidad de medición y detecta los cambios más pequeños y rápidos, lo que permite optimizar el rendimiento del sensor para aplicaciones médicas.

La presión diferencial se mide mediante un sensor térmico, utilizando el principio de flujo continuo. Gracias a esto, estos sensores superan a los sensores de membrana piezorresistivos tradicionales en términos de sensibilidad a presiones diferenciales bajas, desviación de compensación e histéresis, así como sensibilidad de posición, resistencia a impactos y variaciones de temperatura. La señal de presión diferencial digital leída es un número entero con signo (número de complemento a dos), este se puede convertir al valor físico dividiéndolo por el factor de escala:

presión diferencial = salida del sensor / factor de escala

Entre sus características se encuentran: conexión de mangueras, salida digital (I2C), rango de presión de hasta  $\pm 500$  Pa ( $\pm 2$  pulgadas H<sub>2</sub>O /  $\pm 5$  mbar), excelente precisión y estabilidad a largo plazo, compatibilidad de gases inertes y aire, y un consumo de 3 a 5.5 V (Sensirion 2019).



#### 2.2.2.1.3. HC-06

Este módulo Bluetooth está diseñado para funcionar en comunicación serial, es decir, todos los datos recibidos a través de la entrada se transmiten inmediatamente de forma inalámbrica por el módulo, y al recibir algunos datos del dispositivo maestro, estos se envían a través de la interfaz serial con el módulo transceptor RS 232 TTL. La banda de frecuencia en la que opera es la frecuencia ISM de 2,4 GHz. Cuenta con una velocidad de transmisión: 2,1 Mbps (máx.)/160 kbps (asíncrono); 1 Mbps/1 Mbps (síncrono). Puede funcionar a baja tensión (3,3 V ~ 5 V). La corriente en el emparejamiento está en el rango de 30~40mA. (Ali 2019)

#### 2.2.2.1.4. Arduino Mega

Placa de microcontrolador basada en ATmega2560 con 54 pines de entrada / salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Esta placa se puede alimentar a través de la conexión USB con 5V, o con una fuente de alimentación externa con un voltaje de 7-12V, que puede provenir de un adaptador de CA a CC o una batería. El consumo de corriente máxima de sus pines I/O y 3.3V son de 20mA y 50mA, respectivamente. Sus dimensiones son de 101.52 x 53.3mm y su peso aproximado es de 37g. (Arduino 2021)

#### 2.2.1.2. Instrumentos de medición y validación

##### 2.2.1.2.1. Wearfit SpO<sub>2</sub> Pulse Oximeter G&J

Este oxímetro con volumen pequeño, bajo consumo de energía, operación conveniente y portátil; solo requiere que el paciente coloque uno de sus dedos en

un sensor fotoeléctrico para mostrar directamente el valor medido de la saturación de hemoglobina y la frecuencia auditiva en la pantalla. De acuerdo con sus especificaciones técnicas, este dispositivo consume un voltaje entre 2.6 V y 3.6 V y corriente menor a 30mA; presenta una precisión de  $\pm 2\%$  del SpO<sub>2</sub> y  $\pm 2$  ppm del ritmo cardíaco durante la medición; un rango de medición de 0 a 100 % (SpO<sub>2</sub>) y 30 a 250 ppm (ritmo cardíaco). Adicional, mide 57(L) x 31 (W) x 32 (H) mm y pesa alrededor de 50g (Contec Medical Systems Co. 2019).

#### 2.2.1.2.2. Fluke VT650

El analizador de flujo de gas VT650 ofrece la mayor precisión y confiabilidad en el mercado para la verificación de equipos médicos respiratorios y de flujo de gas; cuenta con un canal de flujo de aire único, rango completo de  $\pm 300$  l/m y medición bidireccional; además, ofrece mediciones integradas de flujo, presión ( $\pm 160$  mbar), volumen y oxígeno (0 % to 100 %). Este modelo tiene una pantalla táctil de 7" (17,8 cm) que permite presentar varias mediciones a la vez y ofrece opciones de menú de acceso rápido (Celyon n.d.; Fluke Biomedical 2017).

#### 2.2.1.2.3. Maquet Compressor Mini

Este compresor está diseñado para suministrar aire comprimido de grado médico a un ventilador respiratorio o una máquina de anestesia. Tiene una capacidad de aproximadamente 30 l/min a una presión de 350 – 450 kPa (50 – 64 psi), con un suministro eléctrico de 115 V/60 Hz. (Maquet n.d.)

#### 2.2.1.2.4. Jeringa de Calibración Welch Allyn

Esta jeringa de 3 litros, elaborada de aluminio y plástico, se emplea para la calibración de espirómetros. Tiene una dimensión de 19,9 cm de ancho, 19,9 cm de altura y 62,1 cm de longitud; y una precisión de 15mL. (Welch Allyn n.d.)

### 2.2.1.3. Plataformas de código abierto

#### 2.2.1.3.1. Firebase

Es una plataforma ubicada en la nube, integrada con Google Cloud Platform, que utiliza un conjunto de herramientas para la creación y sincronización de proyectos y apps de alta calidad. Entre los productos se encuentra Firebase Realtime Database, una base de datos NoSQL alojada en la nube que permite almacenar y sincronizar datos entre tus usuarios en tiempo real; así como obtener datos más complejos y crear aplicaciones más grandes, superando los límites del modelo de datos JSON y el rendimiento de la base de datos a escala (Moroney 2017).

#### 2.2.1.3.2. App Inventor

MIT App Inventor es un entorno de desarrollo de software visual e intuitivo que permite crear aplicaciones completamente funcionales para teléfonos inteligentes y tabletas con Android e iOS. Esta herramienta está basada en bloques, lo que facilita la creación de aplicaciones complejas de alto impacto en mucho menos tiempo que los entornos de programación tradicionales, basados en texto. El editor de bloques de la plataforma está basado en [httpy Blockly] de JavaScript para crear un lenguaje visual. El compilador que traduce el lenguaje visual de los bloques para la aplicación en Android, utiliza Kawa como lenguaje de programación. (MIT App Inventor 2017)

#### 2.2.1.3.3. Arduino IDE

El entorno de desarrollo integrado Arduino, o software Arduino (IDE), se utiliza para escribir y cargar código con la extensión de archivo .ino al hardware Arduino; contiene un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes y una serie de menús. La aplicación IDE es

adecuada para diferentes sistemas operativos como Windows, Mac OS X y Linux; y soporta los lenguajes de programación C y C++. (Arduino.cc 2021)

## 2.2.2. Equipo tecnológico

### 2.2.2.1. Impresora 3D Form 3B

La Form 3B de Formlabs es una avanzada impresora 3D de escritorio optimizada para el uso con materiales biocompatibles. Mediante la importación de los archivos CAD diseñados en el software PreForm, se prepara la impresión y se envía fácilmente a la impresora. Está compuesta por un láser de alta densidad de 250mW de potencia, que pasa a través de un filtro espacial para garantizar un punto focal del láser nítido; un espejo parabólico, que garantiza que el láser imprima de manera perpendicular al plano para obtener una calidad uniforme en toda la base; sensores integrados, que ayudan a mantener las condiciones ideales y envían notificaciones sobre el estado de la máquina; y un tanque de resina flexible diseñada a medida. Adicional, cuenta con las tecnologías Low Force Stereolithography (LFS)<sup>™</sup> y Light Processing Unit (LPU), para producir impresiones robustas y precisas, de una resolución de 25µm. Permite fabricar piezas con volúmenes de impresión de hasta 14,5 × 14,5 × 18,5 cm; y trabaja en un rango de trabajo de AC 100-240V / AC 2.5A / 50-60Hz. (formlabs n.d.)

#### 2.2.2.1.1. Standard Grey Resine

Esta resina está compuesta de fotopolímeros líquidos, que brindan un acabado mate y un aspecto opaco; su tono neutro es una buena base para prototipos que serán pintadas o pasarán por otros procesos de acabado. Esta presenta distintas propiedades, ver Cuadro N° 5, que le permiten brindar detalles precisos sin sacrificar a cambio su resistencia.

**Cuadro N° 5.** *Propiedades físicas y químicas de Standard Grey Resine*

Propiedades físicas y químicas de Grey Resine		
	Secado al aire libre	Con post curado
Resistencia a la tracción	38 MPa	65MPa
Módulo de tracción	1.6 GPa	2.8 GPa
Alargamiento en caso de rotura	12%	6.2%
Módulo de flexión	1.25 GPa	2.2 GPa
Notched IZOD	16 J/m	25 J/m
Temperatura de deflexión térmica a 1.82 MPa	42.7°C	58.4°C
Temperatura de deflexión térmica a 0.46 MPa	49.7°C	73.1°C
Densidad	1,08 g/cm <sup>3</sup>	
Punto de ebullición inicial/rango	> 100 °C	
Punto de inflamación (Vaso cerrado)	> 93.5°C	
Inflamabilidad (sólido, gas)	No inflamable	

**Fuente:** (formlabs 2011, 2017).

#### 2.2.1.2. Impresora 3D Mega Zero

Esta impresora del fabricante Anycubic emplea la tecnología de impresión FDM (modelado por deposición fundida) para el desarrollo de estructuras más estables, gracias a su marco de aluminio de alta precisión y el diseño de bucle cerrado en la parte inferior. Entre sus características destacan: una resolución de capa de 0,1 mm; precisión de posicionamiento de 0,0125 mm (X/Y) y 0,002 mm (Z); velocidad de impresión de 20~100 mm/s; tamaño de construcción de 220 x 220 x 250 mm y un consumo de 12V, 6.0A. Los materiales de impresión admitidos por la Mega Zero son: PLA, (1.75mm, temperatura de 205-220°C), TPU y HIPS. (ANYCUBIC 2022)

### 2.2.1.3. Máquina CNC WEGSTR

Esta máquina emplea un proceso de eliminación de cobre no químico. Después de quitar el cobre adicional, el cobre restante son las pistas, el anillo anular de las vías, los planos de tierra / suministro y las almohadillas. Como la máquina solo elimina el cobre mediante el método de grabado, las vías se producen mediante el método convencional de galvanoplastia o insertando los barriles de vía.

Esta fresadora de CNC de WEGSTR ofrece mayor precisión, bajo ruido, bajo consumo, tamaño pequeño y fácil instalación. Su superficie de trabajo es de 140 mm en X, 200 mm en Y, 40 mm en Z; con un peso 7 kg. Incluye 4 piezas de herramientas de corte (cuchillas de alta calidad, de producción alemana). Todos sus ejes tienen una velocidad máxima de 170 mm/min. La interfaz de trabajo es USB, utilizada para su programa de control que brinda una fácil operación, claridad, instalación rápida, aspecto moderno. (WEGSTR n.d.; WELLPCB n.d.)

### 2.2.3. Población y muestra

La población considerada para el estudio corresponde a aquellos individuos de la Ciudad de Panamá que, posterior a la enfermedad COVID-19, obtuvieron resultados negativos en la prueba de detección y presentaron síntomas persistentes. La muestra está conformada por 6 personas entre los 18 y 65 años, seleccionadas sin distinción de sexo, que no padecen de alguna condición respiratoria (ASMA, EPOC) o de alguna enfermedad crónica (Diabetes, hipertensión).

Con el propósito de validar la funcionalidad del dispositivo, se escogió una mujer y un hombre entre la edad de 18-30 años, al igual que para las edades entre 31-40 y 41-65 años.

## 2.2.4. Métodos y procedimiento

### 2.2.4.1. Variables a medir

**Cuadro N° 6.** Descripción de las variables

Variable	Definición conceptual	Medio de comprobación
SpO <sub>2</sub>	Porcentaje de hemoglobina (Hb) saturada con oxígeno (O <sub>2</sub> ) a través de la sangre.	Oximetría
BPM	Latidos del corazón por minuto.	Pulsioximetría
FVC	Volumen máximo de aire exhalado en una maniobra espiratoria de esfuerzo máximo, iniciada tras una maniobra de inspiración máxima.	Espirometría
FEV1	Volumen máximo de aire exhalado en el primer segundo de la maniobra de FVC.	Espirometría
FEV1/ FVC	Porcentaje de la FVC que es espirada en el primer segundo de la maniobra.	Espirometría

**Fuente:** (American Heart Association 2020; Benítez-Pérez et al. 2016; Garcia-Rio et al. 2013; Kumar et al. 2017; Rosa-Reyes et al. 2021).

Las variables de espirometría mencionadas en el Cuadro N°6, utilizadas para la selección de las sugerencias y terapias, se basan en las principales empleadas para la mayoría de los pacientes, obviando las pruebas más sofisticadas (espirometría simple, pletismografía, prueba de dilución de gases) vistas en los laboratorios de Neumología. (Romero de Ávila Cabezón et al. 2013)

**Cuadro N° 7.** Matriz de espirómetros comerciales

Espirómetro Portátil Comercial	FVC	FEV1	FEV1/FVC	PEF	FEV6	FEV1/FEV6
Prototipo PC-19 M&T	✓	✓	✓	×	×	×
Spirotest <i>Riester</i>	✓	×	×	×	×	×

<i>CareFusion Micro Diary Spirometer</i>	✓	✓	×	✓	✓	×
<i>Vitalograph copd-6</i>	×	✓	✓	×	✓	✓
<i>Astra100 Handheld Spirometer sdi Diagnostic</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓

**Fuente:** (CareFusion n.d.; Riester n.d.; sdi DIAGNOSTICS 2007; Vitalograph 2010).

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de cuatro espirómetros comerciales seleccionados por su similitud física con el prototipo. Como resultado se obtuvo que, en el caso del PEF (flujo espiratorio máximo), este se utiliza como un marcador especialmente útil en el diagnóstico de asma y en las crisis asmáticas, donde se emplea como valor objetivo predictor de gravedad; por lo que su valor no es relevante para las recomendaciones brindadas al paciente; por otra parte, FEV6 (volumen espirado en 6 segundos) y el cociente FEV1/FEV6 son una medida alternativa para el FVC y el cociente FEV1/FVC en la detección de enfermedades pulmonares, es decir, con el resultado de los 3 primeros parámetros, se cumple la finalidad de la prueba espirométrica. (Giuseppe-Liistro and Ajata-Chura 2020; Romero de Ávila Cabezón et al. 2013)

#### 2.2.4.2. Especificaciones técnicas del prototipo

**Cuadro N° 8.** *Cuadro de carga del prototipo.*

Cuadro de carga		
Componentes	Voltaje (V)	Corriente (mA)
MAX30100	5	1.2
SDP810-500Pa	5	5.5
HC-06	5	40
Arduino Mega	7	93
Valores máximos requeridos	7	139.7

**Fuente:** elaboración propia.



En base a los valores anteriores, se opta por utilizar dos baterías recargables de litio de 7.4 voltios (3.7 V c/u) aproximadamente, y una capacidad de 9000 mAh; para alimentación del prototipo.

**Cuadro N° 9.** *Especificaciones del prototipo.*

Especificaciones Técnicas	
Modelo	PC19-M&T-01
Accesorios	Oxímetro de pulso, espirómetro
Microcontrolador	ATmega2560
Sensores	SDP810-500PA
Módulos	MAX30100
Software	Android, IOS
Conectividad	Bluetooth 2.0
Fijo o Portable	Portable
Alimentación	2 baterías recargables de Litio (18650) 3.7 V
Clasificación de este producto	A (bajo riesgo)
Grado de protección contra descargas eléctricas	Tipo BF
Tipo de protección contra descargas eléctricas	Clase III (equipo con alimentación interna)
Dimensiones de PC19-M&T	
Ancho	11.5 cm
Largo	15.5 cm
Alto	8.5 cm

**Fuente:** elaboración propia.

Las clasificaciones del dispositivo están basadas en las normas CEI 60601-1, donde se especifica que aquellos equipos que provean un adecuado grado de protección, pero no estén conectados directamente al corazón del paciente son

considerados de tipo BF; como es el caso, de la entrada de alta impedancia, que brinda de la tarjeta electrónica al sensor y al módulo.

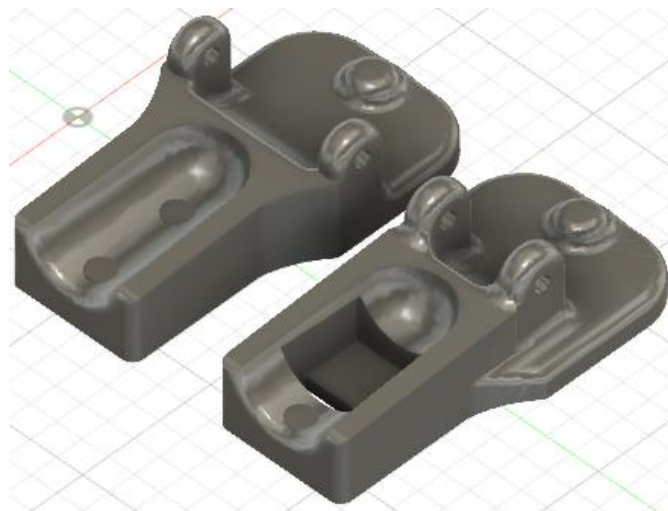
De igual forma, la norma indica que, para el aislamiento eléctrico, aquellos aparatos diseñados para ser alimentados por una tensión baja, como la suministrada por una batería interna, garanticen que en condiciones normales, una persona puede entrar en contacto sin correr el riesgo de descarga eléctrica. Adicional, el dispositivo cuenta con un aislamiento reforzado proporcionado por el material de fabricación, por lo que no requiere una toma a tierra de seguridad eléctrica.

#### 2.2.4.3. Diseño de la estructura

##### 2.2.4.3.1. Pulsioxímetro

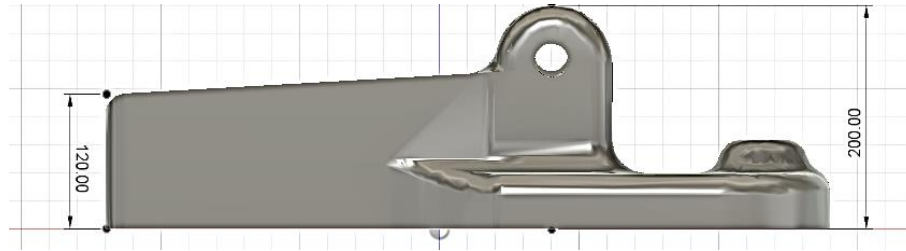
El diseño fue realizado en el software Fusion 360 e impreso en resina, considerando el tamaño del sensor MAX30100, al igual que las conexiones y el tamaño promedio del dedo índice. La unidad de medida del diseño está mostrada en milímetros.

**Imagen N° 2.** *Vista isométrica del pulsioxímetro.*



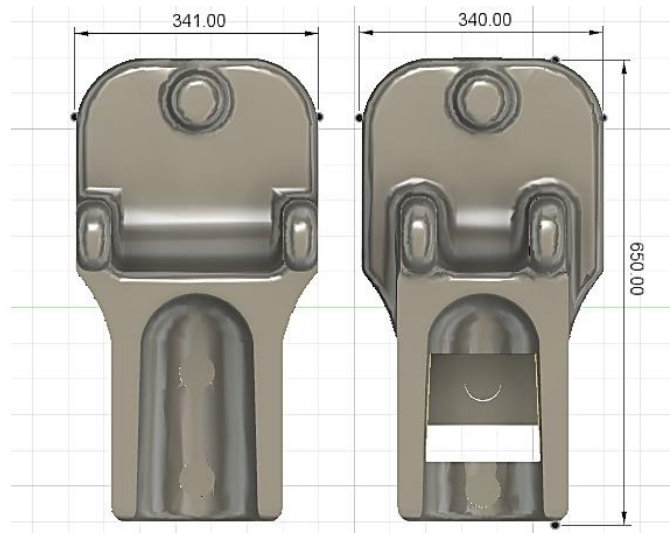
**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 3.** *Vista lateral y dimensiones del pulsioxímetro.*



**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 4.** *Vista superior y dimensiones del pulsioxímetro.*



**Fuente:** elaboración propia.

#### 2.2.4.3.2. Espirómetro

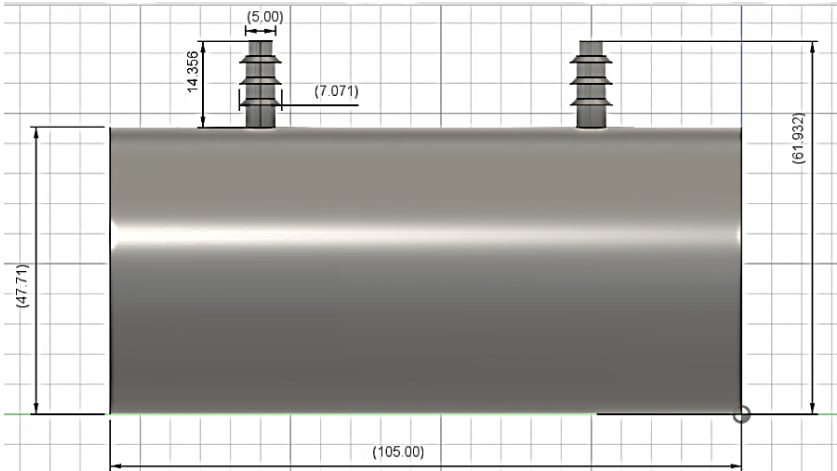
Los diseños fueron realizados en Fusion 360. La resistencia del neumotacógrafo, el conector neumo-paciente, y la boquilla para paciente fueron impresos en PLA; y el tubo exterior del neumotacógrafo impreso en resina. El diseño del neumotacógrafo se realizó considerando las ecuaciones 5 a 13; a su vez, las medidas de la boquilla toman en cuenta la comodidad del paciente al momento de maniobra. Las unidades de los diseños están mostradas en milímetros.

**Imagen N° 5.** *Vista isométrica del neumotacógrafo.*



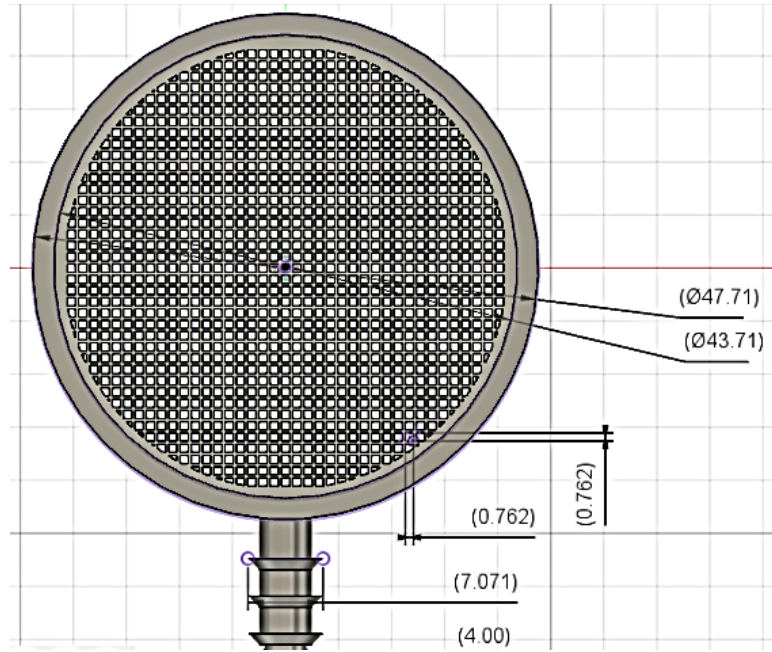
**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 6.** *Vista lateral y dimensiones del neumotacógrafo.*



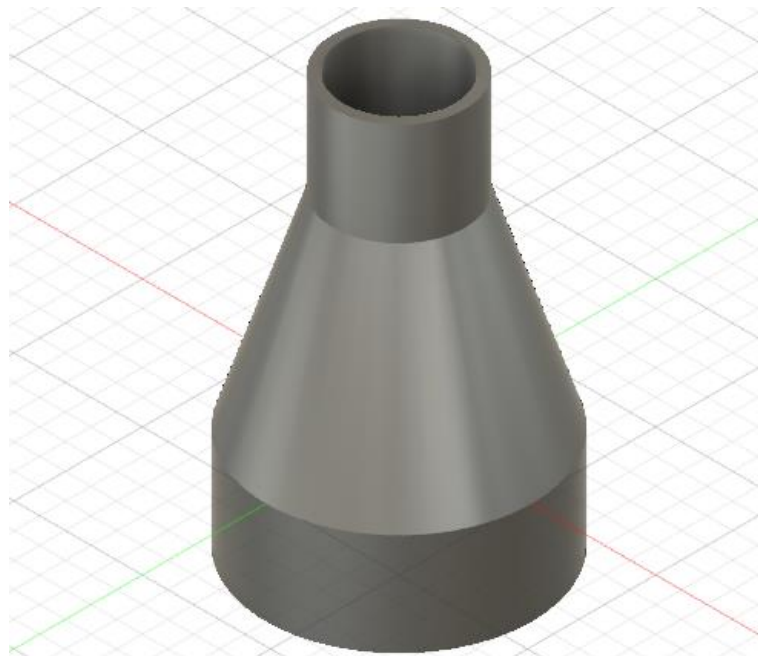
**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 7.** Vista superior y dimensiones del neumotacógrafo.



**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 8.** Vista isométrica del conector neumo-paciente.



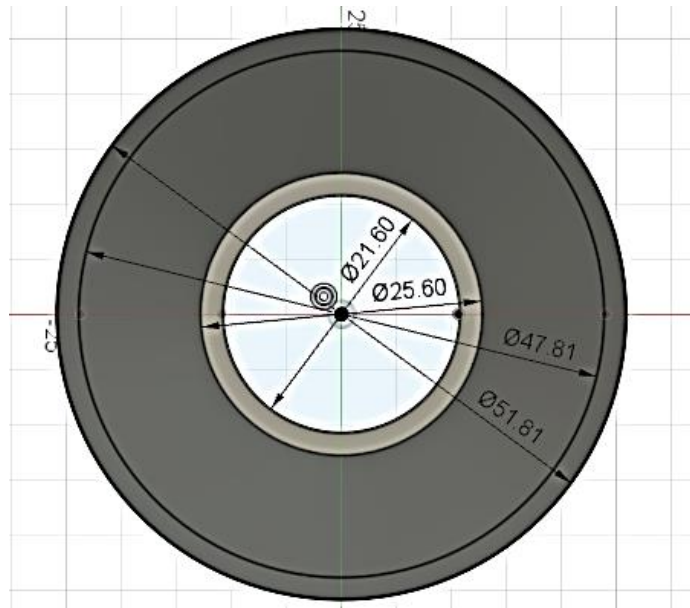
**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 9.** Vista lateral y dimensiones del conector neumo-paciente.



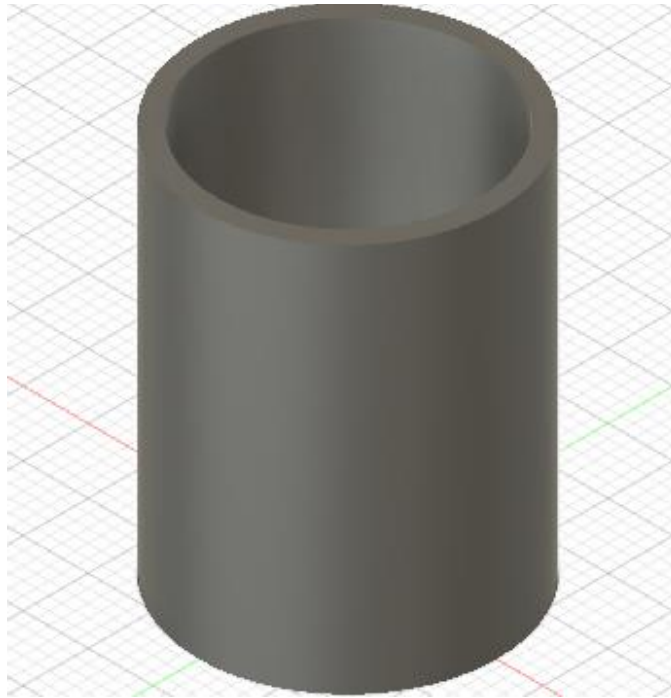
**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 10.** Vista superior y dimensiones del conector neumo-paciente.



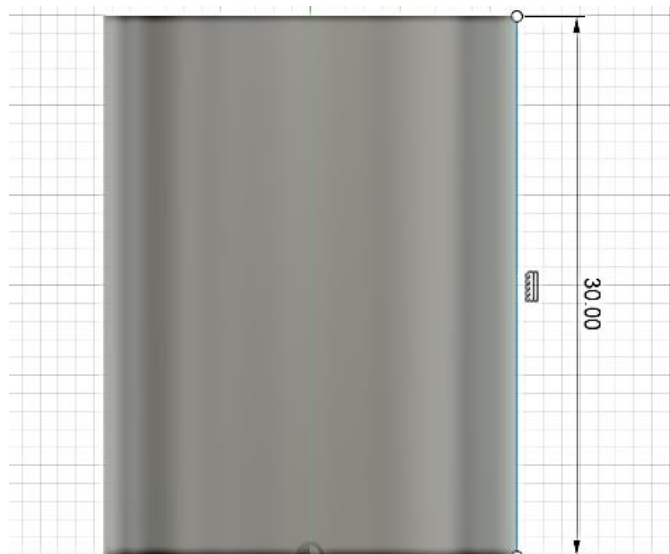
**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 11.** *Vista isométrica de la boquilla.*



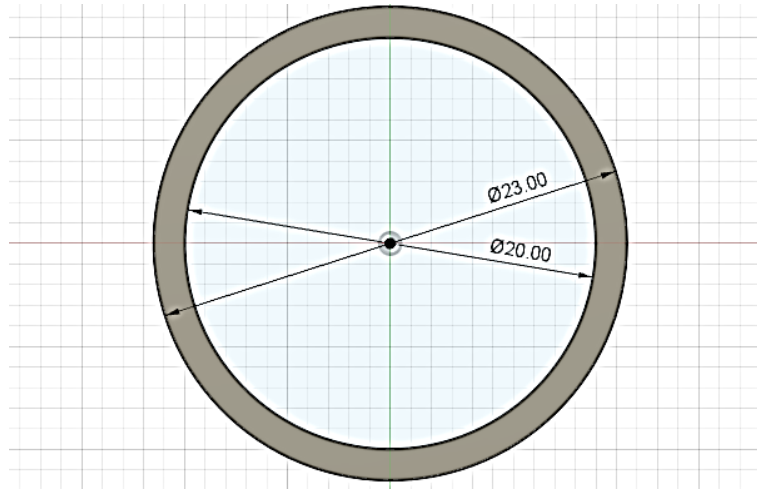
**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 12.** *Vista lateral y dimensiones de la boquilla.*



**Fuente:** elaboración propia.

**Imagen N° 13.** *Vista superior y dimensiones de la boquilla.*

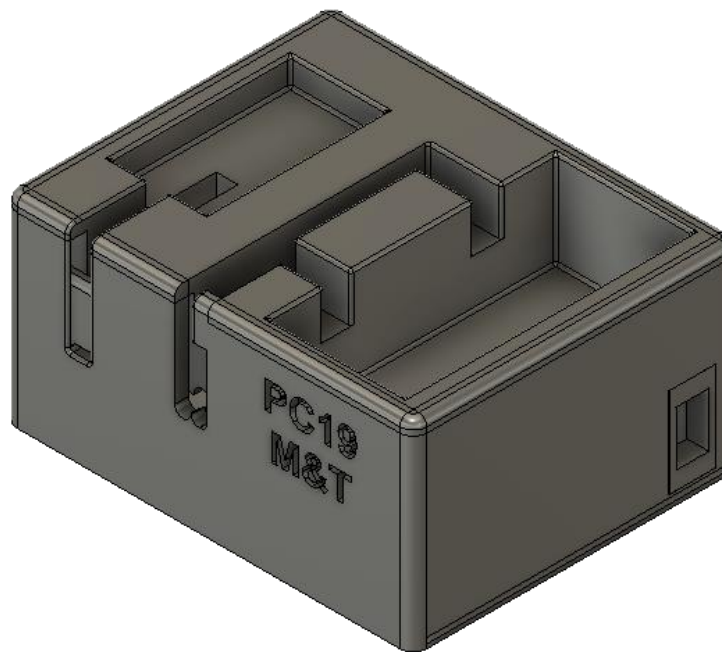


**Fuente:** elaboración propia.

#### 2.2.4.3.3. Carcasa del prototipo

El diseño fue realizado en el software Fusion 360. En el mismo, se aprecia una cavidad para cada uno de los dispositivos (pulsioxímetro y espirómetro).

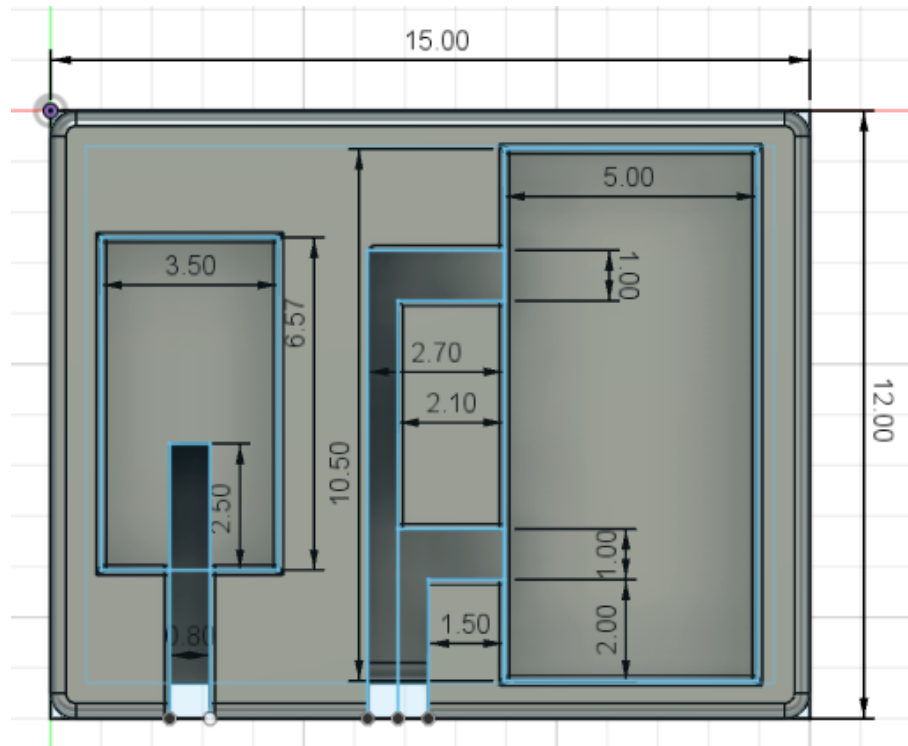
**Imagen N° 14.** *Vista isométrica de la carcasa.*



**Fuente:** elaboración propia.

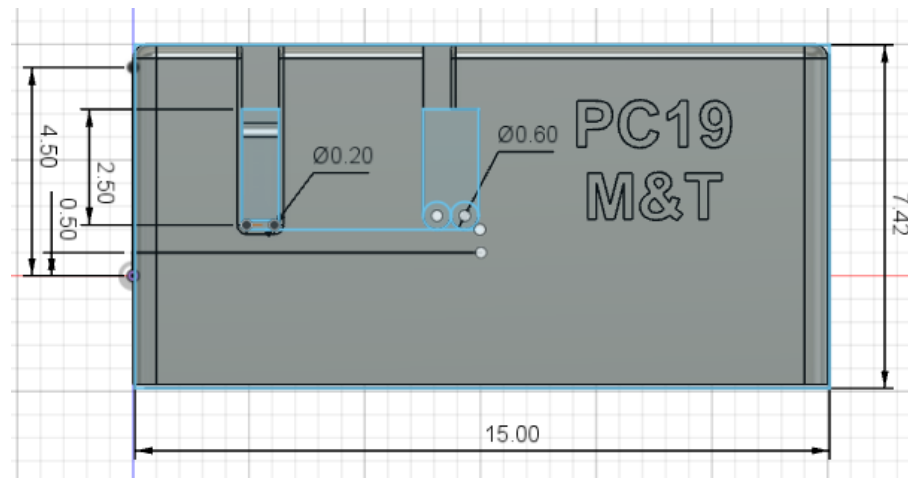


Imagen N° 15. Vista superior de la carcasa.



Fuente: elaboración propia.

Imagen N° 16. Vista frontal de la carcasa.

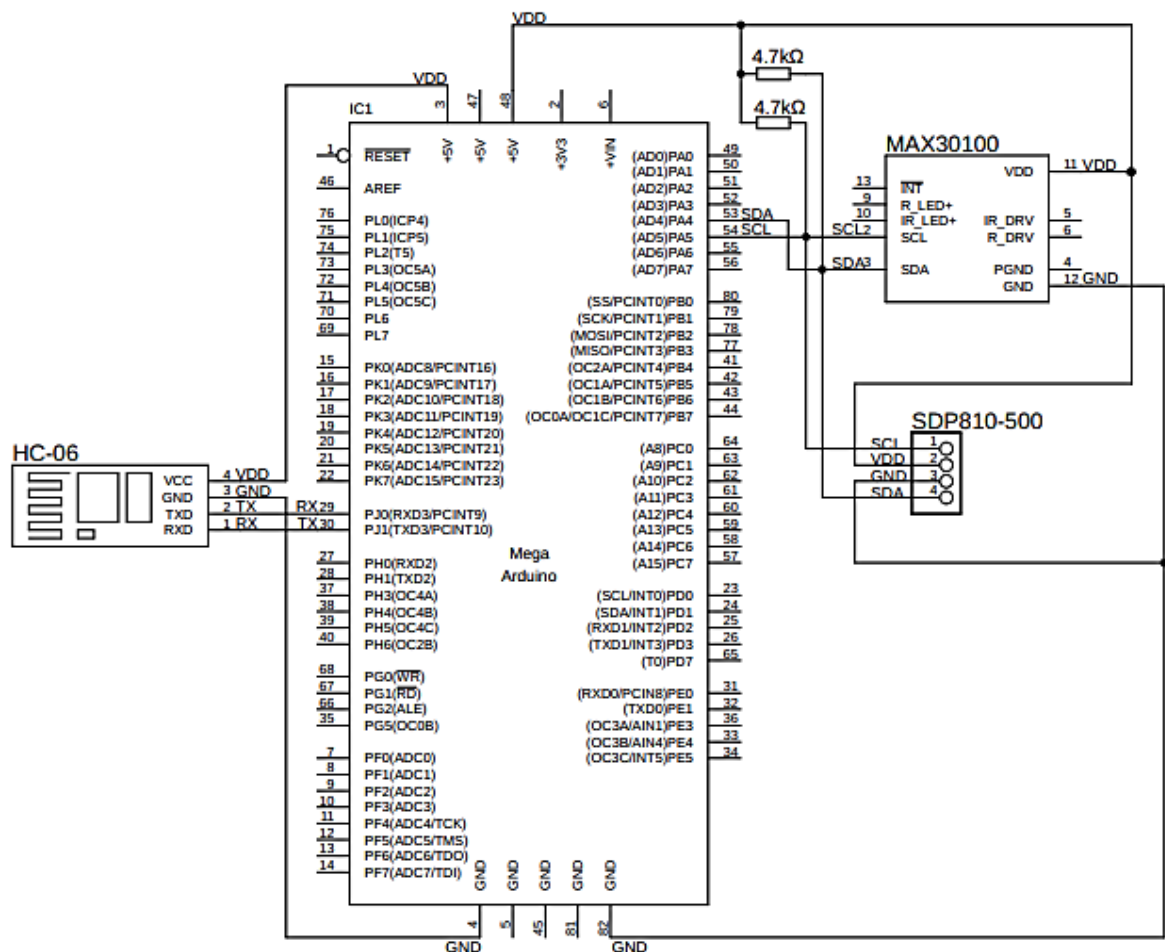


Fuente: elaboración propia.

### 2.2.4.4. Diagrama electrónico

Inicialmente, el Arduino Mega suministra 5V a través del pin +5V al pin VDD del sensor MAX30100, el sensor SPD810-500 y el módulo HC-06; las salidas SCL y SDA del microcontrolador van conectados a los pines SCL y SDA de ambos sensores, respectivamente, con resistencias pull-up de 4.7kΩ. A su vez, los pines RX y TX del Arduino se conectan a los pines TX y RX del módulo bluetooth, respectivamente. Por último, el pin GND del Mega permite la conexión a tierra de los sensores y el módulo.

Imagen N° 17. Esquemático del circuito.

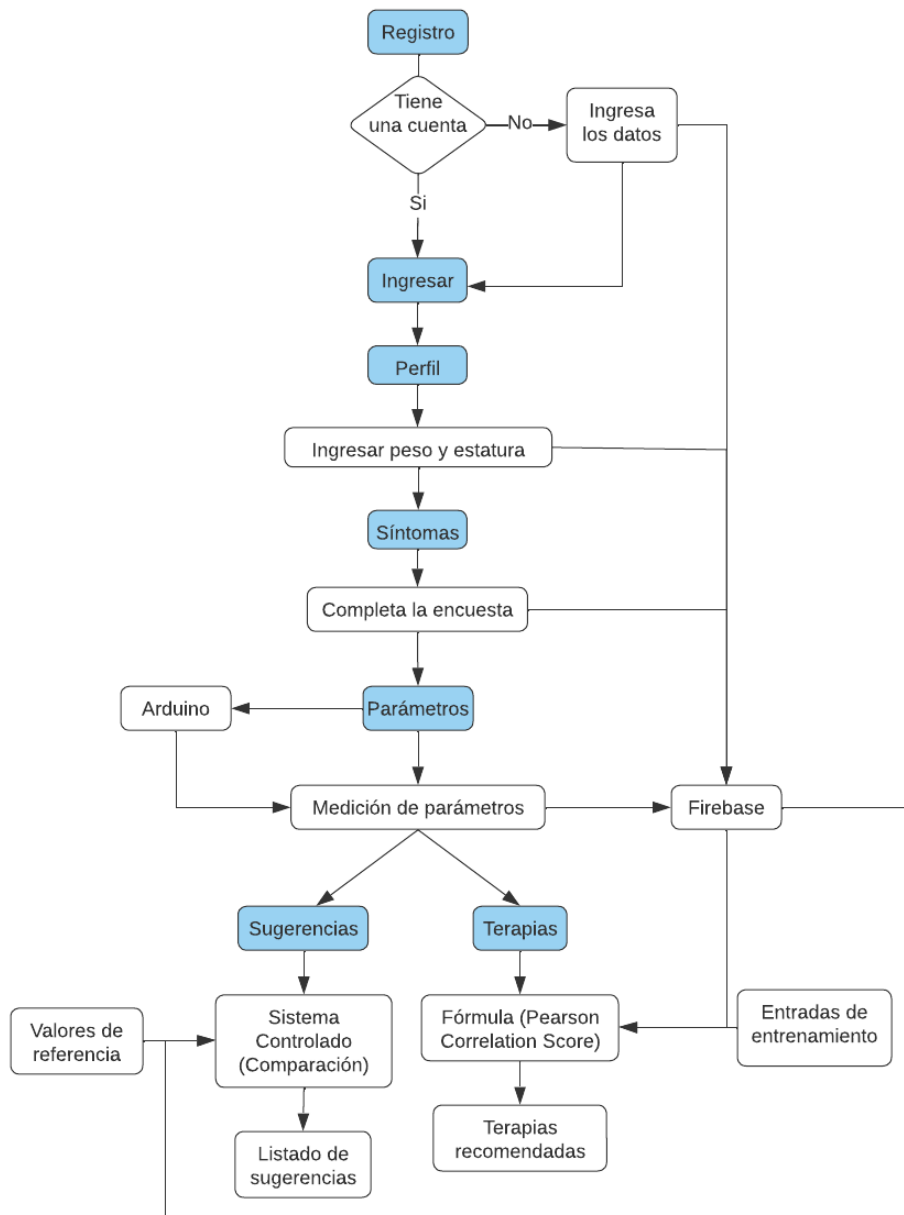


Fuente: elaboración propia.

El diseño fue realizado en el software Eagle, considerando el circuito electrónico para la captación de las señales y envío de datos.

#### 2.2.4.5. Arquitectura del sistema.

**Imagen N° 18.** Flujo de trabajo del sistema.



**Fuente:** elaboración propia.

Para la selección de las terapias se utilizó la técnica de filtrado colaborativo de los sistemas de recomendación, donde los pacientes que comparten el mismo perfil de salud, recibirán una terapia parecida. Esta similitud se determina a partir de la fórmula Pearson Correlation Score, que relaciona el conjunto de atributos ponderados en función a las terapias del modelo de entrenamiento, con el paciente que realiza la consulta.

### 2.3. Especificación operacional de las actividades y tareas a realizar

**Cuadro N° 10.** *Objetivos y actividades de la investigación*

Objetivos de la investigación	Actividades que se van a realizar para alcanzarlos
Diseñar un prototipo que realice la medición de los principales parámetros fisiológicos, para el posterior acondicionamiento y manejo de las señales medidas.	Idear y simular el circuito.
	Comprar los componentes.
	Definir las variables e instrucciones.
	Compilar y cargar el código al microcontrolador.
	Probar el código con el circuito electrónico.
	Probar el set de diagnóstico digital.
	Diseñar e imprimir los circuitos de PCB en las placas electrónicas.
	Adecuar las placas del circuito.
Crear una base de datos que almacene los parámetros obtenidos para, posteriormente, desarrollar el sistema inteligente	Colocar y soldar los componentes.
	Crear la base de datos.
	Definir los atributos.
	Diseñar la interfaz del sistema. Crear modelo de entrenamiento.

que sugiera terapias para la rehabilitación del usuario.	Programar las instrucciones de la aplicación.
	Entrega y validación del modelo.
	Probar el sistema inteligente.
Evaluar el prototipo mediante un ensayo clínico y técnico con la colaboración de profesionales de la salud para aprobación preliminar.	Validar el set de diagnóstico.
	Realizar las evaluaciones clínicas y técnicas.
	Realizar las correcciones.
Desarrollar un sistema asequible a la población.	Diseñar la estructura física en 3D.
	Imprimir la estructura física en PLA.

**Fuente:** elaboración propia.

#### 2.4. Productos

**Cuadro N° 11.** *Objetivo y producto de la investigación*

Objetivo	Producto
Desarrollar un sistema inteligente electrónico programable para ofrecer terapias sugeridas a pacientes post-COVID según la obtención de parámetros fisiológicos requeridos.	Prototipo de un sistema inteligente multiparámetros para el monitoreo y terapia remota para pacientes recuperados de la COVID-19.

**Fuente:** elaboración propia.

## 2.5. Cronograma de impartición del proyecto

**Cuadro N° 12.** Cronograma para el desarrollo de la investigación

	ene.	feb.	mar.	abr.	may.	jun.	jul.	ago.	sep.	oct.	nov.	dic.	ene.	feb.	mar.
<b>Etapa preliminar</b>															
Búsqueda literaria															
Entrega de anteproyecto															
<b>Etapa 1: Dispositivo multiparámetro</b>															
Obtención de herramientas															
Modelado 3D y diseño electrónico iniciales															
Obtención de insumos															
Fabricación															
Captación de las señales															
Pruebas y modificaciones															
<b>Etapa 2: Sistema inteligente</b>															
Creación de base de datos fisiológicos															
Programación del sistema															
Pruebas y modificaciones															

Etapa final															
Evaluaciones clínicas y técnicas															
Entrega															

**Fuente:** elaboración propia.

## 2.6. Presupuesto

**Cuadro N° 13.** *Presupuesto para el desarrollo de la investigación*

Rubro	Detalle de gasto	Costo (B/.)
Insumos/materiales	Plataforma programable, filamento para impresión 3D, componentes electrónicos en general, insumos para circuitos impresos, módulos de captación de señales fisiológicas y computadoras.	130.40
Recursos Humanos	Ingenieros biomédicos y descarga por investigadores.	45.00
Transporte/traslados	Traslado a sitios de evaluación (hospitales, universidades, etc.).	100.00
Alimentación	Almuerzos y cenas durante el periodo de evaluación.	250.00
	Otros gastos	20.00
<b>Total del Proyecto</b>		<b>545.40</b>

**Fuente:** elaboración propia.

# **CAPÍTULO III**



## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1. Resultados de las validaciones técnicas

#### 3.1.1. Oxímetro de Pulso

##### 3.1.1.1. Prueba de exactitud

Esta prueba consiste en tomar los valores de saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca, simultáneamente con el prototipo y un oxímetro de pulso comercial, con un intervalo de 5 segundos entre ellas.

Esta validación se llevó a cabo con 10 participantes, tanto de sexo femenino como masculino, que se encontraban en un óptimo estado de salud física y mental. El rango de edad de los participantes oscila entre los veinte (20) y cincuenta (50) años.

**Imagen N° 19.** Prueba de validación técnica al pulsioxímetro.

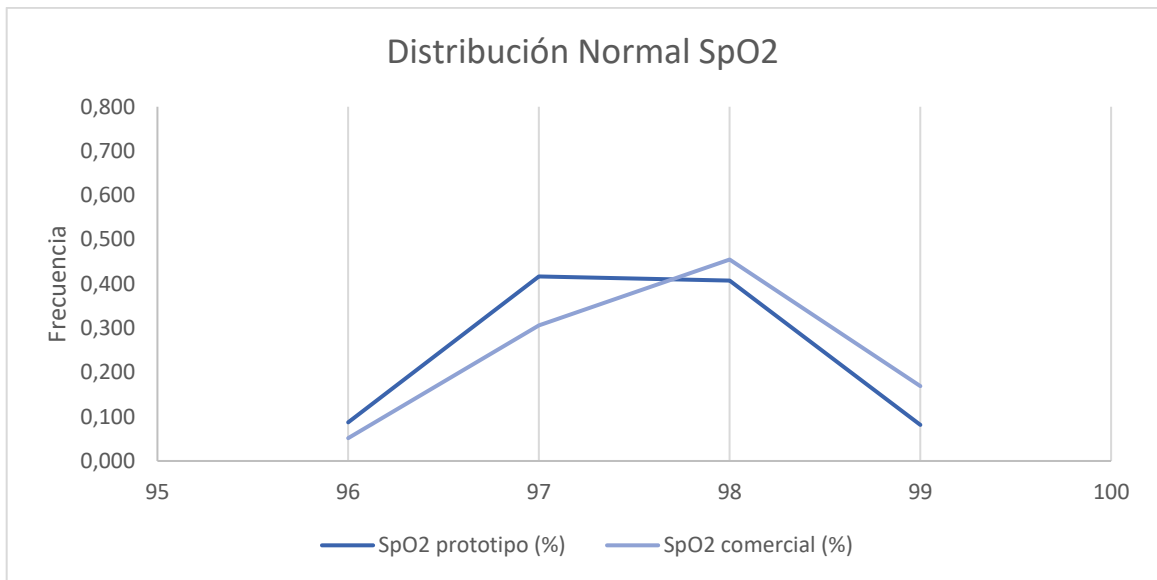


**Fuente:** elaboración propia.

A continuación, se muestra en las gráficas 1 y 2 las distintas frecuencias de los valores de saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca, respectivamente, del oxímetro de pulso comercial y el prototipo. Se calcula una desviación estándar de  $\pm 0,5477\%$  en los valores del gráfico 1; y de  $\pm 2,9386\text{lpm}$  en aquellos del gráfico 2, por lo que se cumple con la especificación máxima de  $\pm 3\%$  y  $3\text{lpm}$ ,

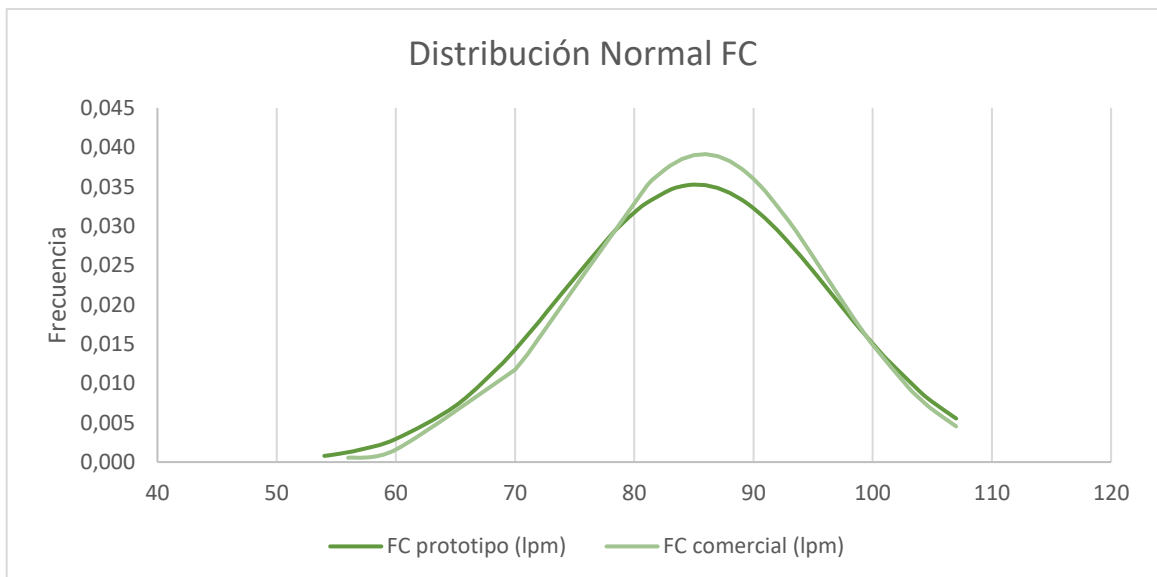
respectivamente, de acuerdo con las especificaciones técnicas de los oxímetros de pulso de dedo; lo que demuestra que el prototipo puede ser utilizado por los usuarios.

**Gráfico N° 1. Distribución Normal SpO<sub>2</sub>**



**Fuente:** elaboración propia.

**Gráfico N° 2. Distribución Normal FC**



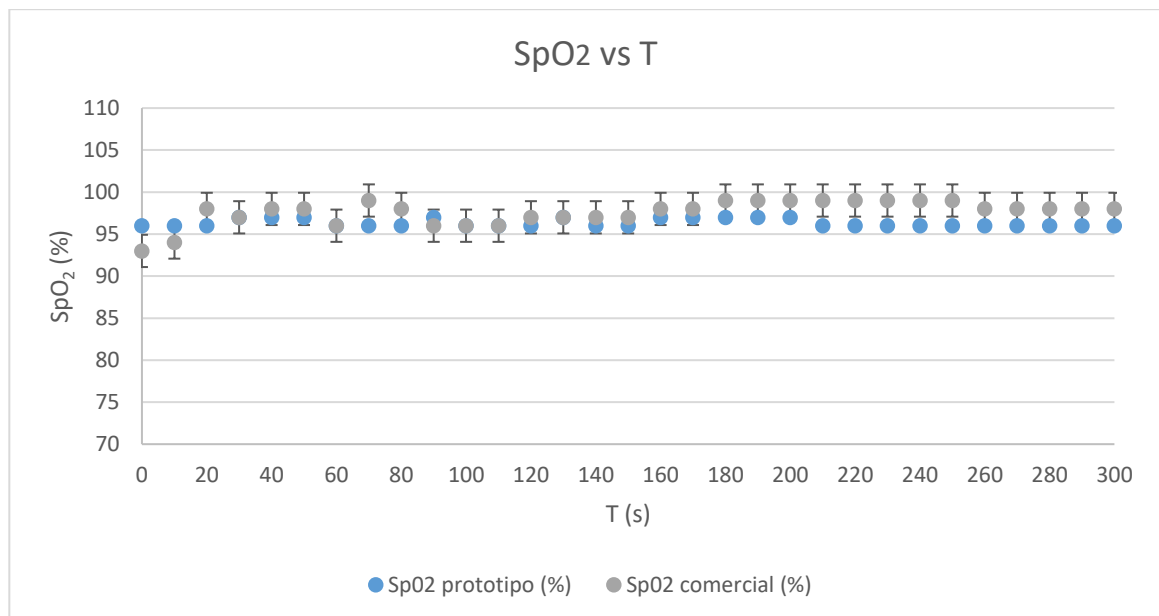
**Fuente:** elaboración propia.

### 3.1.1.2. Prueba de esfuerzo

Esta prueba permite determinar el rango óptimo de trabajo, así como la estabilidad de rendimiento del prototipo por un tiempo definido. Para esta validación se mantiene el prototipo en funcionamiento durante 5 minutos, se toman muestras con un intervalo de 10 segundos entre cada una y se verifican los resultados posteriormente.

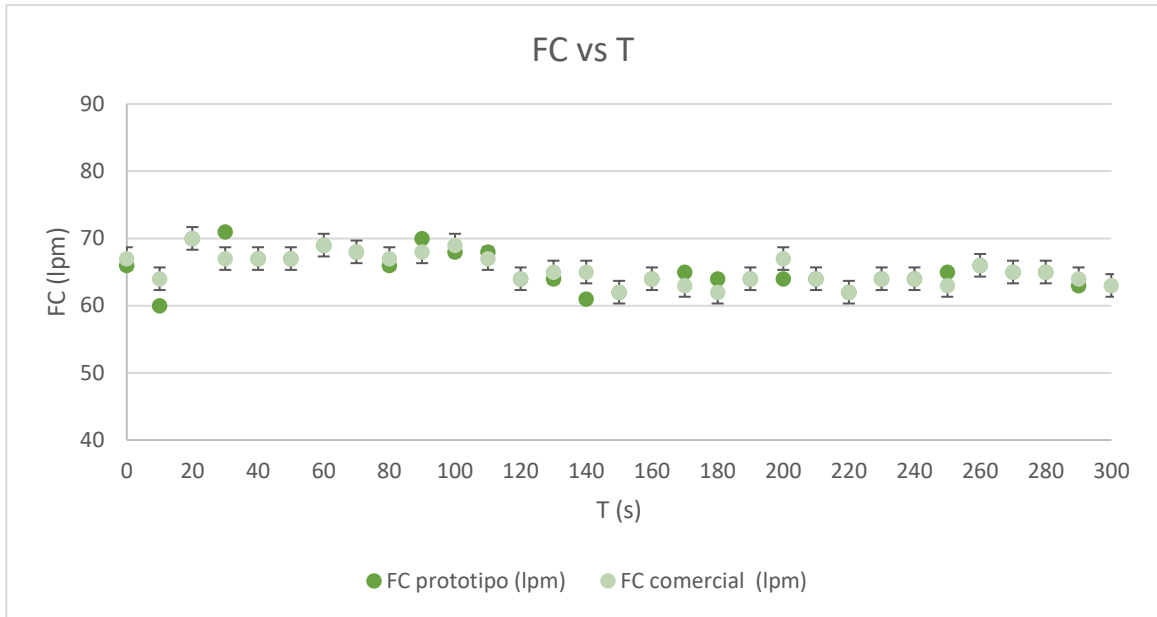
En las gráficas 3 y 4, las saturaciones y frecuencias cardiacas, respectivamente, se aproximan a los valores del oxímetro de pulso comercial en cada uno de los tiempos medidos. Se observa en el Gráfico 3 que el prototipo el SpO<sub>2</sub> es estable principalmente alrededor de 30 a 60 segundos, donde la desviación estándar calculada es menor. Por otro lado, el Gráfico 4 muestra que, para el ritmo cardiaco, el intervalo de tiempo de mayor estabilidad es de 20 a 80 segundos. Considerando estos datos, para un trabajo óptimo del oxímetro, se deben realizar las tomas entre 30 a 60 segundos después de colocar el dedo en el dispositivo ya encendido.

**Gráfico N° 3. SpO<sub>2</sub> vs tiempo**



**Fuente:** elaboración propia.

**Gráfico N° 4. Frecuencia cardíaca vs tiempo**



**Fuente:** elaboración propia.

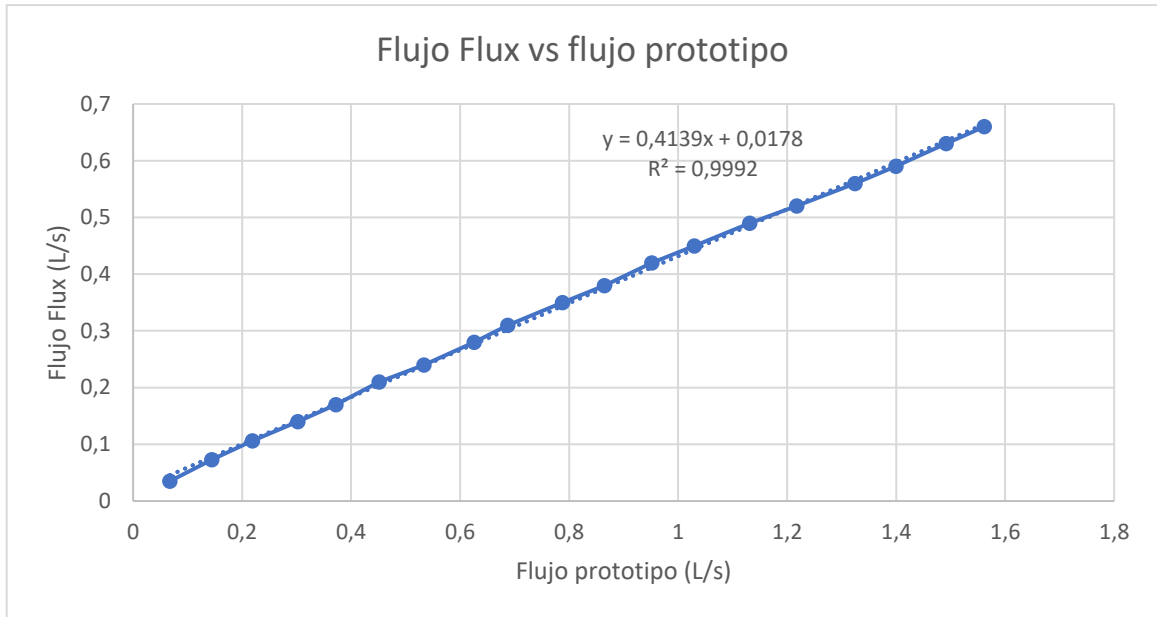
### 3.1.2. Espirómetro

#### 3.1.2.1. Calibración

Este procedimiento se basa en la captación simultánea del flujo (L/s), suministrado por el compresor, en el flujómetro y el prototipo. Las muestras fueron tomadas en un rango de 0 a 0.7 L/s, con un incremento de 0.035 L/s entre ellas.

En la siguiente gráfica apreciamos la linealidad de la línea de tendencia y un coeficiente de regresión ( $R^2$ ) superior a 0.99, como se exige para el diseño de espirómetros, en los valores captados por ambos flujómetros. A partir de la gráfica se obtiene la ecuación de calibración, que se muestra en el gráfico 5.

**Gráfico N° 5. Flujo Flux vs flujo prototipo**



**Fuente:** elaboración propia.

### 3.1.2.2. Prueba de exactitud

Esta validación consiste en la toma de valores de flujo (L/s) del prototipo y el medidor de flujo, conectados al compresor a la par. Las muestras fueron tomadas en un rango de 0 a 0.7 L/s, con un incremento de 0.07 L/s entre ellas.

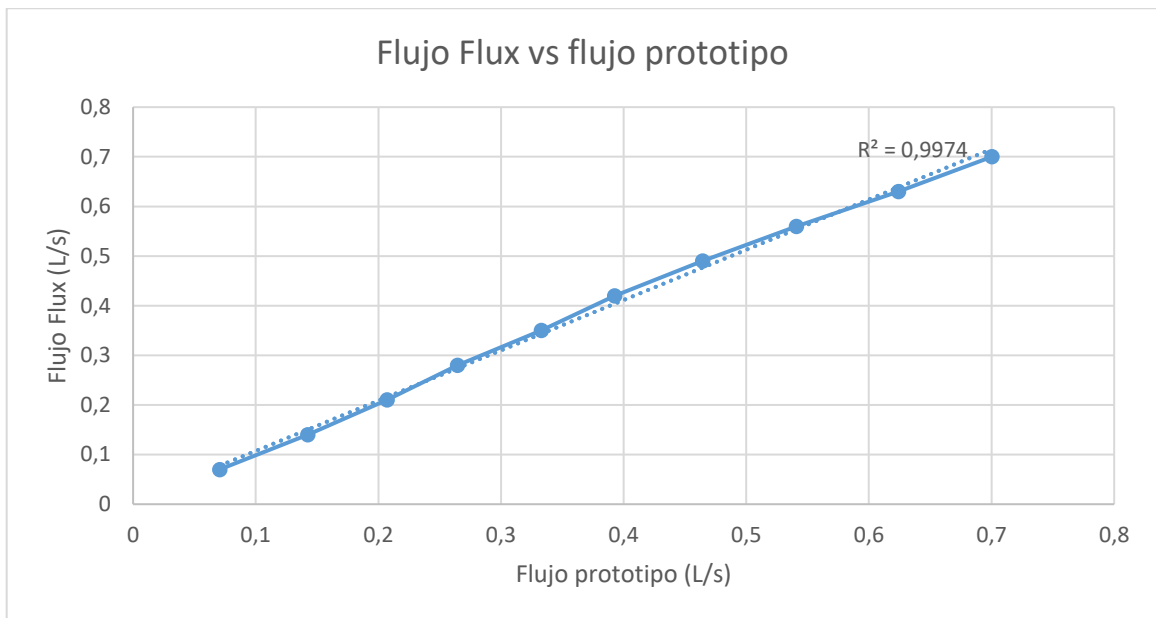
**Imagen N° 21. Prueba de exactitud al espirómetro.**



**Fuente:** elaboración propia.

En la Gráfica 7, se observa la relación lineal entre los flujos medidos por el espirómetro y el analizador de flujo. Estos valores tienen una desviación estándar de  $\pm 0.0112\text{L/s}$  con respecto a los valores del Flux en cada muestra. Como resultado, la línea de tendencia y su baja desviación estándar indican que el dispositivo está calibrado óptimamente.

**Gráfico N° 7.** Flujo Flux vs flujo prototipo



**Fuente:** elaboración propia.

### 3.1.2.3. Prueba de 3 Litros

En esta prueba el prototipo se conecta a la jeringa de 3L para verificar la magnitud del volumen; durante el procedimiento, se realiza la descarga de la jeringa en 3 a 5 segundos aproximadamente por muestra. Se tomaron veinticuatro (24) muestras para la validación.

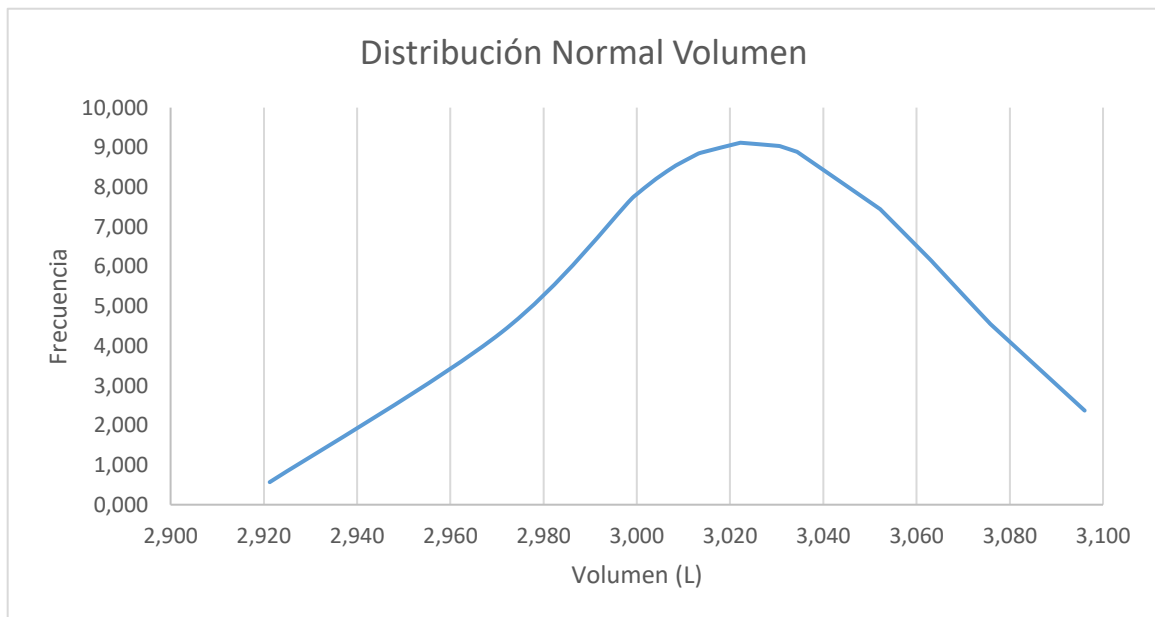
**Imagen N° 20.** Prueba de 3 Litros al espirómetro.



**Fuente:** elaboración propia.

Como se muestra en la Gráfica 6, la mayor frecuencia de los volúmenes medidos por el espirómetro se acerca a los 3 litros que provee la jeringa de calibración. Se calcula un promedio de 3.024L, similar a la capacidad total del instrumento de calibración; y una desviación estándar de  $\pm 0.0437L$  con respecto a la referencia de 3L, cumpliendo así con la especificación de exactitud máxima de  $\pm 0.09L$  para espirómetros; lo que indica que el dispositivo está diseñado y calibrado de forma óptima.

**Gráfico N° 6.** Distribución Normal Volumen



**Fuente:** elaboración propia.

#### 3.1.2.4. Prueba de fuga por burbujeo de presión directa

En esta prueba, con una bolsa autoinflable, se presuriza el sistema de espirometría, sumergido dentro de un reservorio con agua, para verificar que no hay escapes de aire mediante la observación de burbujas en la superficie del agua.

**Imagen N° 22.** Prueba de fuga al sistema de espirometría.



**Fuente:** elaboración propia.



### 3.2. Resultados de las validaciones clínicas

Los síntomas y resultados del cuadro N° 13 fueron validados por un profesional médico general de la Universidad Especializada de las Américas.

**Cuadro N° 13. Resultados clínicos del prototipo.**

Paciente	Edad	Sexo (F/ M)	Peso (kg)	Estatura (m)	Prueba cognitiva (/8)	Prueba sueño PSQI (/21)	Dolor de cabeza	Anosmia y disgeusia	Fatiga	SpO <sub>2</sub> (%)	LPM	FVC (L)	FEV1 (L)	FEV1 /FVC (%)	Sugerencias	Terapias
1	23	F	45	1.64	8	12	No	No	Sí	98	85	3.17	2.93	92.43	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantén una dieta saludable, con bajo contenido de grasas, alimentos procesados y carnes rojas; y alto contenido de frutas, vegetales y pescado.</li> <li>▪ Manténgase activo.</li> <li>▪ Tome momentos de relajación; por ejemplo: lea o tome una ducha prolongada.</li> <li>▪ Levántese y acuéstese a la misma hora todos los días, incluso los fines de semana.</li> <li>▪ Mantenga una libreta al lado de la cama para anotar las cosas que le vienen a la mente; esto le ayudará a aparcar el pensamiento al momento de dormirse.</li> <li>▪ Evite tomar siestas en el día, si puede.</li> <li>▪ No se vaya a la cama con hambre o sed, pero asegúrese de haber comido al menos dos horas antes de acostarse.</li> <li>▪ Evite estrés y sobrecarga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Técnica de Yoga</li> </ul>
2	23	M	80	1.63	5	13	No	No	No	97	57	2.67	2.43	91.01	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantén una dieta saludable, con bajo contenido de grasas, alimentos procesados y carnes rojas; y alto contenido de frutas, vegetales y pescado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Técnica de Yoga</li> </ul>

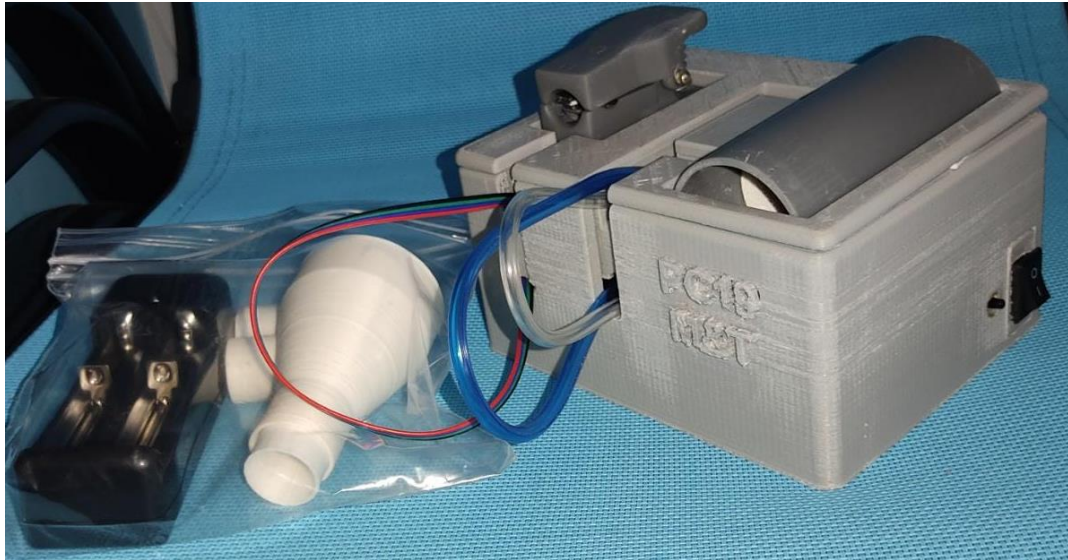
																<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantén un peso saludable y bajo control el colesterol.</li> <li>▪ Evita el consumo de alcohol.</li> <li>▪ No fume.</li> <li>▪ Practica ejercicios en forma regular; algunos ejemplos son: bailar, caminar, realizar deporte o bicicleta.</li> <li>▪ Tome, como mínimo, dos litros de agua al día.</li> <li>▪ Manténgase en espacios abiertos en los que se renueve el aire.</li> <li>▪ Levántese y acuéstese a la misma hora todos los días, incluso los fines de semana.</li> <li>▪ Mantenga una libreta al lado de la cama para anotar las cosas que le vienen a la mente; esto le ayudará a aparcar el pensamiento al momento de dormirse.</li> <li>▪ Evite tomar siestas en el día, si puede.</li> <li>▪ No se vaya a la cama con hambre o sed, pero asegúrese de haber comido al menos dos horas antes de acostarse.</li> </ul>	
3	38	F	56	1.52	6	12	Sí	No	Sí	97	87	3.88	2.44	62.89	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantén una dieta saludable, con bajo contenido de grasas, alimentos procesados y carnes rojas; y alto contenido de frutas, vegetales y pescado.</li> <li>▪ Evita el consumo de alcohol.</li> <li>▪ Manténgase activo.</li> <li>▪ Tome momentos de relajación; por ejemplo: lea o tome una ducha prolongada.</li> <li>▪ Levántese y acuéstese a la misma hora todos los días, incluso los fines de semana.</li> <li>▪ Mantenga una libreta al lado de la cama para anotar las cosas que le vienen a la mente; esto le ayudará a aparcar el pensamiento al momento de dormirse.</li> <li>▪ Evite tomar siestas en el día, si puede.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Técnica de Yoga</li> <li>▪ Fisioterapia respiratoria para personas afectadas por el Covid-19</li> </ul>	

																	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No se vaya a la cama con hambre o sed, pero asegúrese de haber comido al menos dos horas antes de acostarse.</li> <li>▪ Evite estrés y sobrecarga.</li> <li>▪ Si tiene dolor de cabeza diario, su médico de cabecera podría recetarle un medicamento preventivo para que lo tome durante algunas semanas o meses.</li> </ul>	
4	36	M	126	1.78	8	10	No	No	No	98	77	4.48	2.44	54.46	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Levántese y acuéstese a la misma hora todos los días, incluso los fines de semana.</li> <li>▪ Mantenga una libreta al lado de la cama para anotar las cosas que le vienen a la mente; esto le ayudará a aparcar el pensamiento al momento de dormirse.</li> <li>▪ Evite tomar siestas en el día, si puede.</li> <li>▪ No se vaya a la cama con hambre o sed, pero asegúrese de haber comido al menos dos horas antes de acostarse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Técnica de Yoga</li> <li>▪ Fisioterapia respiratoria para personas afectadas por el Covid-19</li> </ul>		
5	54	F	57	1.52	8	13	No	No	Sí	99	67	3.28	3.03	92.38	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantén una dieta saludable, con bajo contenido de grasas, alimentos procesados y carnes rojas; y alto contenido de frutas, vegetales y pescado.</li> <li>▪ Manténgase activo.</li> <li>▪ Tome momentos de relajación; por ejemplo: lea o tome una ducha prolongada.</li> <li>▪ Levántese y acuéstese a la misma hora todos los días, incluso los fines de semana.</li> <li>▪ Mantenga una libreta al lado de la cama para anotar las cosas que le vienen a la mente; esto le ayudará a aparcar el pensamiento al momento de dormirse.</li> <li>▪ Evite tomar siestas en el día, si puede.</li> <li>▪ No se vaya a la cama con hambre o sed, pero asegúrese de haber comido al menos dos horas antes de acostarse.</li> <li>▪ Evite estrés y sobrecarga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Técnica de Yoga</li> </ul>		

6	57	M	79	1.71	5	13	Sí	No	Sí	98	61	2.69	2.49	92.57	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantén una dieta saludable, con bajo contenido de grasas, alimentos procesados y carnes rojas; y alto contenido de frutas, vegetales y pescado.</li> <li>▪ Evita el consumo de alcohol.</li> <li>▪ Manténgase activo.</li> <li>▪ Tome momentos de relajación; por ejemplo: lea o tome una ducha prolongada.</li> <li>▪ Levántese y acuéstese a la misma hora todos los días, incluso los fines de semana.</li> <li>▪ Mantenga una libreta al lado de la cama para anotar las cosas que le vienen a la mente; esto le ayudará a aparcar el pensamiento al momento de dormirse.</li> <li>▪ Evite tomar siestas en el día, si puede.</li> <li>▪ No se vaya a la cama con hambre o sed, pero asegúrese de haber comido al menos dos horas antes de acostarse.</li> <li>▪ Evite estrés y sobrecarga.</li> <li>▪ Si tiene dolor de cabeza diario, su médico de cabecera podría recetarle un medicamento preventivo para que lo tome durante algunas semanas o meses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Técnica de Yoga</li> </ul>
---	----	---	----	------	---	----	----	----	----	----	----	------	------	-------	--	---

Fuente: elaboración propia.

Imagen N° 23. PC19-M&T-01.



Fuente: elaboración propia.

Imagen N° 24. Participante utilizando el prototipo



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Esta investigación tuvo como objetivo brindarles terapias y sugerencias personalizadas a los pacientes recuperados de la COVID-19, para mejorar su condición y bienestar.

- Para el desarrollo del pulsioxímetro y el espirómetro se llegó a la conclusión que, para lograr que ambos sistemas sean adecuados, se debe considerar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de cada dispositivo. Con este fin, se realizaron distintos diseños, pruebas y análisis que respalden la fiabilidad del prototipo. (Gráfica No. 1-7, Página 64-69).
- El sistema inteligente, en conjunto con la base de datos, ofrece al usuario de forma versátil las recomendaciones requeridas para su rehabilitación, en base a sus condiciones físicas y parámetros fisiológicos obtenidos por el prototipo. En este sentido, permite dar seguimiento al estado de salud del paciente mediante el almacenamiento de la información. (Cuadro No. 13, Página 71).
- El resultado de la validación clínica, llevada a cabo por un profesional de la salud de UDELAS, garantizó la confiabilidad del uso del dispositivo en los pacientes Post COVID-19 por los beneficios que el dispositivo puede ofrecer a los usuarios a través del cumplimiento de las recomendaciones. (Cuadro No. 13, Página 71).
- Finalmente, el uso de tecnologías de fabricación digital y la implementación de módulos/sensores digitales permiten la fabricación de los componentes requeridos para la elaboración del dispositivo, asegurando la reproducibilidad en masas. De este modo el producto es accesible y ergonómico, beneficiando así a la mayor parte de la población. (Imagen No. 23, Página 77).

## RECOMENDACIONES

Considerando la importancia del desarrollo de este proyecto y en función de los resultados obtenidos, se consideran sugerencias con la finalidad de adicionar mejoras generales al producto y su elaboración.

- En el caso de la validación de la saturación de oxígeno del oxímetro, sería de gran utilidad para los próximos investigadores tomar como referencia el análisis de la concentración de oxígeno por gasometría arterial; con el fin de certificar con mayor exactitud la relación entre el prototipo y esta referencia, al momento de realizar las mediciones.
- Se sugiere adecuar el accesorio de oximetría para, de esta forma, asegurar la precisión de la medición en pacientes cuyas extremidades superen en gran medida el estándar promedio sugerido.
- Con el fin de lograr un mejor análisis del síndrome post COVID-19, se recomienda adicionar la frecuencia respiratoria entre los parámetros de oximetría para complementar los parámetros cardíacos ya medidos.
- Con respecto al espirómetro, para evaluar otras patologías pulmonares se sugiere utilizar parámetros adicionales propios de la espirometría como: volumen espiratorio máximo en el primer segundo (FEV1), flujo espiratorio máximo (FEM), flujo espiratorio máximo en el 25 % (FEF25%) y flujo mesoespiratorio (FEF25–75%); adicional al FVC y el cociente FEV1 / FVC, que se analizaron en este trabajo.
- Referente al sistema inteligente, para lograr un mayor alcance de otras condiciones clínicas, se propone enlazar la aplicación a otras bases de datos para ampliar el modelo de entrenamiento.

- En consideración a la base de datos de los usuarios, se plantea la adquisición de un plan completo de Firebase con mayores funciones; con el objetivo de mejorar la conectividad.
- Para futuras investigaciones, la implementación de la medición de nuevos parámetros y rangos de edades permitiría observar otros efectos del Síndrome Post COVID-19; lo que da paso a la recomendación de métodos de recuperación para condiciones no abordadas en este trabajo.
- Como recomendación final, el prototipo podría sugerirse para otras patologías, con los ajustes necesarios para, de esta manera, abarcar pacientes con otras condiciones específicas, por ejemplo: asma o insuficiencia cardíaca.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS E INFOGRAFÍA

- Abdulkareem, Karrar Hameed, Mazin Abed Mohammed, Ahmad Salim, Muhammad Arif, Oana Geman, Deepak Gupta, and Ashish Khanna. 2021. "Realizing an Effective COVID-19 Diagnosis System Based on Machine Learning and IOT in Smart Hospital Environment." *IEEE Internet of Things Journal* 1–8. doi: 10.1109/JIOT.2021.3050775.
- Ali, Zahid. 2019. "HC-06 Bluetooth Module." 0–6.
- American Heart Association. 2020. "¿Qué Es La Presión Arterial Alta?" *American Heart Association* 2.
- Andreu-Perez, Javier, Carmen C. Y. Poon, Robert D. Merrifield, Stephen T. C. Wong, and Guang Zhong Yang. 2015. "Big Data for Health." *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 19(4):1193–1208. doi: 10.1109/JBHI.2015.2450362.
- ANYCUBIC. 2022. "MEGA ZERO."
- Araque, Franlet, Valmore Bermudez, Oscar Medina, Manuel Riaño, and Luis Carlos Ruiz. 2020. "Trastornos Del Sueño a Consecuencia de La Pandemia Por Covid-19." *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 37(4):755–61.
- Arduino.cc. 2021. "Using the Arduino Software (IDE)." *Arduino.Cc*.
- Arduino. 2021. "Arduino Mega 2560."
- Bankhele, Sanket, Ashish Mhaske, Shikha Bhat, and S. V. 2017. "A Diabetic Healthcare Recommendation System." *International Journal of Computer Applications* 167(5):14–18. doi: 10.5120/ijca2017914246.
- Barker-Davies, Robert M., Oliver O'Sullivan, Kahawalage Pumi Prathima Senaratne, Polly Baker, Mark Cranley, Shreshth Dharm-Datta, Henrietta Ellis, Duncan Goodall, Michael Gough, Sarah Lewis, Jonathan Norman, Theodora Papadopoulou, David Roscoe, Daniel Sherwood, Philippa Turner, Tammy Walker, Alan Mistlin, Rhodri Phillip, Alastair M. Nicol, Alexander N. Bennett, and Sardar Bahadur. 2020. "The Stanford Hall Consensus

- Statement for Post-COVID-19 Rehabilitation.” *British Journal of Sports Medicine* 54(16):949–59. doi: 10.1136/bjsports-2020-102596.
- Bascones Serrano, Luis Miguel, Verónica Martorell Martínez, and Mercedes Turrero Martín. n.d. *Accesibilidad En Las Aplicaciones y Dispositivos de Telemonitorización de La Salud Un Acercamiento a La Realidad*.
- Béjar, Juan. 2016. “APLICACIÓN PARA LA ASIGNACIÓN, REALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE TERAPIAS EN CASA.”
- Benítez-Pérez, Rosaura Esperanza, Luis Torre-Bouscoulet, Nelson Villca-Alá, Rodrigo Francisco Del-Río-Hidalgo, Rogelio Pérez-Padilla, Juan Carlos Vázquez-García, Mónica Silva-Cerón, Silvia Cid-Juárez, and Laura Gochicoa-Rangel. 2016. “Espirometría: Recomendaciones y Procedimiento.” *Revista Del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias* 75(2):173–89. doi: 10.35366/nts192c.
- Bremer, Andrew, Andrew Dias, Jeremy Glynn, and Jeremy Schaefer. 2009. “Low-Cost, Open-Source Spirometer.”
- Brennan, David M., Lyn Tindall, Deborah Theodoros, Janet Brown, Michael Campbell, Diana Christiana, David Smith, Jana Cason, Alan Lee, and American Telemedicine Association. 2011. “A Blueprint for Telerehabilitation Guidelines--October 2010.” *Telemedicine Journal and E-Health : The Official Journal of the American Telemedicine Association* 17(8):662–65. doi: 10.1089/tmj.2011.0036.
- Bruna Rabassa, Olga, Carmelo Pelegrín Valero, David Bartrés Faz, Nina Gramunt Fombuena, Judit Subirana Mirete, and Anna Dergham. 2011. “Deterioro Cognitivo Leve.” *Rehabilitación Neuropsicológica* 269-e52. doi: 10.1016/b978-84-458-2066-7.00017-3.
- Buysse, DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. n.d. “The Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI): A New Instrument for Psychiatric Research and Practice.” *Psychiatry Research* 28:193-213.
- CareFusion. n.d. “Micro Diary Operating Manual.”
- Castro, Ana, and Camilo Macías. 2010. “Actualizacion Bibliografica Sobre

- Técnicas De Relajacion.”
- Celyon. n.d. “VT650 - Analizadores de Flujo / Ventiladores.”
- Chen, Min, Yixue Hao, Kai Hwang, Lin Wang, and Lu Wang. 2017. “Disease Prediction by Machine Learning over Big Data from Healthcare Communities.” *IEEE Access* 5:8869–79. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2694446.
- Clínica Las Condes. 2017. “Recomendaciones Para Prevenir El Deterioro Cognitivo.”
- Contec Medical Systems Co. 2019. “Pulse Oximeter.” (112):1–2.
- Cuideo. 2018. “Fatiga Crónica : Tratamiento.”
- Davido, Benjamin, Sophie Seang, Roland Tubiana, and Pierre de Truchis. 2020. “Post–COVID-19 Chronic Symptoms: A Postinfectious Entity?” *Clinical Microbiology and Infection* 26(11):1448–49. doi: 10.1016/j.cmi.2020.07.028.
- Dimitrov, Dimitar V. 2016. “Medical Internet of Things and Big Data in Healthcare.” *Healthcare Informatics Research* 22(3):156–63. doi: 10.4258/hir.2016.22.3.156.
- Dodakian, Lucy, Alison L. McKenzie, Vu Le, Jill See, Kristin Pearson-Fuhrhop, Erin Burke Quinlan, Robert J. Zhou, Renee Augsberger, Xuan A. Tran, Nizan Friedman, David J. Reinkensmeyer, and Steven C. Cramer. 2017. “A Home-Based Telerehabilitation Program for Patients With Stroke.” *Neurorehabilitation and Neural Repair* 31(10–11):923–33. doi: 10.1177/1545968317733818.
- Doty, Richard L. 2019. “Treatments for Smell and Taste Disorders: A Critical Review.” *Handbook of Clinical Neurology* 164:455–79. doi: 10.1016/B978-0-444-63855-7.00025-3.
- Dumon, Marcos. 2019. “Precisión Predictiva de Algoritmos de Aprendizaje Automático En Sistemas de Recomendación.” *Buenos Aires* 1:1–121.
- Elsweiler, David, Santiago Hors-Fraile, Bernd Ludwig, Alan Said, Hanna Schäfer, Christoph Trattner, Helma Torkamaan, and André Calero Valdez. 2017. “Second International Workshop on Health Recommender Systems.”

- RecSys 2017 - Proceedings of the 11th ACM Conference on Recommender Systems* (August):374–75. doi: 10.1145/3109859.3109955.
- Epelde, Gorka, Eduardo Carrasco, Shabs Rajasekharan, Jose Manuel Jimenez, Karmelo Vivanco, Isaac Gomez-Fraga, Xabier Valencia, Julian Florez, and Julio Abascal. 2014. “Universal Remote Delivery of Rehabilitation: Validation with Seniors’ Joint Rehabilitation Therapy.” *Cybernetics and Systems* 45(2):109–22. doi: 10.1080/01969722.2014.874807.
- Equipo editorial de Psicología Online. 1969. “Test de Memoria.” 2:20.
- Feng, Fan, Sylvie Tuchman, John W. Denninger, Gregory L. Fricchione, and Albert Yeung. 2020. “Qigong for the Prevention, Treatment, and Rehabilitation of COVID-19 Infection in Older Adults.” *American Journal of Geriatric Psychiatry* 28(8):812–19.
- Fernández Andrade, Francisco Miguel, Marisa Escobar Barrios, Paola Hernández Rosales, Alberto Mandujano González, Andrea Valdelamar Dehesa, Ofelia Taniyama López, and Raúl Carrillo Esper. 2021. “Trastornos Del Olfato y Del Gusto, de Las Bases a La Práctica Clínica.” *Revista de La Facultad de Medicina* 64(2):7–21. doi: 10.22201/fm.24484865e.2021.64.2.02.
- Fernández, Javier Ramos. 2019. “Aprendizaje Automático Para Flujos de Datos.” 19–21.
- Fluke Biomedical. 2017. “Users Manual VT650 / VT900 Gas Flow Analyzer.” (Rev. 1):54.
- Forbes. 2020. “Científicos Advierten Daños Por Covid-19 En Otros Órganos Del Cuerpo.” 19.
- formlabs. 2011. “Hoja de Datos de Seguridad.” 1–4.
- formlabs. 2017. “Material Data Sheet: Standard Materials for High Resolution Rapid Prototyping.” 1–3.
- formlabs. n.d. “Form 3B.”
- Freire, Luis. 2015. “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO, PARA MONITOREAR LA CAPACIDAD VITAL

## RESPIRATORIA.”

- de Freitas Barbosa, Valter Augusto, Juliana Carneiro Gomes, Máira Araújo de Santana, Jeniffer Emidio de Almeida Albuquerque, Rodrigo Gomes de Souza, Ricardo Emmanuel de Souza, and Wellington Pinheiro dos Santos. 2020. “Heg.IA: An Intelligent System to Support Diagnosis of Covid-19 Based on Blood Tests.” *MedRxiv* (May). doi: 10.1101/2020.05.14.20102533.
- Galán, Sergio Manuel. 2007. “Filtrado Colaborativo y Sistemas de Recomendación.” *IRC 2007*, Universidad Carlos III de Madrid 1–8.
- García-Río, Francisco, Myriam Calle, Felipe Burgos, Pere Casan, Félix del Campo, Juan B. Galdiz, Jordi Giner, Nicolás González-Mangado, Francisco Ortega, and Luis Puente Maestu. 2013. “Espirometría.” *Archivos de Bronconeumología* 49(9):388–401. doi: 10.1016/j.arbres.2013.04.001.
- Garg, Prerna, Umang Arora, Arvind Kumar, and Naveet Wig. 2021. “The ‘Post-COVID’ Syndrome: How Deep Is the Damage?” *Journal of Medical Virology* 93(2):673–74. doi: 10.1002/jmv.26465.
- Giuseppe-Liistro, and A. Ajata-Chura. 2020. “FEV1/FEV6 y FEV6 Una Alternativa Para FEV1/FVC y FVC En La Detección de Obstrucción de Vías Respiratorias.” *Cuadernos Hospital de Clínicas* 61(1):52–59.
- Global Lung Function Initiative; n.d. “What Reference Equations Do I Apply for Non-Caucasians?”
- Global Lung Function Initiative; n.d. “Which Organization Support the GLI-2021 Equation?” *Global Lung Function Initiative*;
- González, Melanie, and Ginny Guerrero. 2021. *Secuelas Post COVID-19*.
- Guo, Shuxiang, Yi Liu, Ying Zhang, Songyuan Zhang, and Keiji Yamamoto. 2016. “A VR-Based Self-Rehabilitation System.” *2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, IEEE ICMA 2016* (May 2018):1173–78. doi: 10.1109/ICMA.2016.7558728.
- Gutiérrez, Christopher. 2016. “Sistema de Monitoreo Continuo de Signos Vitales Con Sensores No Invasivos y Transmisión Inalámbrica de Datos.” 93.
- Gutiérrez Clavería, Mónica, Teresa Beroíza W., Gisella Borzone T., Iván

- Caviedes S., Juan Céspedes G., Mónica Gutiérrez N., Rodrigo Moreno B., Manuel Oyarzún G., Sylvia Palacios M., and Patricia Schonffeldt G. 2007. “Espirometría: Manual de Procedimientos. Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias, 2006.” *Revista Chilena de Enfermedades Respiratorias* 23(1):31–42. doi: 10.4067/s0717-73482007000100005.
- Hamet, Pavel, and Johanne Tremblay. 2017. “Artificial Intelligence in Medicine.” *Metabolism: Clinical and Experimental* 69:S36–40. doi: 10.1016/j.metabol.2017.01.011.
- Holter, Monitoreo. n.d. “Palpitaciones Cardíacas.”
- Hostipal Regional de Chepo, Servicio de Fisioterapia. 2021. “Fisioterapia Respiratoria Para Personas Afectadas Por El Covid-19.”
- Instituto Nacional del Cancer. 2021. “Fatiga.” 2021.
- Jesús Ortigosa, Rafael E. Reigal, Gabriel Carranque, Antonio Hernández-Mendo. 2018. “VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA: INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES PRÁCTICAS PARA EL CONTROL DE LOS PROCESOS ADAPTATIVOS EN EL DEPORTE.” 13:1–26.
- Jin, Zhanpeng, Xiaoliang Wang, Qiong Gui, Bingwei Liu, and Sejun Song. 2014. “Improving Diagnostic Accuracy Using Multiparameter Patient Monitoring Based on Data Fusion in the Cloud.” *Lecture Notes in Electrical Engineering* 276 LNEE:473–74. doi: 10.1007/978-3-642-40861-8.
- Jorge, Autor, and González Pulido. 2020. “Revisión Bibliográfica : Telemonitorización La Hipertensión Arterial En El Domicilio.”
- Junta editorial de Cancer.Net. 2018. “Dificultad Para Respirar o Disnea.” *Cancer.Net: Información Al Paciente Aprobada Por El Médico American Society of Clinical Oncology (ASCO®)*.
- Kamal, Marwa, Marwa Abo Omirah, Amal Hussein, and Haitham Saeed. 2021. “Assessment and Characterisation of Post-COVID-19 Manifestations.” *International Journal of Clinical Practice* 75(3):1–5. doi: 10.1111/ijcp.13746.
- Khan, Mohammad Ayoub, and Fahad Algarni. 2020. “A Healthcare Monitoring System for the Diagnosis of Heart Disease in the IoMT Cloud Environment

- Using MSSO-ANFIS.” *IEEE Access* 8:122259–69. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3006424.
- Klok, Frederikus A., Gudula J. A. M. Boon, Stefano Barco, Matthias Endres, J. J. Miranda Geelhoed, Samuel Knauss, Spencer A. Rezek, Martijn A. Spruit, Jörg Vehreschild, and Bob Siegerink. 2020. “The Post-COVID-19 Functional Status Scale: A Tool to Measure Functional Status over Time after COVID-19.” *European Respiratory Journal* 56(1):10–12. doi: 10.1183/13993003.01494-2020.
- Kumar, Gaurav, Km Shilpa Maurya, Gargi Goyal, and Assistant Professor. 2017. “Design and Development of Heart Rate and Temperature Measuring Device Using MATLAB.” 6(5):11–13.
- Landi, F., E. Gremese, R. Bernabei, M. Fantoni, A. Gasbarrini, C. R. Settanni, F. Benvenuto, G. Bramato, A. Carfi, F. Ciciarello, M. R. Lo Monaco, A. M. Martone, E. Marzetti, C. Napolitano, F. Pagano, S. Rocchi, E. Rota, A. Salerno, M. Tosato, M. Tritto, R. Calvani, L. Catalano, A. Picca, G. Saveria, E. Tamburrini, A. Borghetti, S. Di Gianbenedetto, R. Murri, A. Cingolani, G. Ventura, E. Taddei, D. Moschese, A. Ciccullo, L. Stella, G. Addolorato, F. Franceschi, G. Mingrone, M. A. Zocco, M. Sanguinetti, P. Cattani, S. Marchetti, A. Bizzarro, A. Lauria, S. Rizzo, M. C. Savastano, G. Gambini, G. M. Cozzupoli, C. Culiarsi, G. C. Passali, G. Paludetti, J. Galli, F. Crudo, G. Di Cintio, Y. Longobardi, L. Tricarico, M. Santantonio, D. Buonsenso, P. Valentini, D. Pata, D. Sinatti, C. De Rose, L. Richeldi, F. Lombardi, A. Calabrese, G. Sani, D. Janiri, G. Giuseppin, M. Molinaro, M. Modica, L. Natale, A. R. Larici, R. Marano, A. Paglionico, L. Petricca, L. Gigante, G. Natalello, A. L. Fedele, M. M. Lizzio, A. Santoliquido, L. Santoro, A. Nesci, and V. Popolla. 2020. “Post-COVID-19 Global Health Strategies: The Need for an Interdisciplinary Approach.” *Aging Clinical and Experimental Research* 32(8):1613–20. doi: 10.1007/s40520-020-01616-x.
- Laverde, Diego Alexander Cruz, Brian Ricardo Páez Bernal, and Daniela Pulido Martínez. 2020. “DISEÑO DE UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA TERAPIAS

- BINOCULARES PASIVAS DE MOVIMIENTOS SACÁDICOS Y DE SEGUIMIENTO.” *SELL Journal* 5(1):55.
- López-Herranz, G. Patricia. 2003. “Oximetría de Pulso: A La Vanguardia En La Monitorización No Invasiva de La Oxigenación.” *Revista Médica Del Hospital General de México* 66(3):160–69.
- Loven, Carl Nenzen (UNEP), and Cyril (UNEP) Villemain. 2021. “El Síndrome Post COVID y La Reinfeción Son Una Realidad, Lo Más Seguro Es Evitar El Contagio.” *El Coronavirus Ha Costado Ya 50.000 Millones de Dólares a La Economía Mundial* 1–7.
- Mahase, Elisabeth. 2020. “Covid-19: What Do We Know about ‘Long Covid’?” *The BMJ* 370:9–10. doi: 10.1136/bmj.m2815.
- Mahmud, Md Shaad, Honggang Wang, Esfar E. Alam, and Hua Fang. 2016. “A Real Time and Non-Contact Multiparameter Wearable Device for Health Monitoring.” *2016 IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM 2016 - Proceedings*. doi: 10.1109/GLOCOM.2016.7841538.
- Maquet. n.d. “Manual de Servicio (Técnico) Del Mini Compresor.”
- Marla Apt. 2021. “Yoga Postures for Fatigue Relief.”
- Martinho, João, Luís Prates, and João Costa. 2014. “Design and Implementation of a Wireless Multiparameter Patient Monitoring System.” *Procedia Technology* 17:542–49. doi: 10.1016/j.protcy.2014.10.261.
- Maxim Integrated. 2014. “Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health.” *Lecture Notes in Energy* 38:1–29.
- Mayo Clinic. 1952. “Dolor de Cabeza.” *Boletín de La Asociación Médica de Puerto Rico* 44(1):28–33.
- Mayo Clinic. n.d. “Bradycardia.”
- Mayo Clinic. n.d. “Dolores de Cabeza Crónicos Diarios.”
- Mayo Clinic. n.d. “Hipoxemia.”
- Mayo Clinic. n.d. “Palpitaciones Cardíacas.”
- McCallum, Katie. 2021. “Post-COVID Syndrome : What Should You Do If You Have Lingering COVID-19 Symptoms ? Stay up-to-Date Can Anyone



- Experience Lingering COVID-19 Symptoms ? What Should Someone Who 's Experiencing Post-COVID Syndrome Do ?" 1–4.
- Medinistros. 2018. "Te Enseñaremos Cómo Aumentar La Capacidad Pulmonar." 315–17.
- Miglis, Mitchell G., Brent P. Goodman, Kamal R. Chémali, and Lauren Stiles. 2021. "Re: 'Post-COVID-19 Chronic Symptoms' by Davido et Al." *Clinical Microbiology and Infection* 27(3):494. doi: 10.1016/j.cmi.2020.08.028.
- MINSA. 2022. "DATOS ACTUALES COVID-19."
- MINSA, and CSS. 2021. "MINSA y CSS Realizan Apertura de Clínicas Post COVID Enero." 1–4.
- MIT App Inventor. 2017. "MIT App Inventor." *Darwin's Mother* 45–45. doi: 10.2307/j.ctt1whm939.32.
- Moreno-Pérez, Oscar, Esperanza Merino, Jose Manuel Leon-Ramirez, Mariano Andres, Jose Manuel Ramos, Juan Arenas-Jiménez, Santos Asensio, Rosa Sanchez, Paloma Ruiz-Torregrosa, Irene Galan, Alexander Scholz, Antonio Amo, Pilar González-delaAleja, Vicente Boix, and Joan Gil. 2021. "Post-Acute COVID-19 Syndrome. Incidence and Risk Factors: A Mediterranean Cohort Study." *Journal of Infection* 82(3):378–83. doi: 10.1016/j.jinf.2021.01.004.
- Moroney, Laurence. 2017. "The Firebase Realtime Database." *The Definitive Guide to Firebase* 51–71. doi: 10.1007/978-1-4842-2943-9\_3.
- MSD Manual. n.d. "PFT Adjusted Predicted Values for Men." L:7–8.
- MSD Manual. n.d. "PFT Adjusted Predicted Values for Women." L:0–1.
- Munnoch, Robert, and Ping Jiang. 2015. "A Personal Medical Device for Multi-Sensor, Remote Vital Signs Collection in the Elderly." *Proceedings of the 2015 Science and Information Conference, SAI 2015* 1122–31. doi: 10.1109/SAI.2015.7237285.
- Murcia-Gallardo, S. 2012. "Un Estudio Sobre La Influencia Del Entrenamiento Cognitivo En Pacientes Con La Enfermedad de Alzheimer." 5–7.
- Nalbandian, Ani, Kartik Sehgal, Aakriti Gupta, Mahesh V Madhavan, Claire

- McGroder, Jacob S. Stevens, Joshua R. Cook, Anna S. Nordvig, Daniel Shalev, Tejasav S. Sehrawat, Neha Ahluwalia, Behnood Bikdeli, Donald Dietz, Caroline Der-Nigoghossian, Nadia Liyanage-Don, Gregg F. Rosner, Elana J. Bernstein, Sumit Mohan, Akinpelumi A. Beckley, David S. Seres, Toni K. Choueiri, Nir Uriel, John C. Ausiello, Domenico Accili, Daniel E. Freedberg, Matthew Baldwin, Allan Schwartz, Daniel Brodie, Christine Kim Garcia, Mitchell S. V Elkind, Jean M. Connors, John P. Bilezikian, Donald W. Landry, and Elaine Y. Wan. 2021. “Post-Acute COVID-19 Syndrome.” *Nature Medicine*. doi: 10.1038/s41591-021-01283-z.
- Nall, Rachel. 2021. “¿Qué Ejercicios Pueden Aumentar La Capacidad Pulmonar?”
- Navarro, Sonia. 2021. “Entérese Del Síndrome Postcovid y Como Se Atiende En Panamá.” 3–5.
- NHS. n.d. “Breathlessness.”
- NHS England. n.d. “Fatigue.”
- NHS England. n.d. “Sleeping Well.”
- Odriozola, Víctor Navarro Joana Guarch Domenech. 2018. “Trastorno Cognitivo.” 1–5.
- OMS. 2021. “Información Básica Sobre La COVID-19.” 2019–22.
- OMS, and OPS. 2020. “Aspectos Técnicos y Regulatorios Sobre El Uso de Oxímetros de Pulso En El Monitoreo de Pacientes Con COVID-19.” *Organización Mundial de La Salud* 1–20.
- Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud. 2020. “Alerta Epidemiológica Complicaciones y Secuelas Por.” *Ops/Oms* 2:17.
- Oronsky, Bryan, Christopher Larson, Terese C. Hammond, Arnold Oronsky, Santosh Kesari, Michelle Lybeck, and Tony R. Reid. 2021. “A Review of Persistent Post-COVID Syndrome (PPCS).” *Clinical Reviews in Allergy and Immunology* (0123456789). doi: 10.1007/s12016-021-08848-3.
- PAHO. 2022. “COVID-19 IN THE AMERICAS.” 4–11.

- Peñaloza Báez, Marcela Juliana. 2018. "Big Data y Analítica Del Aprendizaje En Aplicaciones de Salud y Educación Médica." *Investigación En Educación Médica* 7(25):61–66. doi: 10.1016/j.riem.2017.11.003.
- Peretti, Alessandro, Francesco Amenta, Seyed Khosrow Tayebati, Giulio Nittari, and Syed Sarosh Mahdi. 2017. "Telerehabilitation: Review of the State-of-the-Art and Areas of Application." *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies* 4(2):1–9. doi: 10.2196/rehab.7511.
- Postolache, Octavian, D. Jude Hemanth, Ricardo Alexandre, Deepak Gupta, Oana Geman, and Ashish Khanna. 2021. "Remote Monitoring of Physical Rehabilitation of Stroke Patients Using IoT and Virtual Reality." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 39(2):562–73. doi: 10.1109/JSAC.2020.3020600.
- Prawiro, Eka Adi Prasetyo Joko, Nai Kuan Chou, Ming Wei Lee, and Yuan Hsiang Lin. 2019. "A Wearable System That Detects Posture and Heart Rate: Designing an Integrated Device with Multiparameter Measurements for Better Health Care." *IEEE Consumer Electronics Magazine* 8(2):78–83. doi: 10.1109/MCE.2018.2880829.
- Quispe-Juli, Cender Udai, Víctor Hugo Moquillaza-Alcántara, and Katherine Linda Arapa-Apaza. 2019. "Telehealth in Latin America: A Review of the Studies Registered in Clinicaltrials.Gov." *Revista Cubana de Informacion En Ciencias de La Salud* 30(4):1–12. doi: 10.36512/rcics.v30i4.1389.g871.
- Raghupathi, Wullianallur, and Viju Raghupathi. 2012. "Big Data Analytics in Healthcare: Promise and Potential." *Communications of the ACM* 55(10):11–13. doi: 10.1145/2347736.2347741.
- Reyes, Alejandro. 2021. "Advierten Sobre Secuelas En Personas Que Padedieron APC Intelidat Está Preparada Para Cumplir Con La Nueva Ley de Prescripción de Historial Crediticio." 19:2–3.
- Riester. n.d. "Spirotest."
- Romero de Ávila Cabezón, Gabriel, Jaime González Rey, César Rodríguez Estévez, Rosario Timiraos Carrasco, M<sup>a</sup> Angélica Molina Blanco, M<sup>a</sup> Isabel

- Galego Riádigos, Rosa García Palenzuela, Graciela González Belmonte, and Rocío Pérez Amor. 2013. "Las 4 Reglas de La Espirometría." *Ano* 20(7).
- Rosa-Reyes, Magdalena de la, Luis Alejandro Aguilera-Galaviz, Roxana Araujo-Espino, Óscar Cepeda-Argüelles, César Gaitán-Fonseca, and Carlos Bermúdez-Jiménez. 2021. "Oximetría de Pulso y Su Eficacia Para Diagnosticar Vitalidad Pulpar." 78(2):84–89. doi: 10.35366/99283.
- Rosenshain, Rella. 2021. "Las Secuelas Que Deja La COVID-19Cocodrilo, L. D., & Rosenshain, R. (2021). Las Secuelas Que Deja La COVID-19. 19–21." 19–21.
- Sakra World Hospital. 2021. "Post COVID Recovery Rehabilitation Program."
- Sanchez, J. 2021. "Clínicas Post Covid , Alternativa Para Pacientes Afectados Por El Nuevo Coronavirus." 1–4.
- dos Santos, Alaneir de Fátima, and Andrés Fernández. 2013. "Desarrollo de La Telesalud En América Latina." *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe. Naciones Unidas*. 611.
- Satpathy, Sambit, Prakash Mohan, Sanchali Das, and Swapan Debbarma. 2020. "A New Healthcare Diagnosis System Using an IoT-Based Fuzzy Classifier with FPGA." *Journal of Supercomputing* 76(8):5849–61. doi: 10.1007/s11227-019-03013-2.
- Schneider, Eric C. 2020. "Failing the Test — The Tragic Data Gap Undermining the U.S. Pandemic Response." *New England Journal of Medicine* 383(4):299–302. doi: 10.1056/nejmp2014836.
- sdi DIAGNOSTICS. 2007. "Astra100 Spirometer."
- Sensirion. 2019. "Datasheet SDP8xx-Digital; Digital Differential Pressure Sensor." (April):1–14.
- Sepúlveda C, Valeria, Sofía Weissbluth A, and Claudia González G. 2020. "Anosmia y Enfermedad Por Coronavirus 2019 (COVID-19): ¿Qué Debemos Saber? TT - Anosmia and Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): ¿What Should We Know?" *Revista de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza* 80(2):247–58.

- Sheehy, Lisa Mary. 2020. "Considerations for Post-Acute Rehabilitation for Survivors of COVID-19 Table of Contents."
- Shiller, America. n.d. "Afectaciones Neurológicas Del COVID-19 : Anosmia y Disgeusia." 7–10.
- Smyth, Carole A. MSN, ANP-GNP, APRN, BC. n.d. "Evaluating Sleep Quality in Older Adults: The Pittsburgh Sleep Quality Index Can Be Used to Detect Sleep Disturbances or Deficits."
- Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR). 2013. *Normativa Sobre La Espirometría*. Vols. 63: 978-84.
- Solomon, Ps, A. Hirschhoff, B. Kelly, M. Relin, R. De Veaux, and W. Pendlebury. n.d. "Prueba de Los Siete Minutos."
- Strogonovs, Raivis. 2017. "Implementing Pulse Oximeter Using." 1–20.
- Tran, Thi Ngoc Trang, Alexander Felfernig, Christoph Trattner, and Andreas Holzinger. 2021. "Recommender Systems in the Healthcare Domain: State-of-the-Art and Research Issues." *Journal of Intelligent Information Systems* 57(1):171–201. doi: 10.1007/s10844-020-00633-6.
- TVN Noticias. 2021. "Conozca Cuáles Son Los Síntomas Más Frecuentes Después de Padecer COVID-19." 2–3.
- UAM. 2020. "COVID-19 Persistente: Las Secuelas Que Han Quedado Invisibilizadas Para El Sector Salud En México | Noticias."
- Universidad de Sevilla. n.d. "Derivación e Integración En Física (GIE)."
- Vitalograph. 2010. "4000 Respiratory Monitor Copd-6TM Usb User Manual." 36:1–22.
- WEGSTR. n.d. "CNC WEGSTR."
- Welch Allyn. n.d. "Welch Allyn 3 Liter Calibration Syringe." (800).
- WELLPCB. n.d. "PCB Manufacturing CNC Machines-High Tech." 1–2.

## ÁPENDICE A: MANUAL DE USO DEL PROTOTIPO

### Advertencias:

- Durante el uso del oxímetro de pulso debe quitarse el esmalte de uñas del dedo en el que se realizarán las mediciones.
- Las extremidades frías deben calentarse antes de la medición con el oxímetro.
- Cuando el oxímetro fuera utilizado por más de una persona, deberá ser limpiado entre un uso y otro.
- El oxímetro puede limpiarse frotando suavemente con una tela húmeda o un hisopo humedecido con alcohol en la superficie. No sumerja el oxímetro en líquido para limpiarlo.
- Para mayor precisión, se recomienda no probar el espirómetro en el mismo paciente más de 5 veces.
- El paciente debe exhalar todo el aire durante la prueba, no cambiar el aire ni toser.
- No utilice el espirómetro en un ambiente con una temperatura más baja.
- Este dispositivo no está indicado para tratamiento.
- Utilice únicamente los accesorios suministrados/recomendados por el fabricante.
- Se recomienda realizar la calibración del espirómetro periódicamente con el uso de una jeringa de 3 litros para garantizar el correcto funcionamiento de este dispositivo.

### Calibración:

1. Presione el icono *parámetros* en la barra inferior.
2. Retraiga el émbolo del calibrador de 3L hasta su tope, luego conéctelo al conector neumo-paciente.
3. Seleccione el botón *calibrar* y presione el émbolo hasta su tope; espere unos segundos hasta observar el volumen en el espacio al lado del botón.

## Instrucciones de uso

1. Después de encender el dispositivo, abra la aplicación móvil.
2. Regístrese e ingrese a su perfil, actualice sus datos de ser necesario.
3. Presione el icono *síntomas* en la barra inferior de la interfaz, posteriormente complete las preguntas.
4. Presione el icono *parámetros* en la barra inferior. Encienda el bluetooth en su dispositivo móvil, presione conectar y seleccione PC19-M&T. Asegúrese de mantenerse conectado al realizar las mediciones.
5. Al monitorear su saturación en el hogar, las personas deben descansar, permanecer en silencio y sin hablar durante varios minutos antes de realizar una medición.
6. Coloque el dedo índice de manera uniforme en la base de la pinza teniendo las mordazas abiertas.
7. Presione la yema del dedo contra el tope del sensor para que se sitúe sobre la ventana del sensor.
8. Presione el botón *iniciar*, posteriormente debe observarse la lectura del oxímetro en el dispositivo móvil. Solo debe considerarse aquellos valores asociados con una señal de pulso fuerte. Luego presione *guardar*.
9. Repita estos pasos dos veces más, si en el segundo intento el SpO<sub>2</sub> fue mayor, presione *guardar*, de lo contrario, realice el tercer intento. El SpO<sub>2</sub> mayor de los 3 intentos es su valor de saturación de oxígeno ideal.
10. En la prueba de espirometría, siéntese en un lugar cómodo e inhale todo el aire posible, selle los labios alrededor de la boquilla.
11. Presione el botón *iniciar* y sople todo el aire con tanta fuerza y lo más rápido como le sea posible, espere unos segundos.
12. Los parámetros medidos aparecerán automáticamente en el dispositivo móvil. Luego presione *guardar*.
13. Presione el botón *reset* que se encuentra al lado derecho del interruptor de encendido.

14. Repita estos pasos dos veces más, si en el segundo intento la FVC fue mayor, presione *guardar*, de lo contrario, realice el tercer intento. El FVC mayor de los 3 intentos es su valor de volumen máximo.
15. Para ver sus recomendaciones, presione el icono *sugerencias*
16. Para ver sus actividades recomendadas, presione el icono *terapia* en la barra inferior.



## ÁPENDICE B: PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO

```
PARAMETROS  calibracion  espirometro  oximetro

#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <Arduino.h>
#include <SensirionI2CSdp.h>
#include "MAX30100_PulseOximeter.h"

#define ESPIRO OX25
#define OXIMETRO OX57

SoftwareSerial bluetooth (0,1);
char valor;

PulseOximeter pox;
uint32_t tsLastReport = 0;
float lpm = 0;
float spo2 = 0;
float lpm_i = 0;
float spo2_i = 0;

SensirionI2CSdp sdp;
const int numLecturas = 15;
float lecturas[numLecturas];
int indice = 1;
int indicel = 1;
float cte = 0;
int index = 0;
int indexl = 0;
float fev0 = 0.0;
float fev1 = 0.0;
float fev2 = 0.0;
float fev3 = 0.0;
float fev4 = 0.0;
float fev5 = 0.0;
float fev6 = 0.0;
float fev7 = 0.0;
float fev8 = 0.0;
float fev9 = 0.0;
float fev10 = 0.0;
float fev11 = 0.0;
float fev12 = 0.0;
float fev13 = 0.0;
float fev14 = 0.0;
float fev15 = 0.0;
float fev16 = 0.0;
```

```

float fvc          = 0.0;
float fvcl        = 0.0;
float flujo       = 0.0;
float flujoAvg    = 0.0;
float flujoLs     = 0.0;
float presionmmhg = 0.0;
float ajuste;
long t=0;
float volumen     = 0.0;
uint16_t error;
char errorMessage[256];

ISR(TIMER1_COMPA_vect)
{
    t++;
}

void setup() {
    // TIMER 1 for interrupt frequency 50 Hz:
    cli(); // stop interrupts
    TCCR1A = 0; // set entire TCCR1A register to 0
    TCCR1B = 0; // same for TCCR1B
    TCNT1  = 0; // initialize counter value to 0
    OCR1A = 39999; // = 16000000 / (8 * 50) - 1 (must be <65536)
    TCCR1B |= (1 << WGM12);
    TCCR1B |= (0 << CS12) | (1 << CS11) | (0 << CS10);
    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
    sei(); // allow interrupts

    Wire.begin();
    Serial.begin(115200);
    bluetooth.begin(115200);

    !pox.begin();
    pox.setIRLedCurrent(MAX30100_LED_CURR_50MA);
    sdp.begin(Wire, SDP8XX_I2C_ADDRESS_0);
    error = sdp.startContinuousMeasurementWithDiffPressureTCompAndAveraging();
    t=0;
}

void loop() {
    oximetro();

    if (Serial.available()){
        valor = Serial.read();
        if (valor == 'E'){
            t=0;
        }
    }
}

```

```

    for (index = 0; index = 16; index++){
    espirometro();
    delay(100);
    }
    }
    if (valor == 'O'){
    Serial.println(lpm_i,0);
    Serial.println(spo2_i,0);
    }
    if (valor == 'C'){
    t=0;
    for (index1 = 0; index1 = 8; index1++){
    calibracion();
    }
    }
}
}
}

```

PARAMETROS

calibracion

espirometro

oximetro

```

void calibracion() {
Wire.beginTransaction(ESPIRO);
Wire.write(0);
Wire.endTransmission();
Wire.requestFrom(ESPIRO, 1);
float differentialPressure;
float temperature;
error = sdp.readMeasurement(differentialPressure, temperature);
if (error) {
Serial.println("Error");
errorToString(error, errorMessage, 256);
} else {
if (indicel <8){
flujo = 1000*(differentialPressure*1193*PI*pow(0.000381,4))/(8*0.00001876*0.045);
flujoAvg = (flujo+flujoAvg)/2;
flujoLs = (0.4139*flujoAvg) + 0.0178;
volumen += flujoLs*(t*0.020);
fvc = volumen;
cte=cte+(t*0.020);
t=0;
if (cte>=1) {
indicel ++;
if (indicel >= 8){
if ((fvc <= 2.895) or (fvc >= 3.105)){
ajuste = 3-fvc;
fvcl = fvc + ajuste;
Serial.println(ajuste,3);
Serial.println(fvcl,3);
}
}
}
}
}
}

```

```

        } else {
            fvcl = fvc + ajuste;
        }
        cte=0;
    }
}
}
}
}

```

PARAMETROS

calibracion

espirometro

oximetro

```

void espirometro() {
    Wire.beginTransaction(ESPIRO);
    Wire.write(0);
    Wire.endTransmission();
    Wire.requestFrom(ESPIRO, 1);
    float differentialPressure;
    float temperature;
    error = sdp.readMeasurement(differentialPressure, temperature);
    if (error) {
        Serial.println("Error");
        errorToString(error, errorMessage, 256);
        Serial.println("Error");
        Serial.println("Error");
    } else {
        if (indice <16){
            flujo = 1000*(differentialPressure*1193*PI*pow(0.000381,4))/(8*0.00001876*0.045);
            flujoAvg = (flujo+flujoAvg)/2;
            flujoLs = (0.4139*flujoAvg) + 0.0178;
            volumen += flujoLs*(t*0.020);
            fvc = volumen;
            cte=cte+(t*0.020);
            t=0;
            if (cte>=1) {
                lecturas[indice] = volumen;
                indice ++;
                if (indice >= 16){
                    fev1 = lecturas[1];
                    fev2 = lecturas[2];
                    fev3 = lecturas[3];
                    fev4 = lecturas[4];
                    fev5 = lecturas[5];
                    fev6 = lecturas[6];
                    fev7 = lecturas[7];
                    fev8 = lecturas[8];
                    fev9 = lecturas[9];
                    fev10 = lecturas[10];
                    fev11 = lecturas[11];
                    fev12 = lecturas[12];
                    fev13 = lecturas[13];
                    fev14 = lecturas[14];
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        fev15 = lecturas[15];
        fev16 = lecturas[16];
        Serial.print(fev1,2);
        Serial.print("\n");
        Serial.print(fvc,2);
        Serial.print("\n");
        Serial.print(fev0,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev1,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev2,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev3,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev4,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev5,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev6,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev7,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev8,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev9,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev10,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev11,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev12,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev13,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev14,10);
        Serial.print(",");
        Serial.print(fev15,10);
        Serial.print("\n");
    }
    cte=0;
}
}
}
}

```

```
void oximetro () {
  Wire.beginTransaction(OXIMETRO);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission();
  Wire.requestFrom(OXIMETRO, 1);
  pox.update();
  if (millis() - tsLastReport > 600) {
    lpm = pox.getHeartRate();
    spo2 = pox.getSpO2();
    if (lpm > 29 && lpm < 241 && spo2 > 69 && spo2 < 100){
      lpm_i = (lpm+lpm_i)/2;
      spo2_i = (spo2+spo2_i)/2;
      tsLastReport = millis();
    }
  }
}
```

## ÁPENDICE C: CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo Nombre Apellido, con cédula de identidad personal #-###-#### certifico que mi participación es totalmente voluntaria y doy mi consentimiento de modificar, usar, reutilizar, publicar, y republicar el (los) nombre (s), datos, imagen (es) fotográfica (s) y / o filmación (es) de video en colaboración de la investigación de tesis:

Prototipo de un Sistema Inteligente Multiparámetros para Monitoreo y Terapia Remota dirigida a Pacientes post COVID-19 en la Ciudad de Panamá.

Los mismos me han sido suficientemente explicados por Melanie González y Ginny Guerrero, Técnicas en Ingeniería Biomédica.

Acepto que los datos se utilicen de cualquier forma, con fines publicitarios, editoriales.

Aclaro que he leído y entendido cada párrafo de este documento, con los que he acordado.

Panamá, 26 de marzo de 2022

Nombre Apellido

#-###-####

## CARTA DE APROBACIÓN DE REVISIÓN ORTOGRÁFICA

Panamá, 30 de mayo de 2022.

Señores  
**UDELAS**  
Ciudad

Yo, YARACEL ROSARIO HERNÁNDEZ DE CHEN, con cédula de identidad personal N° 8-492-935, asesora de redacción, ortografía y estilo del trabajo de grado, tesis, ensayo o práctica profesional, realizado por las estudiante GINNY GUERRERO, con cédula de identidad personal N°8-911-2176 Y MELANIE GONZÁLEZ con cédula de identidad personal N°8-938-664 para optar por el título de Ingeniería en Biomédica con Especialización en Electrónica Médica, hago constar que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Atentamente,



Profesora de Español

Adj. Copia de diplomas