Diseño y desarrollo de un dispositivo de medición de señales vitales para pacientes asintomáticos de COVID-19

Johanni Bohorquez, Brifscey Chura, Yereli García, Adrián Hernández, Nicolle Muñoz, Ximena Roldán
Fundamentos de Biodiseño 2020-2, Ingeniería Biomédica PUCP-UPCH

***Resumen*— El Sars-CoV-2 mostró gran impacto a escala mundial a nivel sanitario como económico, evidenciando la escasa tecnología personalizada en el monitoreo de pacientes, para dar inmediata respuesta ante este desafío se plantea la investigación Mediciones Ayudando al Paciente Asintomático (M.A.P.A.), con el objetivo de dar seguimiento mediante un dispositivo en forma de banda que mide pulsos por minuto, saturación de oxígeno y temperatura, mostrandolos en una aplicación. Los resultados esperados muestran alta fiabilidad bajo aplicación directa en la arteria supratroclear. Se concluye mediante pruebas de simulación su funcionalidad en casos reales.**

I. Introducción

A. Contexto

El COVID-19 ha generado en todo el mundo una severa crisis económica, social y de salud, que puso de manifiesto la fragilidad del modelo de desarrollo peruano, exacerbando sus numerosas desigualdades y transformando las dificultades crónicas en una crisis aguda que exige atención inmediata [1].

Desde inicio de año, el Perú sufrió un gran impacto en su actividad productiva; según el Instituto Peruano de Economía (IPE) la economía peruana fue la más impactada de los países de Latinoamérica, provocando una reducción en el empleo de 39,5% a nivel nacional, entre los meses de abril-junio. Actualmente, con el reinicio gradual de las actividades se espera que la economía peruana continúe con su trayectoria ascendente y presente cada vez tasas de crecimiento menos negativas [2].

Por otro lado, la población fue afectada por la informalidad laboral y pobreza, problemáticas que solamente generan incertidumbre al tener que encontrar otras fuentes de ingreso, exponiéndose a situaciones de riesgo y aumentando las posibilidades de infección por el virus [3].

Según el MINSA, en la actualidad se presentan alrededor de 976 621 casos confirmados de coronavirus, de los cuales aproximadamente el 80% son asintomáticos. Además, se registran 36455 muertes y 1016 casos que ocupan camas UCI.

Con el incremento de casos, el conocimiento de la enfermedad ha aumentado y se ha descrito en la literatura un fenómeno conocido como "hipoxemia silenciosa" que provoca que a pesar de que los pacientes no tengan síntomas de dificultad respiratoria estos presenten niveles bajos de oxígeno en la sangre [4]. Es por ello que diferentes especialistas han propuesto el uso de dispositivos que puedan medir signos vitales tales como la saturación de oxígeno en sangre con el fin de monitorear a pacientes asintomáticos y/o con síntomas leves de manera remota [5].

B. Problemática

Falta de tecnología personalizada y accesible para el monitoreo de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno arterial en pacientes asintomáticos a distancia.

C. Estado del arte

- OxiMax Forehead SpO2 sensor [6]: Pulsioxímetro en forma de banda situado en la frente que cuenta con un sensor encargado de medir SpO2. La empresa Nellcor considera la frente (parte inferior, arriba de la ceja) como una posición estratégica, debido a que se aprovecha la irrigación de la arteria carótida interna, la misma que transporta sangre a los ojos y el cerebro. Además, este sensor puede detectar cambios en la saturación de oxígeno arterial más rápido que otros productos existentes en el mercado. Por otro lado, la posición permite tomar medidas con mayor precisión ya que esta zona , a diferencia del dedo, es menos susceptible al movimiento.
- Medly[7]: Software gratuito que permite a los pacientes y a los médicos monitorear el estado de la enfermedad de insuficiencia cardiaca (IC) del paciente. Se ha demostrado que el uso de Medly reduce la IC y las hospitalizaciones por cualquier causa con una mejora en la calidad de vida relacionada con la IC. Este programa utiliza una aplicación de teléfono móvil, una báscula y un brazalete de presión sanguínea para controlar el peso, los signos vitales y los síntomas del paciente. A su vez, ofrece data en tiempo real y relevante para los médicos que lo utilizan, permitiendo una toma de decisiones efectiva.
- CQU-WHOOP. Sensores wearables para monitoreo de COVID: Un estudio conducido por The Central Queensland University (CQU) de en convenio con Cleveland Clinic, va a emplear data recolectada por el hardware de monitoreo de corazón WHOOP de miles de voluntarios que tengan COVID-19 para estudiar los cambios de su respiración en el tiempo[8]. Se espera que a partir de esto se pueda distinguir entre personas sanas y aquellas infectadas con la enfermedad de modo preventivo. [9]
- Pulsera inteligente para monitorear pacientes asintomáticos de COVID-19[10]: La elevada temperatura corporal y el decrecimiento de la saturación de oxígeno en la sangre son indicadores claves de una posible infección del nuevo coronavirus. Puede monitorear la saturación de

oxígeno y temperatura corporal del paciente de modo constante. Este dispositivo usa tecnología no invasiva infrarroja para calcular los parámetros previamente mencionados. Los datos que obtiene son automáticamente subidos a una aplicación para dispositivos android (vía Bluetooth), la cual puede ser revisada por el personal de salud para que en caso exista un aumento de temperatura corporal o una caída en la saturación de oxígeno, estos puedan alertar al personal de salud asignado mediante mensaje de texto.

- Biosensor Patch 1AX: Con este parche de un solo uso puede registrar la temperatura, la frecuencia respiratoria, el ECG, la frecuencia cardíaca y el movimiento del usuario. Estas medidas son mostradas en tiempo real en el teléfono del usuario a través de una aplicación. Permite que el médico esté al tanto de la situación de una gran cantidad de pacientes al mismo tiempo. [11]

D. *Objetivo del Proyecto*

Reducir la falta de tecnología personalizada para el control y monitoreo de pacientes con COVID-19 asintomáticos, mediante un sistema (hardware y software) integrado y ergonómico que permita un monitoreo continuo sin necesidad de asistencia médica constante.

II. Especificaciones de diseño

Teniendo en cuenta la problemática definida y el estado del arte analizado, se consideró una lista de requerimientos, los cuales están presentes en la propuesta de solución, y son los siguientes:

A. *Asequible*

De bajo costo, reduciendo gastos adicionales que, generalmente, el paciente cubre en consultas médicas presenciales y equipos de monitoreo.

B. *Portátil*

Práctico y fácil transporte, evitando consultas presenciales de un médico.

C. *Base de datos*

Para dar un seguimiento adecuado, la base de datos es importante, pues permite almacenar la información del paciente..

D. *Fácil de usar*

Aplicable para todo tipo de pacientes con una interfaz interactiva, amigable e intuitiva.

E. *Monitoreo de señales*

Que el teléfono móvil permita registrar las señales vitales que el usuario emite desde el dispositivo.

F. *Multifuncional*

Que considere múltiples señales que son fundamentales para un diagnóstico adecuado. Específicamente, las cardíacas y pulmonares.

G. *Sin efectos negativos a largo plazo*

No se busca causar males al paciente, es sustancial que se desarrolle un dispositivo seguro y sin interferencias negativas para su salud.

H. *Cómodo*

Es de suma importancia que el paciente no sufra molestias o incomodidad mientras realiza una actividad. Por ello, el dispositivo es cómodo y confortable para este fin.

I. *No invasivo*

Garantizar calidad, seguridad y evitar daños físicos.

En base a estos requerimientos, los estados del arte analizados fueron evaluados, los resultados se reportan en la siguiente tabla, con valores entre el 1 y el 3, siendo 1 poco satisfactorio, 2 aceptable y 3 muy satisfactorio:

CUADRO I. COMPARACIÓN DE LA TABLA DE REQUERIMIENTOS CON EL ESTADO DEL ARTE

Dispositivo	**Requerimientos**									**Total**
	A	***P***	***B***	***F***	***M***	***U***	***S***	***C***	***N***	
OxiMax	2	3	1	2	3	1	3	3	3	21
Medly	3	3	3	2	2	1	3	2	3	22
Whoop	1	2	2	2	2	2	2	2	1	16
Pulsera inteligente	– *	3	3	2	3	3	2	2	2	20
Biosensor Patch 1AX	2	3	1	3	2	2	3	2	1	19

*EL DISPOSITIVO SE ENCUENTRA EN DESARROLLO, POR LO QUE NO SE TIENE INFORMACIÓN DEL PRECIO

Leyenda:

- ***A***: Asequible
- ***P***: Portátil
- ***B***: Base de datos
- ***F***: Fácil de usar
- ***M***: Monitoreo de señales
- ***U***: Multifuncional
- ***S***: Sin efectos negativos a largo plazo
- ***C***: Cómodo
- ***N***: No invasivo

En base al cuadro, se observa que los equipos que cumplían más requerimientos de esta primera lista eran el oxímetro de pulso y el sensor de saturación de oxígeno cuyo nombre es OxiMax Forehead SPO2 [12] sensor. Sin embargo, el porcentaje de saturación de oxígeno que estos instrumentos miden no es el único que debe considerarse para la evaluación del bienestar de un paciente asintomático de COVID-19. Por ello, también es importante medir la frecuencia cardiaca y temperatura corporal del paciente. Las razones para seleccionar estos parámetros se detallan a continuación.

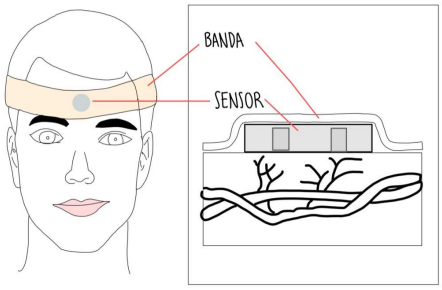
El parámetro de temperatura es sustancial, incluso si los pacientes son asintomáticos o tienen síntomas leves, los médicos deben observarlos de cerca, especialmente si presentan escalofríos o temperatura corporal > 37,5°C [13][14]. Según estudios, los pacientes que mostraron una temperatura corporal menor o igual a 36°C presentaron la

tasa de mortalidad más alta. Por otro lado, la frecuencia cardiaca es otro parámetro considerable pues las personas que padecen enfermedades cardiovasculares tienen mayor riesgo de desarrollar síntomas graves en caso de verse afectadas por COVID-19 [15].

En base a lo analizado, se elaboraron tres estrategias de solución, y la que tuvo mayor impacto fue la banda con sensores capaces de medir la temperatura, frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno, cuyas mediciones se observan desde una aplicación (Imagen 1). Esta estrategia consiste de 2 etapas:

- Etapa 1: Banda con sensores toma las señales del usuario y las manda vía Bluetooth a un dispositivo móvil.
- Etapa 2: Se reciben y procesan las mediciones en el dispositivo móvil, y este los muestra en una interfaz amigable.

Imagen 1: Boceto de la estrategia ganadora



Con esta estrategia, se definió una nueva lista de requerimientos. La diferencia principal con los anteriores radica en que se dividió los requerimientos específicos en subcategorías definidas según similitudes, teniendo:

A. *Funcionales*
   a. *Autónomo*
   b. *Base de datos*
   c. *Especificidad/sensibilidad*
   d. *Interfaz amigable*
   e. *Intuitivo*
   f. *Personalizado*

B. *Estéticos*
   a. *Agradable a la vista*
   b. *Ergonomía*
   c. *Peso*
   d. *Tamaño*
   e. *Textura*

C. *Seguridad*
   a. *Confiable*
   b. *Seguro*

D. *Ténico-productivo*
   a. *Precio*
   b. *Fabricación*

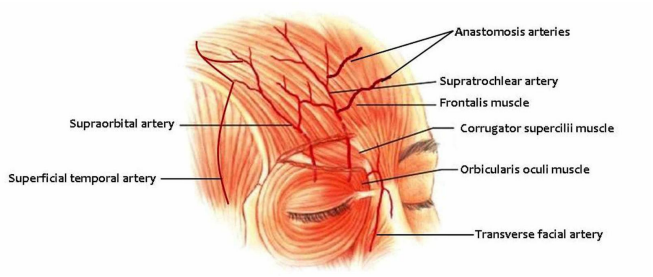
III. Diseño del dispositivo

Partes principales

Dispositivo en forma de banda: El dispositivo se nominó "M.A.P.A.", acrónimo que significa "Mediciones Ayudando al Paciente Asintomático". Consiste en una banda ligera localizada en la frente, utilizando la técnica óptica llamada fotopletismografía o PPG [16] ,que incluye un conjunto de sensores encargados de monitorear señales así como saturación de oxígeno arterial, temperatura y frecuencia cardiaca. Esta ubicación es una zona estratégica debido a que se ha demostrado que las mediciones son más precisas que las tomadas por un oxímetro de dedo convencional.[17]

Cabe señalar que las señales se van a tomar desde la arteria supratroclear, la cual está ubicada en la parte lateral de la frente (Imagen 2).

Imagen 2: Ubicación de la arteria supratroclear (rotulada como Supratrochlear artery) [18]



Cajas negras: Se realizaron esquemas de funciones tipo *Caja Negra* para el hardware, que implica a la banda; y el software, que cubre a la aplicación.

Imagen 3: Diagrama caja negra para el hardware

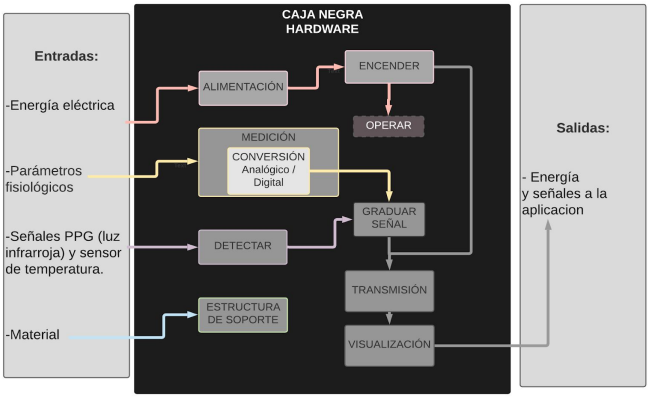
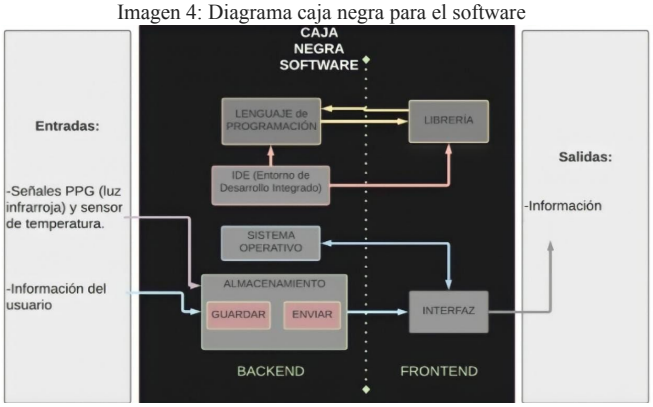


Imagen 4: Diagrama caja negra para el software



Donde, en base a las funciones de los sistemas de hardware y software, se identificó cuáles y qué tipo de componentes y funciones se tiene que incluir en el dispositivo y aplicación. Los componentes referidos se listan a continuación:

A. *Hardware*
- ❑ *Fuente de alimentación*
- ❑ *Botón de encendido*
- ❑ *Sensores*
- ❑ *Conversor analogico-digital*
- ❑ *Estructura de soporte*

B. *Software*
- ❑ *Lenguaje de programación*
- ❑ *Entorno de desarrollo*
- ❑ *Framework*
- ❑ *Sistema de almacenamiento*
- ❑ *Sistema operativo*
- ❑ *Interfaz*

Matriz morfológica: En función a lo requerido, se realizó una búsqueda de literatura ya existente, específicamente, de dispositivos similares. Basado en la información recabada, se elaboró la siguiente matriz morfológica, definiéndose tres conceptos de solución.

Para estos conceptos se definieron una serie de funciones que se deben de cumplir para trabajar con eficiencia.

A. *Funciones de hardware*
- ❑ *Estructura de soporte*
- ❑ *Alimentación*
- ❑ *Encender*
- ❑ *Detectar señales ppg*
- ❑ *Detectar temperatura*
- ❑ *Conversión*
- ❑ *Transmisión de señales*
- ❑ *Visualización*

B. *Funciones de software*
- ❑ *Contar con lenguaje de programación*
- ❑ *Entorno de desarrollo*
- ❑ *Framework y librerías*
- ❑ *Almacenamiento en la nube*
- ❑ *Sistema operativo*
- ❑ *Interfaz gráfica de usuario*

CUADRO II. MATRIZ MORFOLÓGICA DE SOFTWARE

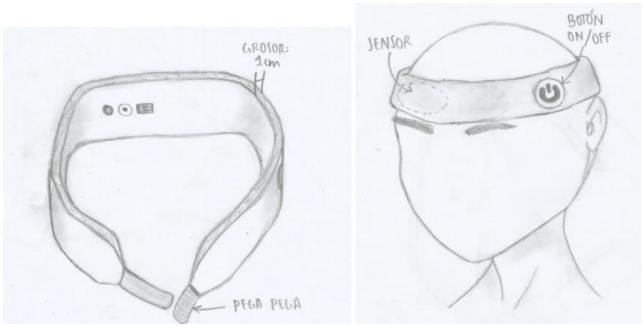
Conceptos	Funciones software					
	Lenguaje de programación	*Entorno de desarrollo*	*Framework/Librerías*	*Almacenamiento*	*Sistema operativo*	*Interfaz gráfica del Usuario*
N°1	Phyton	Geany	Scikit learn	Firebase	Ubuntu	Computador
N°2	Java	MIT App Inventor	Spring	Firebase	Android	Dispositivo móvil
N°3	***Kotlin***	Android Studio	Spring	MySQL	Android	Dispositivo móvil

CUADRO III. MATRIZ MORFOLÓGICA DE HARDWARE

Conceptos	Funciones hardware					
	Soporte	*Alimentación*	*Encender*	*Detectar PPG*	*Detectar temperatura*	*Conversión*
N°1	Esponja elástica, nylon y algodón	Cargador inalámbrico	Pulsador	Pulsioxímetro MAX30102	Sensor LM-35	Raspberry Pi Zero
N°2		Batería recargable	Botón táctil TTP223		Sensor DS18B20	Arduino Pro Mini
N°3		Pila de reloj	Encendido en aplicación			Arduino Nano

Tras una votación entre los miembros del equipo, en la que se consideraron aspectos técnicos y económicos en los 3 conceptos, se eligió como ganador al concepto número 2, del que se muestra un boceto a mano alzada en la imagen 5.

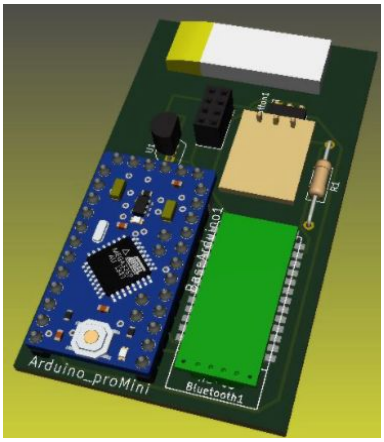
Imagen 5: Concepto elegido para el dispositivo



Placa

Se llevó a cabo la realización de una tarjeta electrónica en el software KiCAD, con el fin de distribuir correctamente el espacio dentro del dispositivo.

Imagen 6: Tarjeta 3D



Datos de la placa:

A. *Dimensiones*:
   a. Largo: 78.169 milímetros
   b. Ancho: 38.925 milímetros.

B. *Componentes*
   a. *Arduino Mini Pro:* Tarjeta diseñada para *wearables* y proyectos pequeños gracias a su tamaño. Posee un microcontrolador ATmega328P, 14 pines digitales, 8 pines analógicos, entre otras características.
   b. *Bluetooth HC-05:* Es un pequeño módulo transmisor/receptor de datos que funciona a través de tecnología bluetooth. Puede configurarse tanto modo "*esclavo*" como modo "*maestro*".[19]
   c. *Sensor de temperatura DS18B20 +:* Este sensor comprende un rango de -55 a 125ºC y tiene una buena precisión(±0,5 °C) respecto a su competencia.[20]
   d. *Sensor PPG MAX 30102*: Integra un pulsioxímetro con un monitor de frecuencia cardiaca. Permite mediciones precisas del

SPO2 del usuario. Cabe resaltar que cuenta con un sensor de temperatura interno, el cual regula los efectos de la temperatura en las mediciones.

e. *Batería de Litio li-po recargable***:** Se pueden recargar y reutilizar, y pueden tener una vida útil enorme cuando se usan correctamente y se cargan de manera segura.

f. *Botón táctil***:** Este es un sensor táctil compatible con arduino y otros microcontroladores similares. Puede detectar la cercanía de dedos para su función, el cual consiste en brindar energía para prender el aparato o ,en caso contrario , apagarlo cada que se le presione.

Desarrollo de la aplicación

Inicialmente se elaboró una serie de *mockups* que permitieron una visualización de las pantallas que tendría al interactuar con el usuario, es decir, la interfaz gráfica de la aplicación. Todo esto se realizó usando el sitio web Figma.

El proceso de la funcionalidad de la aplicación es relativamente sencillo. Se inicia desde la primera vez que es descargada y se sigue todo el proceso de registro, hasta llegar al menú principal de la aplicación.

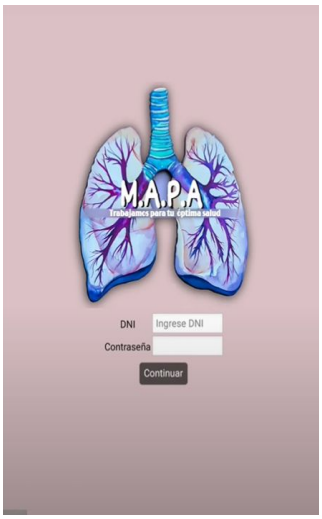
Imagen 7: *Mockup*

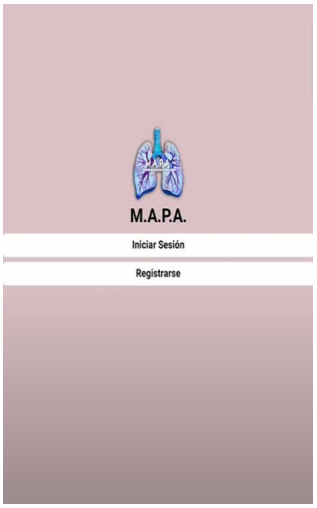


Posteriormente, con el fin de brindar un prototipo de mayor fidelidad a nuestro proyecto, se trabajó en el entorno de desarrollo llamado *MIT App Inventor*. Dicho programa se basa en el armado de prototipos de apps Android por medio de un lenguaje de programación basado en bloques [21], por lo que facilitó su procedimiento.

Se realizó dos versiones de entrada (Imagen 8): 1) Cuando ingresa por primera vez y 2) Cuando ingresa por segunda o más veces, por lo que es requisito el número de DNI y contraseña.

Imagen 8: *Versiones de entrada*





Dentro del menú principal, se establecieron diversas secciones como:

A. *"Inicio"***:** Permite evaluar las conexiones del bluetooth y dispositivo mostrando sus estados de conexión. También muestra cuánto falta para la siguiente medición y brinda la opción "medir ahora".

B. *"Mi perfil":* Se puede visualizar los datos ingresados en el proceso de registro como nombre,edad, DNI y grupo de riesgo. Ademàs, se encuentran opciones que permiten cambiar datos y cerrar sesión.

C. *"Consejos":* Adjunta diversos consejos en torno al cuidado que uno debe tener en este contexto de pandemia, así como en el ámbito médico.

D. *"Ajustes":* Permite modificar tanto el *Bluetooth* del dispositivo con el que se desea vincular, y la ubicación del usuario que ingresó previamente en el registro.

Para el almacenamiento de los datos ingresados al momento del registro de usuarios, se implementó una base de datos en el software de Google Firebase.

Ecuaciones

Variable de metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m): Existen parámetros fisiológicos, como la saturación de oxígeno arterial o SpO_2, que experimentan alteraciones por variables externas. El prototipo considerará a la altura en *m.s.n.m* para el cálculo de SpO_2, utilizando una fórmula matemática en función de la altura.

$SaO2 = 98{,}2171 + 0{,}0012 \cdot h - 0{,}0000008 \cdot h^2$, donde h es la altura. [22]

Por ello, en la aplicación se contará con una base de datos que alberga información sobre la respectiva altura de cada provincia del país.

Variable SpO2: Para la determinación de la saturación

de hemoglobina arterial con oxígeno (SpO_2), el oxímetro de pulso usa la espectrofotometría basada en que la oxihemoglobina y la desoxihemoglobina absorben y transmiten determinadas longitudes de onda del espectro luminoso para la luz roja (640-660nm) y la luz infrarroja (910-940nm). [23]

El cálculo final de los valores de saturación de oxígeno se obtienen en función a una ecuación implementada en la simulación de Proteus: **SpO2 = -33.156*R + 113.21,** donde R está dado por la absorción de luz roja dividida entre los valores de absorción de luz infrarroja.

IV. Resultados y discusiones

Desarrollo del circuito electrónico

Para evaluar el funcionamiento del dispositivo, se elaboró la programación en Arduino de los tres sensores considerados y los circuitos individuales en el software Proteus. En una primera instancia, no se logró enviar datos así que se probó el funcionamiento mediante una aplicación de prueba y el envío de datos digitales (la orden de encender y apagar un led). Posteriormente, se siguió avanzando con el desarrollo y se pudo enviar datos analógicos para cada circuito individual. A continuación, se presentan estos circuitos y una captura de pantalla de la aplicación de prueba. Cabe destacar que aunque los tres circuitos cuenten con una pantalla LCD, esta no formará parte del circuito final. Solo se colocó para los ensayos desarrollados en esta fase.

Imagen 9: *Simulación de la variable Spo2*

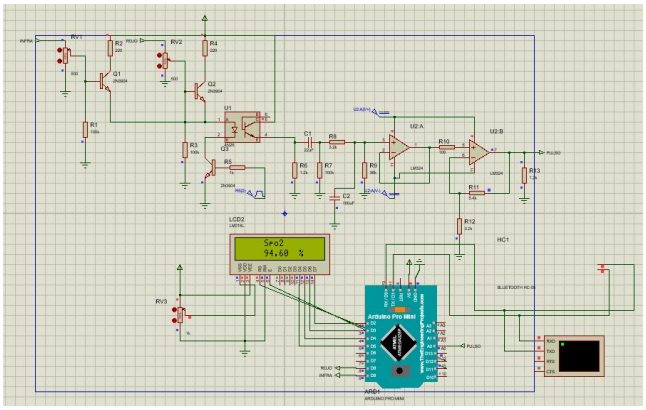


Imagen 10: *Simulación de la variable temperatura*

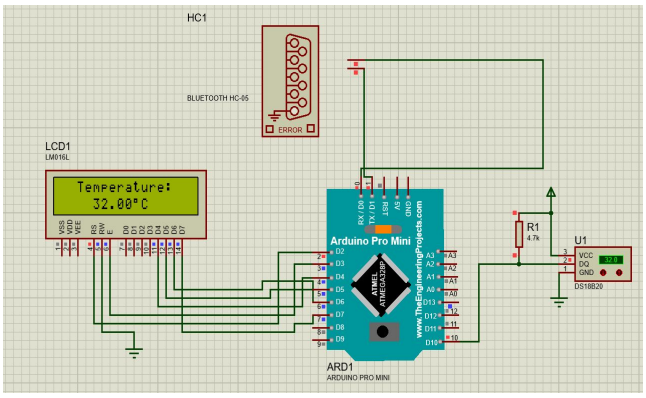


Imagen 11: *Simulación de variable PPM*

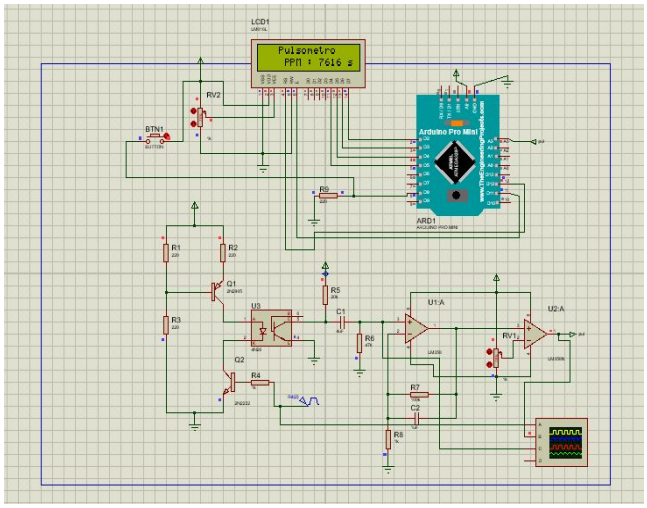
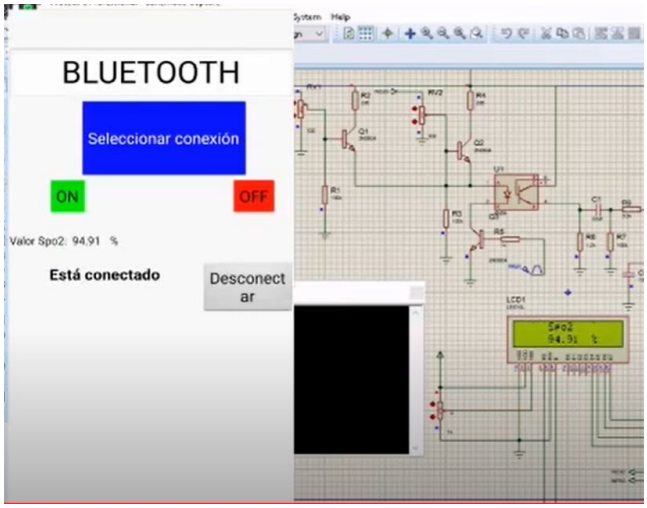
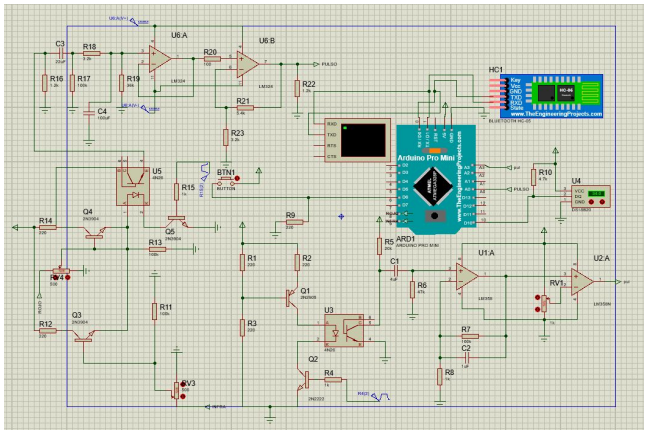


Imagen 12: *Simulación y aplicación de prueba*



Una vez comprobada la funcionalidad de cada componente de manera individual, se procedió a la elaboración del circuito completo, que integra los tres sensores, así como del código Arduino asociado a este.

Imagen 13: *Circuito completo*



Este ya no usa una pantalla LCD para probar su funcionalidad, siendo cambiado por un terminal virtual para visualizar los resultados.

Desarrollo de la aplicación

Como ya se comentó en la sección anterior, se está utilizando el software MIT App Inventor. Esto permite el desarrollo de un prototipo con nivel de fidelidad al producto final que se considera aceptable.

Dentro de los primeros avances, estuvo la implementación de la base de datos de Google Firebase para el almacenamiento de datos ingresados por usuarios (Imagen 14).

Imagen 14: *Ejemplo de uso de Firebase*



Posteriormente, se vio el modo de llamar estos datos registrados en una pestaña a otra. Esto es utilizado en la pestaña "Mi Perfil", en la que los datos que el usuario registró aparecen y puede visualizarlos.

Imagen 15: *Pestaña "Mi perfil"*



Lo siguiente fue ver el modo en que el usuario recibiría los datos tomados en la medición. Para esto se aprovechó la herramienta "Send Message", que permite enviar un mensaje de texto al usuario con ciertos datos, en este caso los tres valores ya mencionados.

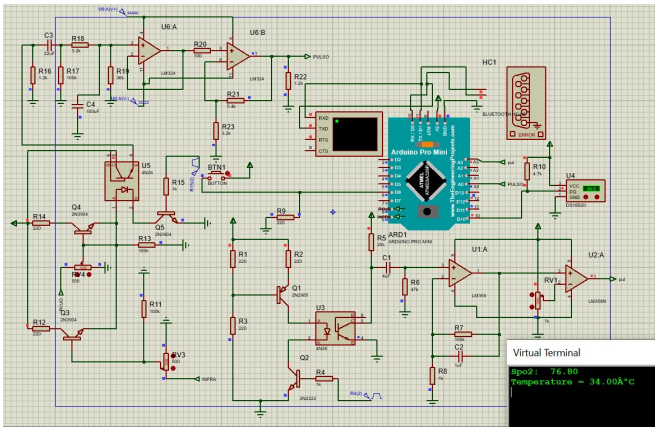
V. Conclusiones y Perspectivas

A partir de lo desarrollado, se concluye:

A. La viabilidad del desarrollo de equipos médicos de fácil uso y bajo costo que permitan al paciente de COVID-19 mantener un monitoreo constante de los signos vitales. Esto da pie al desarrollo de mayores dispositivos de esta índole que puedan tener mayor impacto a nivel nacional.
B. La factibilidad del monitoreo personalizado a pacientes asintomáticos de COVID-19.

Con el desarrollo del presente proyecto se logró la obtención de un prototipo funcional con un nivel aceptable de fidelidad, empero, se considera continuar con el desarrollo y mejora del proyecto, como:

Imagen 16: *Uso de Virtual Terminal*



Mejora del circuito

Como se observa en la Imagen 16 el circuito muestra resultados de los sensores de temperatura y saturación de oxígeno mediante un Terminal Virtual, sin embargo, hace falta optimizar el código, de modo que los pulsos por minuto también sean visualizados. Se requiere realizar una actualización significativa del circuito y código asociado, de modo que incluya los tres sensores ya especificados.

Desarrollo de prototipo funcional

Debido a las limitaciones del contexto, no se llegó a desarrollar un prototipo funcional en físico. Se espera desarrollar una versión funcional de todo el dispositivo, tanto de la banda como del circuito.

Desarrollo de la Aplicación en un software de mayor complejidad

El desarrollo de la Aplicación en una interfaz avanzada, asegura su distribución en más sistemas operativos, además de brindar mayor calidad e interactividad.

Pruebas de validación

Una vez se complete y compruebe el funcionamiento del dispositivo, se planea realizar pruebas, de manera que garantice su comodidad. En base a esto, se realizarán modificaciones en el prototipo del dispositivo.

Testeo con usuarios

Cuando se tenga un prototipo funcional del dispositivo, se espera realizar un testeo con posibles usuarios y recabar sus sugerencias, y con ello poder realizar una segunda serie de modificaciones.

Afiliación a norma ISO 13845

Se busca la afiliación a la norma ISO 13485, estándar internacional que garantiza calidad y seguridad en productos médicos.[24]

Publicación de la aplicación

El lanzamiento oficial de la aplicación en las plataformas de AppStore y Google Play Store, de manera que el usuario tenga acceso a la aplicación sin necesidad de solicitarla del sitio web.

VI. Referencias

[1] "El impacto del COVID-19 en América Latina y el Caribe JULIO 2020." [Online]. Disponible en: https://peru.un.org/sites/default/files/2020-07/SG%20Policy%20brief%20COVID%20LAC%20%28Spanish%29_10%20July_0.pdf.

[2] "Informe IPE V: Impacto del COVID-19 en la economía peruana | IPE," *Instituto Peruano de Economía*, Apr. 18, 2020. https://www.ipe.org.pe/portal/informe-ipe-v-impacto-del-covid-19-en-la-economia-peruana/ (accessed Dec. 12, 2020).

[3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe, "El desafío social en tiempos del COVID-19," 2020. [Online]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45527/5/S2000325_es.pdf

[4] S. Dhont, E. Derom, E. Van Braeckel, P. Depuydt, and B. N. Lambrecht, "The pathophysiology of 'happy' hypoxemia in COVID-19," Respiratory Research, vol. 21, no. 1, Jul. 2020, doi: 10.1186/s12931-020-01462-5.

[5] S. Shah et al., "Novel Use of Home Pulse Oximetry Monitoring in COVID-19 Patients Discharged From the Emergency Department Identifies Need for Hospitalization," Academic Emergency Medicine, vol. 27, no. 8, pp. 681–692, Jul. 2020, doi: 10.1111/acem.14053.

[6] "OxiMaxTM Forehead SpO2 Sensor and Headband *Non-Returnable*," *Boundtree.com*, 2020. https://www.boundtree.com/Miscellaneous/Customer-Specific-Products/OxiMax-Forehead-SpO2-Sensor-and-Headband-Non-Returnable-/p/9365 (accessed Dec. 09, 2020).

[7] J. M. Amadio, D. H. Brahmbhatt, H. J. Ross, V. Rao, and F. Billia, "The changing landscape of left ventricular assist device care in the setting of a pandemic," *ESC Heart Failure*, vol. 7, no. 5, pp. 2140–2142, Jul. 2020, doi: 10.1002/ehf2.12845.

[8] D. R. Seshadri *et al.*, "Wearable Sensors for COVID-19: A Call to Action to Harness Our Digital Infrastructure for Remote Patient Monitoring and Virtual Assessments," *Frontiers in Digital Health*, vol. 2, Jun. 2020, doi: 10.3389/fdgth.2020.00008.

[9] DI Labs, "How WHOOP is fighting COVID-19 | WHOOP," *WHOOP*, Sep. 29, 2020. https://www.whoop.com/how-whoop-is-fighting-covid-19/ (accessed Dec. 09, 2020).

[10] "A Smart Band for Monitoring Asymptomatic COVID-19 Subjects – Department of Electronic Systems Engineering," *Iisc.ac.in*, 2020. https://dese.iisc.ac.in/a-smart-band-for-monitoring-asymptomatic-covid-19-subjects/ (accessed Dec. 09, 2020).

[11] M. Javaid, A. Haleem, R. Vaishya, S. Bahl, R. Suman, and A. Vaish, "Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic," *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, vol. 14, no. 4, pp. 419–422, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.dsx.2020.04.032.

[12] "OxiMaxTM Forehead SpO2 Sensor and Headband *Non-Returnable*," Boundtree.com, 2020. [Online]. Available: https://www.boundtree.com/Miscellaneous/Customer-Specific-Products/OxiMax-Forehead-SpO2-Sensor-and-Headband-Non-Returnable-/p/9365. [Accessed: 06-Oct-2020]

[13] M. C. Chang, Y.-K. Park, B.-O. Kim, and D. Park, "Risk factors for disease progression in COVID-19 patients," BMC Infectious Diseases, vol. 20, no. 1, Jun. 2020 [Online]. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1186/s12879-020-05144-x#citeas. [Consultado: 07-Oct-2020]

[14] A. M. Drewry, R. Hotchkiss, and E. Kulstad, "Response to 'Body temperature correlates with mortality in COVID-19 patients,'" Critical Care, vol. 24, no. 1, Jul. 2020 [Online]. Available: https://link.springer.com/article/10.1186/s13054-020-03186-w#Bib1. [Accessed: 07-Oct-2020]

[15] World Health Organization: WHO, "Declaración de la OMS: consumo de tabaco y COVID-19," *Who.int*, 11-May-2020. [Online]. Available: https://www.who.int/es/news/item/11-05-2020-who-statement-tobacco-use-and-covid-19. [Accessed: 14-Dec-2020].

[16] Sangeeta Bagha and Laxmi Shaw, "A Real Time Analysis of PPG Signal for Measurement of SpO2 and Pulse Rate," *ResearchGate*, Dec-2011. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/220043686_A_Real_Time_Analysis_of_PPG_Signal_for_Measurement_of_SpO2_and_Pulse_Rate. [Accessed: 15-Dec-2020]

[17] G. S. Agashe, J. Coakley, and P. D. Mannheimer, "Forehead Pulse Oximetry," Anesthesiology, vol. 105, no. 6, pp. 1111–1116, Dec. 2006.

[18] L. Agorgianitis , E. Panagouli, G. Tsakotos, et al. "The Supratrochlear Artery Revisited: An Anatomic Review in Favor of Modern Cosmetic Applications in the Area." *Cureus* vol. 12, no. 2. Febrero 2020. [Online]. Disponible en: https://www.cureus.com/articles/28282-the-supratrochlear-artery-revisited-an-anatomic-review-in-favor-of-modern-cosmetic-applications-in-the-area

[19] "Configuración del módulo bluetooth HC-05 usando comandos AT," Naylampmechatronics.com, 2016. [Online]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/24_configuracion-del-modulo-bluetooth-hc-05-usa.html . [Consultado: 04-Oct-2020`]

[20] "Sensores de temperatura: ¿cuál es el más preciso? - Panama Hitek," Panama Hitek, 26-Feb-2014. [Online]. Disponible en: http://panamahitek.com/sensores-de-temperatura-cual-es-el-mas-preciso/ . [Consultado: 04-Oct-2020]

[21] E. W. Patton, M. Tissenbaum, and F. Harunani, "MIT App Inventor: Objectives, Design, and Development," Computational Thinking Education, pp. 31–49, 2019, doi: 10.1007/978-981-13-6528-7_3. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-6528-7_3. [Accessed: 15-Dec-2020]

[22] J. Botella de Maglia and L. Compte Torrero, "Saturación arterial de oxígeno a gran altitud. Estudio en montañeros no aclimatados y en habitantes de alta montaña," Medicina Clínica, vol. 124, no. 5, pp. 172–176, Feb. 2005, doi: 10.1157/13071480. [Online]. Available: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025775305716523. [Accessed: 10-Nov-2020]

[23] M. Héctor, Salas, S. Mayra, and M. Suárez, "EDUCACION mEDICA CONTINUA Oximetría de pulso Pulse oximetry" [Online]. Available: http://www.scielo.org.bo/pdf/rbp/v51n2/v51n2_a11.pdf

[24] "What is ISO 13485 and How To Get ISO 13485 Certification," Nqa.com, 2015. [Online]. Available: https://www.nqa.com/es-pe/certification/standards/iso-13485. [Accessed: 13-Dec-2020]