

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
en Mecatrónica e Ingeniera en Me-
catrónica*

PROYECTO TÉCNICO:

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA
AUTOMATIZAR LA MEDICIÓN DE SEÑALES FISIOLÓGICAS
APLICADAS EN PROTOCOLOS DE TELEMEDICINA PARA
ASISTIR EL DIAGNÓSTICO Y MONITOREO DE COVID-19"**

AUTORES:

CHRISTIAN DAMIAN LANDI SISALIMA
KARLA MAGALY LLANOS QUILLI

TUTORA:

ING. ANA CECILIA VILLA PARRA, Ph.D.

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Christian Damián Landi Sisalima con documento de identificación N° 0106557119 y Karla Magaly Llanos Quilli con documento de identificación N° 0104811880 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA AUTOMATIZAR LA MEDICIÓN DE SEÑALES FISIOLÓGICAS APLICADAS EN PROTOCOLOS DE TELEMEDICINA PARA ASISTIR EL DIAGNÓSTICO Y MONITOREO DE COVID-19”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero en Mecatrónica e Ingeniera en Mecatrónica*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



Christian Damián Landi Sisalima
C.I 0106557119



Karla Magaly Llanos Quilli
C.I 0104811880

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA AUTOMATIZAR LA MEDICIÓN DE SEÑALES FISIOLÓGICAS APLICADAS EN PROTOCOLOS DE TELEMEDICINA PARA ASISTIR EL DIAGNÓSTICO Y MONITOREO DE COVID-19**”, realizado por Christian Damián Landi Sisalima y Karla Magaly Llanos Qui-lli, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



Ing. Ana Cecilia Villa Parra, Ph.D.
C.I. 0103874194

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros Christian Damián Landi Sisalima con documento de identificación N° 0106557119 y Karla Magaly Llanos Quilli con documento de identificación N° 0104811880, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA AUTOMATIZAR LA MEDICIÓN DE SEÑALES FISIOLÓGICAS APLICADAS EN PROTOCOLOS DE TELEMEDICINA PARA ASISTIR EL DIAGNÓSTICO Y MONITOREO DE COVID-19”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre de 2021.



Christian Damián Landi Sisalima
C.I 0106557119



Karla Magaly Llanos Quilli
C.I 0104811880

Dedicatoria

Estas letras se las dedico a mi hermano y a mi mejor amigo que a pesar de ya no estar conmigo, siempre serán la razón y el motivo por la cual quiera ser mejor cada día; pues el día de mi partida quisiera estar con ellos y compartir la eternidad de la otra vida.

ULSV...

Christian

A mis padres José y Mary quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta mas, gracias porque con sus consejos y palabras hicieron de mi una mejor persona.

A mi familia: Fer, Daniela, Mayra y Molly; gracias por acompañarme en todos mis sueños y metas.

A mis amigas y amigos, por apoyarme cuando más lo necesito, por todas las experiencias que enriquecen mi personalidad, de verdad mil gracias, siempre están en mi corazón.

Por último, a la cosa más bonita del mundo y mi mundo entero. Cloe, donde sea que te encuentres, gracias por todo.

Karla

Agradecimientos

Agradezco a todos mis maestros quienes me enseñaron la parte humana de la ingeniería, a perseverar y a esforzarme por lo que anhelo alcanzar; formaron parte de mi educación durante este largo proceso dentro de la Universidad Politécnica Salesiana y de esta manera me instruyeron como Ingeniero Mecatrónico, además un sincero agradecimiento a mi tutora de tesis la Ing. Ana Cecilia Villa PhD., por su apoyo y tutela en el desarrollo de este trabajo de titulación y de mi crecimiento académico y personal.

Al grupo de investigación GIIB que abrió sus puertas y me brindó el apoyo para llevar a cabo este proyecto.

A mi familia y a mi pareja y compañera de vida Patricia López, que siempre me apoyaron y motivaron para efectuar este cometido.

Christian

A mis docentes y a mi tutora de proyecto técnico. Sus palabras fueron sabias, sus conocimientos rigurosos y precisos, a ustedes profesores, les debo mis conocimientos. Donde quiera que vaya, los llevaré conmigo en mí transitar profesional. Gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación perseverancia y tolerancia.

Karla

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Cesión de Derechos de Autor	I
Certificación	II
Declaratoria de Responsabilidad	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XVIII
Abstract	XIX
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Importancia y alcances	4
2.3. Delimitación	6
2.4. Problema general	6
2.5. Problemas específicos	7
3. Objetivos	7
3.1. Objetivo general	7
3.2. Objetivos específicos	7
4. Operacionalización de variables	8
5. Hipótesis	10
5.1. Hipótesis general	10
5.2. Hipótesis específicas	10
6. Matriz de consistencia lógica	10
7. Marco teórico	12
7.1. COVID-19	12

7.2.	Instrumentos para la medición de señales fisiológicas	12
7.2.1.	Tensiómetro digital	13
7.2.2.	Oxímetro digital	13
7.2.3.	Termómetro infrarrojo	14
7.3.	Protocolos	14
7.3.1.	Tensiómetro digital	15
7.3.2.	Oxímetro digital	15
7.3.3.	Termómetro digital	16
7.4.	Diseño mecánico y de control	17
7.4.1.	Mecanismos	17
7.4.2.	Análisis de esfuerzos	18
7.4.3.	Teoría de fallas	19
7.4.4.	Materiales para manufactura aditiva	21
7.4.5.	Binarización de imágenes	23
7.4.6.	Control de eventos discretos	24
7.5.	Evaluación de usabilidad	24
7.6.	Evaluación de la plataforma digital	25
7.7.	Software	25
8.	Marco metodológico	27
8.1.	Establecimiento de las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19	27
8.1.1.	Señales fisiológicas a medir y equipos	27
8.1.2.	Materiales, Dimensiones, Control y Seguridad	29
8.1.3.	Administración de datos, App, usuarios y médicos	36
8.2.	Propuesta del diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean presionados automáticamente, y las medidas sean procesadas y enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App)	38
8.2.1.	Diseño mecánico	41
8.2.2.	Diseño del control	59
8.2.3.	Diseño de plataforma digital (App)	70

8.3.	Construcción de un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19	79
8.3.1.	Máquinas herramientas y equipo utilizado	79
8.3.2.	Descripción del procesos de construcción	79
8.3.3.	Operaciones tecnológicas de la construcción	81
8.3.4.	Parámetros de construcción	81
8.4.	Evaluación de los resultados en la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad	83
8.4.1.	Diseño del System Usability Scale (SUS)	84
8.4.2.	Evaluación de medidas	87
8.4.3.	Tiempo de funcionamiento por medición	87
8.4.4.	Consumo de energía	88
8.4.5.	Tiempo de funcionamiento del dispositivo AMPI	89
8.4.6.	Reconocimiento de imagen	90
8.5.	Pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo	90
8.5.1.	Pruebas técnicas	90
8.5.2.	Diseño del Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)	92
9.	Resultados	92
9.1.	Objetivo 1: Condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19	93
9.2.	Objetivo 2: Diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean presionados automáticamente, y las medidas sean procesadas y enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App)	94
9.2.1.	Diseño mecánico	94
9.2.2.	Diseño del sistema de control	98
9.2.3.	Diseño de la plataforma digital (App)	103

9.3. Objetivo 3: Construcción de un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19	111
9.3.1. Estructura mecánica	111
9.3.2. Circuito electrónico	114
9.3.3. Ensamble	115
9.4. Objetivo 4: Evaluación de los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad	116
9.4.1. Resultados del cuestionario System Usability Scale (SUS)	116
9.4.2. Evaluación de las medidas	121
9.4.3. Tiempo de funcionamiento	126
9.4.4. Consumo de energía	126
9.4.5. Reconocimiento de imagen	127
9.5. Objetivo 5: Pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo	127
9.5.1. Pruebas técnicas	128
9.5.2. Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)	145
10. Conclusiones	152
10.1. Conclusión general	152
10.2. Establecimiento de las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas	153
10.3. Propuesta del diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19	153
10.4. Construcción de un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas	155
10.5. Evaluación de los resultados en la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento	155
10.6. Pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo	156
11. Recomendaciones	157

Referencias	165
ANEXOS	166
A. Lista de materiales	167
B. Manual	172
C. Consentimiento informado para realización de pruebas	193
D. Sistema de escalas de usabilidad (SUS)	196
E. Cuestionario de usabilidad del sistema posterior al estudio (PSSUQ)	198
F. Registro de mediciones	201
G. Tabla de comparación de resultados	204

Lista de Tablas

1.	Material para la impresión 3D de estructura.	8
2.	Tabla de variables de medida	9
3.	Matriz de consistencia lógica	11
4.	Procedimiento de medición de la presión arterial	15
5.	Procedimiento de medición de la saturación de oxígeno	16
6.	Procedimiento de medición de temperatura	16
7.	Análisis de características de las TFDA	21
8.	Software utilizado	26
9.	Condiciones iniciales para el diseo mecánico de la estructura del AMPI - Materiales	29
10.	Condiciones iniciales para el diseño mecánico de la estructura del AMPI - características mecánicas de los materiales	29
11.	Condiciones iniciales para el diseño mecánico de la estructura del AMPI - medidas antropométricas	30
12.	Condiciones iniciales para el diseño mecánico de la estructura del AMPI - dimensiones de dispositivos médicos	31
13.	Procedimiento de uso de la lámpara UV-C	33
14.	Características relevantes de algunas eHealth App del mercado	37
15.	Funcionamiento del circuito de alimentación	60
16.	Funcionamiento del circuito de Control	62
17.	Consumo energético de los elementos	63
18.	Equipos utilizados en la construcción	80
19.	Partes constitutivas del dispositivo	80
20.	Operaciones tecnológicas ejecutadas en la construcción del dispositivo AMPI	81
21.	Tiempo de funcionamiento de los procesos	88
22.	Consumo energético de los elementos	88
23.	Consumo de energía del AMPI en una hora de uso continuo	89
24.	Condiciones iniciales para diseño	93
25.	Dimensiones para diseño del AMPI	95
26.	Análisis de esfuerzos y deformación entre los dos materiales evaluados	97
27.	Datos del tiempo de impresión y consumo de filamento requerido para la construcción	113
28.	Dimensiones de PCBs finales	114
29.	Puntaje total de satisfacción de prueba de usabilidad SUS	117

30.	Porcentaje de error en saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca	123
31.	Porcentaje de error en temperatura corporal	124
32.	Porcentaje de error en presión arterial	125
33.	Tiempo de medición de los dispositivos	126
34.	Porcentaje de error en el reconocimiento	127
35.	Datos del usuario de prueba	128
36.	Prueba 1: Comportamiento de la aplicación conectada a diferentes escenarios	140
37.	Prueba 2: Comportamiento de la aplicación conectada a diferentes escenarios	140
38.	Prueba 3: Comportamiento de la aplicación conectada a diferentes escenarios	141
39.	Tiempo desde que se abre la aplicación	141
40.	Consumo de batería	142
41.	Sobrecalentamiento del dispositivo móvil	142
42.	Puntajes totales de las diferentes subescalas de la prueba de PSSUQ de la aplicación	146

Lista de Figuras

1.	Sistema de registro de información para telemedicina	3
2.	Tensiómetro digital	13
3.	Oxímetro Digital	14
4.	Termómetro infrarrojo	15
5.	Principio de un mecanismo	17
6.	Esquema de una corredera	18
7.	Curva de Esfuerzo Vs Deformación	19
8.	Diagrama de esfuerzo-deformación unitaria que se obtiene de la prueba de tensión estándar. De color rojo: material Frágil y de color azul: Material dúctil	20
9.	Esquema del proceso de fabricación con la tecnología FDM	22
10.	Principales características mecánicas del ABS y PLA	23
11.	Lámpara UV-C sterilization lamp 3W	32
12.	Flujograma de funcionamiento de las etapas de control	34
13.	Diagrama básico de una plataforma digital de telemedicina.	36
14.	Diagrama de bloques de AMPI integrado.	39
15.	Actuador Lineal ZCONIEY. Modelo: MLActuator-30MM	40
16.	Disposición para realizar el arrollado del extremo de una chapa, horizontalmente.	42
17.	Disposición del mecanismo de corredera para accionar los dispositivos clínicos de medición.	42
18.	Triángulo obtenido de la abrazadera A	43
19.	Ubicación de sensores clínicos. 1. Oxímetro digital. 2. Termómetro digital. 3. Tensiómetro de muñeca digital	44
20.	Diseño propuesto para dispositivo AMPI	45
21.	Particular 6 correspondiente al soporte para tensiómetro digital de muñeca, parte posterior de la base del AMPI	46
22.	Particular 5 correspondiente al soporte de la estructura del termómetro digital, parte intermedia de la base del AMPI	47
23.	Particular 3 correspondiente al soporte para la estructura del oxímetro digital, parte frontal de la base del AMPI	47
24.	Particular 4 correspondiente a la estructura de soporte para oxímetro digital	48
25.	Movimiento de empuje del brazo izquierdo con apoyo del tronco	49
26.	Particular 10 correspondiente a la estructura de soporte para termómetro digital	50
27.	Particular 11 correspondiente a la cubierta superior del termómetro digital .	50

28.	Particular 2 correspondiente a la cubierta frontal del AMPI	51
29.	Particular 1 correspondiente a la cubierta inferior del AMPI	51
30.	Particular 7 correspondiente a la cubierta posterior del AMPI	52
31.	Sistema de corredera	53
32.	Mecanismo a analizar dentro del software ANSYS	54
33.	Características mecánicas de los materiales en el software ANSYS	55
34.	Contacto entre el actuador lineal y el brazo del mecanismo de corredera . . .	56
35.	Simulación mecánica con el material PLA	57
36.	Simulación mecánica con el material ABS	58
37.	Circuito de carga y alimentación	59
38.	Circuito del sistema de control	61
39.	Esquema de circuito de carga y alimentación en el software EAGLE	63
40.	Esquema de circuito del Sistema de Control en el software EAGLE	64
41.	PCB BOTTOM de circuito de Carga y Alimentación en el software EAGLE	64
42.	PCB BOTTOM de circuito del Sistema de Control en el software EAGLE . .	65
43.	Control de actuadores lineales y alarma	66
44.	Proceso de esterilización del AMPI	67
45.	Fotografía y plantilla de números para reconocimiento	68
46.	Proceso de captura de medición (fotografía)	68
47.	Proceso de comparación y reconocimiento numérico	69
48.	Envío de datos de medición a la plataforma digital	70
49.	Estructura de los subsistemas para el prototipo de App	72
50.	Diagrama de casos de uso del sistema	74
51.	Flujograma de funciones de a. Lectura y b. Escritura de datos en Firebase .	75
52.	Modelo de datos de Cloud Firestore	77
53.	Navegación por la aplicación “My AMPI”	78
54.	Parámetros para impresión 3D	82
55.	Esquemas electrónicos para impresión láser	83
56.	Mecanismo de accionamiento vertical de dispositivos clínicos	95
57.	Configuración final del diseño propuesto para el dispositivo AMPI	96
58.	Sistema de desplazamiento para la estructura del oxímetro digital	97
59.	Factor de Seguridad obtenido	99
60.	Simulación del circuito de alimentación y carga	100
61.	Simulación del avance del actuador lineal (Avance)	101
62.	Simulación del avance del actuador lineal (Retroceso)	101

63.	Simulación del proceso de esterilización	102
64.	Captura de imagen de la medición	102
65.	Comparación y porcentaje de similitud entre (a): plantilla y (b): imagen . . .	103
66.	Resultado de la simulación	103
67.	Segmento del script de declaración de credenciales para comunicación inicial a Firebase	104
68.	Programa de lectura/escritura. Funciones de lectura de la base de datos . . .	105
69.	Programa de lectura/escritura. Función de escritura de la base de datos . . .	105
70.	Servicio de autenticación	106
71.	Colección principal “Datos”	107
72.	Segunda colección principal “Estado AMPI”	108
73.	Interfaz y despliegue de interfaz de la página principal	109
74.	Interfaz y despliegue de interfaz del menú de navegación	110
75.	Simulación de impresiones de los elementos del dispositivo AMPI	112
76.	Impresión 3D de estructura del AMPI	113
77.	PCBs finales	114
78.	Circuito electrónico armado	115
79.	Integración estructural y electrónica del dispositivo AMPI	115
80.	AMPI final integrado	116
81.	Gráfica de percentiles. Puntuación final de SUS por percentil	118
82.	Diagramas de porcentajes obtenidos a partir de los resultados de la evaluación SUS	122
83.	Interfaz principal de login	128
84.	Interfaz de login e interfaz de registro de Usuario	129
85.	Verificación de e-mail del usuario de prueba	129
86.	Creación de usuario nuevo	130
87.	Resultados del uso de la interfaz login con Acceso correcto	131
88.	Resultados del uso de la interfaz login: Acceso denegado	131
89.	Servicio de recuperación de contraseña	132
90.	Creación y gestión de datos de usuario	133
91.	Presentación y almacenamiento de datos fisiológicos	134
92.	Actualización de medidas fisiológicas	135
93.	Modificación y actualización de mediciones	136
94.	Interfaz “Compartir Medidas”	137

95.	Ingreso del dato de “Código Único de Usuario” en la colección principal “PersonalClinico”	138
96.	Historial de medidas del paciente vista desde la interfaz del personal médico	139
97.	Pruebas de funcionamiento en el Raspberry Pi: Estado False	143
98.	Pruebas de funcionamiento en el Raspberry Pi: Estado True	144
99.	Gráfica de percentiles y la puntuación final de PSSUQ por percentil	145
100.	Gráfica de percentiles. Puntuación final de subescala SYSUSE por percentil .	147
101.	Gráfica de percentiles y puntuación final de subescala INFOQUAL por percentil	148
102.	Gráfica de percentiles y puntuación final de subescala INTERQUAL por percentil	149
103.	Diagramas de porcentajes obtenidos de la prueba PSSUQ: Subescala de utilidad del sistema (SYSUSE)	150
104.	Diagramas de porcentajes obtenidos de la prueba PSSUQ: Subescala de calidad de la información (INFOQUAL)	151
105.	Diagramas de porcentajes obtenidos de la prueba PSSUQ: Subescala de calidad de la interfaz (INTERQUAL)	151

Resumen

El siguiente documento presenta el diseño y construcción de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas a los protocolos de telemedicina para ayudar al diagnóstico y seguimiento de COVID-19, que ha sido denominado AMPI (Asistente Médico Portátil Integrado). Este dispositivo utiliza un mecanismo que incorpora actuadores lineales para la activación de dispositivos clínicos certificados, tales como: termómetro, oxímetro y tensiómetro de muñeca. A su vez, integra un sistema de adquisición y reconocimiento de datos, que incorpora cámaras que permiten registrar las medidas directamente desde los displays de los dispositivos médicos; para que, a través de una App, esta información se comparta con el personal clínico.

En primer lugar, se determinaron como condiciones iniciales: el tipo de señales fisiológicas a medir, las dimensiones de los instrumentos médicos y las medidas antropométricas de las manos; además de los protocolos de medición de cada dispositivo médico.

En segundo lugar, se propone el diseño AMPI. En el caso del diseño mecánico, se establece un mecanismo para la actuación de dispositivos médicos, también se considera el diseño de la estructura principal utilizando el software Autodesk Inventor. Para elegir el material de construcción se realizó un análisis de fuerzas. Posteriormente, para el diseño del control, se incorporan métodos de binarización para reconocimiento numérico y automatización. Finalmente, para el diseño de la App, se determina la lógica, además de la estructura, la interfaz y la base de datos.

En tercer lugar, se construyó el primer prototipo de la AMPI, mediante impresión 3D. Una vez montado el prototipo, se realizaron pruebas técnicas, tanto del prototipo como de la aplicación. Se aplicaron cuestionarios de usabilidad para adquirir retroalimentación desde la perspectiva del usuario para mejorar el prototipo en el futuro.

De esta forma, se obtuvo un porcentaje de eficiencia del 96 % en las mediciones, y del 80 % en el reconocimiento numérico. Los resultados obtenidos luego de realizar las pruebas del equipo y la aplicación, a través de las pruebas SUS y PSSUQ; verifican que la aplicación y el dispositivo se encuentran en un nivel aceptable de satisfacción y usabilidad.

Palabras clave: Asistente médico, COVID-19, Esterilización, Señales fisiológicas, Telemedicina.

Abstract

The following document presents the design and construction of a device to automate the measurement of physiological signals applied to telemedicine protocols to aid the diagnosis and monitoring of COVID-19, which has been called AMPI (Integrated Portable Medical Assistant). This device uses a mechanism that incorporates linear actuators for the activation of certified clinical devices, such as: thermometer, oximeter and wrist blood pressure monitor. In turn, it integrates a data acquisition and recognition system, which incorporates cameras that allow measurements to be recorded directly from the displays of medical devices; so that, through an App, this information is shared with clinical staff.

In the first place, the initial conditions were determined: the type of physiological signals to be measured, the dimensions of the medical instruments and the anthropometric measurements of the hands; in addition to the measurement protocols of each medical device.

Second, the AMPI design is proposed. In the case of mechanical design, a mechanism is established for the actuation of medical devices, the design of the main structure is also considered using Autodesk Inventor software. To choose the construction material, a force analysis was carried out. Later, for the control design, binarization methods are incorporated for numerical recognition and automation. Finally, for the design of the App, the logic is determined, in addition to the structure, the interface and the database.

Third, the first prototype of the AMPI was built, using 3D printing. And once the prototype was assembled, technical tests were carried out, both of the prototype and of the application. Likewise, usability questionnaires were applied to acquire feedback from the user's perspective to improve the prototype in the future.

In this way, an efficiency percentage of 96 % was obtained in the measurements, and 80 % in the numerical recognition. The results obtained after carrying out the tests of the equipment and the application, through the SUS and PSSUQ tests; They verify that the application and the device are at an acceptable level of satisfaction and usability.

keywords: Physician Assistant, COVID-19, Sterilization, Physiological Signs, Telemedicine.

1. Introducción

La pandemia del COVID-19 ha provocado que los sistemas de salud presenten dificultades a la hora de hacer frente a una demanda exponencial y fuera de control de pacientes. La tasa de detección de casos cambia a diario con más de 207 millones de personas infectadas y más de 4.36 millones muertes en el mundo (Organización Mundial de la Salud, 2021). En Ecuador, se han registrado más de 493 mil infectados según la última actualización de contagios divulgada la tarde del miércoles 11 de agosto del 2021 (Ministerio de Salud Pública, 2021). Siendo el cuarto país con menos pruebas de diagnóstico realizadas, Ecuador podría afrontar un retraso en la investigación epidemiológica y una ausencia de datos reales de la población afectada (Prado y Grunauer, 2020).

El SARS - CoV - 2 o más conocido como COVID-19 es una enfermedad respiratoria grave, que se caracterizó como un brote epidémico en diciembre del 2019, en Wuhan (Hubei, China), motivo por el cual, en enero de 2020, el Comité de Emergencias de la OMS declaró una crisis sanitaria mundial en función de las crecientes tasas de contagios a nivel global (Velavan y Meyer, 2020; Villegas, 2020).

La fiebre, tos, congestión nasal, fatiga y otros signos de infecciones del tracto respiratorio superior; forman parte de las manifestaciones clínicas de la enfermedad, por lo cual, se refleja la disminución de la saturación de oxígeno, desviaciones de los gases en sangre, cambios visibles observables a través de radiografías de tórax, elevación de la temperatura, elevación de proteína C reactiva y citocinas pro-inflamatorias (Villegas, 2020).

Con base a las manifestaciones clínicas que caracterizan la enfermedad, como alteraciones en las medidas fisiológicas de presión arterial, frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal, se emplean dispositivos de medición de señales aplicados a trastornos cardíacos, de presión y temperatura.

El presente proyecto propone optimizar los protocolos de adquisición de estas señales mediante el diseño de un dispositivo que permita automatizar las mediciones a partir de técnicas de procesamiento digital y enviar al personal médico los datos adquiridos por medio de una plataforma digital (App), garantizando de esta manera el distanciamiento social por medio de la telemedicina (Gavilema y Mullo, 2014). La telemedicina surge a raíz de los avances en la tecnología de la información y la proliferación de aplicaciones con repercusión en la atención sanitaria (plataformas digitales). La unión de la tecnología con la atención sanitaria permite eliminar la distancia que existe entre el paciente y el doctor, situación que ha resultado clave para mantener la atención a los pacientes en épocas de aislamiento social. Este método permite intercambiar información de forma digital, de tal manera que el personal

médico disponga de total acceso al historial clínico de un paciente dentro del área de salud (Kuzmar y colaboradores, 2014).

El presente trabajo describe la metodología empleada en el desarrollo de un dispositivo para la medición automática de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.

2. Problema

2.1. Antecedentes

La última década se ha caracterizado por una notable expansión y desarrollo de tecnologías de asistencia, no obstante, el desarrollo de dispositivos compactos que integran la función de compilar señales fisiológicas no ha sido tan explotada como tal.

Entre algunos registros del 2012, se puede observar que la disponibilidad de dispositivos informáticos personales (teléfonos inteligentes) dio paso a un nuevo escenario llamado Body Area Network, en el cual se utilizaban redes de sensores para monitorear las condiciones físicas de una persona (Depari y colaboradores, 2012). Estos se adaptaban para monitorear parámetros físicos, sin embargo, dispositivos como los cinturones para medir frecuencia cardíaca resultaban ser invasivos y requerían que sus elementos sensibles fueran posicionados correctamente para proporcionar información significativa (Depari y colaboradores, 2012).

En (Depari y colaboradores, 2012) se propone un sistema para adquirir datos de frecuencia cardíaca con un sistema compacto y portátil, no invasivo, basado en una estructura que combina un sensor óptico PPG y un sensor compuesto por dos electrodos para la medición de impedancia que se aplica en forma de clip en el lóbulo de la oreja. Esta estructura se caracteriza por su tamaño compacto ideal para sistemas portátiles.

En (Portela y colaboradores, 2012) se describe la importancia de integrar dispositivos clínicos para apoyar la toma de decisiones en las Unidades de Cuidados Intensivos al recopilar y almacenar, en modo electrónico, datos clínicos necesarios para predecir eventos adversos y la condición del paciente, por medio de un Sistema de Soporte de Decisiones Inteligentes llamado INTCare.

En la actualidad, la prevención de enfermedades cumple un papel importante en el cuidado de la salud y existe una mayor necesidad de utilizar dispositivos médicos portátiles que permitan a una persona realizar el monitoreo de sus parámetros de salud.

(Barata y colaboradores, 2013) propone el desarrollo de un sistema que facilita la transmisión de datos entre un dispositivo de monitoreo con Bluetooth, que realice la adquisición de

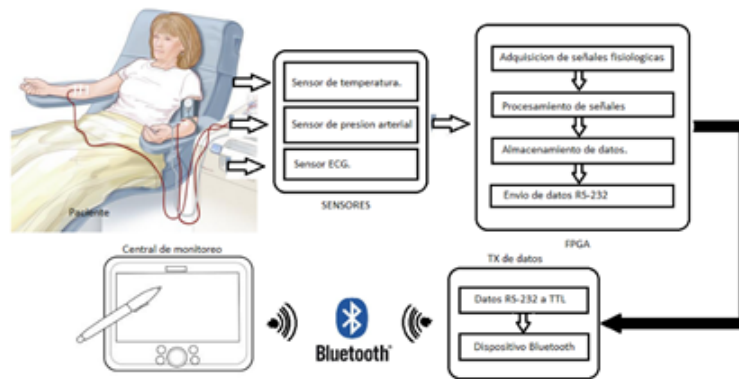
parámetros de salud; y un receptor remoto, que permita el almacenamiento y el acceso a los datos adquiridos, esto por medio de la plataforma OneCare-Sensing.

Para el 2014, se conocieron desarrollos que integraron los datos medidos con instrumentos clínicos a módulos de redes de comunicación. Varios autores platearon prototipos que usan medidas fisiológicas como: electrocardiografía, fotopletismografía de dedos y pletismografía de presión arterial (Martinho y colaboradores, 2014).

(Martinho y colaboradores, 2014) diseña e implementa exitosamente un dispositivo para monitoreo fisiológico operado a distancia. En este, las señales se envían a un servidor backend remoto, por lo que no se realiza ningún procesamiento de señales en la unidad portátil, que está controlada por un microcontrolador de 8 bits. Parte del front-end analógico se comparte entre varias señales y el subsistema de comunicación se basa en el protocolo IEEE 802.11 (Wi-Fi).

(Gavilema y Mullo, 2014) plantea la telemedicina como fundamental para la atención médica sin la presencia física del médico tratante. En la Figura 1, se muestra su propuesta de un sistema de registro de información en un dispositivo portátil. La transmisión de datos se realiza por medio del servicio Serial Port de la FPGA con un dispositivo Bluetooth, extendido en la instrumentación biomédica.

Figura 1: Sistema de registro de información para telemedicina



Fuente: Gavilema y Mullo (2014)

Un estudio realizado el 2017, enfatiza el crecimiento del interés en las tecnologías portátiles que están conduciendo a un cambio de paradigma en la atención médica personalizada a través del monitoreo continuo con sensores de uso corporal. En la revisión de (King y colaboradores, 2017) se describe que la etapa de sincronización de sensores a menudo es pasada por alto; además, brinda una forma de corregir la desviación de reloj en dicha sincronización a partir

del cronometraje modular de un “Reloj maestro” que transmita una señal fija para todos los sensores y permita obtener una marca de tiempo con base a las desviaciones. La inclusión de esta información adicional, con la marca de tiempo de cuándo se recibieron los datos, se puede utilizar para reordenar los mismos.

Por otra parte, para el año 2018, se considera que el uso de almacenamiento en la nube para la investigación médica aún se encuentra en etapas iniciales.

(Daddona y colaboradores, 2018) en su artículo propone un sistema de monitoreo en tiempo real para el control de datos estomatognáticos implementando los servicios web en la nube para la toma de decisiones cognitivas basada en el procesamiento avanzado de señales de Wifi y múltiples sensores bio-compatibles para el tratamiento de trastornos musculoesqueléticos.

En la actualidad, los sistemas de monitoreo de señales son dinámicos para mejorar la precisión y están basados en terminales móviles (Yassin y colaboradores, 2021). Se utilizan equipos de transmisión inalámbrica para conectar el equipo de monitoreo con el terminal móvil, de modo que los usuarios puedan realizar un seguimiento de las condiciones de salud de los pacientes en tiempo real para un tratamiento médico oportuno. Esto trae inconvenientes porque normalmente se utilizan bases de datos públicas y, por lo tanto, pueden sufrir problemas de seguridad en la transferencia de datos médicos (Yassin y colaboradores, 2021).

2.2. Importancia y alcances

El dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19 (AMPI), surge como parte de un esfuerzo para aportar a los protocolos que buscan reducir la propagación del virus COVID-19 y mantener el distanciamiento físico. Su diseño posibilita el seguimiento, diagnóstico o tratamiento de pacientes a distancia, por medio de intercambio digital de información clínica esencial (Telemedicina). Este método de atención permite que los pacientes sean atendidos a distancia y al mismo tiempo, reduce la exposición a contagio del COVID-19 de pacientes y personal clínico (Martínez y colaboradores, 2020).

Actualmente, se cuenta con dos tipos de pruebas para el diagnóstico de COVID-19: las pruebas moleculares que son el Gold estándar basadas en la detección del virus (qRT-PCR y RT-LAMP) y las pruebas rápidas que detectan anticuerpos generados por la respuesta inmunológica del paciente (Peraza de Aparicio, 2020).

Las pruebas de diagnóstico son herramientas de vital importancia, puesto que complementan los estudios de los cuadros clínicos. Si bien es cierto que las pruebas rápidas serían una solución que aceleraría la identificación y aislamiento de los individuos infectados, también

presenta un riesgo tanto para pacientes como para médicos. A fin de que, para realizar dichas pruebas, los doctores deben tener contacto directo con los pacientes; y en vista de que las entidades de salud están colapsadas, los usuarios corren riesgo de contagiarse dentro de estas instituciones (Portillo y colaboradores, 2020). En vista de esta situación, se optó por emplear el principio de la telemedicina que consiste en intercambiar datos para hacer diagnósticos, brindar tratamientos y prevenir enfermedades; con el fin de resguardar la salud de las personas (Martínez y colaboradores, 2020).

El uso de la telemedicina para la monitorización de pacientes con COVID-19 fue empleada por el equipo “TELEA COVID-19” en la publicación de la revista clínica española, denominada, “Telemedicina con telemonitorización en el seguimiento de pacientes con COVID-19”. El seguimiento consistía en contactar con todos los pacientes al menos una vez al día. Se incluyó a 304 pacientes con edad media de 60,9 años, el seguimiento ambulatorio se realizó, tras el alta hospitalaria en donde cada paciente remitió un cuestionario clínico diario con su temperatura y saturación de oxígeno, 3 veces al día; el tiempo medio de seguimiento fue 11,64 días y en los 30 días del estudio 224 pacientes fueron dados de alta (Martínez y colaboradores, 2020).

Si bien, los resultados obtenidos prueban que la telemedicina permite un seguimiento clínicamente útil y seguro en pacientes con COVID-19, las mediciones obtenidas no estaban sujetas a pruebas de confiabilidad, es decir, que no se comprobó en su totalidad si las mediciones fueron realizadas de manera correcta por el paciente o su asistente. Además, de que el procedimiento de mediciones se tornó difícil y estresante para los usuarios que no contaban con ayuda de una persona para la toma y gestión de dichos datos (Martínez y colaboradores, 2020).

Por otra parte, se sabe que en el mercado existen dispositivos que ayudan a medir algunas de las principales señales vitales como, por ejemplo: los relojes inteligentes con sensor de ritmo cardíaco o las pulseras deportivas, que son capaces de medir el ritmo cardíaco del usuario. Estos resultan ineficaces a la hora de brindar información confiable, en vista de que se ha demostrado, según estudios llevados a cabo en atletas, las lecturas de las tasas de frecuencia cardíaca de algunos de estos dispositivos podían llegar a ser entre un 20 % y un 50 % menos en comparación a otros (Gala M. García, 2016). Asimismo, dispositivos como: oxímetros digitales, termómetros infrarrojos digitales y los tensiómetros de brazo o muñeca digitales; con certificación médica, que, si bien brindan datos confiables, no cuentan con una plataforma que adquiera estas señales de manera automática, y menos aún que las gestionen (Gómez y Suntasig, 2011; Hilario, 2020; Meza y colaboradores, 2011). Más importante, aunque en el medio existen trabajos que incorporan las cuatro señales vitales con satisfacción, estos por más próximos resultados tengan, al fin y al cabo, no son fiables por el hecho de que no han

sido comprobados, ni certificados, por profesionales de la salud (Gala M. García, 2016).

Es por ello que, la importancia del AMPI radica en brindar una alternativa para la transmisión y administración de señales fisiológicas obtenidas de instrumentos certificados como: oxímetro digital, tensiómetro digital de muñeca y termómetro digital; por medio de una App que asegure que la información será compartida con el personal clínico de forma segura, de tal manera, que el personal médico pueda evaluar los datos de la sintomatología de la persona y brindar un diagnóstico.

La inclusión e integración de los cuatro principales sensores de signos vitales en un dispositivo busca facilitar la aplicación de protocolos de cuidado de COVID-19 y otras enfermedades respiratorias. Por tal motivo, AMPI se presenta como un dispositivo portátil y flexible, además, el hecho de que las mediciones sean adquiridas automáticamente y que el dispositivo cuenta con un sistema de esterilización, brinda mayor autonomía y seguridad al paciente.

2.3. Delimitación

- a.- **Delimitación espacial:** El dispositivo está enfocado en pacientes con casos sospechosos de COVID-19 dentro de la ciudad de Cuenca, para guiar el diagnóstico y el monitoreo de estos.
- b.- **Delimitación temporal:** El dispositivo está planeado para ser diseñado en seis meses, tiempo en el que realizará la obtención automática de las señales fisiológicas, el procesamiento de la información obtenida de los dispositivos de medición, el envío de dicha información al personal médico por medio de una plataforma digital.
- c.- **Delimitación institucional:** El proyecto forma parte del trabajo del Grupo de Investigación de Biomedicina (GIIB). Por lo tanto, este proyecto va dirigido a la Universidad Politécnica Salesiana, quien desarrolla ayuda a los sectores sociales a través de varios grupos de la institución.

2.4. Problema general

¿Es posible diseñar y construir un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19?

2.5. Problemas específicos

- ¿Se podrán establecer las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas (presión arterial, frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal) aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19?
- ¿Se podrá proponer el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean presionados automáticamente, y las medidas sean procesadas y enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App)?
- ¿Es posible construir un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19?
- ¿Es posible evaluar los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad?
- ¿Es posible realizar pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo?

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Diseñar y construir un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.

3.2. Objetivos específicos

- Establecer, las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas (presión arterial, frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal) aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.

- Proponer, el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean presionados automáticamente, y las medidas sean procesadas y enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App).
- Construir, un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19.
- Evaluar, los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad.
- Realizar, pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo.

4. Operacionalización de variables

Las variables de operacionalización para la impresión 3D de la estructura del dispositivo AMPI se indican en la Tabla 1.

Tabla 1: Material para la impresión 3D de estructura.

Variable Independiente: Diseño				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición
Material de la estructura	Definición conceptual: Elemento que puede transformarse o agruparse en un conjunto (ASALE, 2021).	Resistencia	Pascales	Hoja técnica del material
	Definición operacional: Elemento o ingrediente en algunos compuestos.	Peso	Gramos	Balanza

Fuente: Autor

Las variables de operacionalización para obtener las medidas antropométricas y medidas de los dispositivos médicos, necesarios para el diseño mecánico, se indican en la Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de variables de medida

Variable Independiente: Diseño					
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de Medición	
Medidas antropométricas	Definición conceptual: Cada una de las unidades que se emplean para medir longitudes, áreas o volúmenes de líquidos o áridos (ASALE, 2021).	Ancho	mm	Calibrador	
	Definición Operacional: Medida antropométrica de la extremidad superior humana	Largo	mm	Calibrador	
Medidas de los dispositivos	Definición conceptual: Cada una de las unidades que se emplean para medir longitudes, áreas o volúmenes de líquidos o áridos (ASALE, 2021).	Dispositivos de medición	Ancho	Calibrador	
		Actuadores lineales	Largo	Calibrador	
			Alto	Calibrador	
	Definición Operacional: Tamaño de un elemento en unidades de medida.	Actuadores lineales	Ancho	mm	Calibrador
			Largo	mm	Calibrador
		Alto	mm	Calibrador	
		Esfuerzo de torsión	N.m	Hoja técnica del actuador	

Fuente: Autor

5. Hipótesis

5.1. Hipótesis general

- El diseño del dispositivo podrá automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.

5.2. Hipótesis específicas

- Se establecerán las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas (presión arterial, frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal) aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.
- Se propondrá el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean presionados automáticamente, y las medidas sean procesadas y enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App).
- Se construirá un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19.
- Se evaluarán los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad.
- Se realizarán pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo.

6. Matriz de consistencia lógica

Tabla 3: Matriz de consistencia lógica

MATRIZ DE CONSISTENCIA LÓGICA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible diseñar y construir un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19?	Diseñar y construir un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.	El diseño del dispositivo podrá automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.	-VI: Diseño, construcción -VD: Señales Fisiológicas	-Dispositivos para medir señales fisiológicas
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS		
¿Se podrá establecer las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas (presión arterial, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal) aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19?	Establecer, las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas (presión arterial, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal) aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.	Se establecerán las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas (presión arterial, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal) aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.	-VI: Diseño -VD: Señales Fisiológicas	-Adquisición de señales
¿Se podrá proponer el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean procesados automáticamente, y las medidas sean enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App)?	Proponer, el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean procesados automáticamente, y las medidas sean enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App).	Se propondrá el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean procesados automáticamente, y las medidas sean enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App).	-VI: Diseño -VD: Señales Fisiológicas	-Diseño mecánico y de control
¿Es posible construir un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19?	Construir, un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19.	Se construirá un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19.	-VI: Diseño -VD: Señales Fisiológicas	-Protocolos de diagnóstico
¿Es posible evaluar los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad?	Evaluar, los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad.	Se evaluarán los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad.	-VI: Diseño	-Evaluación de dispositivos médicos
¿Es posible realizar pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo?	Realizar, pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo.	Se realizarán pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo.	-VD: Plataforma digital	-Evaluación de la plataforma digital

Fuente: Autor

7. Marco teórico

7.1. COVID-19

Los coronavirus son un conjunto de virus que causan infecciones respiratorias del tracto superior, sin embargo, ciertas mutaciones en las proteínas de la superficie del virus conducen a infecciones graves del tracto inferior, tal como el síndrome (SARS-CoV) del cual surge el SARS-CoV-2 (COVID-19) (Ena y Wenzel, 2020). Las personas contagiadas con este virus pueden padecer desde síntomas leves como: tos seca, dolor de garganta y fiebre; hasta síntomas crónicos como: Shock séptico, edema pulmonar, neumonía severa y síndrome de dificultad respiratoria aguda. Por lo cual, el coronavirus ha ocasionado muchos problemas de salud física, psicológica, e incluso la muerte de miles de personas en todo el mundo (O'Brien y colaboradores, 2020).

En la actualidad, se han realizado varios estudios para establecer un proceso de valoración, el cual inicia en el área de triaje donde, se establece el nivel de atención de acuerdo con la sintomatología y los signos vitales que presente un paciente. Por lo que, con base a la bibliografía disponible, los principales signos de infección respiratoria aguda son: Fiebre mayor a 38°C (98,6 °F), saturación de O₂ menor a 92%, presión sanguínea diferente a 80-120/60-80 mmHg, frecuencia cardiaca diferente a 60 y 100 ppm, tos – Disnea (Gómez, 2007; Sánchez y colaboradores, 2020).

Todavía no existe un tratamiento efectivo contra este padecimiento humano, aun cuando se encontró dos maneras de poder detectar el COVID-19. La primera por medio de una muestra de sangre conocida como prueba rápida (prueba CELLEX SARS-CoV-2 IgG/IgM Rapid Test), y la segunda el hisopado nasofaríngeo, esta última aporta una mayor credibilidad en cuanto a detectar dicha enfermedad, aunque las dos formas permiten diagnosticar a tiempo y prevenir problemas mayores en las personas infectadas (Pacheco y Guzmán, 2020).

7.2. Instrumentos para la medición de señales fisiológicas

Las señales o factores fisiológicos permiten obtener información biológica basada en los protocolos a seguir de cada dispositivo clínico (Pérez y colaboradores, 2007; Sánchez y colaboradores, 2020). A continuación se describen las características de las mediciones de las señales con diferentes dispositivos.

7.2.1. Tensiómetro digital

Permite medir la presión arterial, es decir, ayuda a identificar valores de presión altos (presión sistólica) que se da cuando el corazón esta contraído, y a su vez, valores de presión mínima (presión diastólica) producida entre los latidos del corazón. La presión arterial se da por la fuerza de la sangre hacia las paredes de las arterias cuando transporta oxígeno y nutrientes para el funcionamiento adecuado de los órganos de cuerpo (Meza y colaboradores, 2011).

Hay algunos tipos de tensiómetros, sin embargo, el más representativo es el tensiómetro digital de muñeca, que contiene un brazalete con una bolsa inflable, añadido a una bomba de caucho a través de un tubo conector. Este se infla ejerciendo presión en la arteria branquial a través de la bomba eléctrica mediante unos segundos, mientras se registra la tensión arterial del músculo del corazón que se contrae por medio del manómetro digital. Este instrumento ha sido muy útil para prevenir enfermedades asociadas a la presión arterial (Meza y colaboradores, 2011). A continuación, en la Figura 2, se puede apreciar un Tensiómetro digital de muñeca de marca Blood Pressure Monitoring System modelo MDB803.

Figura 2: Tensiómetro digital



Fuente: Autor

7.2.2. Oxímetro digital

Un oxímetro es usado para medir la saturación arterial de oxígeno (SpO₂) de las personas a través de una metodología de monitoreo continuo de la oxigenación -pulsioximetría-. El dispositivo más utilizado es el oxímetro digital de dedo, mismo que se utiliza colocando el dedo

del paciente en un pequeño instrumento, mismo que va generando resultados en porcentajes vistos en un display, aportando una valoración normal de oxígeno arterial, que significa la presión de oxígeno disuelto en el plasma de la sangre. Además, brinda el dato de frecuencia cardiaca en ppm (Gómez y Suntasig, 2011). En la Figura 3, se aprecia un oxímetro digital Fingertip Pulse Oximeter modelo C101A3.

Figura 3: Oxímetro Digital



Fuente: Autor

7.2.3. Termómetro infrarrojo

Llamado también termómetro láser, mide el calor corporal de una superficie visible, mediante una energía infrarroja que se da por una fuente de calor, es un procedimiento rápido y no dañino que no requiere de contacto directo; por esta razón, esta herramienta es muy empleada en los centros hospitalarios o ambulatorios. Cabe mencionar, que este dispositivo puede verse afectado por factores como: El contacto directo con superficies de frío o calor que pueden ocasionar lecturas erróneas (Hilario, 2020). Como se puede observar en la Figura 4, se presenta un Termómetro digital infrarrojo Easy East modelo IR200.

7.3. Protocolos

Los protocolos para la medición de señales fisiológicas inician principalmente con reconocer los parámetros a ser medidos y los dispositivos necesarios para realizar esta acción. De esta manera, se toman en consideración las diferentes señales fisiológicas a ser medidas, tales como: presión arterial, nivel de saturación de oxígeno, temperatura corporal y frecuencia cardíaca; además de sus dispositivos de medición respectivos.

Figura 4: Termómetro infrarrojo



Fuente: Autor

7.3.1. Tensiómetro digital

En la Tabla 4 se puede apreciar el procedimiento y el protocolo de uso del tensiómetro digital para la correcta medición de la presión arterial del paciente.

Tabla 4: Procedimiento de medición de la presión arterial

Procedimiento de medición	Medida de Seguridad
<ul style="list-style-type: none">■ Tomar las medidas de presión arterial tras, mínimo, cinco minutos de reposo.■ La persona se encontrar en estado de relajación.■ La persona no debe haber comido, bebido sustancias excitantes (café o té) ni fumado durante la media hora previa a la medición.■ El cuerpo debe estar sentado, no estirado, con la espalda apoyada en el respaldo de la silla. Las piernas deben estar tocando el suelo, no cruzadas; y la mano relajada, supinación, sin apretar y en posición de descanso.■ El brazo de referencia debe tener la tensión arterial más alta (Mano izquierda).	<ul style="list-style-type: none">■ Es importante que mientras el manguito se infla el paciente no hable puesto que, eso afectaría a los valores marcados.■ No redondear las cifras de las medidas tomadas.

Fuente: OMRON (2017); Rioja (2019)

7.3.2. Oxímetro digital

En la Tabla 5 se puede apreciar el procedimiento y el protocolo de uso del oxímetro digital para la correcta medición de la oxigenación de la sangre del paciente.

Tabla 5: Procedimiento de medición de la saturación de oxígeno

Procedimiento de medición	Medida de Seguridad
<ul style="list-style-type: none">■ No debe interferir ningún elemento como esmalte de uñas, cremas, pinturas u otros similares.■ Colocar el fotodiodo emisor de luz (luz roja) hacia el lecho ungueal y el fotodiodo receptor (que no emite luz) en el extremo totalmente opuesto (en línea paralela) hacia el pulpejo del dedo.■ Hay que verificar que el sitio de medición se encuentre bien perfundido, no vaso contraído, ni frío, con la piel seca y evitando cualquier presión sobre el lugar de la medición.■ Se deben evitar artefactos de movimiento tratando que el paciente esté lo más tranquilo posible durante la medición.	<ul style="list-style-type: none">■ Explicar al paciente el procedimiento, el motivo del mismo y pedir su colaboración.■ Situar al paciente en decúbito o sentado.■ Colocar la región o miembro, donde se va a tomar el pulso, en posición de descanso y sobre una superficie firme.

Fuente: Mejía y Mejía (2014); Palacios y colaboradores (2010)

7.3.3. Termómetro digital

En la Tabla 6 se puede apreciar el procedimiento y el protocolo de uso del termómetro digital para la correcta medición de la temperatura del paciente.

Tabla 6: Procedimiento de medición de temperatura

Procedimiento de medición	Medida de Seguridad
<ul style="list-style-type: none">■ Apuntar el termómetro infrarrojo a una zona de la piel sin pelo y mantener el dispositivo en posición vertical, de 3 a 5 cm de distancia.■ Considerar que la temperatura corporal se ve afectada por condiciones externas, como edad, sexo y color de piel.■ Se recomienda medir aproximadamente tres veces a la vez, y escoger el dato más mostrado.	<ul style="list-style-type: none">■ No medir a través de superficies transparentes como vidrio, plásticos o telas.■ Asegurar que la zona de la piel donde se va a medir la temperatura no esté húmeda o sucia.

Fuente: Contreras (2019); Qingyuan (2018)

7.4. Diseño mecánico y de control

El desarrollo del dispositivo AMPI se realiza con base al principio del desarrollo de sistemas mecatrónicos. Esta se basa en la investigación, el diseño, construcción e implementación de la integración mecánica, eléctrica, electrónica o de control; con el objetivo de ahorrar energía y optimizar costos, manipular procesos y sistemas e incrementar la calidad para obtener un producto final (Lugo y colaboradores, 2020).

7.4.1. Mecanismos

Los mecanismos facilitan realizar determinados trabajos con mayor comodidad y menor esfuerzo. Son elementos destinados a transmitir, al igual que de transformar fuerzas y movimientos. Esto desde un elemento motriz (actuador) a un elemento receptor (Norton, 2009). En la Figura 5 se presentan los elementos que conforman el sistema de un mecanismo.

Figura 5: Principio de un mecanismo



Fuente: Mott (2008)

En donde:

1. **Elemento entrada o motriz:** Recibe una fuerza motriz de entrada necesaria para poner en marcha el movimiento del sistema mecánico (Mott, 2008).
 2. **Mecanismo:** Recibe, transmite y transforma el movimiento y las fuerzas, proporcionadas por el elemento de entrada, conduciéndolas hasta el elemento de salida (Mott, 2008).
 3. **Elemento de salida o receptor:** Recibe el movimiento y las fuerzas del mecanismo. Realizando el trabajo en la salida del sistema para el cual el sistema mecánico fue ideado (Mott, 2008).
- **Mecanismos de transmisión del movimiento:** Son mecanismos que transmiten el movimiento, fuerza y potencia de un punto a otro sin cambiar la naturaleza del movimiento buscando proporcionar una ventaja mecánica (Norton, 2009).

- Corredera

Elemento mecánico que permite un desplazamiento rectilíneo entre dos cuerpos por deslizamiento. Esta normalmente está construida por una sección poligonal para evitar por completo la rotación entre las dos piezas (Mott, 2008). La posición relativa de dos cuerpos conectados por una corredera, se define por la magnitud del deslizamiento lineal de uno en relación con el otro. Como se muestra en la Figura 6, el par cinemático creado por la unión de dos miembros de un mecanismo tiene un único grado de libertad, es decir, un movimiento lineal.

Figura 6: Esquema de una corredera



Fuente: Mott (2008)

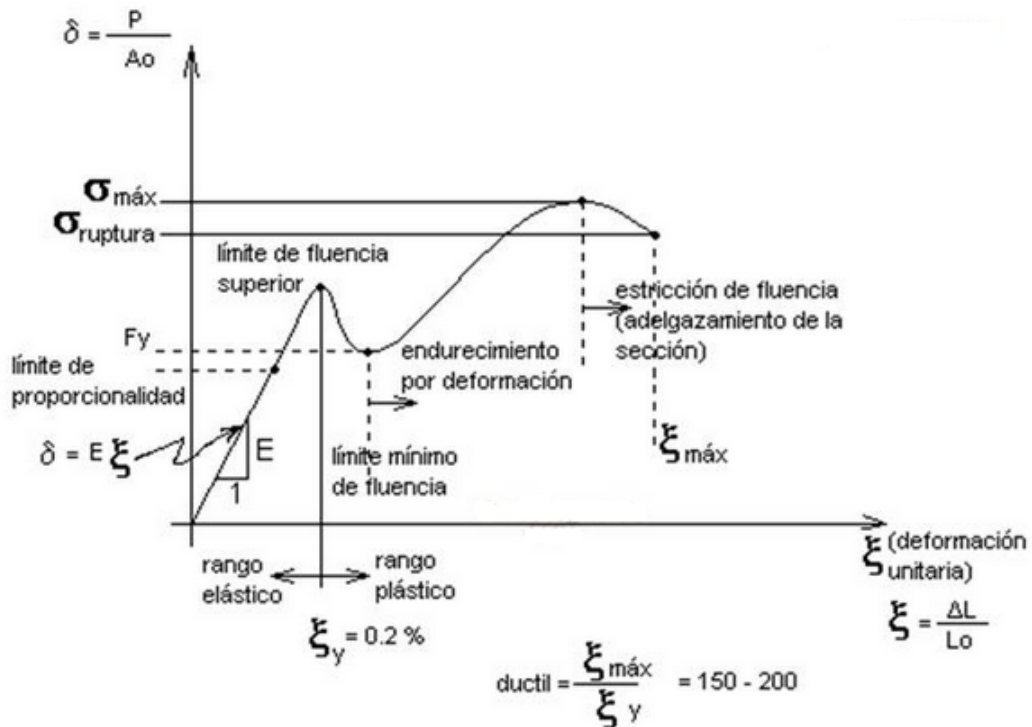
7.4.2. Análisis de esfuerzos

Se realiza un análisis de esfuerzos, para asegurar que una parte del mecanismo es segura para trabajar bajo condiciones previsibles. Para este análisis se realiza una comparación entre los valores de esfuerzos calculados en la pieza y el esfuerzo del diseño, o con el valor de esfuerzo permitido bajo las condiciones de operación (Budynas y Nisbett, 2008).

El principal objetivo del análisis de esfuerzos es determinar el o los puntos, dentro de un elemento o ensamble sometido a cargas, que soporta el máximo nivel de esfuerzo. La forma de calcular el esfuerzo de diseño, depende de la manera de aplicar la carga y de la clase de material. Los indicadores de la resistencia son, necesariamente de naturaleza estadística (Budynas y Nisbett, 2008).

En un ensayo de tensión se obtiene un diagrama que compara el esfuerzo presente en una probeta a medida que se deforma, debido a la aplicación de una carga en la misma, a una velocidad constante. En la Figura 7, se pueden observar las distintas regiones de análisis que se presentan durante un ensayo de tensión en un diagrama de esfuerzo vs deformación.

Figura 7: Curva de Esfuerzo Vs Deformación



Fuente: Cadena y Galarza (2020)

En la Figura 7, el límite de proporcionalidad es el punto en el cual la curva comienza a desviarse. El límite elástico es el punto que define la deformación plástica, en la cual, el material experimentará una deformación permanente cuando se retire la carga.

Durante la prueba de tensión, muchos materiales llegan al punto de fluencia en el que la deformación unitaria comienza a crecer muy rápidamente sin que se observe un incremento correspondiente al esfuerzo.

La resistencia última, es el esfuerzo máximo alcanzado en el diagrama de esfuerzo-deformación.

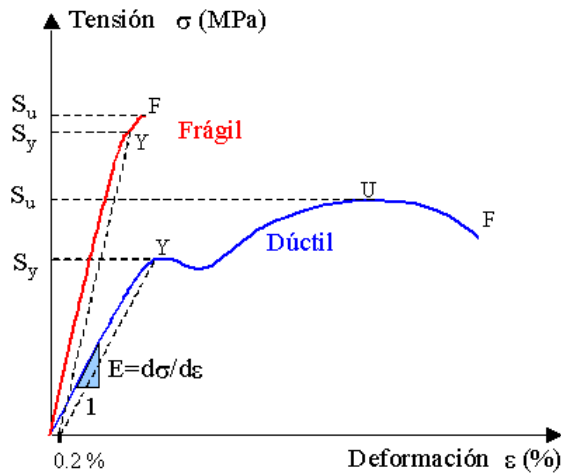
El esfuerzo de ruptura es el punto de fractura de la probeta.

7.4.3. Teoría de fallas

Esta teoría establece los criterios usados para determinar los esfuerzos estáticos permisibles en componentes de máquinas. El comportamiento de un material puede ser dúctil o frágil (ver Figura 8) con base a:

- Son dúctiles cuando tienen una resistencia a la fluencia identificable que a menudo es la misma en compresión que en tensión ($S_{yt} = S_{yc} = S_y$).
- Son frágiles cuando no presentan una resistencia a la fluencia identificable. Se clasifican por resistencias últimas a la tensión y la compresión, S_{ut} y S_{uc} , respectivamente.

Figura 8: Diagrama de esfuerzo-deformación unitaria que se obtiene de la prueba de tensión estándar. De color rojo: material Frágil y de color azul: Material dúctil



Fuente: Budynas y Nisbett (2008)

▪ Teoría de la energía de distorsión o de Von Mises-Hencky

Esta teoría predice que, la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen, correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material (Budynas y Nisbett, 2008).

Esto se hace calculando la tensión equivalente o de Von Mises como se denota en la Ecuación(1):

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_3\sigma_2} \quad (1)$$

En donde:

σ' : Esfuerzo von Mises [N]

$\sigma_3\sigma_2$: Esfuerzos principales máximo y mínimo respectivamente [N]

Se predice que existe falla cuando $\sigma' \geq S_y$. Los resultados de muchos programas de análisis por elementos finitos incluyen el esfuerzo de von Mises (Budynas y Nisbett, 2008; Mott, 2008).

7.4.4. Materiales para manufactura aditiva

La manufactura aditiva, es un método de producción digitalizada, que, permiten materializar una pieza, sistema, modelo, prototipo o series cortas; directamente de un archivo digital CAD 3D. En esencia, este tipo de manufactura consiste en fabricar objetos previamente modelados, mediante la deposición de capa por capa de material, hasta conformar un objeto tridimensional (Torreblanca, 2016).

Este método se puede clasificar en diferentes tecnologías de fabricación: según los materiales utilizados, tipo de procesos, entre otros. La clasificación más utilizada se define con base en las características del proceso de fabricación aditiva utilizado. En la Tabla 7 se organizan las principales familias o tipologías según este último criterio.

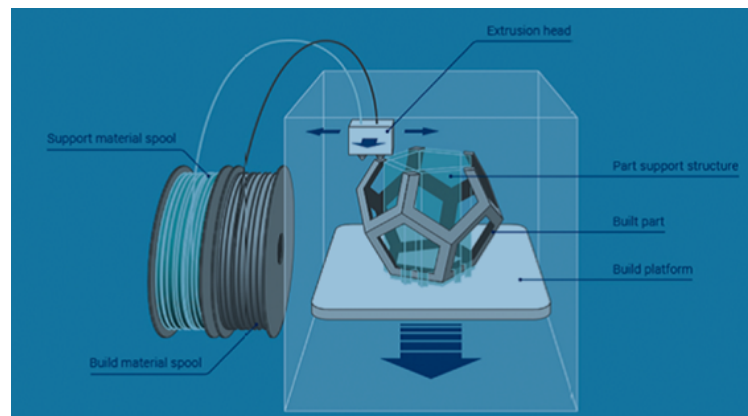
Tabla 7: Análisis de características de las TFDA

Tecnología Aditiva	Material de Fabricación	Característica de las piezas fabricadas	Tipo de representaciones sugeridas
Estereolitografía	Resinas fotosensibles	Alta definición de detalles, Alto acabado superficial, Media resistencia mecánica y baja durabilidad.	Modelos de apariencia. No aconsejable para prototipos funcionales.
Polyjet	Resinas fotosensibles	Alta definición de detalles, Alto acabado superficial, Media resistencia mecánica y baja durabilidad.	Modelos de apariencia
Deposición de hilo fundido (FDM)	Polímeros: ABS, PLA, PLC, policarbonato	Media/baja definición de detalles, Medio/bajo acabado superficial, Alta resistencia mecánica y Alta durabilidad.	Prototipos funcionales
Inyección de Aglutinante (BJ)	Material compuesto cerámico-polimérico (Impresora modelo zprinter)	Alta definición de detalles, Alto acabado superficial, Medio/bajo mecánica y Medio durabilidad.	Modelos de apariencia
Sinterizado Selectivo con Láser (LS)	Polímeros (nylon, poli estireno), cerámicos y vidrio.	Media/baja definición de detalles, Medio/bajo acabado superficial, Alta resistencia mecánica y Alta durabilidad.	Prototipos funcionales
Sinterizado Láser Directo en Metal (DMLS)	Metales: acero, aluminio, titanio y aleaciones	Media/baja definición de detalles, Medio/bajo acabado superficial, Alta resistencia mecánica y Alta durabilidad.	Prototipos funcionales

Fuente: Autor

Principio de funcionamiento de las tecnologías de fabricación: Una vez se dispone del modelo 3D del particular, este se transforma en un fichero en formato STL (formado por una malla triangular que se debe verificar). El fichero de capas se transmite a la máquina o impresora 3D donde, se asignan los parámetros de fabricación -dependiendo de la tecnología hay que incluir geometría auxiliar como soportes- y se procede a su fabricación. Cuando se ha terminado la fabricación se extrae la pieza de la máquina, se eliminan los soportes y se aplica el post proceso requerido para finalizar la pieza. La Figura 9 presenta un esquema de los pasos anteriormente explicados para el proceso de fabricación con la tecnología FDM (Torreblanca, 2016).

Figura 9: Esquema del proceso de fabricación con la tecnología FDM



Fuente: Torreblanca (2016)

■ **ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)**

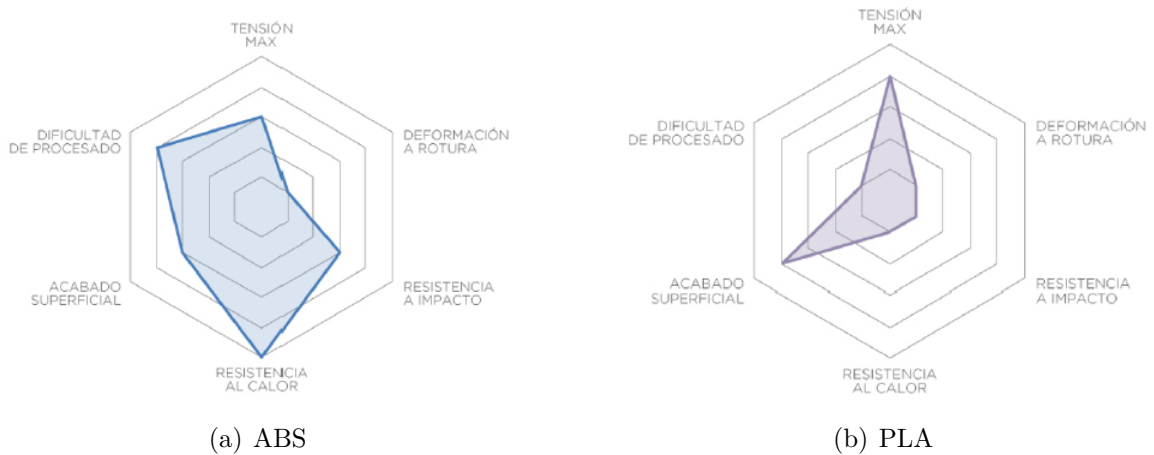
El material plástico ABS es muy duro, poco deformable y con buenas características mecánicas. Además de soportar temperaturas de hasta 110°C. No obstante, este material presenta una mayor dificultad a la hora de imprimir, debido a que las altas temperaturas y una mala adhesión a la cama provocan un efecto warping (cuando una parte de la pieza se empieza a curvar hacia arriba en el momento de la impresión), además emite gases nocivos. En la Figura 10.a se puede observar una vista panorámica de las características de este material.

■ **PLA (Ácido poliláctico)**

El PLA presenta un rango inusual de propiedades por lo que se puede utilizar en numerosas aplicaciones. Da lugar a piezas rígidas, relativamente resistentes (a tracción).

Este material es el más fácil de imprimir, puesto que es más blando que el ABS y soporta temperaturas de 65°C. Es biodegradable, lo que lo convierte en un material muy ecológico y no emite gases nocivos durante la impresión; este material es apto para todo tipo de impresoras 3D. En la Figura 10.b se puede observar una vista panorámica de las características de este material.

Figura 10: Principales características mecánicas del ABS y PLA



Fuente: EDDM (2021)

7.4.5. Binarización de imágenes

La técnica de la binarización consiste en realizar la reducción de una imagen desde una escala de grises a valores de “0” y “1”, en donde “0” representa negro y “1” representa blanco. Cabe recalcar que la determinación del valor que se confiere a cada píxel, se determina con base a un valor de umbral que se calcula con el algoritmo de desviación de píxel de Sauvola y Pietikainen que se puede apreciar en la Ecuación (2). (Magro, 2013). La Ecuación (2) corresponde a la umbralización por

$$T(x, y) = m(x, y) \left\{ 1 + k \left(\frac{s(x, y)}{R} - 1 \right) \right\} \quad (2)$$

En donde:

$T(x, y)$: umbral

$m(x, y)$: media

$s(x, y)$: nivel de desviación

R : nivel de las intensidades de los píxeles

Este algoritmo es muy útil en imágenes con grises muy sutiles, dado que proporciona resultados mucho más nítidos (Magro, 2013).

7.4.6. Control de eventos discretos

El control de eventos discretos se basa en el sistema de eventos discretos (SED), que es un sistema dinámico que se encuentra en un plano bidimensional (x,y), donde “x” es la variable dependiente y representa al estado, mientras que “y” es la variable independiente y representa al tiempo. El sistema cambia o evoluciona acorde a la ocurrencia de los eventos físicos, por lo cual, la ocurrencia de un evento provoca el cambio de estado del sistema en función del tiempo. La trayectoria del sistema puede tener diferentes eventos y su estado varía dependiendo del estado en el que se produzca, por ende, ciertos eventos producen cambios en la trayectoria del sistema (Cury, 2001).

La trayectoria puede continuar indefinidamente con un número ilimitado de estados, no obstante, el sistema presenta un número limitado de estados, puesto que, se utiliza para un propósito determinado y consta de un proceso denominado reinicio; el cual luego de haber realizado todos los eventos establecidos, reincorporándose al estado inicial, que es de donde parte la secuencia de eventos (Cury, 2001).

7.5. Evaluación de usabilidad

- **System Usability Scale (SUS)**

SUS (Sistema de Escalas de Usabilidad), es una herramienta metodológica que se usa para medir la usabilidad, eficiencia, satisfacción y la facilidad de aprendizaje de un objeto, dispositivo o aplicación. Fue concebida a mediados de los años 80 por Brooke. Este cuestionario consta de 10 elementos, cada una de los cuales puede ser puntuado de 1 a 5, donde 1 significa total desacuerdo y 5 significa total acuerdo. Por lo tanto, el resultado total del SUS varía de 0 a 100 en incrementos de 2,5 puntos. Este cuestionario tiene una fiabilidad de 0,91 (Almenara, 2018).

Existen distintas variantes de las preguntas que componen este cuestionario, pero normalmente son muy similares. Este criterio es de gran importancia dado que para

modificar las preguntas se debe tener ciertas consideraciones, en vista de que estos cambios pueden llegar a afectar los algoritmos y por ende los resultados (Almenara, 2018).

7.6. Evaluación de la plataforma digital

▪ Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)

El PSSUQ (Cuestionario de usabilidad del sistema posterior al estudio) es un cuestionario estandarizado de 16 elementos. Se utiliza para evaluar la satisfacción del usuario en sistemas informáticos y aplicaciones. PSSUQ se originó a partir de un proyecto interno de IBM denominada SUMS (Métricas de usabilidad del sistema) en 1988. Una de las ventajas de utilizar cuestionarios de usabilidad estandarizados como PSSUQ es su replicabilidad (Almenara, 2018).

PSSUQ sigue una escala Likert de 7 puntos. El resultado general se calcula promediando las puntuaciones de los 7 puntos de la escala. En general los puntajes promedio de las preguntas 1 a 16 se dividen en las siguientes sub-escalas:

- SYSUSE (Utilidad del sistema): Puntajes promedio de las preguntas 1 a 6.
- INFOQUAL (Calidad de información): Puntajes promedio de las preguntas 7 a 12.
- INTERQUAL (Calidad de la interfaz): Puntajes medios de las preguntas 13 a 15.

Las sub-escalas proporcionan un desglose más detallado de los diferentes factores que afectan el sitio web, el software, el sistema o el producto (Almenara, 2018).

7.7. Software

La Tabla 8 detalla las características de los diferentes paquetes de software empleados, para el desarrollo de la plataforma digital, del diseño mecánico de la estructura, de la programación de los sistemas de control y el diseño electrónico del AMPI.

Tabla 8: Software utilizado

Software	Descripción	Ventajas
Inventor	Software para modelado CAD 3D para productos y diseño mecánico (AUTODESK, 2021b).	Posee funciones de modelado, diseño, simulación y renderización de elementos mecánicos (AUTODESK, 2021b). Se puede realizar modelado paramétrico, modelado de ensamblajes, creación dibujos, y realizar simulaciones dinámicas, análisis de estrés, y visualización desde diferentes perspectivas (AUTODESK, 2021b).
Python	Lenguaje de programación que permite trabajar rápidamente e integrar sistemas de forma eficaz (Heroku, 2021).	Software libre, y de fácil entendimiento (Heroku, 2021). El índice de paquetes de Python (PyPI) aloja millas de módulos de terceros para Python. Tanto la biblioteca estándar de Python como los módulos aportados por la comunidad permiten infinitas posibilidades (Heroku, 2021).
Multisim	Software para diseño de circuitos y simulación SPICE para electrónica de potencia, analógica y digital en la educación y la investigación (NI, 2021).	Su entorno esquemático interactivo permite visualizar y analizar al instante el comportamiento de los circuitos electrónicos (NI, 2021). Es empleado para reducir las iteraciones de prototipos PCB y ahorrar costos de desarrollo, añadiendo simulación potente de circuitos y análisis al flujo de diseño (NI, 2021).
Eagle	Software para automatización de diseño electrónico (EDA) que permite a los diseñadores de placas de circuito impreso (PCB) conectar diagramas esquemáticos, ubicación de componentes, enrutamiento de PCB y contenido completo de la biblioteca (AUTODESK, 2021a).	Las bibliotecas de componentes incluyen símbolo, huella, modelo 3D y parámetros, lo que permite ingresar y visualizar en 3D la forma y los modelos de la placa creada (AUTODESK, 2021a). Posee sincronización de diseño en tiempo real por lo cual todos los cambios se sincronizan automáticamente entre su esquema y diseño, para que pueda concentrarse en el proceso creativo (AUTODESK, 2021a).
Iónico	Kit de herramientas de interfaz de usuario móvil de código abierto para crear experiencias de aplicaciones web y nativas multiplataforma de alta calidad. El código puede ejecutarse en todas las partes con JavaScript y la Web (IONICCONF, 2021).	Es gratuito y de código abierto, ofrece una biblioteca de componentes, gestos y herramientas de interfaz de usuario; optimizados para crear dispositivos móviles para crear aplicaciones rápidas y altamente interactivas (IONICCONF, 2021). Ionic permite a los desarrolladores enviar aplicaciones a las tiendas de aplicaciones y como PWA con una única base de código (IONICCONF, 2021).
FireBase	Permite programar Apps de alta calidad, crear base de usuarios y datos. Se encarga de los aspectos básicos para que el usuario pueda monetizar su negocio y concentrarte en sus usuarios (FireBase, 2021).	Es muy fácil integrarlo a una App, y se puede elegir entre múltiples plataformas, tales como: Android, IOS Web, Unity, C ++ y Admin. Para ello posee varias guías que permiten al programador usar el servicio (FireBase, 2021).
ANSYS	Software que permite predecir el funcionamiento de ciertos productos. Ayuda a reducir costos de fabricación, mejorar la calidad del producto y disminuir riesgos (Seys, 2021).	Se integra fácilmente a varias plataformas ya existentes como AutoCad, Inventor, SolidWorks, entre otros. Es independiente de la plataforma CAD/ PLM/ LoT. Es de acceso gratuito para estudiantes cuyas instituciones posean su licencia (Seys, 2021).

Fuente: Autor

8. Marco metodológico

8.1. Establecimiento de las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19

A continuación, se describen los conceptos referidos a las características de medición de las señales fisiológicas establecidas con anterioridad. Además, se detallan las herramientas tecnológicas más utilizadas en la medición de estas señales.

8.1.1. Señales fisiológicas a medir y equipos

■ Señales fisiológicas

- Presión arterial: Se puede definir como “presión arterial normal” a la presión arterial sistólica (PAS) y presión arterial diastólica (PAD), que se ubica entre los P 90 y P 95 respectivamente (Ramírez, 2006). Cuando la PAS y/o PAD se ubican por encima del P 95, luego de tres determinaciones separadas por minutos con el paciente en reposo, se la puede definir como “hipertensión arterial franca”. De la misma manera si la PAS y o PAD se ubican por debajo P 90 se estaría hablando de “hipotensión arterial” (Ramírez, 2006).
- Saturación de oxígeno en la sangre: Es la cantidad de oxígeno que se encuentra combinado (en el sentido químico) con la hemoglobina. Esta medida es relativa y no absoluta, puesto que no indica la cantidad de oxígeno en sangre que llega a los tejidos, sino, la relación que existe entre la cantidad de hemoglobina presente y la cantidad de hemoglobina combinada con oxígeno (oxihemoglobina) (Laborde, 2004).
- Temperatura corporal: Es un signo vital del cuerpo que denota mucha importancia tanto en aspectos clínicos como en el cuidado de la salud diaria. La temperatura del cuerpo se puede distribuir en dos grupos, temperatura interna y temperatura externa (Lozano y colaboradores, 2015).

La temperatura interna corresponde a la de los tejidos internos del organismo mientras que la temperatura externa corresponde a la temperatura del cuerpo cerca de la superficie. Estas dos temperaturas están relacionadas entre sí, y la variación

entre ellas se debe a las condiciones del entorno, y bajo condiciones normales la temperatura corporal se encuentra en un rango de 36,5 °C a 37,5 °C y raramente varía 1 °C a lo largo del día (Lozano y colaboradores, 2015).

■ Equipos

- Tensiómetro digital: El tensiómetro seleccionado para la medición de la presión arterial es el “Monitor de presión arterial de muñeca automático-HEM-6122”. El modelo 6122 posee un sensor de posición que ayuda a guiar la correcta posición de la muñeca hasta el nivel del corazón, para obtener mediciones exactas. Posee un sensor que alerta al usuario sobre la presencia de latidos irregulares potencialmente peligrosos, cuenta con una pantalla LCD que permite la visualización de los resultados obtenidos de la medición y posee protección contra descargas eléctricas (equipo de ME encendido internamente). Emplea el método de medición oscilométrico y dispone de un rango de medición en presión de 0 mmHg a 299 mmHg y en pulsos de 40 latidos/min a 180 latidos/min con una precisión en presión de ± 3 mmHg y en pulsos de ± 5 % de lectura. Además, posee un sistema de inflado automático rápido por bomba eléctrica (OMRON, 2017).
- Termómetro digital: El termómetro seleccionado para la medición de la temperatura es “Non-Contact Forehead IR Thermometer - Termómetros Digitales Easy East - IR200”. Este modelo posee una pantalla LCD retroiluminada para visualizar las mediciones. Su rango de medición oscila entre 32°F y 140°F con una precisión de $\pm 0,5$ °F, con un tiempo de respuesta de 0,5s (Instruments, 2018).
- Oxímetro digital: El oxímetro seleccionado para la medición de la saturación de oxígeno en la sangre es “Oxímetro-Shenzhen IMDK Medical Technology – Finnger-tip pulse Oximeter – C101A3”. Este posee protección contra descargas eléctricas tipo BF y protección contra el ingreso de líquidos. Los valores que se visualizan en la pantalla OLED son la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca. Éstos se presentan en un rango de medición de 70 % a 99 % y de 30BPM a 240BPM respectivamente, con una precisión de ± 2 % en cuanto a la saturación de oxígeno y de ± 2 BPM en frecuencia de pulsos (BIOPROMEDICAL, 2019).

8.1.2. Materiales, Dimensiones, Control y Seguridad

■ Materiales

Los materiales presentados en la Tabla 9 son los que se han tomado en consideración para la impresión 3D de la estructura, teniendo en cuenta los distintos requerimientos para el diseño y el uso del dispositivo AMPI.

Tabla 9: Condiciones iniciales para el diseo mecánico de la estructura del AMPI - Materiales

Condiciones Iniciales – Materiales			
Material	Parámetro	Diámetro de filamento	
		1m/1,75mm	1m/3mm
ABS	Resistencia [MPa]	23,00	87,00
	Peso [g]	2,5	7,35
PLA	Resistencia [MPa]	105,00	320,00
	Peso [g]	2,98	8,76

Fuente: UltiMachine (2021a), UltiMachine (2021b)

Se ha considerado el uso de estos materiales para la impresión de la estructura del AMPI, principalmente por sus características de peso y resistencia. Posteriormente se eligió el material final con base a los resultados obtenidos del análisis de esfuerzos realizados para los dos materiales. Es así, que también se consideraron las propiedades mecánicas de estos polímeros presentados en la Tabla 10.

Tabla 10: Condiciones iniciales para el diseño mecánico de la estructura del AMPI - características mecánicas de los materiales

Condiciones Iniciales – Características Mecánicas de los Materiales		
Propiedad	ABS	PLA
Alargamiento a la Rotura [%]	45,00	35,00
Coefficiente de Fricción	0,50	0,30
Módulo de Elasticidad [GPa]	2,10 - 2,40	3,37
Resistencia a la Tracción [MPa]	41,00 - 45,00	48,00
Resistencia a la flexión [MPa]	47,80 - 76,00	100,00
Resistencia al Impacto [KJ m-2]	14,00	5,00
Coefficiente de Poisson	0,33	0,30
Densidad [g cm-3]	1,05	1,25

Fuente: UltiMachine (2021a), UltiMachine (2021b)

Las características de los materiales indicados en las Tablas 9 y 10 permiten comparar sus ventajas y desventajas, con el objetivo de escoger el idóneo para la impresión de la estructura.

■ **Dimensiones**

Las medidas de los distintos dispositivos son necesarias para diseñar los soportes y espacios necesarios para colocar los equipos de medición del AMPI. El dispositivo debe adaptarse a la mano de los usuarios con diferentes características antropométricas. En la Tabla 11 se presentan las medidas antropométricas consideradas para el diseño de la estructura mecánica, que permitirá realizar los ajustes del dispositivo.

Tabla 11: Condiciones iniciales para el diseño mecánico de la estructura del AMPI - medidas antropométricas

Condiciones Iniciales – Medidas Antropométricas			
Medidas Antropométricas	Parámetro	Rango de ajuste	
		Mínimo [mm]	Máximo [mm]
Dedo	Ancho	10,00	17,00
	Largo	75,80	85,00
Longitud palmar	Ancho	60,00	110,00
	Largo	102,00	135,00
Muñeca	Ancho	40,00	55,00
	Largo	30,00	50,00

Fuente: (Cubillos y Medina, 2010), (Rodriguez y Vargas, 2019)

En la Tabla 12 se presentan las dimensiones de los dispositivos médicos considerados para el diseño de la estructura mecánica.

Tabla 12: Condiciones iniciales para el diseño mecánico de la estructura del AMPI - dimensiones de dispositivos médicos

Condiciones Iniciales – Dimensiones de Dispositivos Médicos		
Dispositivo Médico	Parámetro	Dimensión [mm]
Termómetro	Ancho	160,00
	Largo	82,00
	Alto	42,00
Tensiómetro	Ancho	100,00
	Largo	110,00
	Alto	110,00
Oxímetro	Ancho	52,00
	Largo	36,00
	Alto	33,00
Actuadores Lineales	Ancho	50,00
	Largo	50,00
	Alto	180,00
Cámaras	Ancho	25,00
	Largo	20,00
	Alto	9,00
Medidas: Raspberry Pi	Ancho	85,00
	Largo	49,00
	Alto	30,00
Lámpara UV-C	Diámetro	18,00
	Largo	255,00

Fuente: OMRON (2017), Instruments (2018), BIOPROMEDICAL (2019), LEDBOX (2020), Ulti-Machine (2021a), UltiMachine (2021b)

▪ Seguridad

- **Esterilización:** Al tratarse de un dispositivo dirigido a asistir el diagnóstico y seguimiento de pacientes COVID-19, la esterilización tiene un papel importante en la prevención del virus. (van Doremalen y colaboradores, 2020) presentó en un estudio que el SARSCoV2 permanece activo hasta 3 h en aerosoles, 4 h en superficies de cobre, 24 h en cartón, 48 h en acero inoxidable y 72 h en plástico. Evidentemente, para este diseño se plantea que el proceso para la esterilización será automático empleando lámparas UV-C. Esto debido que existen varios estudios

que evidencian la eficacia de la luz ultravioleta para la desinfección de superficies y estructuras contaminadas con el coronavirus (García y colaboradores, 2020; Wilches y Castillo, 2020; Zapata y Moreno, 2020).

La lámpara debe estar situada en un lugar estratégico que permita, a la luz, alcanzar al microorganismo. Se empleará una lámpara, considerando que es suficiente una por cada 5 m² (Costa Da Cunha, 2020) con una longitud de onda de 254 nm.

La luz ultravioleta es la franja del espectro electromagnético comprendida entre los 100 nm a 400 nm de longitud de onda, la luz UV-C se encuentra en el rango de 100nm a 280 nm. El daño potencial de cualquier onda electromagnética depende de su energía (J), coeficiente de absorción del medio (m-1) y de su intensidad (Js-1m-2) o irradiancia (Jm-2) (Buonanno y colaboradores, 2020).

En (Buonanno y colaboradores, 2020) se determinó que una intensidad de UV-C lejana de 3,0 mJm-1cm-2 es suficiente para inactivar el 99,9% de la carga viral en lugares públicos si se aplica durante 25 min. Por otra parte, en (Card y colaboradores, 2020) se concluyó que aplicar UV-C de 265 nm con una irradiancia de 60 mJcm-2 durante al menos 15 min, podría descontaminar protectores faciales de plástico.

Aun así, con base a la hoja técnica de la lámpara UV-C LED escogida (Figura 11) - con tipo de luz UVC de 275 nm + UVA de 395nm - el tiempo de exposición de luz necesaria es de 150 segundos (LEDBOX (2020)).

Figura 11: Lámpara UV-C sterilization lamp 3W



Fuente: Autor

En la Tabla 13 se puede apreciar el procedimiento y el protocolo de uso de la lámpara UV-C empleada para la esterilización del asistente médico.

Tabla 13: Procedimiento de uso de la lámpara UV-C

Procedimiento de uso de la Lámpara UV-C	Medida de Seguridad
<ul style="list-style-type: none">○ Verificar que la lámpara no esté en contacto con el paciente.○ Después de encender la lámpara, dejar pasar 15 minutos como tiempo de espera antes del próximo uso del AMPI (Card y colaboradores, 2020). Esto, para inactivar al organismo.	<ul style="list-style-type: none">○ Nunca mirar directamente a la luz UV, aun con protección.○ No exponer partes del cuerpo a la luz UV emanada de equipos para esterilización.○ Nunca usar la luz UV para esterilizar manos, piel o ropa.○ La luz ultravioleta puede causar daños a algunos materiales, como por ejemplo el acrílico.

Fuente: (Costa Da Cunha, 2020)

- **Alarmas y señalización**

Debido que la radiación UV ha sido identificada como potencialmente cancerígena (van Doremalen y colaboradores, 2020), deben adoptarse medidas de protección para minimizar ese riesgo:

- En lo posible conectar las lámparas con un sensor de movimiento, de manera que se apaguen automáticamente si alguien ingresa bajo su luz.
- Siempre colocar una alarma o un cartel indicando que la luz UV-C se encuentra encendida y una descripción sobre el riesgo.

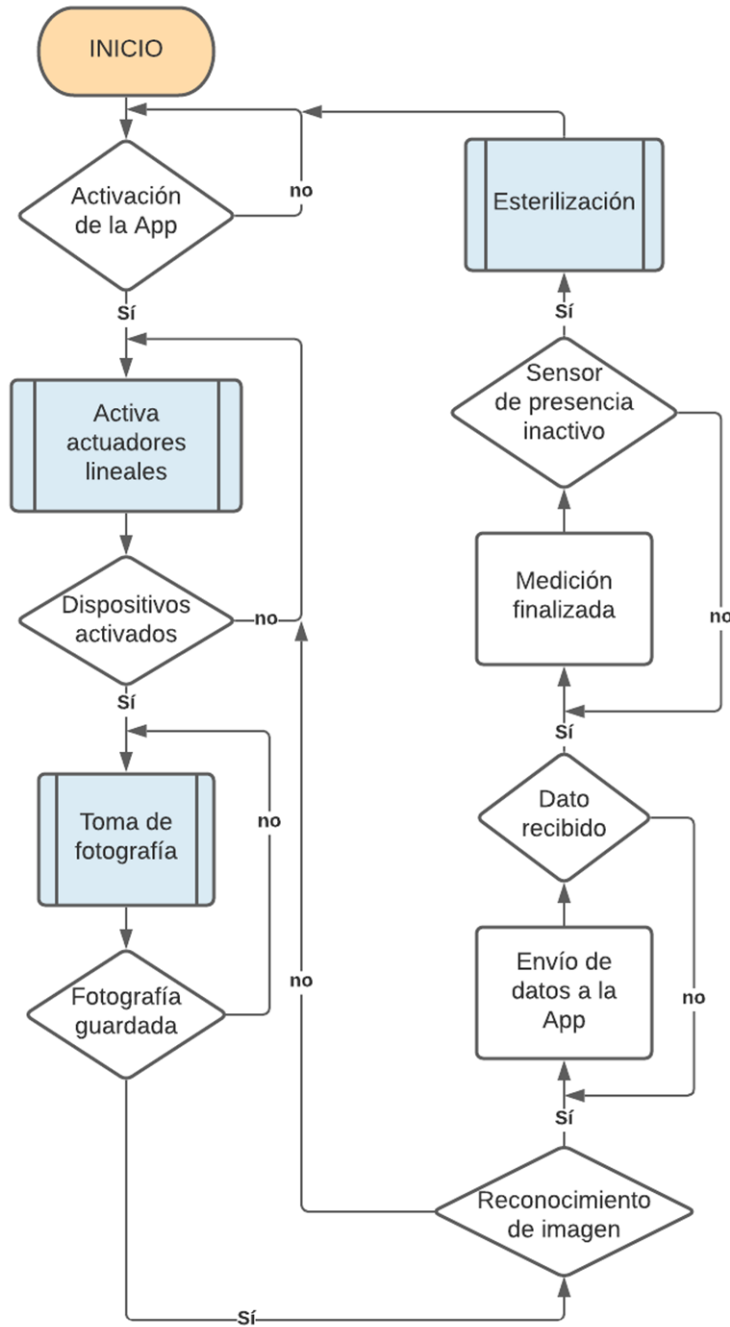
- **Control**

El AMPI requiere el desarrollo de las siguientes etapas:

- Encendido automático de los dispositivos de medición.
- Captura de imágenes, reconocimiento y procesamiento de imagen.
- Encendido/apagado de la esterilización.

En la Figura 12 se muestra el flujograma de funcionamiento de las mencionadas etapas de control.

Figura 12: Flujograma de funcionamiento de las etapas de control



Fuente: Autor

Para la implementación de las etapas descritas se requieren los siguientes elementos:

- Batería: La batería considerada para la alimentación del circuito y de los actuadores lineales es la batería recargable de litio “18650 3S2P - 12v 4400 mAh” que tiene una corriente de carga de 1A. Los requisitos de la aprobación de la gestión de las células de entrada y de salida son de (5,5) 2,1mm macho y hembra. La corriente instantánea máxima es de 5 A y la máxima corriente de trabajo es de 4,4 A (LEDBOX (2017)).
- Raspberry Pi: El Raspberry Pi 3 modelo B+ posee un procesador de cuatro núcleos de 64 bits que funciona a 1,4 GHz, doble banda de 2,4 GHz y LAN inalámbrica de 5 GHz, Bluetooth 4.2 / BLE, Ethernet y capacidad PoE a través de un SOMBRERO PoE separado (RaspBerryPi (2019)).
- Actuador lineal: Se ha considerado el uso de tres actuadores lineales mini JS35A con diseño compacto a 12V a 4 A, que posee un torque de 0,4Nm y posee un peso de 0,07kg (Actuonix (2016)).
- Módulo de cámara: Los módulos de cámara Raspberry Pi son productos de la Fundación Raspberry Pi. Para el desarrollo del dispositivo se ha empleado el modelo 5 mega-píxeles original, mismo que fue lanzado en 2013. Este módulo pesa 3g con una resolución del sensor de 2592x1944 píxeles (RaspBerryPi (2018)).
- Cámaras: La mini-cámara Espía Opticam SQ11 posee 12 mega-píxeles de resolución, esta es capaz de tomar una fotografía de 4032x3024. Se puede cargar y transferir archivos mientras se encuentra conectado a una computadora, por lo cual se lo puede conectar a un cargador 5 V - 1 A y grabar o tomar fotografías mientras carga (BidcoM (2018)).
- Sensores: El sensor de presencia infrarrojo HC-SR501 es un encapsulado semi-esférico hecho de polietileno de alta densidad, cuyo objetivo es permitir el paso de la radiación infrarroja en el rango de los 8 micrones y 14 micrones. El lente detecta radiación en un ángulo con apertura de 110° y, adicionalmente, concentra la energía en la superficie de detección del sensor PIR, permitiendo una mayor sensibilidad del dispositivo (PuntoFlotante (2017)).
- En el ANEXO A se encuentra la lista de materiales necesarios para la construcción del AMPI con sus respectivos costos.

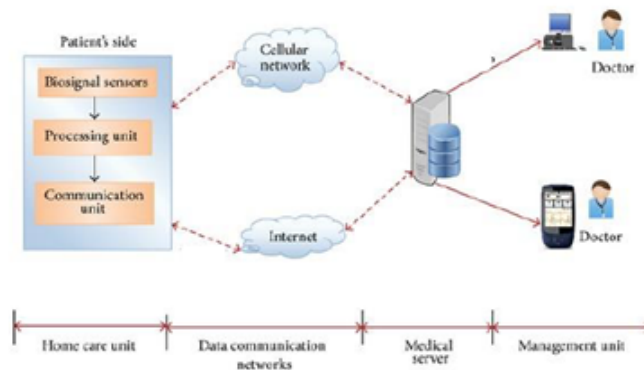
8.1.3. Administración de datos, App, usuarios y médicos

■ Plataforma digital para compartir información

Una plataforma digital debe permitir el intercambio de información que posibilite el seguimiento, la asistencia al diagnóstico o tratamiento de pacientes a distancia (Crespo y Enríquez, 2020).

En la Figura 13 se observa un diagrama básico de telemedicina. Aquí, una vez obtenidas las mediciones de las señales biomédicas, éstas se almacenan en una base de datos. Gracias al internet, la base de datos puede ser compartida con los profesionales de salud, quienes darán un diagnóstico clínico con base a los datos proporcionados (Crespo y Enríquez, 2020).

Figura 13: Diagrama básico de una plataforma digital de telemedicina.



Fuente: Crespo y Enríquez (2020)

El principal objetivo es crear una aplicación que sirva como interfaz para la comunicación entre el dispositivo AMPI y el usuario. Es por esto, que se ha planteado una eHealth App. Esta estará sincronizada directamente al dispositivo AMPI para la toma de datos fisiológicos.

Existe una gran variedad de plataformas digitales, y para plantear el diseño de la plataforma, primero se realizó una investigación de campo de varias eHealth, los objetivos específicos de cada una de ellas varían de acuerdo con la necesidad de los usuarios.

Esta revisión, se realizó con el afán de determinar ciertas características relevantes, que puedan ser útiles en el desarrollo de la aplicación AMPI, donde se ha determinado y recopilado las más importantes en la Tabla 14.

Tabla 14: Características relevantes de algunas eHealth App del mercado

eHealth app	Características relevantes
Telemedicina Nova	Soporte para plataformas IOS y Android Los pacientes se afilian a un médico para agendar citas en línea y realizar video llamadas Los profesionales deben ser verificados mediante documentos cargados a la App
MediQuo	Video tutorial inicial acerca del uso de la App Foros y grupos para compartir información
My Doctor App	Registro de historial del paciente
Tytocare Telemedicina	Se genera un código único para la comunicación entre el paciente y profesional Sincronización de un dispositivo con la App mediante Wifi o telefónica
App Historial Medico	Registro de varios usuarios, mediante la toma de datos personales
App Spirohome	Test de funcionamiento del dispositivo anclado a la App
App Registrador diario	Además de toma de datos, provee información acerca de estos y consejos Visualizaciones datos mediante graficas
App Samsung Health	Se permite compartir los datos de salud Indicaciones graficas de funcionamiento
Doctor on Deman	Acceso a opiniones de profesionales certificados El profesional de la salud puede prescribir medicación y remitir al paciente a un especialista o incluso a emergencias
Pingmd	Respuesta por parte de un profesional específico o por algún colega de su red Dudas guardadas en el expediente para su futura consulta

Fuente: Autor

- **Requisitos funcionales**

Para el diseño de la plataforma digital del presente proyecto, se tomaron en cuenta los siguientes objetivos:

- Desarrollar una aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android e IOS.
- Implementar un módulo para la gestión de la información de los usuarios:
 - ◇ Manejo de sesión.
 - ◇ Actualizar datos personales y de la historia médica.
 - ◇ Implementar un módulo para que un usuario pueda compartir información o parte de su historial de mediciones con el profesional de salud.
- Implementar un módulo para la gestión de la información para los médicos:
 - ◇ Registro de un médico, en el cual, además de su información personal podrá indicar la(s) especialidad(es) que posee.

- ◇ Manejo de sesión.
- ◇ Implementar un módulo para que el profesional de la salud pueda acceder a la información o a parte del historial de mediciones de los usuarios que han decidido compartir sus datos.

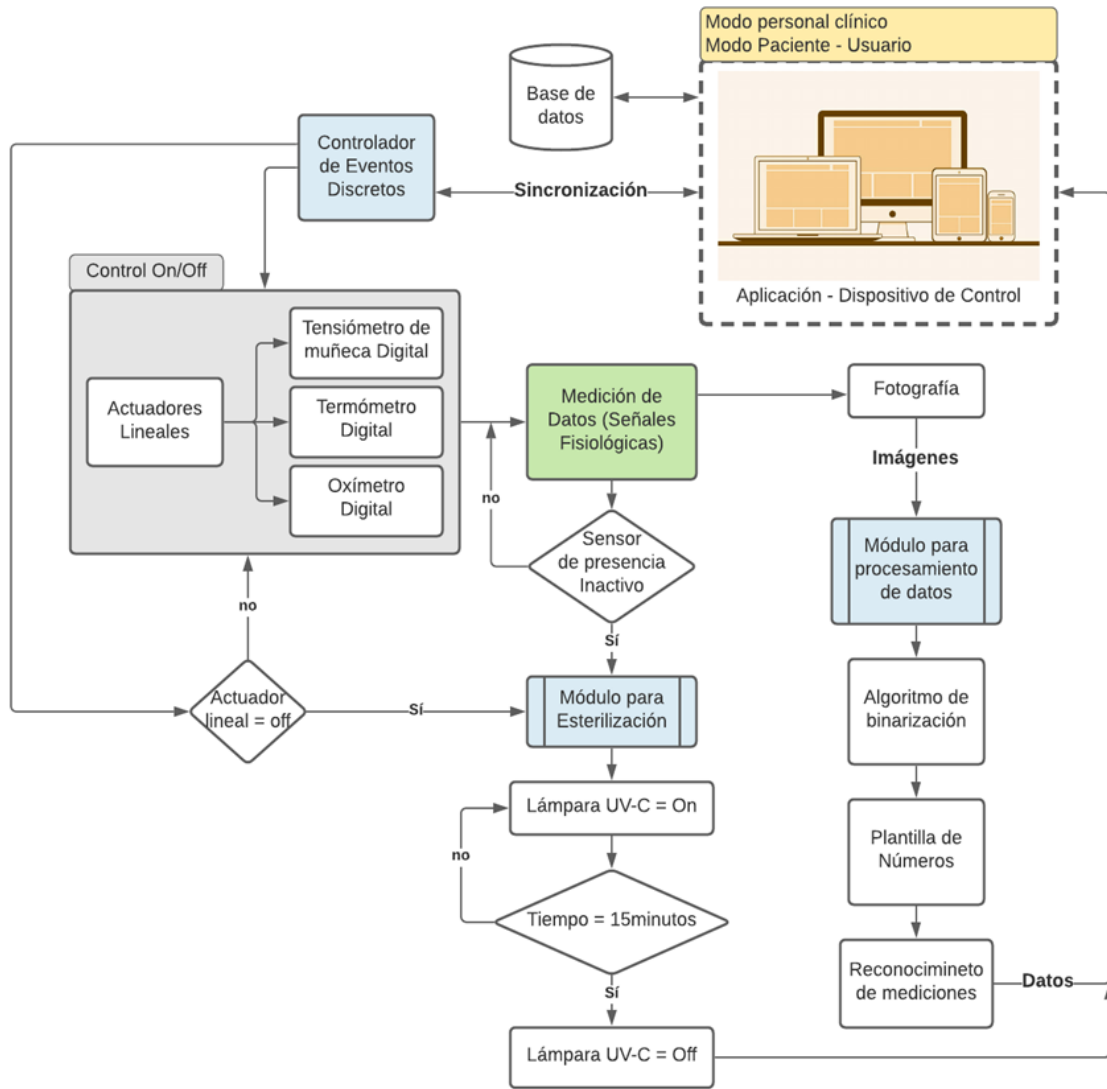
8.2. Propuesta del diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean presionados automáticamente, y las medidas sean procesadas y enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App)

El AMPI es un sistema para adquisición, envío y almacenamiento de las mediciones de señales fisiológicas adquiridas mediante instrumentos clínicos certificados, para la gestión de estos datos por parte del personal médico, de forma segura, inmediata y con exactitud.

El diseño del hardware de este sistema incluye etapas para realizar la esterilización, la adquisición de las señales fisiológicas, el procesamiento de imágenes y el envío de las mediciones; para lo cual, se propuso un diseño modular. Los subsistemas o módulos de cada etapa se complementan entre sí para formar un sistema integrado que garantice la medición automática y segura. Posteriormente, las señales fisiológicas adquiridas se almacenan en una base de datos (Firestore), para su análisis con el personal médico, a través de una interfaz gráfica (App) que permita una mejor interacción paciente - personal médico. En la Figura 14 se presenta un diagrama de bloques del dispositivo AMPI. Es posible observar las distintas fases y elementos que permiten la adquisición, el procesamiento, el almacenamiento y la transferencia de las señales fisiológicas medidas.

Una vez definido el funcionamiento del AMPI, a continuación, se enumeran las especificaciones más importantes del producto a tener en cuenta:

Figura 14: Diagrama de bloques de AMPI integrado.



Fuente: Autor

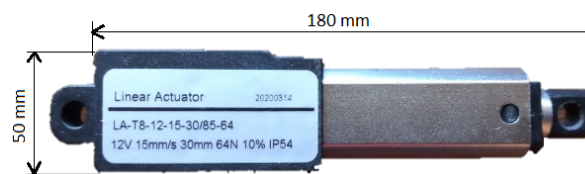
■ **Aspecto geométrico**

- El dispositivo AMPI está constituido por: tres actuadores lineales, tres cámaras, una lámpara UV-C, un oxímetro digital, un termómetro digital y un tensiómetro de muñeca. Este conjunto de elementos debe ser considerado para dimensionar

correctamente la estructura, en la cual las personas deberán colocar su brazo para realizar las mediciones.

- Los equipos médicos no pueden ser desarmados ni manipulados internamente para garantizar su fiabilidad por lo que, se plantea el uso de cámaras para obtener la medida confiable directamente del display del dispositivo.
- Se disponen de actuadores lineales DC de 12 V que proporcionan un torque de 64 N para la activación de los equipos médicos (Figura 15).

Figura 15: Actuador Lineal ZCONIEY. Modelo: MLaActuator-30MM



Fuente: Autor

- La población objetivo incluye: jóvenes, adultos y adultos mayores; por lo que, se requiere que el dispositivo se ajuste a las diferentes longitudes de mano.
- El dispositivo debe ser portátil y tener un volumen tal, que permita su empleo en cualquier momento y lugar.
- A fin de que, el dispositivo será empleado por pacientes con sospecha de contagio de COVID-19 o contagiados, se necesita incorporar un sistema para la esterilización del AMPI por medio de una lámpara UV-C (**esto no exime la limpieza con alcohol**).
- El acabado del mecanismo debe estar libre de aristas o esquinas punzantes y de corte. Además, el diseño debe garantizar la seguridad del uso del AMPI para su empleo en el hogar.

■ Materiales

- Para su prototipado rápido y construcción se debe elegir un material ligero y resistente para la durabilidad del dispositivo.
- Se deben considerar los diferentes grados de fricción que introducen los materiales; como es el caso del sistema mecánico que activará los dispositivos de medición. Por este motivo, las superficies deben ser lisas y más o menos pulidas.

■ Entorno

- El mecanismo y sobre todo los elementos que lo integran: tarjetas electrónicas, Raspberry Pi, batería, equipos clínicos; deben encontrarse en condiciones óptimas de temperatura y humedad.
- Debido a que su empleo puede ser el ambiente doméstico de un paciente, se deben considerar las limitaciones de espacio y la exclusividad de uso.

8.2.1. Diseño mecánico

Para el diseño mecánico del dispositivo AMPI, a continuación, se describe la metodología utilizada para el cumplimiento del mismo. La metodología consiste en una serie de pasos desarrollados para obtener un dispositivo funcional y son los siguientes:

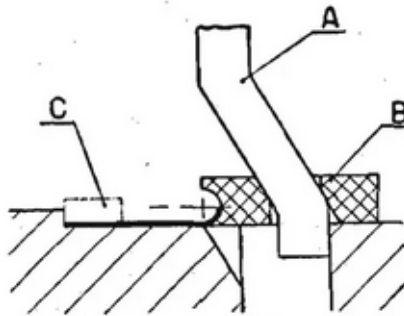
1. Planteamiento del sistema de corredera para transformar movimiento horizontal en vertical.
2. Diseño en Autodesk Inventor 2020 del dispositivo AMPI.
3. Análisis de esfuerzos del sistema de corredera.

■ Planteamiento del sistema de corredera para transformar movimiento horizontal en vertical

Para el diseño se plantea que los actuadores lineales se colocarán de manera horizontal por razones de estética y ergonomía, puesto que, de posicionarlas verticalmente, el diseño final del dispositivo AMPI se sobredimensionaría. En este punto, el movimiento que generan los actuadores es de naturaleza lineal horizontal, y para accionar los pulsantes de los dispositivos para medición es necesario un movimiento de naturaleza lineal vertical. Debido a esto, se plantea un modelo fundamentado en un mecanismo de estampas para doblar y curvar chapas. En la Figura 16 se presenta un dispositivo especial que permite que una chapa pueda arrollarse horizontalmente (Rossi, 1979).

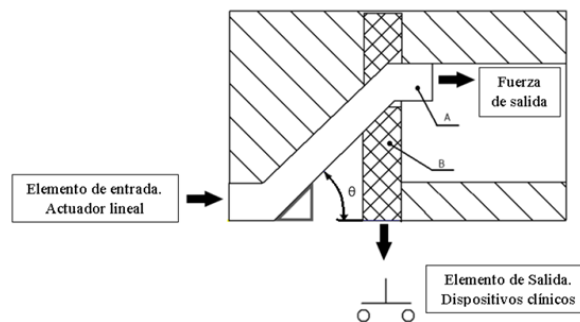
En la Figura 17, se bosqueja el diseño del sistema de corredera de la Figura 6 adaptado a las necesidades del AMPI, en el cual el actuador estará acoplado al brazo A, el mismo que al moverse horizontalmente, mueve la corredera B en sentido vertical empujándola contra el pulsante del dispositivo clínico de medición.

Figura 16: Disposición para realizar el arrollado del extremo de una chapa, horizontalmente.



Fuente: Rossi (1979)

Figura 17: Disposición del mecanismo de corredera para accionar los dispositivos clínicos de medición.



Fuente: Autor

El avance final de la corredera B depende del valor del ángulo θ , producto del brazo A. Para calcular el avance necesario se utiliza geometría simple.

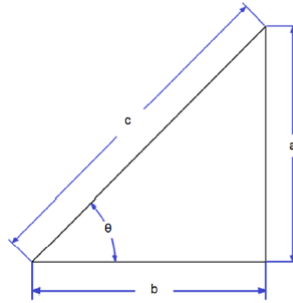
Tomando como referencia el ángulo formado por la abrazadera A, se tiene como resultado un triángulo rectángulo de la Figura 18, donde:

Se tienen los valores referentes a la hipotenusa c, el cateto a y el ángulo θ . Con la función trigonométrica básica, de la Ecuación (3), se puede obtener el avance de b.

$$b = \frac{a}{\tan(\theta)} \quad (3)$$

Una vez establecido el diseño conceptual del mecanismo de activación de los dispositivos,

Figura 18: Triángulo obtenido de la abrazadera A



Fuente: Autor

se procede al diseño en físico del mecanismo propuesto y la estructura del AMPI.

■ **Diseño en Autodesk Inventor 2020 del dispositivo AMPI**

El siguiente paso consiste en el diseño de los particulares del AMPI utilizando el software Autodesk Inventor 2020. Las consideraciones de diseño se describen a continuación:

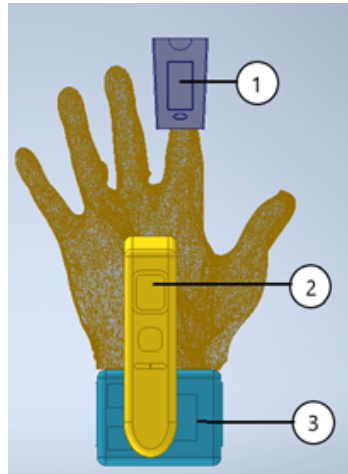
- Para el diseño de la estructura del AMPI, se determinó la correcta ubicación de cada uno de los dispositivos médicos a utilizar, esto con base a los protocolos de medición descritos en la sección 7.3.

Se proyecta que el dispositivo se acople a la mano izquierda, a causa de que éste es el brazo de referencia recomendado para la medición de presión arterial, a diferencia de la toma de pulso, temperatura y saturación de oxígeno; que no requieren una mano de referencia. De esta forma, en la Figura 19, se establece la colocación de los dispositivos clínicos en la mano izquierda:

1. **Oxímetro digital:** Este se ubicará en el lado derecho del AMPI para orientar al dedo índice de la mano izquierda y permitir que calce con el oxímetro, pues éste es uno de los dedos más utilizados por el personal clínico.

Para la colocación del oxímetro, se debe asegurar que el fotodiodo emisor de luz esté hacia el lecho ungüéal y el fotodiodo receptor, en el extremo opuesto (en línea paralela) al pulpejo del dedo. Ventajosamente, el oxímetro en cuestión, permite que el dedo pueda ser deslizado fácilmente en su abertura, sin necesidad de aplicar presión en sus extremos para abrir el dispositivo, por lo que, no es necesario establecer un sistema que permita la colocación del oxímetro.

Figura 19: Ubicación de sensores clínicos. 1. Oxímetro digital. 2. Termómetro digital. 3. Tensiómetro de muñeca digital



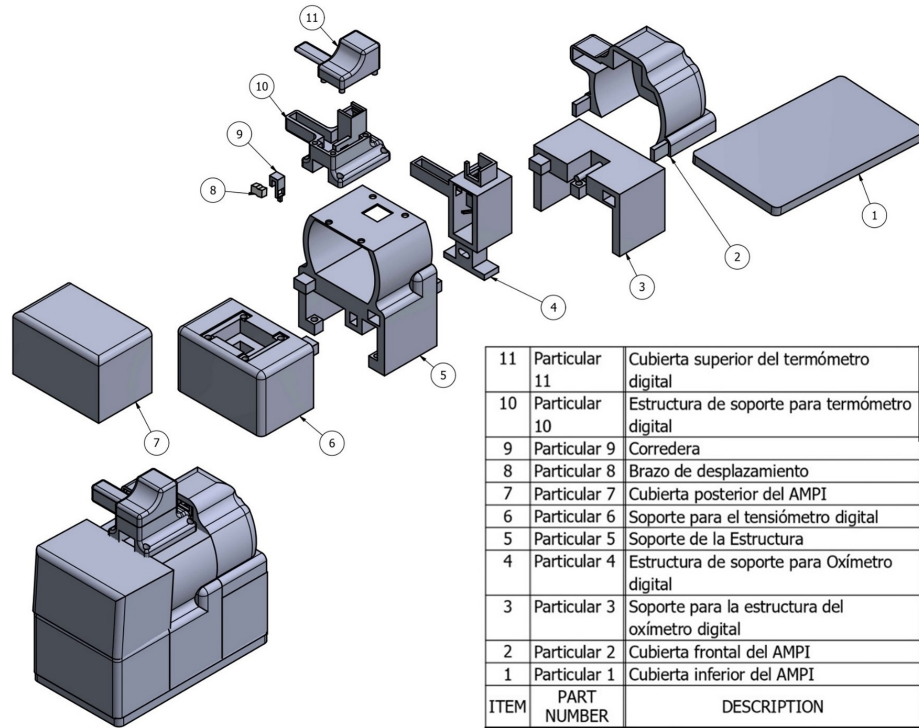
Fuente: Autor

2. **Termómetro digital:** Como se presenta en la Figura 19, el termómetro se ubica verticalmente en la parte superior de la mano, asegurando que el sensor del termómetro apunte en la parte lisa del dorso, a unos 3 cm o 5 cm de distancia, recomendados para una buena toma de las medidas.
 3. **Tensiómetro digital de muñeca:** Como su nombre lo indica, este se sitúa en la muñeca del brazo izquierdo, que se estableció como referencia debido a que, éste es el más cercano al corazón.
- Se deben respetar las dimensiones exactas de los dispositivos clínicos (Tabla 12) y de los elementos electrónicos para evitar fallas en el funcionamiento del AMPI, además de errores en el reconocimiento de las medidas.
 - Se plantea que el hardware electrónico, en general, se ubicará en la base del dispositivo, esto por facilidad de conexión y optimización de espacio.
 - Las cámaras estarán colocadas a 5 cm de los displays, para tomar fotos de las mediciones, después de que los botones de activación de los dispositivos sean pulsados. Esta distancia está dada en vista de obtener un mejor enfoque del display de los dispositivos.
 - Las dimensiones y dibujos del ensamble se presenta en el ANEXO B.

El diseño completo de la estructura mecánica se muestra en la Figura 20, en la cual

se enumeran 11 particulares. Se trata de una estructura rectangular con esquinas redondeadas, libre de aristas y esquinas punzantes. Los particulares que lo componen, se describen en el manual (Anexo B).

Figura 20: Diseño propuesto para dispositivo AMPI



Fuente: Autor

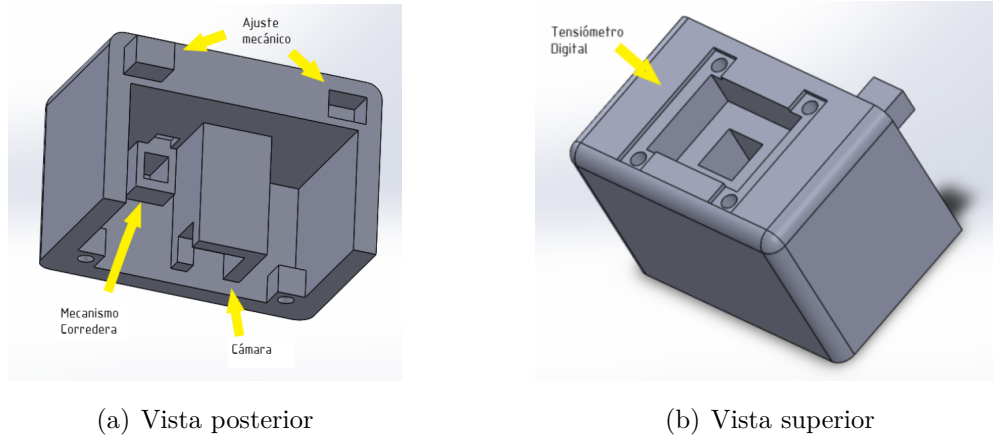
La base del dispositivo AMPI sobrellevará todos los dispositivos mecánicos y electrónicos. Para dimensionar la longitud de la misma, se consideraron las máximas longitudes antropométricas de la mano, indicadas en la Tabla 11, además de la longitud correspondiente del tensiómetro digital de muñeca, puesto que, con base a la Figura 19 este se debe colocar en la parte inferior del dispositivo a la altura de la muñeca.

Como se puede observar en la Figura 20, la base del AMPI se compone de tres secciones divididas en particulares -Figura 21, Figura 22, Figura 23-. Los particulares de la base comparten el objetivo de almacenar los dispositivos electrónicos. Es por ello, que con base a las medidas de las baterías, Raspberry Pi (Tabla 12) y las placas electrónicas (Tabla 28) se considera una abertura, lo suficientemente amplia, para su colocación.

Para el diseño del particular 6, que se puede observar en la Figura 21.a, que se consideró

la ubicación de la cámara y el mecanismo de corredera correspondiente al accionamiento del tensiómetro digital. Así mismo, en la Figura 21.b se puede observar la abertura, en el que se situará la zona del display del tensiómetro digital a fin de que esté alineado con su correspondiente mecanismo de accionamiento y cámara.

Figura 21: Particular 6 correspondiente al soporte para tensiómetro digital de muñeca, parte posterior de la base del AMPI



Fuente: Autor

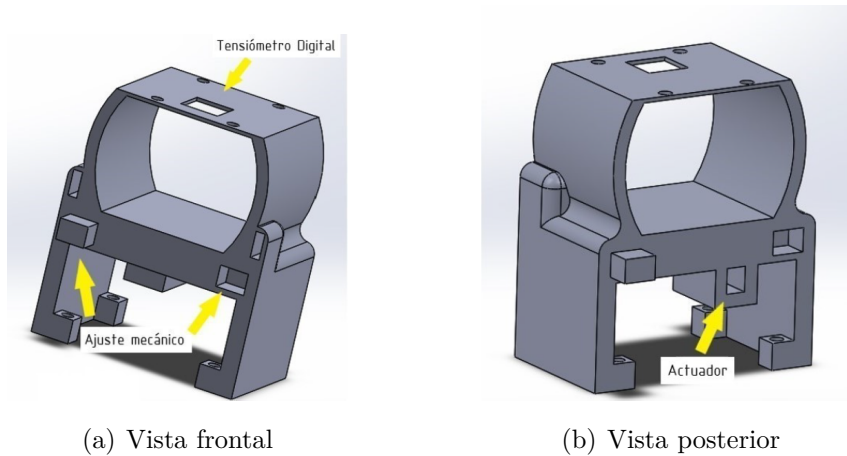
En relación con el diseño, otro punto a considerar, es la forma de ensamblaje del AMPI. Se proyecta que la estructura del dispositivo, se ajuste por medio del método llamado: diseño para ensamblaje de “autosujeción por presión”, debido que más adelante, en la selección de materiales se considera que la estructura sea de polímero termoplástico y la unión con adhesivos, soldadura u otra forma de adhesión (por medios no mecánicos); no son la forma más práctica para lograr el ensamble de dos piezas de polímero. Esto sumado al hecho de que, para el mantenimiento del AMPI, se requerirá de un desensamblado repetido del producto, donde, de aplicarse una forma de fijación no mecánica, el costo y la complejidad se tornarían altas (Boothroyd y colaboradores, 2010).

Debido a la naturaleza del plástico, se debe evitar sobretensionar las partes y las uniones sujetadas mecánicamente. Así pues, como se puede distinguir a los largo de todos los particulares diseñados, (Brent, 1996) considera que la uniones de naturaleza termoplástica, deben tener tolerancias de $\pm 0,5$ mm para un ajuste mecánico adecuado que evite el deslizamiento, separación, vibración, desalineado y desgaste de las piezas.

En relación con la Figura 22. La parte superior del particular 5, presenta una abertura

para permitir la correcta ubicación del sensor infrarrojo del termómetro digital. El área libre por donde la mano se ubicará está dimensionada con base a las medidas antropométricas de la Tabla 11. Asimismo, en la Figura 22.b, se visualiza el compartimiento “Actuador” en el cual se colocará el actuador lineal que activa al oxímetro digital.

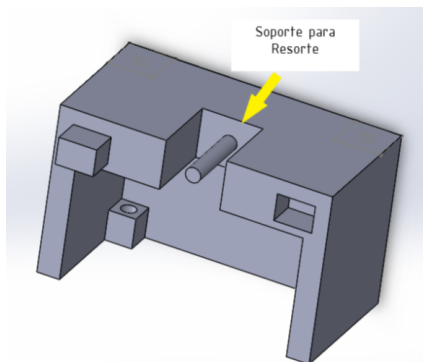
Figura 22: Particular 5 correspondiente al soporte de la estructura del termómetro digital, parte intermedia de la base del AMPI



Fuente: Autor

De acuerdo con, la Figura 20, el particular 6 (Figura 21) se conecta con el particular 5 (Figura 22), correspondiente a la parte intermedia de la base, que a su vez se conecta con el particular 3 (Figura 23).

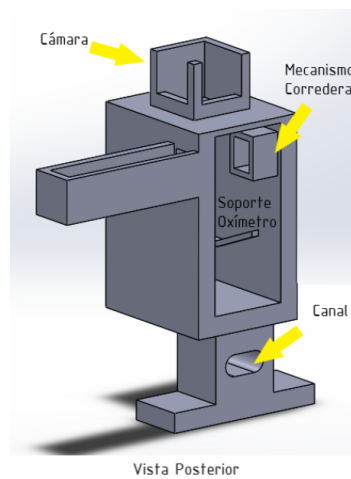
Figura 23: Particular 3 correspondiente al soporte para la estructura del oxímetro digital, parte frontal de la base del AMPI



Fuente: Autor

Para el diseño del particular 3, presentado en la Figura 23, se consideró la creación de un “soporte para resorte” para alinear horizontalmente un resorte en la zona de frontal del AMPI. Esto con la finalidad de implementar un sistema de desplazamiento para que el particular 4 (Figura 24), pueda trasladarse linealmente de adelante hacia atrás.

Figura 24: Particular 4 correspondiente a la estructura de soporte para oxímetro digital



Fuente: Autor

Este principio de desplazamiento, responde a la necesidad de que el dispositivo AMPI se pueda acoplar a diferentes tamaños de mano (Tabla 11). Se plantea el uso de un resorte de compresión, con el fin de, facilitar el retorno de la estructura del particular 4, una vez se haya desplazado.

- **Selección del resorte de compresión:** Para el sistema de desplazamiento, se selecciona el resorte V 13-076 correspondiente a un resorte de carga leve de la Serie V, del catálogo de ITAN (ITAN (2020)).

Este resorte se selecciona con base a las siguientes consideraciones:

- La distancia residual estimada, entre la cara posterior de la abertura “Soporte para resorte” (Figura 23) y la cara frontal de la zona del “Canal” (Figura 24), es de 75 mm (planos de la estructura final en el ANEXO B).
- El valor de compresión del resorte debe ser de 42,2 mm. Este valor es el resultado de la diferencia entre la longitud máxima y mínima de la mano en promedio (Tabla 11).

- El valor del diámetro interno del resorte es de 6 mm, este valor es determinado por el diámetro del “Soporte para Resorte” del particular 3.
- La carga máxima del resorte, se determinará con base al valor máximo de empuje del brazo izquierdo de un adulto masculino. Esto a fin de que, la capacidad biomecánica de la población masculina es un 20 % superior a la de la población femenina (Diego-Mas, 2019).

(Diego-Mas, 2019), en el documento “evaluación de fuerzas ejercidas en el puesto de trabajo o en la utilización de máquinas mediante la norma EN 1005-3”, establece que, el valor de la fuerza isométrica máxima que genera el brazo izquierdo de la población masculina durante trabajo en posición sentada y empujando con apoyo del tronco (Figura 25) es de 303 N.

Figura 25: Movimiento de empuje del brazo izquierdo con apoyo del tronco

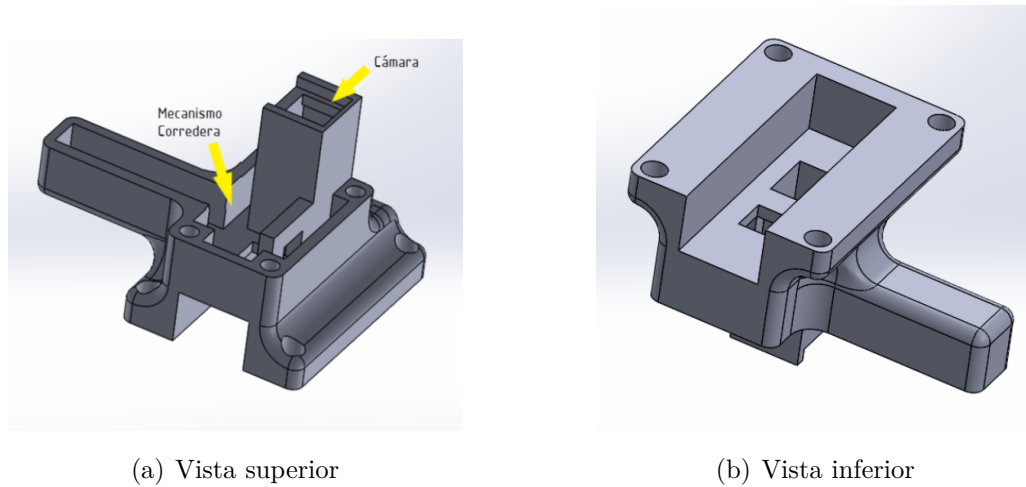


Fuente: Diego-Mas (2019)

Por otra parte, además de cumplir un funcionamiento de traslación, la estructura del particular 4 (Figura 24) tiene como finalidad servir de soporte para el mecanismo de corredera, el oxímetro digital y la cámara que estará ubicada a 5cm del display del oxímetro. La abertura “Canal” permite que el particular 4 no colisione con el “Soporte para Resorte” del particular 3.

Con respecto al particular 10 de la Figura 26, este se conecta con el particular 5 (Figura 22), con base a la configuración de la Figura 20, y su principal objetivo es cubrir el termómetro digital, además de servir de cimiento para la cámara, actuador y mecanismos de corredera para la activación del termómetro digital.

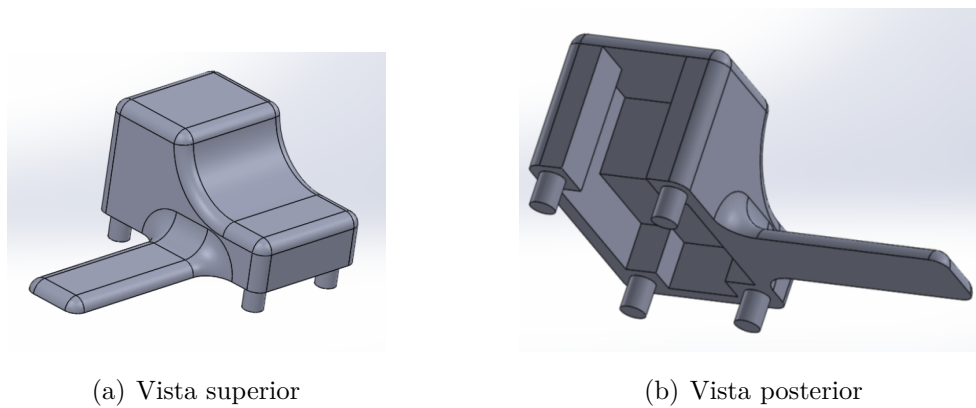
Figura 26: Particular 10 correspondiente a la estructura de soporte para termómetro digital



Fuente: Autor

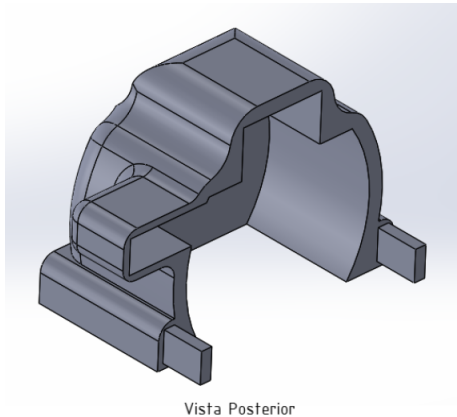
Los particulares 11 y 2 de las Figuras 27 y 28 respectivamente, no presentan grandes características porque solo sirven para cubrir y proteger los mecanismos de corredera, actuadores y cámaras del termómetro y del oxímetro digital.

Figura 27: Particular 11 correspondiente a la cubierta superior del termómetro digital



Fuente: Autor

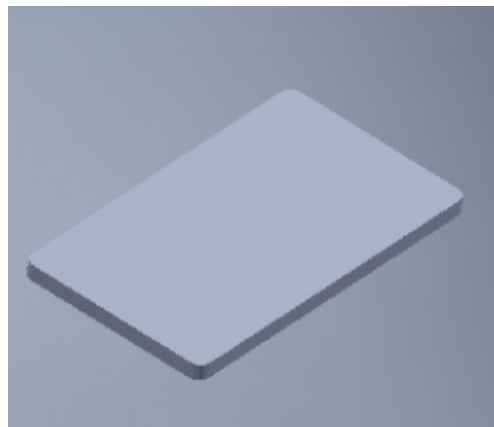
Figura 28: Particular 2 correspondiente a la cubierta frontal del AMPI



Fuente: Autor

El particular 1 de la Figura 29, corresponde a la base del AMPI, la cual servirá de soporte del dispositivo y de los elementos electrónicos.

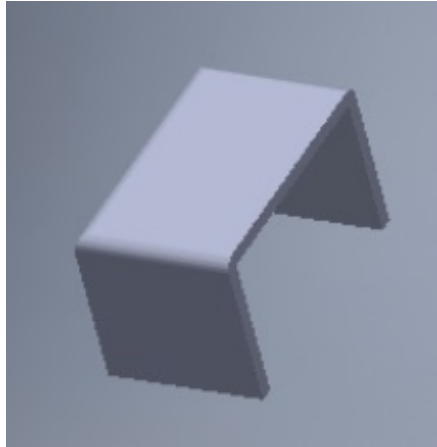
Figura 29: Particular 1 correspondiente a la cubierta inferior del AMPI



Fuente: Autor

Por otra parte, el particular 7 de la Figura 30 es desmontable y cubre por completo la parte interna del AMPI, cuando el proceso de esterilización inicie. Este particular evita que la luz UV-C se filtre al exterior y pueda causar daños físicos en la piel o los ojos de los usuarios.

Figura 30: Particular 7 correspondiente a la cubierta posterior del AMPI



Fuente: Autor

Continuando con el diseño del AMPI, los dispositivos para la medición se activan por medio del mecanismo que se describe a continuación:

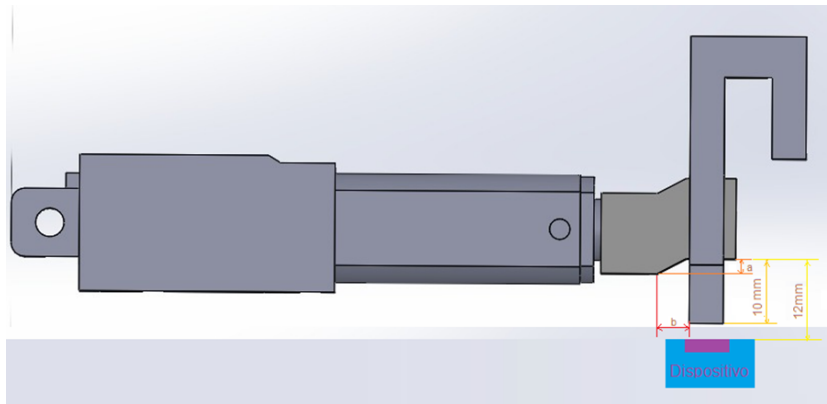
- Sistema de corredera para transformar movimiento horizontal en vertical

Al estudiar el funcionamiento de los actuadores lineales, se logró obtener una relación entre la energía de alimentación y el desplazamiento. Esta relación se basa en que el actuador solo se desplazaba mientras se encuentre energizado, es decir, cuando se retira la alimentación, el actuador se detiene hasta ser energizado nuevamente. Esta relación sirve para avance o retroceso por igual.

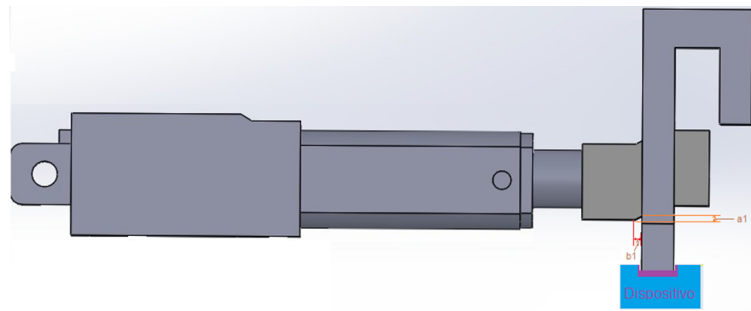
De acuerdo con la hoja de datos el actuador lineal, se obtiene un desplazamiento de 15 mm/s cuando se encuentra energizado a 12 V DC y con un consumo de 0,04 A DC; por lo cual, la distancia de desplazamiento del actuador, depende de cuánto tiempo este se encuentre energizado hasta llegar a su punto máximo que es 300 mm, por ende, al utilizar la corredera como un sistema para cambiar el sentido de avance del actuador, se requiere encontrar la distancia que debe recorrer el actuador lineal, para activar los dispositivos médicos.

En la Figura 31.a se observan las medidas y los parámetros para el desplazamiento del actuador y la corredera. Por otra parte, en la Figura 31.b se presenta el sistema de corredera cuando el actuador se ha desplazado para activar el dispositivo médico.

Figura 31: Sistema de corredera



(a) Actuator con el vástago no desplazado



(b) Actuator con el vástago desplazado

Fuente: Autor

Por consiguiente, con ayuda de la Ecuación (3) se debe encontrar la longitud de “b1” para que la corredera logre activar al dispositivo.

$$b1 = \frac{a1}{\tan(\theta)}$$
$$b1 = \frac{0,22}{\tan(27,85)}$$
$$b1 = 0,41mm$$

Así pues, si la longitud de b1 es de 0,41 mm, el actuador debe desplazarse 3,78 mm para poder activar el dispositivo.

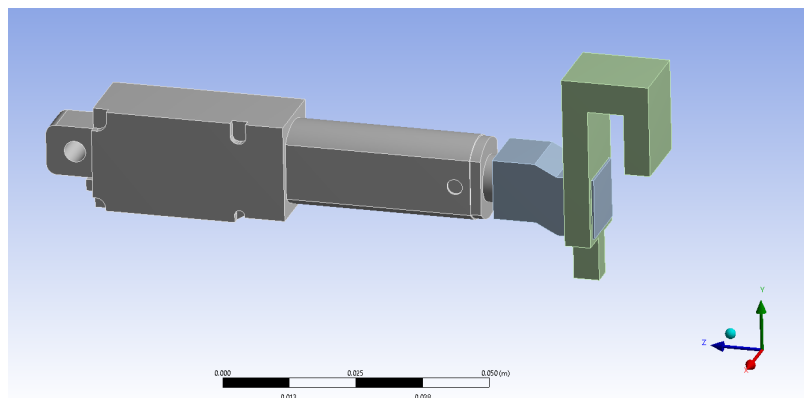
■ Análisis de esfuerzos del sistema de corredera

Este análisis se realiza únicamente en el sistema de corredera, debido a que esta parte se encuentra bajo una carga constante de trabajo. La finalidad de realizar el análisis de esfuerzos, del mecanismo de corredera, es determinar el material con el cual se construirán las piezas del AMPI, para tener la certeza de que no existirá ningún problema en su construcción y funcionamiento, evitando así gastos innecesarios.

Se debe tener en cuenta que, usualmente la falla de los materiales se debe a las condiciones de carga, a las cuales está sometido un mecanismo o estructura. Por lo que, es de gran relevancia, predecir el comportamiento de equipos y sus materiales al ser sometidos a diferentes tipos de carga.

Para este análisis de esfuerzos, se utiliza el software de elementos finitos ANSYS. Este software, permitirá predecir el valor de los esfuerzos del mecanismo, las deformaciones y los factores de seguridad de cada pieza. El primer paso para llevar a cabo el análisis de esfuerzo, consiste en definir los elementos a analizar y definir los materiales. Para la configuración de la Figura 32, se importan los particulares diseñados desde el software Autodesk Inventor 2020.

Figura 32: Mecanismo a analizar dentro del software ANSYS



Fuente: Autor

En este caso, fueron elegidos dos materiales para analizar. El primer material es el PLA (Ácido Poliláctico), se escoge este material debido a su facilidad a la hora de imprimir. Comparado con otros materiales, este material es económico y tiene alta resistencia mecánica. En el mercado de materiales para impresión 3D, este material es

fácil de conseguir. El segundo material que se analiza es el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), que a diferencia del PLA, es un material que presenta muchos inconvenientes a la hora de la impresión 3D, pero es un muy resistente a los impactos. En la Figura 33.a se presentan algunas propiedades mecánicas del material PLA y en la Figura 33.b del material ABS, dentro del software ANSYS.

Figura 33: Características mecánicas de los materiales en el software ANSYS

Outline of Granta Design Sample Materials				
A	B	C	D	E
1	Contents of Granta Design Sample Materials	Add	Source	Description
72	Polyethylene, low density (LDPE)			Low density polyethylene (LDPE) Sample materials data from Granta Design. Additional data and information available through the Granta website. Granta provides no warranty for the accuracy of the data.
73	Polyactic acid (PLA)			Poly lactide / poly lactic acid (PLA) Sample materials data from Granta Design. Additional data and information available through the Granta website. Granta provides no warranty for the accuracy of the data.

Properties of Outline Row 73: Polyactic acid (PLA)		
A	B	C
1	Property	Value Unit
2	Density	1250 kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	
5	Isotropic Elasticity	
11	Tensile Yield Strength	5.41E+07 Pa
12	Tensile Ultimate Strength	5.92E+07 Pa

(a) Material PLA

Outline of Granta Design Sample Materials				
A	B	C	D	E
1	Contents of Granta Design Sample Materials	Add	Source	Description
2	Material			
3	ABS plastic			Acrylonitrile butadiene styrene (ABS), medium impact Sample materials data from Granta Design. Additional data and information available through the Granta website. Granta provides no warranty for the accuracy of the data.
4	ABS+PC plastic			Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) + polycarbonate (PC) blend Sample materials data from Granta Design. Additional data and information available through the Granta website. Granta provides no warranty for the accuracy of the data.
5	Acetal resin (POM)			Polyoxymethylene (POM, Acetal) copolymer Sample materials data from Granta Design. Additional data and information available through the Granta website.

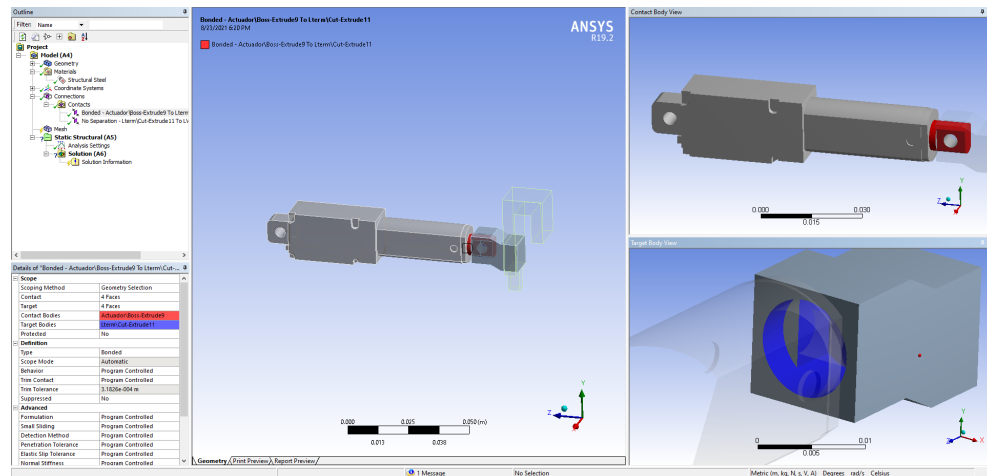
Properties of Outline Row 3: ABS plastic		
A	B	C
1	Property	Value Unit
2	Density	1040 kg m ⁻³
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	
5	Isotropic Elasticity	
11	Tensile Yield Strength	4.1E+07 Pa
12	Tensile Ultimate Strength	4.43E+07 Pa

(b) Material ABS

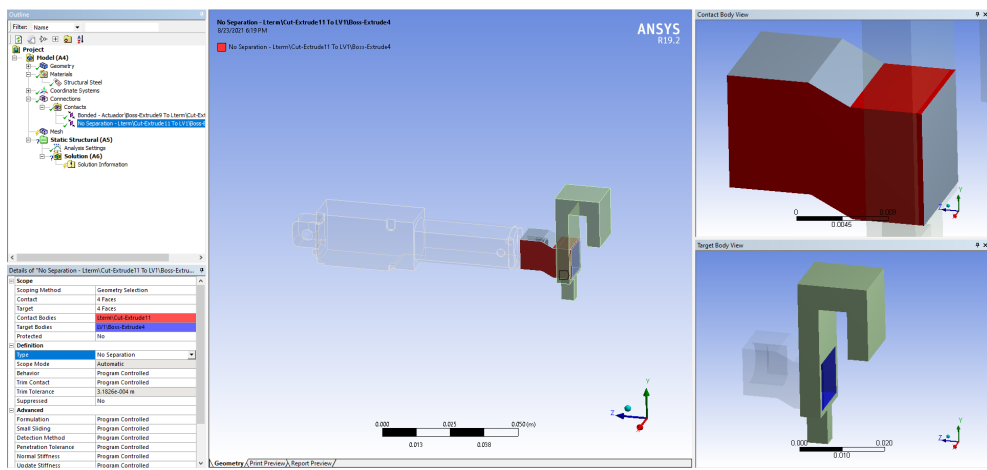
Fuente: Autor

Para el análisis estático dentro del software de ANSYS, que comprueba si el diseño presentado soportará la carga que se le aplica, se establecen los siguientes parámetros: sujeciones o contactos para el análisis y la carga horizontal de 64 N, que aplicará el actuador lineal, como se presenta en la Figura 34.

Figura 34: Contacto entre el actuador lineal y el brazo del mecanismo de corredera



(a) Contacto entre el actuador lineal y el brazo del mecanismo de corredera

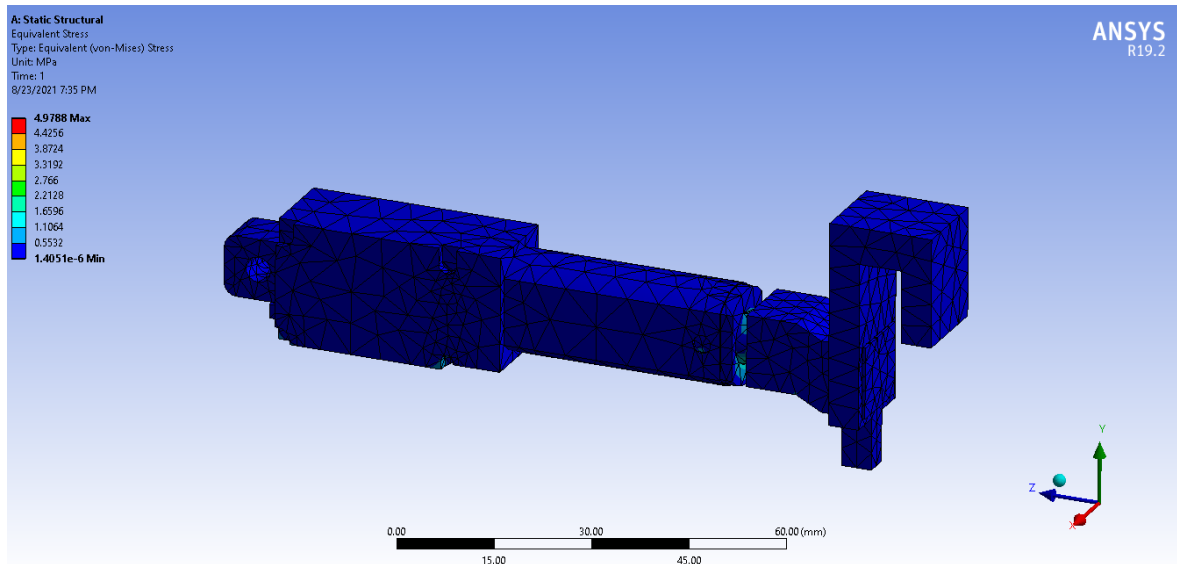


(b) Contacto entre el brazo y la corredera

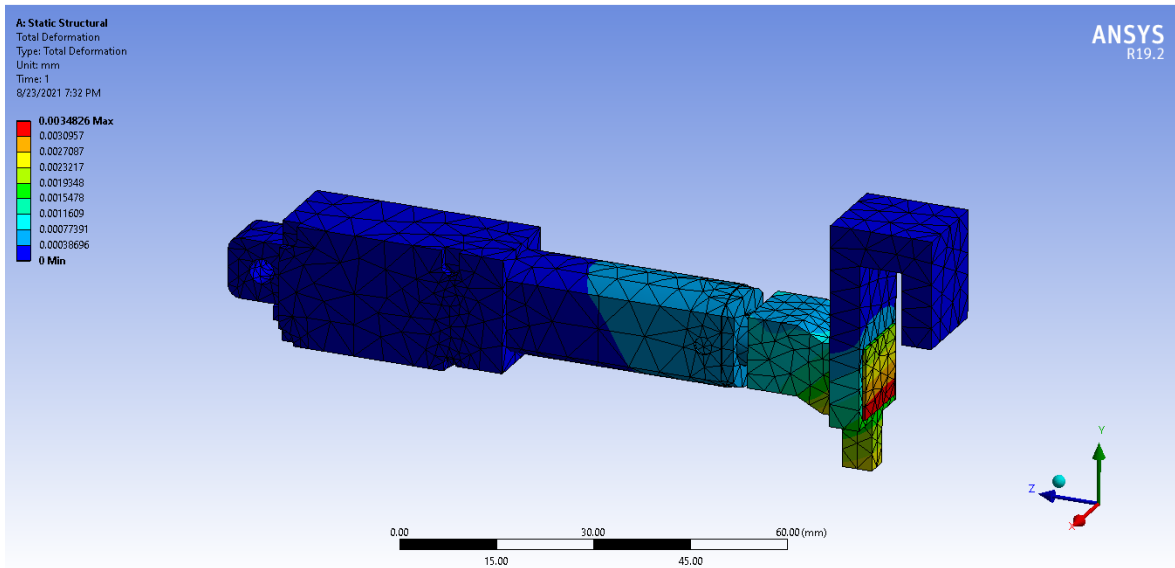
Fuente: Autor

Se realiza un mallado con una métrica de promedio: 0,85993. Se escoge este valor debido a que, genera resultados más precisos, además de que las características del diseño no implican problemas en el tiempo de simulación. De esa forma en las Figuras 35 y 36, con ayuda del software, se obtienen los datos de Deformación total y Equivalente de Von Mises. Estos valores se presentan en la sección de resultados.

Figura 35: Simulación mecánica con el material PLA



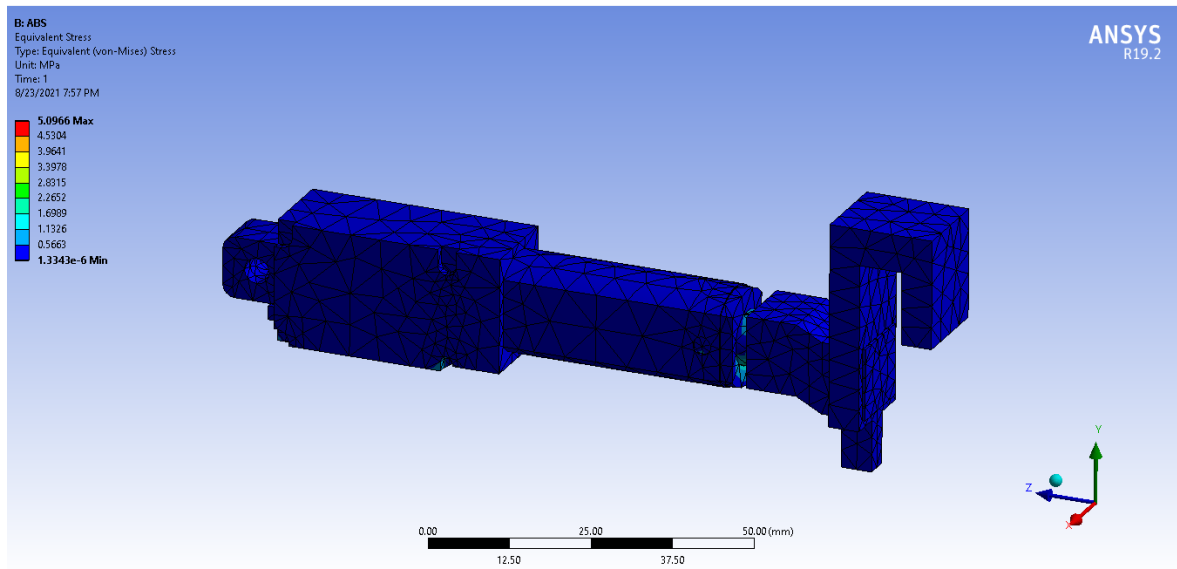
(a) Esfuerzo - Equivalente Von Mises



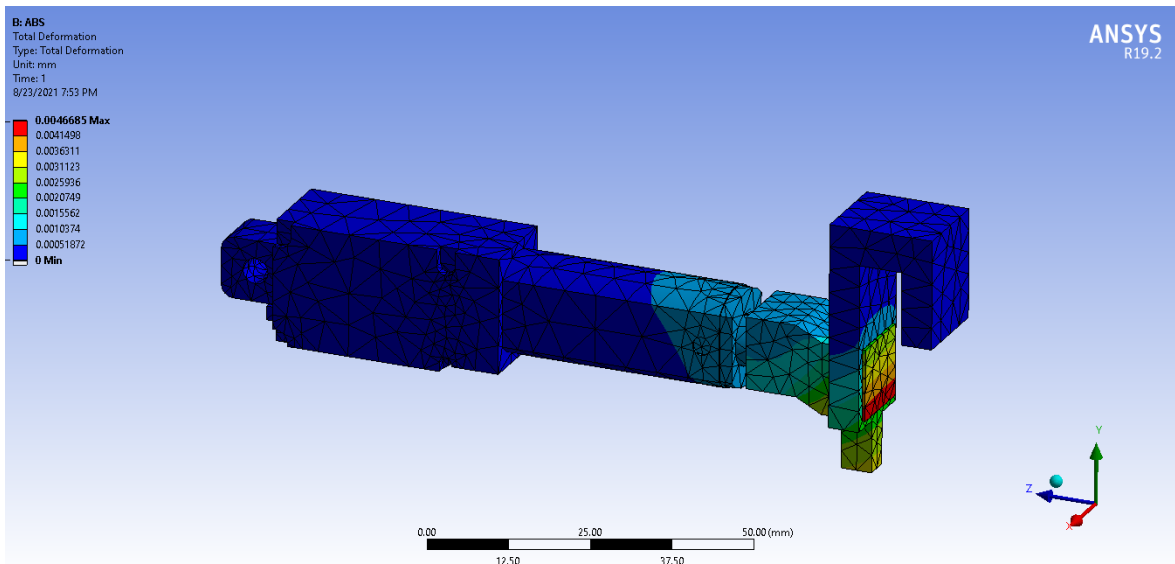
(b) Deformación total

Fuente: Autor

Figura 36: Simulación mecánica con el material ABS



(a) Esfuerzo - Equivalente Von Mises



(b) Deformación total

Fuente: Autor

El mallado del sistema es un parámetro muy importante que consiste en dividir geometrías complejas en elementos pequeños, en los cuales actuarán las diferentes ecuaciones de resistencia de materiales de manera discretizada. Entre mayor sea la calidad de la malla, mayor es la

cantidad de elementos de análisis, lo que genera un mayor consumo de recursos del procesador de la computadora.

8.2.2. Diseño del control

Para la descripción del sistema de control, se plantean tres secciones principales: circuitos electrónicos, placas electrónicas y programación. La sinergia de estas secciones, permite el control de los actuadores lineales, además, de la captura y reconocimiento de imagen del display de los dispositivos médicos.

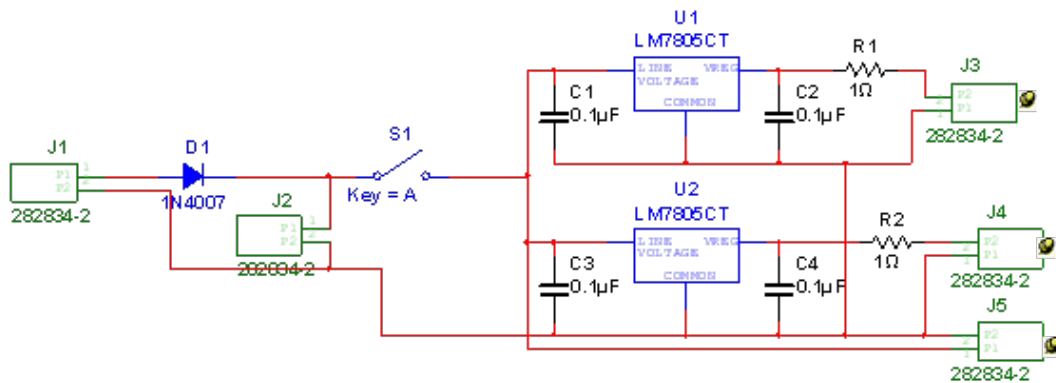
■ Circuito electrónico

El sistema electrónico del AMPI está compuesto por un circuito de alimentación y un circuito de control. Todos los circuitos electrónicos se diseñaron y simularon en el software MultiSim.

• Circuito de carga y alimentación

En la Figura 37, se encuentra el esquema del circuito de carga y alimentación. Este circuito brinda energía a los actuadores lineales, al Raspberry Pi y a los dispositivos médicos. En la Tabla 15 se describen las funciones de cada elemento del circuito de la Figura 37 .

Figura 37: Circuito de carga y alimentación



Fuente: Autor

Al considerar que, cada elemento funciona a diferentes voltajes y con una determinada corriente, se ha empleado reguladores de voltaje, con su respectivo circuito de

protección, para garantizar la tensión constante, tanto al ingreso como a la salida de cada regulador, a manera de evitar picos de energía que pueden ocasionar daños a los elementos o al regulador. La hoja técnica del regulador de voltaje “KIA 7805 A” establece que este regulador soporta hasta 35 V DC en su entrada y es capaz de brindar 5 V DC a 1.5 A a la salida, por lo cual, se puede disponer de esta energía para la alimentación de los distintos elementos que requieren ser energizados a este voltaje.

Tabla 15: Funcionamiento del circuito de alimentación

Código	Elemento	Función
J1	Bornera	Corresponde a la entrada de carga de las baterías.
D1	Diodo	Impide que el voltaje de las baterías regrese para cuidar de un daño al dispositivo de carga.
J2	Bornera	Corresponde a la entrada de la batería.
S1	Interruptor	Permite el paso de la energía garantizando la alimentación de los dispositivos.
C1, C2, C3, C4	Condensador	Actúan como protección en la entrada de los reguladores de voltaje y los condensadores “C2” y “C4” actúa como protección en la salida de los reguladores de voltaje para garantizar una fuente de tensión constante.
U1, U2	Regulador de voltaje	Disminuyen el voltaje de 12V DC a 5V DC para la alimentación de los elementos que funcionan a este voltaje.
R1, R2	Resistencia	Actúan como protección para los elementos conectados a la salida del regulador. Esto brinda mayor seguridad a la integridad física de los elementos electrónicos.
J3	Bornera	Corresponde a la salida del voltaje de 5V DC que sirve de fuente para el Raspberry Pi.
J4	Bornera	Corresponde a la salida del voltaje de 5V DC que sirve de fuente para los dispositivos de medición (tensiómetro, termómetro y oxímetro).
J5	Bornera	Corresponde a la salida del voltaje de 12V DC que sirve de fuente para los actuadores lineales.

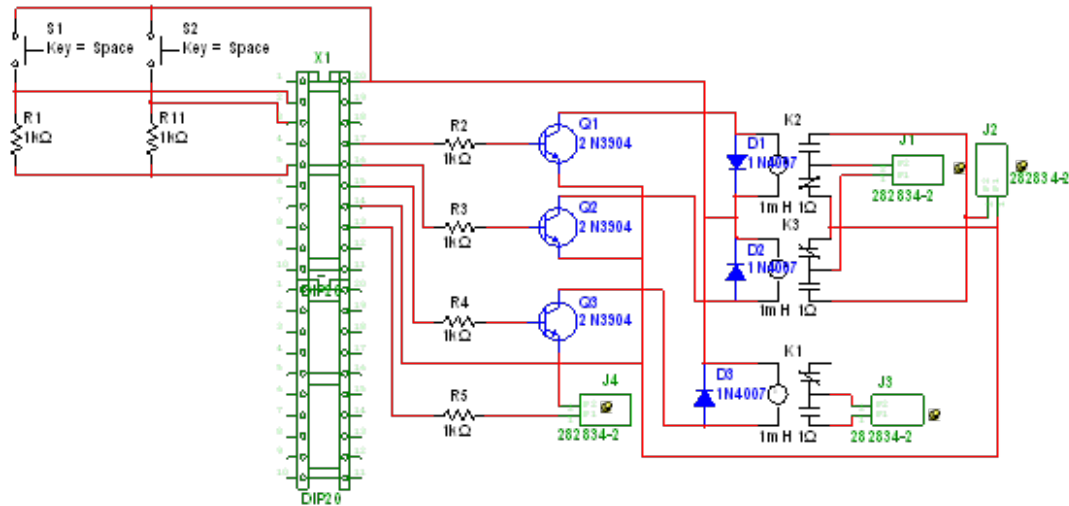
Fuente: Autor

- **Circuito de control**

En la Figura 38, se presenta el esquema del circuito de control que permite activar los actuadores lineales, la esterilización y la alarma durante un determinado tiempo. En la Tabla 16 se describen las funciones de cada elemento del circuito de la Figura 38.

Para el diseño de este circuito, se tuvo en consideración la corriente requerida para la activación de los relés, por ende, se emplea un circuito potenciador por medio

Figura 38: Circuito del sistema de control



Fuente: Autor

de un transistor que, incrementa la corriente de salida del pin del Raspberry Pi, de manera que pueda controlar la activación de los distintos elementos electrónicos.

- **Consumo energético**

Al considerar al AMPI como un dispositivo portátil, se requiere eliminar la dependencia energética de la red eléctrica domiciliaria, por tal motivo, se considera el uso de un acumulador de energía que permita el uso del dispositivo durante un determinado tiempo, antes de ser recargado. De esta manera en la Tabla 17, se determina la energía necesaria para el correcto funcionamiento del AMPI.

Cabe recalcar que la corriente requerida para el Raspberry Pi es el consumo por hora mientras que de los otros elementos es el consumo por activación (uso).

Se obtuvo que el voltaje necesario, de 5 VDC y 12 VDC, para alimentar los dispositivos, dependiendo de su energía requerida.

Tabla 16: Funcionamiento del circuito de Control

Código	Elemento	Función
"X1"	Conector (Peineta)	Al conector "X1" se adaptan los pines de salida del Raspberry Pi.
"S1"	Interruptor	Permite activar el paso de la energía hacia el pin "GPIO2" del Raspberry Pi. Con un bit "1" se da inicio a la secuencia de funcionamiento.
R1"	Resistencia	Permite generar el dato inicial a la entrada del pin "GPIO2" del Raspberry Pi.
"S2"	Interruptor	Emula al sensor de movimiento que permite activar el paso de la energía hacia el pin "GPIO3" del Raspberry Pi. Con un bit "0" después de haber terminado la secuencia de funcionamiento se da inicio al proceso de esterilización.
R11"	Resistencia	Permite generar el dato inicial a la entrada del pin "GPIO3" del Raspberry Pi.
R2", R3", R4"	Resistencia	Permiten la activación de los transistores "Q1", "Q2" y "Q3" cuando se envía energía desde los pines "GPIO14", "GPIO15" o "GPIO18" del Raspberry Pi.
"Q1", "Q2"	Transistor	Funcionan como potenciadores de energía para poder activar los relés "K2" y "K3", que sirven para el control de desplazamiento y regreso de los actuadores lineales que serán conectados en la bornera "J1", cuando se envía energía desde los pines "GPIO14" o "GPIO15" del Raspberry Pi.
"K2", "K3"	Relé	Funcionan como interruptor que una vez activado permite el paso de la energía (12 V DC) hacia los actuadores lineales permitiendo su control de avance o retroceso.
"J1"	Bornera	Corresponde a la salida del control para el desplazamiento de los actuadores lineales.
"J2"	Bornera	Corresponde a la entrada de 12V DC, que servirá de fuente para los actuadores lineales. Este voltaje es enviado desde la bornera "J5" de la placa de alimentación
"Q3"	Transistor	Funciona como potenciador de energía para poder activar el relé "K1", que sirve para el control de la esterilización, cuando se envía energía desde el pin "GPIO18" del Raspberry Pi.
"K1"	Relé	Funciona como interruptor que una vez activado permite el paso de la energía (5V DC) hacia la lámpara UV-C conectada en la bornera "J3", por un determinado tiempo; permitiendo de esta manera el control de la esterilización del AMPI.
R5"	Resistencia	Permite la activación de la alarma, que se activará cuando el AMPI se encuentre en funcionamiento, por lo cual, se envía energía desde el pin "GPIO23" del Raspberry Pi.
"J4"	Bornera	Corresponde a la salida del control de alarma, donde se conectará una alarma visible.

Fuente: Autor

Tabla 17: Consumo energético de los elementos

Elemento	Voltaje [V]	Corriente [A]
Raspberry Pi	5,00	0,7
Actuador Lineal	12,00	0,04
Termómetro Digital	3,00	0,03
Oxímetro Digital	3,00	0,03
Tensiómetro Digital	3,00	0,05
Sensor	5,00	0,01
CONSUMO TOTAL	31,00	0,83

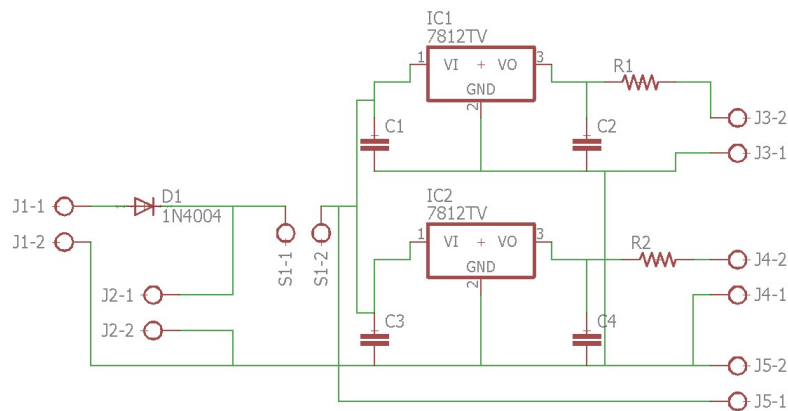
Fuente: Autor

■ Placa electrónica

El diseño de la placa electrónica, fue desarrollado en el software EAGLE. Se escoge este software, debido a que ya se ha trabajado antes con él, por lo que su manejo resulta fácil, además posee una buena descripción gráfica de los componentes.

Para la realización del esquemático 1 de la Figura 39, correspondiente al circuito de carga y alimentación de la Figura 37, todos los elementos electrónicos que lo componen, fueron tomados de las librerías estándar del software EAGLE. Como recomendación, el contar con los componentes electrónicos físicos antes de realizar los esquemáticos facilita la selección de los componentes digitales puesto que es posible verificar las dimensiones reales de los componentes, así como de las distancias reales entre los pines.

Figura 39: Esquema de circuito de carga y alimentación en el software EAGLE

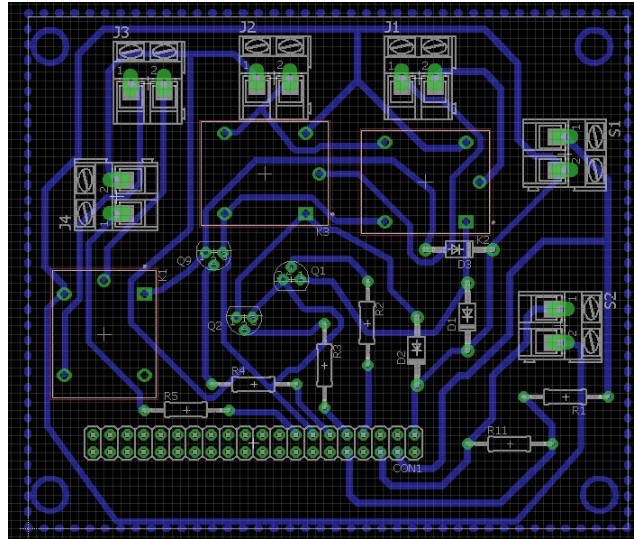


Fuente: Autor

A diferencia del esquemático 2 de la Figura 40, correspondiente al circuito del sistema

El diseño de los PCBs, se fundamentó en poder reducir el tamaño del circuito y que los cables estuvieran colocados de la mejor forma para reducir la dificultad de la soldadura.

Figura 42: PCB BOTTOM de circuito del Sistema de Control en el software EAGLE



Fuente: Autor

■ Programación

Para la automatización de la secuencia de funcionamiento, se utiliza un Raspberry Pi 3 B+ y el software de programación Python 3.5.

Dentro de la programación se encuentran tres espacios principales: control, reconocimiento de imágenes y envío de datos. Estos espacios permiten la toma de la fotografía, activación de la alarma, reconocimiento numérico Y envío de datos obtenidos de los dispositivos médicos hacia la plataforma digital.

• Control

La programación del sistema de control se centra en la automatización de actuadores y la esterilización.

Para el avance y retroceso de los actuadores lineales se utilizaron dos transistores y dos relés. Cuando uno de los dos transistores se energiza, produce una polaridad, que a su vez, genera el avance del actuador. De igual forma, cuando el otro transistor es energizado, el actuador retorna a su posición inicial. No obstante, la relación entre la energía de alimentación y el desplazamiento, es dependiente del tiempo,

por ende, el desplazamiento necesario para que el sistema de corredera active los dispositivos médicos, depende del tiempo que el actuador esté energizado.

Por lo tanto, si la longitud que debe desplazarse el actuador lineal es de 3,78 mm y el actuador tiene un avance de 15mm/s, entonces se puede determinar que el actuador lineal tiempo de energización del actuador lineal debe ser de 0,25s. Por consiguiente, en la programación se debe considerar 0,25s de tiempo tanto para avance como para retroceso del actuador lineal.

Por otra parte, el tiempo de funcionamiento de la esterilización se basa en la hoja técnica de la lámpara UV-C.

Cuando el pulsante de inicio es activado, se procede a encender la alarma visual para indicar que el dispositivo se encuentra en uso. Seguidamente, se energizan los actuadores lineales, por un determinado tiempo, para activar los dispositivos clínicos en cuestión; después, se invierte el sentido de funcionamiento de los actuadores lineales, de manera que regresen a su posición inicial. Este proceso se muestra en la programación de la Figura 43.

Figura 43: Control de actuadores lineales y alarma

```
if (inputValueONOFF == True):
    print ("ENCENDIDO")
    GPIO.output(23, GPIO.HIGH) #ALARMA ON
    time.sleep(0.3)
    GPIO.output(14, GPIO.HIGH) #ACTUADORES LINEALES SALE
    time.sleep(1)
    GPIO.output(14, GPIO.LOW)
    time.sleep(0.3)
    GPIO.output(15, GPIO.HIGH) #ACTUADORES LINEALES ENTRA
    time.sleep(1)
    GPIO.output(15, GPIO.LOW) #ACTUADORES LINEALES
    time.sleep(0.3)
    FT = 1
```

Fuente: Autor

Cuando finalice todo el proceso de medición, la persona debe retirar su mano del dispositivo. Siempre y cuando se retire la mano, el sensor de presencia se desactivará e iniciará el proceso de esterilización del AMPI.

La activación de la lámpara UV-C se realiza por el tiempo determinado por su hoja de datos, como se puede apreciar en la Figura 44. Finalizado este tiempo el

AMPI entra a modo de espera, hasta que la condición de inicio de mediciones se habilite nuevamente.

Figura 44: Proceso de esterilización del AMPI

```
def esterilizacion():
    ## LUZ
    if (EST == 1):
        time.sleep(3)
        inputValueSENSOR = GPIO.input(3)
        if (activ == 1 and inputValueSENSOR == False):
            print ("INICIO ESTERILIZACION")

            ## luz
            GPIO.output(18, GPIO.HIGH)
            time.sleep(3)
            GPIO.output(18, GPIO.LOW)
            time.sleep(3)

            ## puerta abre
            print ("FIN ESTERILIZACION")
            return
```

Fuente: Autor

- **Reconocimiento de imagen**

El reconocimiento de imagen se basa en la binarización y comparación entre, las plantillas y las fotografías tomadas a los displays de los dispositivos de medición, como se pueden apreciar en la Figura 45.

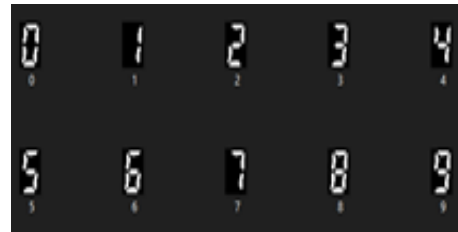
Se compara el porcentaje de similitud de cada dígito numérico, de las mediciones obtenidas de las fotografías de los displays, con las plantillas de la Figura 45. Esto con el fin de identificar el número al que corresponde y enviar el dato hacia la plataforma digital.

Para la toma de la fotografía de los displays, se requiere verificar si los actuadores ya han sido accionados. Es por ello, que se usa una variable que indique que se ha finalizado con el proceso de activación de los dispositivos médicos. Una vez comprobada dicha acción, se procede a: 1) llamar y activar los periféricos de las webcam conectadas a los módulos USB; 2) tomar una fotografía y 3) guardar la imagen con un nombre en específico en formato “.jpg”, proceso que se puede apreciar en la Figura 46.

Figura 45: Fotografía y plantilla de números para reconocimiento



(a) Fotografía del display del termómetro digital



(b) Plantilla de números para reconocimiento

Fuente: Autor

Figura 46: Proceso de captura de medición (fotografía)

```
if (FT == 1):  
    time.sleep(3)  
    call(["fswbcam", "-d", "/dev/video0", "./TER.jpg"])  
    time.sleep(0.3)  
    call(["fswbcam", "-d", "/dev/video3", "./OX.jpg"])  
    time.sleep(0.3)  
    call(["fswbcam", "-d", "/dev/video1", "./TEN.jpg"])  
    REC=1  
    FT=0
```

Fuente: Autor

Tanto las plantillas, como cada dígito de la medición, se guardan en una matriz, para que posteriormente puedan ser comparadas entre sí, obteniendo como resultado el valor numérico de la medición.

Según la premisa anterior se explica que, a fin de realizar el reconocimiento numérico de la imagen del display de los dispositivos de medición, se requiere verificar si la fotografía a sido tomada, por ese motivo, se dispone de una variable que indica que la imagen ha sido capturada y guardada. Luego de comprobar dicha acción, se procede a llamar y compilar el programa para el reconocimiento, como se muestra en la Figura 46. Este programa utiliza las plantillas de números presente en la

Figura 45 y las compara con las imágenes guardadas en formato “.jpg” como se puede apreciar en el programa de la Figura 47.

Figura 47: Proceso de comparación y reconocimiento numérico

```
for ix in IM:
    imagen2 = ix
    digito1 = digito1 + 1
    for jx in numeros:
        original = jx
        dato = dato + 1
        # Verifica la similitud de las dos imagenes
        shift = cv2.xfeatures2d.SIFT_create()
        kp_1, desc_1 = shift.detectAndCompute(original, None)
        kp_2, desc_2 = shift.detectAndCompute(imagen2, None)
        parametro = dict(algorithm=0, trees=5)
        buscar = dict()
        flann = cv2.FlannBasedMatcher(parametro, buscar)
        matches = flann.knnMatch(desc_1, desc_2, k=2)
        puntos_correctos = []
        for m, n in matches:
            if m.distance < 0.6*n.distance:
                puntos_correctos.append(m)
        puntos_clave = 0
        if (len(kp_1) <= len(kp_2)):
            puntos_clave = len(kp_1)
        else:
            puntos_clave = len(kp_2)
        similitud = len(puntos_correctos) / puntos_clave * 100
        result = cv2.drawMatches(original, kp_1, imagen2, kp_2, puntos_correctos, None)
        if dato == 10:
            dato = 0
        if (similitud >= 75):
            if digito1 == 1:
                cantidad = cantidad + dato
                cantidad = cantidad*10
            if digito1 == 2:
                cantidad = cantidad + dato
                cantidad = cantidad*100
            if digito1 == 3:
                cantidad = cantidad + dato
                cantidad = cantidad/10
print("TEMPERATURA", cantidad)
```

Fuente: Autor

- **Envío de datos**

Después de haber obtenido el valor numérico de la medición, se procede a realizar el envío de este dato junto con la fecha y la hora de la medición, hacia la base de

datos de la plataforma digital. Este algoritmo se muestra en la Figura 48 y se lo explica a profundidad en la sección 9.2.3 del diseño de la plataforma digital.

Figura 48: Envío de datos de medición a la plataforma digital

```
while EV==1:
    date= datetime.now()
    data={
        'id':str(datetime.now()),
        'Fecha': datetime.now().strftime('%Y-%m-%d'),
        'TEMPERATURA': str(NUMERO),
    }
    ID=data['id']
    result=db.collection('Estado AMPI').document('stado').get()
    vale=db.collection('Estado AMPI').document('DatoRasp').get()
    if result.exists:
        print(result.to_dict())
        estado = result.to_dict()['estado']
        Usuario= vale.to_dict()['UserEmail']
        if estado == True:
            db.collection('Datos').document(Usuario).collection('Medidas').document(ID).set(data)
            estado = False
            time.sleep(10)
```

Fuente: Autor

Para hacer uso del dispositivo por indefinidas ocasiones se coloca el programa general dentro de un bucle, mismo que se repetirá indefinidamente hasta que su interruptor sea desactivado.

8.2.3. Diseño de plataforma digital (App)

En el caso del diseño de la aplicación que controla el dispositivo AMPI y muestra los datos de la mediciones, se establecen requerimientos para la administración de datos y para la aplicación.

Para la administración de datos es necesario que la base de datos en la nube disponga de la siguiente información:

- Datos del Usuario para identificarlo y poder enlazar su información tanto con el dispositivo AMPI (Raspberry Pi) como con la aplicación móvil.
- Datos del personal médico, que se enlazará con el usuario y permitirá el monitoreo de las señales fisiológicas.
- Datos de horarios, código de usuario y datos de las mediciones que se enviarán desde el Raspberry Pi, para poder guardarlos en la base de datos y a su vez en la

aplicación para mostrarlos y compartirlos.

- Datos de control para iniciar la toma de mediciones cuando, un usuario con clave única de la orden por medio de la aplicación.
- Datos necesarios para detectar la actualización de los nodos en la base de datos.

La aplicación debe poder realizar lo siguiente:

- Crear un usuario, con todos los datos que se deben guardar en la base de datos en la nube.
- Permitir iniciar sesión, siempre y cuando, se haya creado un usuario previamente; y recuperar la contraseña en caso de pérdida.
- En el menú principal de la aplicación móvil se deben visualizar: Código de Usuario único, Opción de Perfil de Usuario, Opción de Historial de Mediciones y Opción de Sincronización con el Dispositivo AMPI.
- La pestaña de Perfil de usuario permitirá ingresar y modificar los siguientes datos: nombres y apellidos de usuario, fecha de nacimiento, cédula, teléfono, provincia-ciudad, e-mail y contraseña.
- La pestaña Historial de Mediciones permitirá visualizar: datos de las mediciones, fecha y hora de la medición.
- La pestaña Sincronización con el AMPI que permitirá enviar una señal para iniciar la toma de mediciones.

■ Estructura de la aplicación

Esta se dividirá en tres subsistemas, que se integrarán para completar la estructura y funcionamiento del AMPI. En la Figura 49, se observa el esquema de los subsistemas que conforman la aplicación.

El primer subsistema, está comprendido por la programación del Raspberry Pi, que controla la parte mecánica y electrónica del AMPI, recibe la señal de inicio de medición, toma y envía los datos de las medidas para que sean guardados en la base de datos.

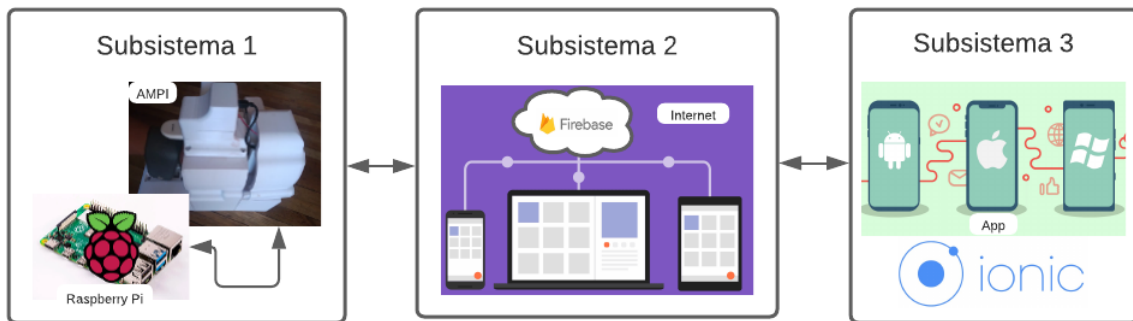
El segundo subsistema está comprendido por los servicios que ofrece Firebase, específicamente se emplean los siguientes servicios:

- **Firestore:** Permite guardar y controlar los datos de los usuarios que se registren, y permite enlazar esta información a la base de datos.

- **Cloud Firestore:** Permite guardar de manera primaria todos los datos que se obtienen del AMPI además, del dato de inicialización de las mediciones. Este servicio permite acceder en tiempo real a los datos para ser mostrarlos, al usuario, mediante el tercer subsistema.

El tercer subsistema, se compone de la aplicación en Ionic, que está diseñada para extraer los datos en tiempo real de la base de datos de Firebase, y de esta manera, informar al usuario sobre los eventos necesarios para el manejo del prototipo, además de permitirle gestionar el primer subsistema y el AMPI.

Figura 49: Estructura de los subsistemas para el prototipo de App



Fuente: Autor

- Subsistema 1 – Diseño de programas en Raspberry Pi

A continuación, se describirá el diseño de los programas necesarios para controlar las acciones que debe realizar el dispositivo AMPI, así como el control de la comunicación con la base de datos.

En el caso del control y comunicación en el Raspberry Pi, se deben diseñar programas en Python que cumplan con establecer una comunicación inicial con Firebase, para sincronizar el AMPI y comprobar que en la base de datos se ha creado o existe un usuario; y de verificarse, extraer los datos del usuario y código único del usuario necesarios para guardar los datos de las mediciones en la base de datos. Este programa también debe escuchar permanentemente los cambios de la variable que activa el proceso de toma y envió de mediciones, en la base de datos, y actualizarlo automáticamente en el Raspberry Pi.

- **Comunicación inicial con Firebase:** Para poder obtener los datos de usuario y el estado de la variable de iniciación, primero, se debe establecer la

comunicación con la base de datos en Firebase, para ello se necesitan las credenciales del proyecto de Firebase, que alberga los datos para el uso de la aplicación.

Algo a considerar, es que la ruta que el Raspberry Pi debe registrar, para guardar las mediciones e iniciar el procedimiento de medición, siempre debe actualizarse dependiendo del último usuario que sincronice la App con el AMPI. Esto, en vista de que la biblioteca Pyrebase –biblioteca que permite la comunicación con Firebase- no posee escuchas automáticas y se le debe señalar la conexión correcta para el envío y toma de datos. Es por ello que lo primero que se ha definido, es que cada usuario deberá tener un código único de activación de la aplicación, el cual es dado en el momento que el usuario crea una cuenta. Como se explicó con anterioridad, este código único identificará el usuario y se actualizará cuando se ingrese a la aplicación.

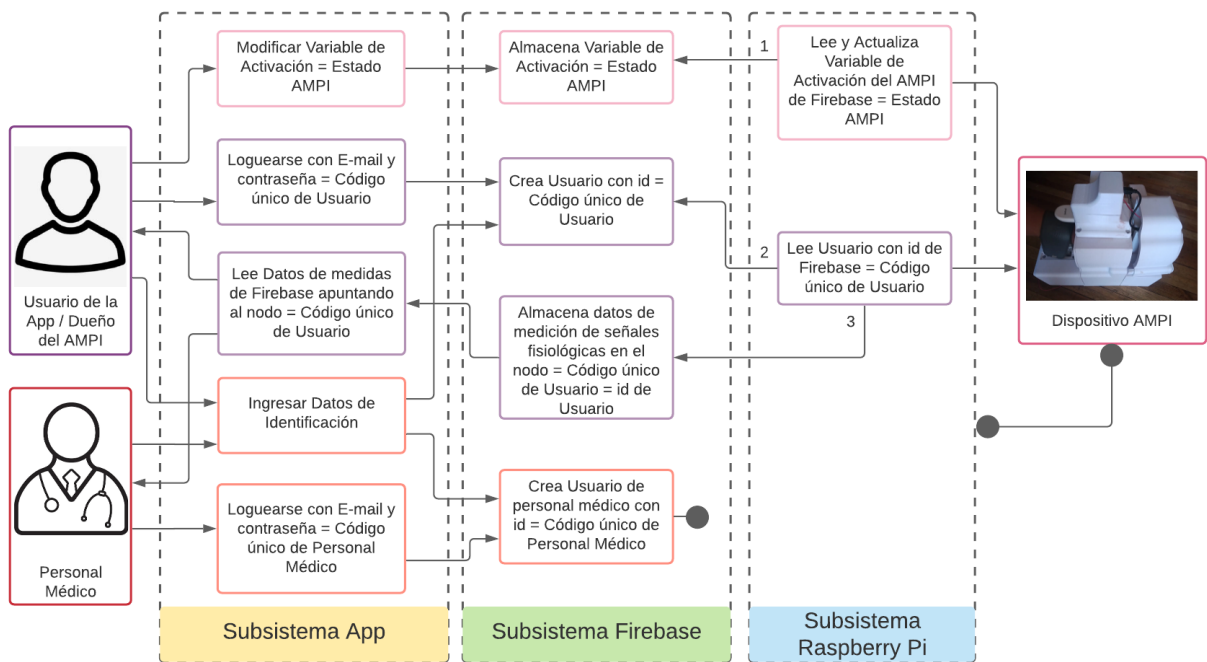
Varios usuarios pueden corresponder aun único Raspberry Pi, lo que permite que cada dispositivo AMPI -con un único Raspberry Pi que lo controla- sea aprovechable para varios usuarios. Por ello, la importancia de un sistema de esterilización para el prototipo.

Los casos de uso, de este principio de funcionamiento de la aplicación, se encuentran representado en la Figura 50.

El diagrama de casos de la Figura 50, está compuesto por dos rutas importantes en el uso del sistema. De la primera ruta se desprende el nodo correspondiente a la activación del AMPI, en esta ruta, si el nodo llamado “Estado AMPI” es igual a “true”, el script que se encarga de la activación del proceso de medición, y se encuentra leyendo permanentemente el estado del nodo hasta su activación - empleando un bucle infinito -; iniciará el proceso de toma, reconocimiento y envío de datos hacia a la base de datos de Firebase.

Por otra parte, de la segunda ruta se desprenden otros nodos, como el nodo llamado “Código único de Usuario”, que a su vez se desglosa en dos nodos más, correspondientes a la creación y sincronización de usuario. El otro nodo de la segunda ruta, pertenece a “Almacena datos de medición de señales fisiológicas”, el cual, siempre y cuando, haya identificado el “Código único del Usuario” permitirá mostrar los datos de las medidas en la App de dicho usuario identificado o en la App del personal médico al cual se le haya compartido las mediciones de un “Código único del Usuario”.

Figura 50: Diagrama de casos de uso del sistema



Fuente: Autor

- **Escritura y lectura de base de datos Firebase:** Para la lectura de información desde la base de datos de Firebase, se tiene una función que apunta simultáneamente a dos nodos diferentes, esto debido a que, la biblioteca Pyrebase solo permite crear una instancia de lectura a la vez, y la ruta hacia los dos nodos debe estar perfectamente definidas.

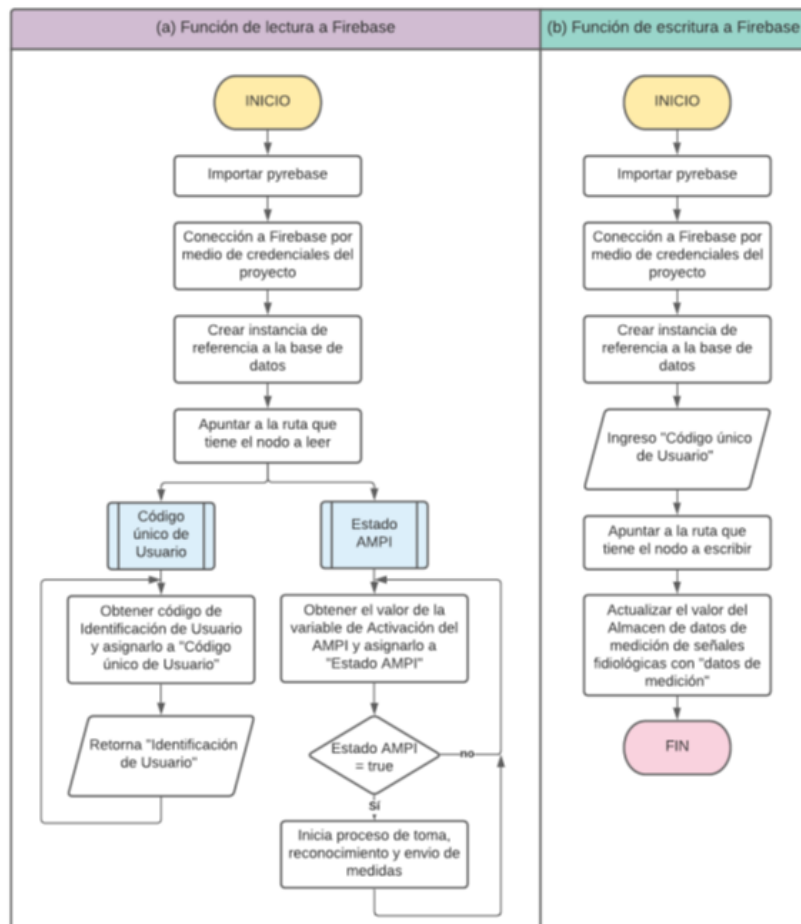
Del mismo modo, para la escritura de los datos se ha creado otra función para el nodo de “Almacena datos de medición de señales fisiológicas” donde se debe colocar un valor o parámetro. Esta función recibe como parámetro los datos de medición, además de fecha y hora de medición, que se deben actualizar en la base de datos en tiempo real.

La Figura 52 muestra el diagrama de dos funciones, una de lectura (a), y otra de escritura (b) a Firebase.

- **Escucha permanente del nodo para variable de Activación de Firebase:** Como se puede ver en el flujograma de la Figura 51.a, dentro de la función de lectura, se plantea un bucle que permanentemente consulta el dato

de estado de la variable “Estado AMPI” desde la base de datos de Firebase, de esa forma, cuando se produzca un cambio en el dato, la información en el Raspberry Pi se actualizará automáticamente.

Figura 51: Flujograma de funciones de a. Lectura y b. Escritura de datos en Firebase



Fuente: Autor

Esta decisión está condiciona por el hecho de que, la plataforma Firebase tiene un soporte para la escucha de eventos y actualización automática para el lenguaje Python (FireBase, 2021).

- Subsistema 2 – Diseño en Firebase

Para este subsistema, la base de datos toma el mismo nombre que tiene el proyecto. A continuación, se describen los servicios que se utilizarán:

- **Autenticación:** El tipo de autenticación que se utilizará, es el método de correo electrónico y contraseña, de esa forma, el usuario solo debe ingresar un correo válido y una contraseña para quedar ligado a la aplicación móvil del proyecto. Para ello, se debe crear una interfaz de usuario en la aplicación de Ionic.

Para la activación de este servicio de Autenticación, se necesita habilitar esa opción desde la consola de Firebase y una vez habilitado, ya se pueden crear y gestionar usuarios desde la consola.

- **Base de datos en Firebase:** Como primer ítem se crea una nueva base de datos desde la consola de Cloud Firestore. Cloud Firestore es una base de datos NoSQL orientada a los documentos. A diferencia de una base de datos SQL, no hay tablas ni filas; más bien, almacena los datos en “documentos”, que se organizan en “colecciones” (FireBase, 2021).

Como se expuso con anterioridad, los documentos se deben almacenar en colecciones, estos pueden contener subcolecciones y objetos anidados. Además, ambos pueden incluir campos primitivos, como strings, o tipos de objetos complejos, como listas (FireBase, 2021).

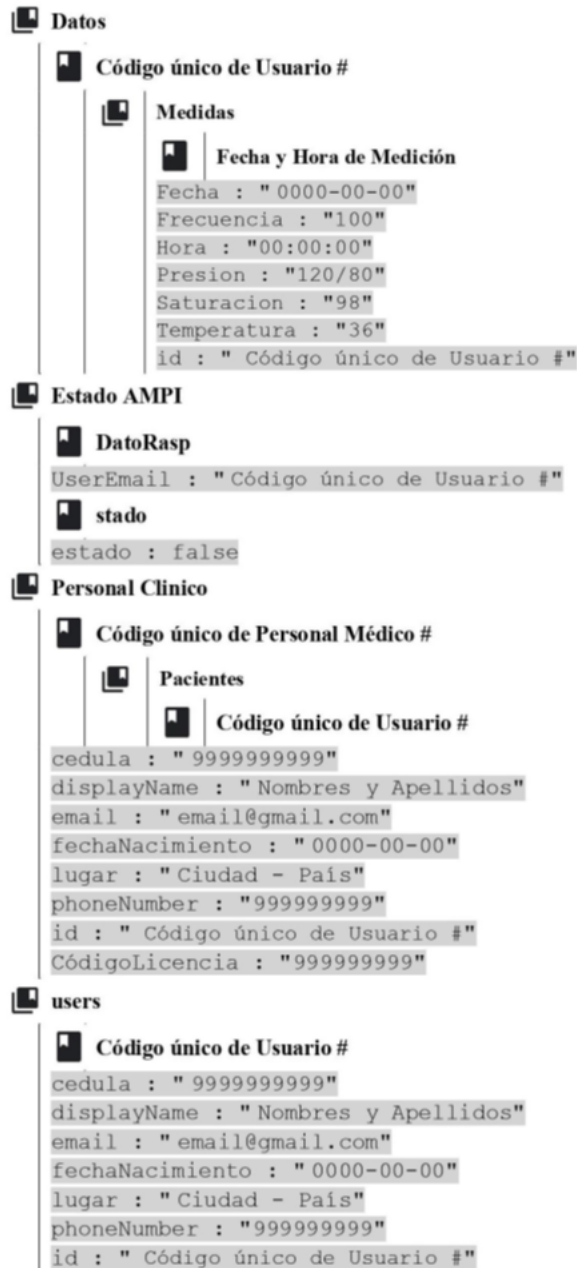
Como se puede ver en el modelo jerárquico de la Figura 52, para poder manejar los datos de usuario, fecha y hora, códigos únicos de Usuario, además de los datos de mediciones; se han creado 3 colecciones principales que son:

1. Datos: Esta colección se divide en varias colecciones, con las claves correspondientes a los “Códigos únicos de Usuario”, es así como esta colección irá escalando con base, a la cantidad de usuarios que se suscriban al servicio del AMPI.

“Código único de usuario” a su vez se divide en la subcolección “Medidas” que contendrá vectores de parámetros (medidas de las señales fisiológicas). Dichos vectores tienen como nombre su fecha y hora de creación.

2. Estado AMPI: Esta colección se divide en dos únicas colecciones: “Dato-Rasp”, que tiene como objetivo identificar el “Código único de Usuario” del último usuario que sincronice el dispositivo AMPI con la App; y “stado”, que toma el papel del nodo “Estado AMPI” (Figura 50) y dependiendo del estado del parámetro “estado” dará inicio el proceso interno del AMPI.
3. Users: Esta colección está directamente relacionada con el servicio de Autenticación de Firebase. En esta se almacenan los datos de los usuarios.

Figura 52: Modelo de datos de Cloud Firestore



Fuente: Autor

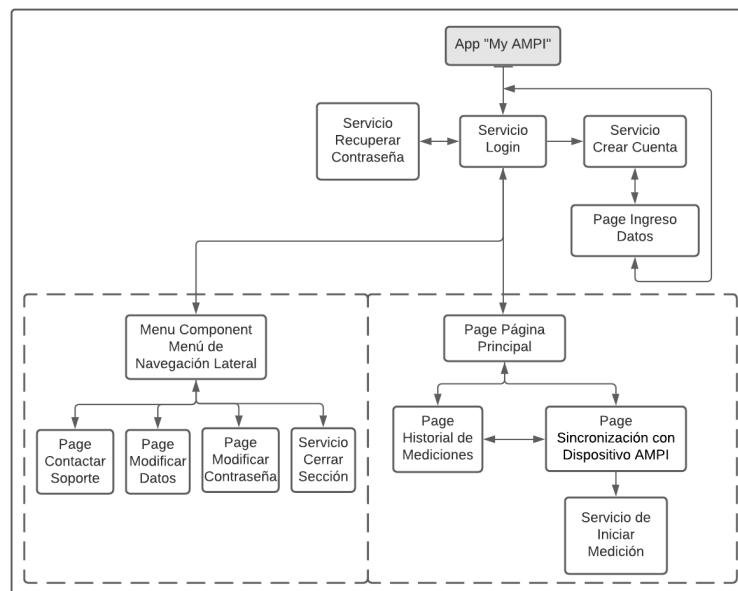
4. Personal Clínico: Esta colección principal, se divide en la única colección: “Código único de personal médico”, que contiene que la subcolección “Pacientes” y un vector de parámetros que, almacenará los datos del personal médico. Este último está directamente relacionado con el servicio de Autenticación de Firebase.

La colección “Pacientes”, recolectará los “Código único de usuario” que hayan dado el permiso de compartir su información de medidas.

■ Subsistema 3 – Diseño de la aplicación en Ionic

El objetivo principal de la aplicación, es que el usuario pueda manejar remotamente el dispositivo AMPI por lo que su diseño debe ser sencillo e intuitivo. Con base a la Tabla 14, a continuación, en la Figura 53 se presenta el diagrama de navegación de la App. Se plantea un diseño de eHealth App que se compone de: actividad de registro, inicio de sesión, recuperación de clave de usuario, y un menú principal.

Figura 53: Navegación por la aplicación “My AMPI”



Fuente: Autor

De la Página Principal se despliegan las páginas y actividades principales de la aplicación. La Página Principal realiza las siguientes tareas:

- Contiene una sección de saludo y una sección en la cual, se facilita el código único del usuario que sirve como identificador de la persona que se encuentra logueada a la App.
- Permite el acceso al Historial de Mediciones, esta página es la que muestra las mediciones almacenadas en la base de datos de Firebase, obtenidas del dispositivo AMPI.
- Permite el acceso a Sincronización con el AMPI, esta página contiene el botón que da la señal de activación del proceso de adquisición y envío de señales fisiológicas.

En paralelo con la Página Principal, se tiene un servicio de Menú de Navegación Lateral que ofrece más servicios, los cuales permiten que el usuario pueda modificar sus datos personales o contraseña de acceso, además de las opciones de soporte y de cerrar la sección actual.

8.3. Construcción de un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19

Considerado los parámetros de diseño mecánico y electrónico se procede a realizar la construcción del dispositivo AMPI.

8.3.1. Máquinas herramientas y equipo utilizado

Durante el proceso de construcción, montaje e instalación del dispositivo AMPI, se utilizaron los equipos, herramientas y accesorios que se muestran en la Figura 18.

8.3.2. Descripción del procesos de construcción

Para el proceso de construcción del AMPI, deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tipo de material a utilizarse, en la impresión 3D de la estructura, es PLA. Se escoge este material debido a que el AMPI debe ser portátil, y este material es resistente y liviano. Esta consideración se explica con mayor entendimiento en la sección 9.2.2 de Resultados.

Tabla 18: Equipos utilizados en la construcción

N °	Equipo	Modelo
1	Impresora 3D	Ender 3 pro
2	Cautín	Proskit
3	Multímetro	INNOVA
4	Raspberry Pi 3	B3 +
5	Pinzas	Proskit
6	Cuchilla	BiG

Fuente: Autor

- Las formas, dimensiones y tipo de material de los particulares se encuentran detallados en el ANEXO B. Las partes principales del prototipo se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19: Partes constitutivas del dispositivo

Sistema	Elemento	Cantidad	Material/Modelo
Sistema Mecánico	Cubierta inferior del AMPI	1	PLA
	Cubierta frontal del AMPI	1	PLA
	Soporte para la estructura del oxímetro digital	1	PLA
	Estructura de soporte para oxímetro digital	1	PLA
	Soporte de la estructura del termómetro digital	1	PLA
	Soporte para tensiómetro digital de muñeca	1	PLA
	Cubierta posterior del AMPI	1	PLA
	Brazo de desplazamiento	3	PLA
	Corredera	3	PLA
	Estructura de soporte para termómetro digital	1	PLA
	Cubierta superior del termómetro digital	1	PLA
Sistema de Control	Bornera	12	Bornera Doble 2 Pines 5mm
	Regulador de voltaje	2	KIA 7805 A
	Condensador cerámico	2	Cerámico
	Condensador cerámico	2	Cerámico
	Resistencia 10 k ohms	2	-
	Resistencia 1 k ohms	6	-
	Diodo	3	1N4007
	Transistor	3	2N3904 H331
	Relé	3	SRD-05VDC-SL-C
	Peinetax20	2	Makers Hub
	Raspberry Pi 3	1	3 B+
	Batería	1	Li-ion Battery/DTP18650-3S2P

Fuente: Autor

8.3.3. Operaciones tecnológicas de la construcción

Las principales operaciones tecnológicas, necesarias para la construcción del dispositivo AMPI, se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20: Operaciones tecnológicas ejecutadas en la construcción del dispositivo AMPI

Sistema	Elemento	N°	Operación Tecnológica	Tiempo (horas)
Sistema Mecánico	Cubierta inferior del AMPI	3	Impresión 3D	54,77
	Cubierta frontal del AMPI	1	Impresión 3D	34,95
	Soporte para la estructura del oxímetro digital	1	Impresión 3D	29,12
	Estructura de soporte para oxímetro digital	1	Impresión 3D	25,68
	Soporte de la estructura del termómetro digital	1	Impresión 3D	20,48
	Soporte para tensiómetro digital de muñeca	1	Impresión 3D	54,77
	Cubierta posterior del AMPI	1	Impresión 3D	15,16
	Brazo de desplazamiento	3	Impresión 3D	0,67
	Corredera	3	Impresión 3D	0,47
	Estructura de soporte para termómetro digital	1	Impresión 3D	92,75
Cubierta superior del termómetro digital	1	Impresión 3D	8,86	
Placa de alimentación	Baquelita	1	Elaboración de PCB	1,00
	Elementos electrónicos	varios	Suelda	2,00
Placa de Control	Baquelita	1	Elaboración de PCB	2,00
	Elementos electrónicos	varios	Suelda	3,00

Fuente: Autor

8.3.4. Parámetros de construcción

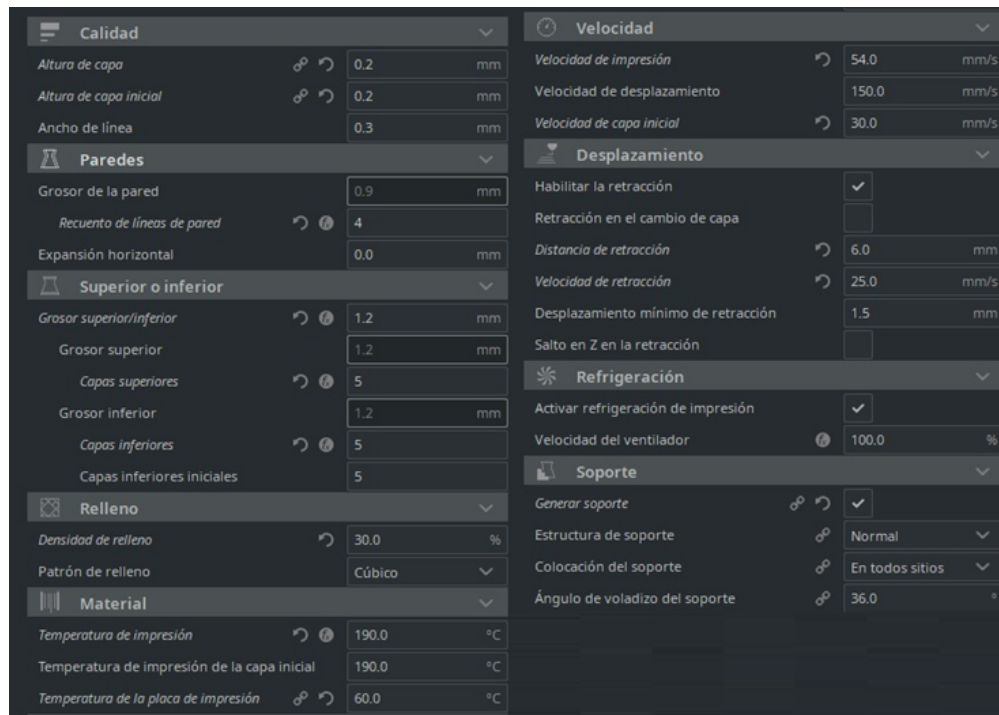
Tomando en consideración las operaciones tecnológicas a realizar, para obtener las distintas partes que conforman el AMPI, se deben tener en consideración varios parámetros para llevar a cabo la impresión 3D de la estructura mecánica y la construcción de los circuitos electrónicos.

■ Estructura mecánica

A fin de obtener, la estructura mecánica del AMPI por medio de impresión 3D, se debe tomar en cuenta que se está empleando la impresora Ender 3 pro con las siguientes características:

- Dimensiones de la cama caliente: 220 x 220 x 250 mm (medidas aproximadas).
- Materiales que puede imprimir: ABS / PLA / WOOD / TPU.
- Formato de los archivos: STL, OBJ, G-Code.
- Cama caliente: puede alcanzar hasta 90°C.
- Velocidad de impresión: 80 mm/s (velocidad normal). Puede alcanzar 180 mm/s.

Figura 54: Parámetros para impresión 3D



Fuente: Autor

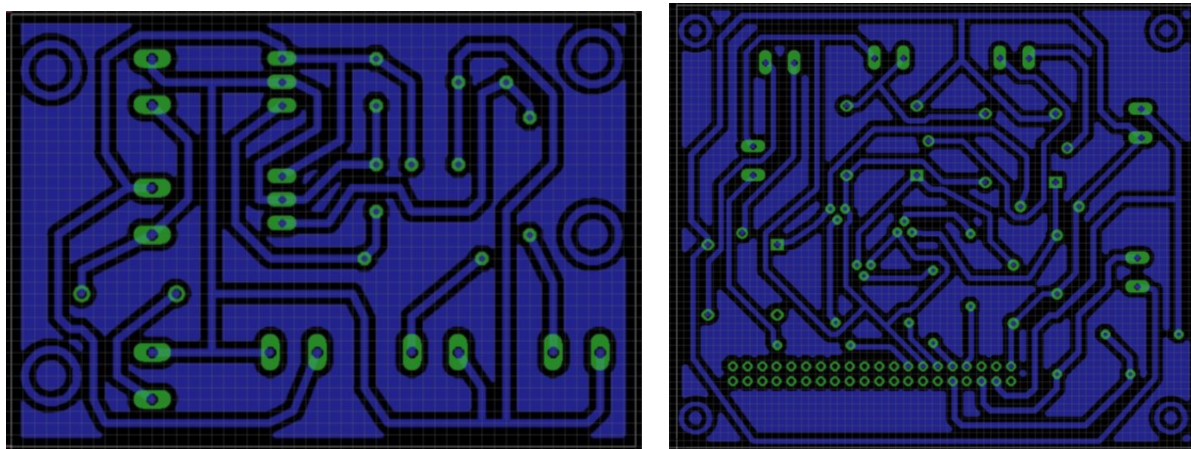
Se escogió como material de construcción el material PLA, por lo que se requiere colocar los distintos parámetros de impresión, tal y como se puede apreciar en la Figura 54.

■ Circuito electrónico

Las placas electrónicas, se desarrollarán por el método de circuito impreso o también conocido como PCB (Printed Circuit Board). Se debe tomar en consideración, que las impresiones de los esquemas electrónicos, Figura 55, tiene que ser realizada en papel transfer en una impresora láser. La baquelita debe ser cortada a medida del esquema, limpiado y lijado, antes de realizar el proceso de planchado, para quitar grasas e imperfecciones (Salas y Ramírez, 2007).

Para asegurar, que el toner se adhiera completamente a la placa de la baquelita, se debe planchar de manera continua y uniforme aplicando presión moderada sobre la superficie en cuestión. Una vez culminado el planchado, se procede a sumergir la placa en agua para retirar el papel transfer, luego se sumerge la placa en ácido cloruro férrico, disuelto en agua hirviendo, para remover los excesos de cobre (Salas y Ramírez, 2007).

Figura 55: Esquemas electrónicos para impresión láser



(a) Esquema electrónico de circuito de carga y alimentación

(b) Esquema electrónico de circuito del sistema de control

Fuente: Autor

Tras haber finalizado el proceso de elaboración del PCB, se procede a taladrar los agujeros necesarios para cada elemento electrónico y finalmente se procede a soldar los diferentes elementos a la placa.

8.4. Evaluación de los resultados en la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad

Con base a los protocolos de medición de cada uno de los dispositivos médicos, se procede a realizar las respectivas pruebas de usabilidad y pruebas técnicas, explicadas a continuación. Esto tomando como base la toma de datos correspondientes a la temperatura corporal, presión arterial y saturación de oxígeno. En el caso de las pruebas técnicas, la obtención de dichas medidas, permite conocer el tiempo de funcionamiento que requiere el dispositivo y la duración de la batería. Además, del porcentaje de error, que se tiene al realizar el reconocimiento numérico y al comparar los valores obtenidos en el AMPI frente a los resultados particulares de cada instrumento.

8.4.1. Diseño del System Usability Scale (SUS)

Las pruebas de usabilidad involucran determinar qué se va a medir, reclutar usuarios apropiados, hacer que los usuarios realicen tareas representativas y recopilar datos para analizarlos. Una forma de evaluar y comparar estos conceptos es la aplicación de cuestionarios (Almenara, 2018).

Los cuestionarios son una herramienta psicométrica diseñada para obtener información del participante. En términos de usabilidad, los cuestionarios se pueden administrar después de la sesión de prueba. Son un medio eficaz de encontrar preferencias subjetivas, son fáciles de repetir y comparar (Almenara, 2018).

■ **Objetivo**

Se realiza esta prueba con el fin de, medir la capacidad que tiene el AMPI, de cumplir el propósito para el cual fue diseñado; además, de observar cómo las personas utilizan dicho prototipo de la manera más realista posible, para así, detectar los problemas potenciales y la percepción subjetiva de los usuarios.

■ **Público objetivo**

Para la realización de la prueba, en primer lugar, se debe identificar al público objetivo. El público objetivo consiste en grupos de usuarios con las siguientes características:

- **Edad:** Personas entre 15 y 65 años en adelante.
- **Género:** Femenino y Masculino.
- **Lugar de residencia:** Zonas urbanas y rurales, siempre y cuando se cuente con servicio de internet.
- **Otros requisitos:** La persona no requiere de un nivel superior de educación, solo conocimientos básicos de tecnologías como el uso de un Smartphone. O en otro caso, tener un acompañante con este tipo de conocimientos.

■ **Número de usuarios**

(Nielsen y Landauer, 1993) concluyen que, el realizar pruebas a un gran número de participantes, no proporciona mucha más información que realizar las pruebas a sólo unas pocas personas, dado que los primeros participantes darán con la mayoría de los problemas de usabilidad. Una prueba de usabilidad realizada por cinco usuarios debería ser suficiente para detectar hasta el 80 % de los problemas potenciales de un producto o

página web, a fin de que, la probabilidad de que un usuario encuentre un problema es aproximadamente, del 31 %. A partir de los cinco usuarios, se siguen observando los mismos hallazgos repetidamente sin descubrir nada nuevo.

Con base a lo expuesto, para la prueba en cuestión se escoge un total de quince personas. Se toma esta muestra en vista de que, se intentará abarcar los tres grupos etarios principales, divididos en grupos de cinco: Jóvenes (15 a 29 años), Adultos (30 a 64 años) y Adultos Mayores (65 años en adelante). Cada grupo etario realizará las mismas tareas, de esa forma, se lograra obtener los diferentes patrones de uso del mismo dispositivo AMPI.

■ **Selección de participantes**

En esta prueba de usabilidad, los requisitos de los participantes son muy fáciles de encontrar, debido a esto, su selección será de forma intencional con base al lugar donde se encuentre el AMPI. Es decir, que cualquier persona puede ser invitada a participar, con base a las características requeridas, siempre y cuando, sea consensuado. En el caso de las personas mayores de edad, que no posean de los conocimientos tecnológicos, se facilitará un ayudante.

Se busca crear un escenario, o una situación realista, en la que el participante ejecute todo el proceso de funcionamiento del AMPI, mientras los autores de la prueba observan y toman notas.

■ **Ubicación de la prueba**

El dispositivo AMPI está diseñado para ser portátil, por lo que no existe problema si es transportado a diferentes lugares. Con base a la selección de participantes, se han escogido diferentes lugares para testear el dispositivo: Una tienda y los domicilios de algunos de los participantes.

■ **Metodología**

Para la realización de esta prueba, una vez seleccionado el participante, primero se le explicará, por medio de una consigna: El objetivo general del proyecto AMPI, objetivo de la prueba que se aplicará, la metodología de dicha prueba, información e instrucciones del equipo y la aplicación; esto debido a que, las pruebas usabilidad del equipo (SUS) y la aplicación (PSSUQ) se llevará a cabo a la par por su similitud y por comodidad del participante.

Una vez que el participante se haya familiarizado con el prototipo y la prueba en cuestión, se pide que el participante firme un consentimiento de participación voluntaria, mismo que está expuesto en el ANEXO C.

A continuación, se pasa con las pruebas prácticas en la cual se le pide al participante que interactúe, mientras realiza todo el procedimiento de adquisición y envío de señales fisiológicas con la aplicación y el dispositivo AMPI. Este proceso se repite cinco veces seguidas con un descanso de dos minutos y medio (lo que dura la esterilización del producto). Después, con base a los protocolos de medición, se procede a realizar las pruebas particulares con cada uno de los dispositivos clínicos. Este proceso también se repite cinco veces seguidas con descansos de dos minutos, para no alterar a los participantes.

Durante todo este tiempo, los observadores toman nota de la interacción, en particular de los errores y dificultades que se encuentren los participantes.

Una vez finalizado las pruebas prácticas, se procede a la entrega de los cuestionarios SUS y PSSUQ, mismos que permiten recopilar información sobre el prototipo y la aplicación que se está probando.

■ **Análisis de datos**

• **Escala**

Como se puede observar en el ANEXO D, el cuestionario consiste en diez preguntas, cada una se puntúa de 1 a 5, donde cada puntuación significa:

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Neutro
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo

Las preguntas que se presentan en el cuestionario son tomadas de la prueba original de (Hedlefs y Garza, 2016). No se modificó el orden ni el significado de las preguntas, esto para evitar afectar el algoritmo del cual se obtiene el resultado final.

• **Medición**

Para obtener el resultado final se debe sumar los puntajes promediados obtenidos del cuestionario, considerando lo siguiente:

- Las preguntas impares (1,3,5,7 y 9), tomarán el valor asignado por el usuario, y se le restará 1.
- Las preguntas pares (2,4,6,8,10), será de 5 menos el valor puntuado por los participantes.
- Una vez obtenido el valor final, se debe multiplicar por 2,5.

Tras un estudio realizado, (Sauro y Lewis, 2009) concluyen que el puntaje promedio es 68. Un resultado por debajo de esta cifra indica que hay varios aspectos a corregir.

8.4.2. Evaluación de medidas

Para verificar que el dispositivo AMPI cumpla con todos los protocolos necesarios para la toma de medidas fisiológicas, se requiere comparar estas mediciones dentro y fuera del AMPI.

Para ello, con base a la metodología de la prueba de usabilidad de la sección anterior, se considera primero tomar las medidas de presión arterial, temperatura corporal y saturación de oxígeno; individualmente con cada dispositivo médico, tomando en cuenta los protocolos de uso de cada instrumento médico. Tras haber finalizado estas mediciones, se procede a emplear el uso del dispositivo AMPI con la finalidad de obtener las medidas fisiológicas y contrarrestarlas con las mediciones particulares de cada dispositivo. Estos valores, permiten evaluar y verificar que las mediciones se han desarrollado correctamente considerando los protocolos respectivos. Los dos valores a comparar, son obtenidos de un promedio de cinco mediciones realizadas a la misma persona (10 mediciones en total por persona correspondientes a: 5 mediciones particulares de cada instrumento y 5 mediciones empleando el AMPI).

8.4.3. Tiempo de funcionamiento por medición

Para estimar el tiempo que tardará el AMPI en realizar una medición, se requiere conocer el tiempo que tarda cada proceso en completarse, como se muestra en la Tabla 21.

Tomando en consideración que los dispositivos médicos funcionan al mismo tiempo, se estima como valor total de medición el tiempo de respuesta del tensiómetro digital, esto debido a que, este dispositivo es el que mayor tiempo requiere para brindar una respuesta en su display. Por lo tanto, se obtiene un tiempo de funcionamiento real del dispositivo AMPI de 4 minutos por medición.

Tabla 21: Tiempo de funcionamiento de los procesos

N °	Proceso	Tiempo [s]
1	Avance y retroceso de actuadores lineales	0,25
2	Respuesta termómetro digital	0,5
4	Respuesta oxímetro digital	45,00
5	Respuesta tensiómetro digital	70,00
6	Toma de fotografías	3,00
7	Reconocimiento de imagen	6,00
8	Envío de datos a la plataforma digital	5,00
9	Proceso de esterilización	150,00
Tiempo total		279,75

Fuente: Autor

8.4.4. Consumo de energía

Al considerar al dispositivo AMPI como un dispositivo portátil, se requiere eliminar la dependencia energética de la red eléctrica domiciliaria, por tal motivo, se considera el uso de un acumulador de energía, que permita el uso del dispositivo durante un determinado tiempo, antes de ser recargado. De esta manera, en la Tabla 22, se procede a determinar la energía necesaria para el correcto funcionamiento del dispositivo AMPI.

Tabla 22: Consumo energético de los elementos

Elemento	Voltaje [V]	Corriente [A]
Raspberry Pi	5,00	0,7
Actuador Lineal	12,00	0,04
Termómetro Digital	3,00	0,03
Oxímetro Digital	3,00	0,03
Tensiómetro Digital	3,00	0,05
Sensor	5,00	0,01
CONSUMO TOTAL	31,00	0,83

Fuente: Autor

El circuito de alimentación, permite obtener el voltaje necesario para energizar a todos los dispositivos dependiendo de su energía requerida.

8.4.5. Tiempo de funcionamiento del dispositivo AMPI

Considerando el tiempo que tarda el dispositivo AMPI en realizar una medición, se puede determinar las repeticiones posibles en una hora, por consiguiente, es posible estimar el tiempo de funcionamiento total del dispositivo.

En vista de que, el dispositivo AMPI tarda 4 minutos en completar una medición y que la hoja técnica de la lámpara UV-C especifica que luego de concluir la esterilización, no se requiere un tiempo de espera para que la persona tenga contacto con el área desinfectada; el AMPI puede volver a ser utilizado inmediatamente después de haber finalizado una medición. Por ende, se puede determinar que en una hora es posible desarrollar 12 mediciones seguidas. En la Tabla 23, se puede apreciar el consumo de energía total del AMPI en una hora de uso continuo.

Tabla 23: Consumo de energía del AMPI en una hora de uso continuo

Elemento	Tiempo de funcionamiento por medición [h]	Corriente [A]	Repeticiones por hora	Consumo de Corriente por elemento [Ah]
Raspberry Pi	1,00	0,7	-	0,7
Actuador Lineal	0,02	0,04	12	0,48
Termómetro Digital	0,005	0,03	12	0,36
Oxímetro Digital	0,04	0,03	12	0,36
Tensiómetro Digital	0,075	0,05	12	0,6
Sensor	0,01	0,01	12	0,12
CONSUMO TOTAL				2,62

Fuente: Autor

Una vez que, el diseño electrónico y mecánico se encuentren desarrollados, se establecen las propiedades que el acumulador de energía debe tener. Esto debido a que está sujeto a propiedades del circuito en cuanto a voltaje y corriente. Las propiedades de tamaño para la implementación en el dispositivo es algo importante a considerar, puesto que, se requiere que el dispositivo sea portátil, por tanto, la batería debe ser pequeña y liviana, pero sin perder las propiedades requeridas de voltaje y corriente. Se ha seleccionado una batería recargable de litio “Li-ion Battery” que tiene 300 g de peso y un tamaño de 115 mm x 20 mm x 70 mm. Esta batería brinda una corriente de 4,4 A a 12 V DC. Propiedades que son de gran utilidad, considerando la energía requerida por cada elemento electrónico. Con base a estas propiedades y al consumo total requerido por hora de funcionamiento del AMPI, se procede a calcular el tiempo total de funcionamiento continuo del AMPI antes de que su batería sea recargada.

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = \frac{I_{nominal}}{I_{consumohora}} = \frac{4,4Ah}{2,62A}$$

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = 1,7h$$

Al determinar el tiempo de funcionamiento del dispositivo se puede afirmar que es posible realizar 20 mediciones antes de recargar el acumulador de energía del AMPI.

8.4.6. Reconocimiento de imagen

Tras haber capturado las imágenes de los displays de los dispositivos médicos, se procede a realizar el análisis de resultados obtenidos. A manera de, verificar la exactitud del reconocimiento, se contraponen las fotografías obtenidas de los dispositivos con el valor numérico conseguido con el programa.

Se ha planteado tomar como mínimo 75 fotografías de los distintos dispositivos, para garantizar una mayor exactitud en el reconocimiento de la medición, con el propósito de disminuir el error.

8.5. Pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo

8.5.1. Pruebas técnicas

La aplicación de prueba es de tipo híbrida, esta combina las características de las aplicaciones web y nativas, por lo que se puede utilizar el mismo código nativo para diferentes plataformas (Ayala, 2019). Con base a esta afirmación, para el desarrollo de la aplicación se utilizó la estructura tecnológica Ionic, un Framework de código abierto que se utiliza en el desarrollo de aplicaciones móviles híbridas (FireBase, 2021).

- **Pruebas de funcionamiento de la aplicación**

Este tipo de prueba se enfoca en afirmar que, la aplicación funciona según los requerimientos especificados en la sección 8.2.3. (Ayala, 2019) plantea que las pruebas de funcionamiento de la aplicación incluyen:

- Registro/Login y recuperación de clave:
 - Verificar que el usuario pueda registrarse e iniciar sesión.
 - Verificar la integración con el servicio de correo de Google, para la activación de cuenta y recuperación de clave.
- Verificación del servicio de base de datos y almacenamiento.
- Actualización de información en la base de datos.
- Verificación del servicio para compartir historial de mediciones.

- Conectividad:

La presente aplicación no funciona sin acceso a internet, aunque si muestra los datos recolectados sin una conexión a la misma, por lo que es fundamental, verificar si la aplicación funciona correctamente frente diferentes velocidades de conexión a internet.

En este caso los escenarios a probar son los siguientes:

- Comportamiento de la aplicación conectada a una red de datos de un operador.
 - Comportamiento de la aplicación conectada a una red Wi-Fi.
 - Comportamiento de la aplicación cuando la señal es débil.
- Rendimiento:

El objetivo de las pruebas de rendimiento es conocer como la aplicación funciona bajo diferentes cargas de trabajo. Este se considera un factor importante para el éxito de la aplicación. En este caso se recomienda probar:

 - Tiempo desde que se abre la aplicación hasta que se muestra la primera pantalla (no debe exceder los 2 segundos).
 - Verificar el consumo de batería.
 - Chequear si se sobrecalienta el dispositivo.
 - Revisar el uso de memoria.

- **Pruebas de funcionamiento en el Raspberry Pi**

Esta se enfoca en los scripts de Python, específicamente en la lectura del estado del AMPI y el código único de Usuario, es decir, sirve para escuchar los cambios en el valor de los nodos de la base de datos de Firebase, así como el envío y almacenamiento de los datos de medición en Firebase.

En el caso de estas pruebas, se requiere de la interfaz de Python y de la base de Datos de Firebase.

8.5.2. Diseño del Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)

Esta prueba es una alternativa de la escala de usabilidad del sistema (SUS), enfocada en medir la satisfacción de los usuarios de una aplicación o sitio web (Almenara, 2018).

▪ **Objetivo**

De manera similar a la prueba SUS, se realiza esta prueba con el fin de medir la capacidad que tiene la aplicación del AMPI de cumplir el propósito para el cual fue diseñado, además de observar cómo las personas utilizan dicha aplicación, de la manera más realista posible; para así poder detectar los problemas potenciales y la percepción subjetiva de los usuarios.

Por otra parte, como se explicó en la sección 8.4.5, esta prueba PSSUQ, comparte el mismo diseño de la prueba SUS en el caso del público objetivo, el número de usuarios, la selección de participantes, la ubicación de la prueba y la metodología.

▪ **Análisis de datos**

• **Escala y medición**

El cuestionario presentado en el ANEXO E pertenece a la versión 3 de PSSUQ y consta de 16 preguntas con 7 opciones para elegir, donde 1 significa “Muy de acuerdo” y 7 “Muy en desacuerdo”. La opción 4 es neutral, pero una puntuación por debajo de 4 no indica que la aplicación tenga un desempeño superior al promedio. Cuanto menor sea la puntuación, mejor será el rendimiento y la satisfacción.

El resultado general se calcula promediando las puntuaciones de los 7 puntos de la escala. A diferencia del SUS, PSSUQ tiene 3 subescalas: Utilidad del sistema (SYSUSE), Calidad de la información (INFOQUAL) y Calidad de la interfaz (INTERQUAL). Las preguntas que se presentan en el cuestionario son tomadas de la prueba original de (Lewis, 1995).

9. Resultados

Con la finalidad de cumplir con los objetivos propuestos se presentan los siguientes resultados.

9.1. Objetivo 1: Condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19

Con base a la bibliografía presentada, fue posible determinar las condiciones iniciales sobre las cuales partirá el diseño. A continuación, la tabla 24 presenta las condiciones iniciales establecidas en el diseño mecánico y de control.

Tabla 24: Condiciones iniciales para diseño

CONDICIONES INICIALES						
Dispositivo	Modelo	Protocolos	Dimensiones [mm]	Peso [kg]	Voltaje [V]	Corriente [A]
Oxímetro digital	Pulsioxímetro de dedo modelo C101A3	Protocolo de medición para saturación de oxígeno.	58x36x33	0,09	3,00	0,03
Termómetro digital	IR200	Protocolo de medición para temperatura corporal.	160x82x42	0,177	3,00	0,03
Tensiómetro digital	HEM-6122	Protocolo de medición para tensión arterial	578 x 267x224	0,193	3,00	0,05
lámpara UV-C	Lámpara de esterilización LED UVC	Protocolo de uso de germicida UV-C	∅18x255	0,063	3,00	0,5
Cámaras USB	HD OV9712		15x15x15	0,005	5,00	0,02
Actuador lineal	JUNESUN		50x50x180	0,07	12,00	0,04
Raspberry Pi	3 B+		85x49x3	0,09	5,00	0,7
Batería	Li-ion Battery-DTP 18650 3S2P – 12 VDC 4400mAh		115x20x70	0,3	12,00	4,4

Fuente: Autor

Los dispositivos médicos, fueron seleccionados a razón de que cumplían con los requerimientos establecidos de precio, disponibilidad y certificación médica. En cuanto a la lámpara UVC, esta posee certificación por parte del COE nacional.

Se consideró el uso de un Raspberry Pi para agilizar el proceso de programación y control de sus periféricos. La selección de la batería se basó en el requerimiento energético y en el peso, puesto que, el dispositivo debe ser portátil y recargable.

Por otra parte, el actuador lineal, a diferencia de los dispositivos clínicos, no fue seleccionado. Esto debido a que, ya se disponía de este. No obstante, se realizaron los cálculos necesarios para comprobar que este elemento no afectaría de forma negativa en el funcionamiento del AMPI.

9.2. Objetivo 2: Diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19; de manera que los pulsantes de los instrumentos sean presionados automáticamente, y las medidas sean procesadas y enviadas al personal médico por medio de una plataforma digital (App)

9.2.1. Diseño mecánico

Para el diseño mecánico del dispositivo AMPI, a continuación, se describe los resultados obtenidos, fundamentada en la metodología utilizada para el cumplimiento del mismo.

- **Resultados del planteamiento del sistema de corredera para transformar movimiento horizontal en vertical**

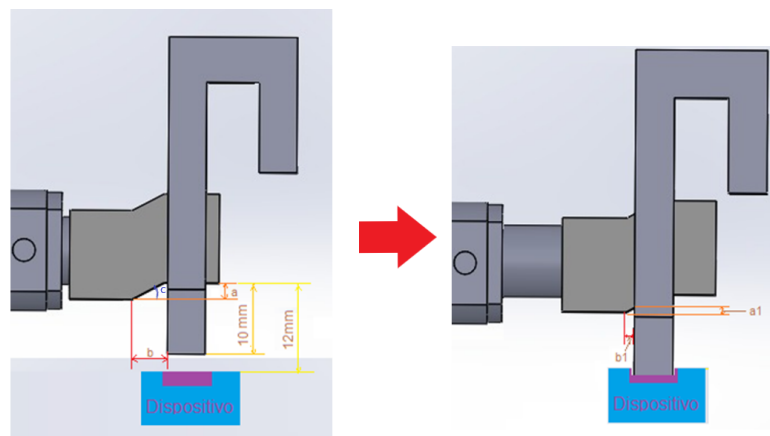
En lo que se refiere al mecanismo para accionar los dispositivos clínicos, se diseñó un mecanismo que cumple con el objetivo de accionamiento planteado. Para demostrar este criterio de desplazamiento, se simula el mecanismo en el Software de diseño en Autodesk Inventor 2020. Este mecanismo permite accionar los pulsantes de cada dispositivo a partir del movimiento horizontal de los actuadores lineales, como se puede observar en la Figura 56.

De la misma forma, para cumplir el criterio del valor necesario de desplazamiento para el accionamiento, como resultados se obtiene: un valor de ángulo θ de 27,85 y una longitud de b_1 de 0,41 mm, que permiten que el actuador pueda desplazarse 3,78 mm para poder activar los dispositivos.

- **Resultado del diseño en Autodesk Inventor 2020 el dispositivo AMPI**

Los particulares junto con el mecanismo de corredera, conforman el modelo en sólido de la Figura 57. El dispositivo AMPI, tiene una dimensión total de 315x210x310mm y un peso aproximado de 1.125Kg. En general, las medidas reales de los elementos del mecanismo son presentados en la Tabla 25.

Figura 56: Mecanismo de accionamiento vertical de dispositivos clínicos



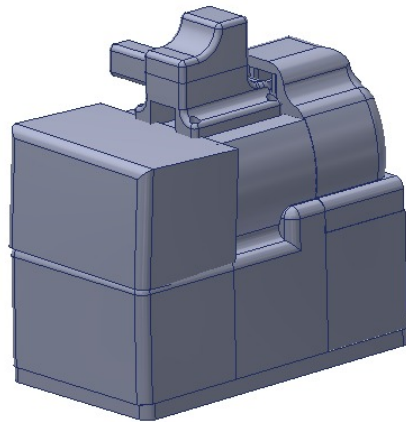
Fuente: Autor

Tabla 25: Dimensiones para diseño del AMPI

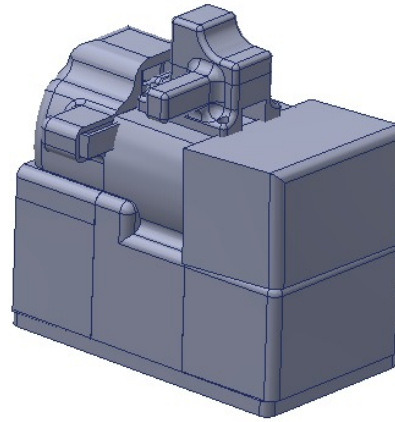
	N. de Particular	Descripción	Parámetro		
			Ancho [mm]	Largo [mm]	Profundidad [mm]
Estructura del AMPI	Particular 1	Cubierta inferior del AMPI	315,00	182,00	10,00
	Particular 2	Cubierta frontal del AMPI	145,00	210,00	125,00
	Particular 3	Soporte para la estructura del oxímetro digital, parte frontal de la base del AMPI	180,00	113,00	115,00
	Particular 4	Estructura de soporte para oxímetro digital	152,50	72,50	176,00
	Particular 5	Soporte de la estructura del termómetro digital, parte intermedia de la base del AMPI	180,00	214,00	110,00
	Particular 6	Soporte para tensiómetro digital de muñeca, parte posterior de la base del AMPI	180,00	110,00	103,00
	Particular 7	Cubierta posterior del AMPI	180,00	113,00	113,00
	Particular 10	Estructura de soporte para termómetro digital	107,00	135,00	89,00
	Particular 11	Cubierta superior del termómetro digital	77,17	120,00	47,00
	Mecanismo de Corredera	Particular 8	Brazo de desplazamiento	14,00	19,80
Particular 9		Corredera	14,50	42,07	17,00

Fuente: Autor

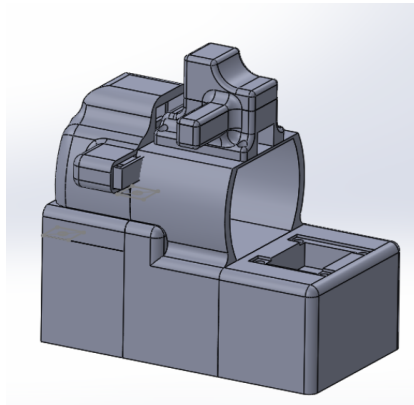
Figura 57: Configuración final del diseño propuesto para el dispositivo AMPI



(a) Vista lateral posterior derecha



(b) Vista lateral posterior izquierda



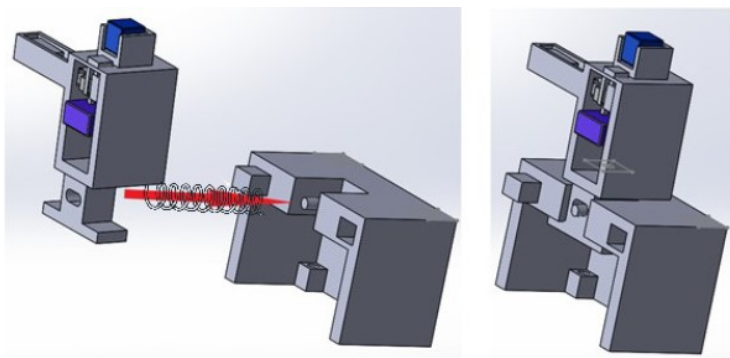
(c) AMPI sin cubierta posterior

Fuente: Autor

Dentro de las características particulares de este diseño, se observa que su dimensionamiento y la distribución de los compartimientos, es el adecuado para distribuir y soportar los diferentes dispositivos que constituyen el AMPI. Se colocó especial cuidado en asegurar, que las distancias entre las cámaras y los displays de los dispositivos, así como las distancias entre los mecanismos de accionamiento y los pulsantes de los dispositivos, sean correctas para evitar errores y desfases cuando funcione el AMPI.

En el caso del requerimiento de que el dispositivo AMPI se ajuste a las diferentes longitudes de mano, se implementa el sistema de desplazamiento de la Figura 58.

Figura 58: Sistema de desplazamiento para la estructura del oxímetro digital



Fuente: Autor

Este sistema, de basa en un resorte de compresión para permitir el retorno de la estructura del oxímetro digital, mismo que se traslada linealmente de adelante hacia atrás para ajustarse, de ser necesario, a las diferentes longitudes de manos.

Otra consideración a recalcar, es el acabado del diseño, este está libre de aristas y esquinas punzantes o de corte. Lo que garantiza la seguridad del uso del AMPI para su empleo en el hogar.

■ **Resultados del análisis de esfuerzos del sistema de corredera**

En la Tabla 26, se exponen los resultados más importantes que se obtuvieron de los análisis mecánicos de las simulaciones presentadas en las Figuras 35 y 36, para los dos materiales evaluados.

Tabla 26: Análisis de esfuerzos y deformación entre los dos materiales evaluados

Caracterísitcas	Material	
	PLA	ABS
Tensión de Von Mises mínima [MPa]	1,405E-06	1,334E-06
Tensión de Von Mises máxima [MPa]	4,979	5,097
Deformación total valor mínimo [mm]	0,00	0,00
Deformación total valor máxima [mm]	3,483E-03	4,669E-03

Fuente: Autor

La teoría de Von Mises-Hencky con su Ecuación (4), establece que una falla se puede predecir cuando la tensión de von Mises es igual o mayor al límite de tracción.

$$\sigma' \geq Sy \quad (4)$$

En donde:

σ' : Esfuerzo calculado por el software ANSYS

Sy : Límite elástico o límite de tracción

Al comparar los esfuerzos máximos generados por el software -especificados en la Tabla 26- con los admisibles del material- especificados en la Tabla 10- se observa que, para los dos materiales evaluados, los esfuerzos máximos generados están muy por debajo del límite. Lo que significa que, el mecanismo es completamente funcional al utilizar cualquiera de los dos materiales planteados.

Esta afirmación se apoya en la Figura 59, en la que se observa que ambos materiales cuentan con un factor de seguridad mayor a 15, lo que asegura que la pieza crítica del mecanismo no cederá en ninguna posición.

Consecuentemente, la decisión del material con el que se puede fabricar el dispositivo AMPI, es decisión del diseñador. Tomando en consideración los valores de deformación total de la Tabla 26, se determina que la mejor opción es el PLA, A fin de que, sufre menos deformación. Además, confrontando las propiedades de los materiales se verifica que el PLA es ideal, puesto que, presenta menos inconvenientes con respecto al ABS a la hora de realizar la impresión 3D, sumado a que, las piezas tienden a tener un mejor acabado y buenas propiedades mecánicas.

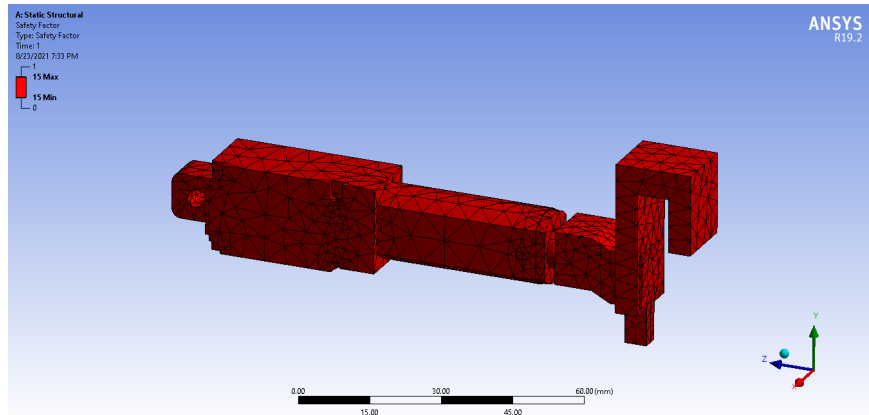
9.2.2. Diseño del sistema de control

Para verificar el correcto funcionamiento de los circuitos diseñados, se procede a realizar la respectiva simulación de estos.

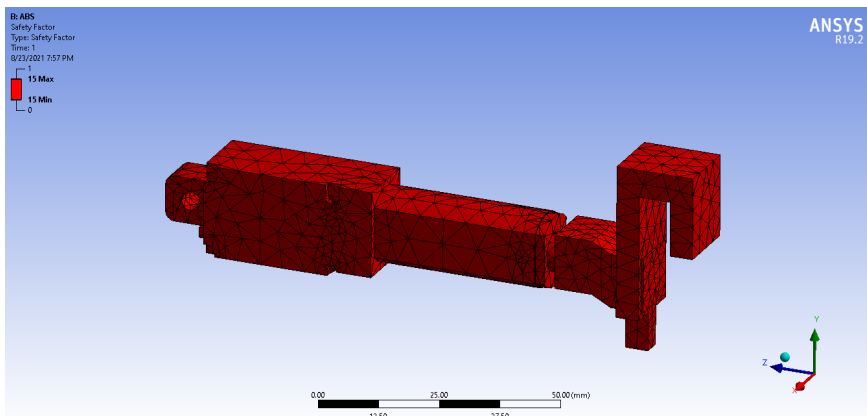
▪ Resultados del circuito electrónico

El sistema electrónico del AMPI, está conformado por un circuito de alimentación y un circuito de control. Los circuitos electrónicos se diseñaron y simularon en el software MultiSim.

Figura 59: Factor de Seguridad obtenido



(a) Material PLA



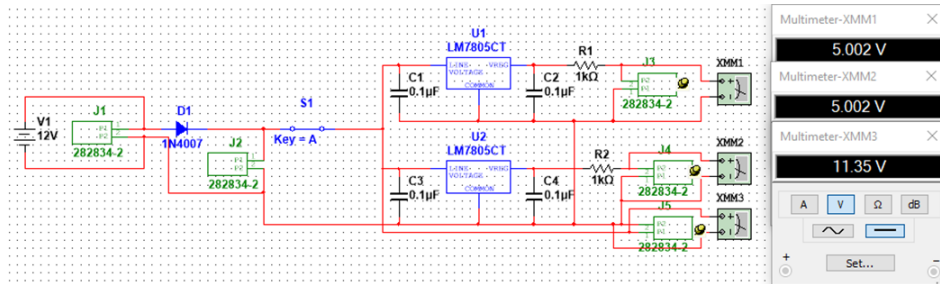
(b) Material ABS

Fuente: Autor

- **Circuito de alimentación y carga**

En la Figura 60, se pueden apreciar los diferentes voltajes de salida del circuito de alimentación. Cabe mencionar que, el acumulador de energía en este caso se simuló con una fuente de 12V DC. Como se puede apreciar en la simulación, el circuito funciona correctamente por lo cual, se procede a desarrollar su construcción.

Figura 60: Simulación del circuito de alimentación y carga



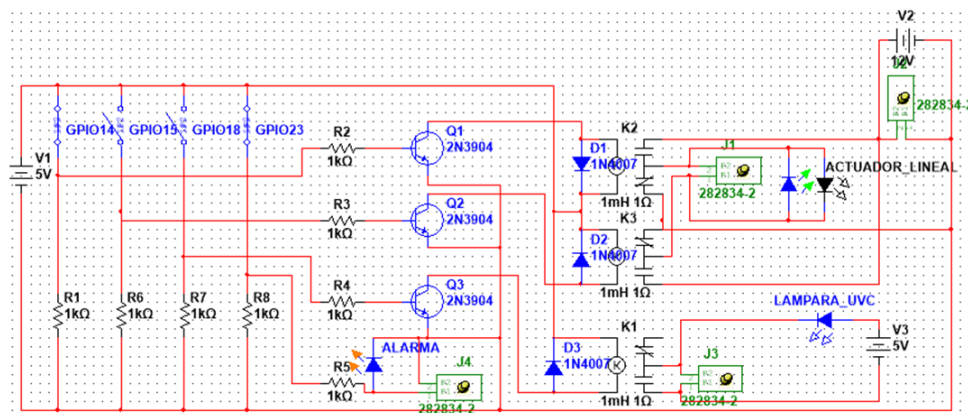
Fuente: Autor

- **Circuito de control**

Con base en la programación establecida, se puede emular el funcionamiento y activación de los puertos de salida “GPIO” del Raspberry Pi, esto por medio de interruptores; y los elementos electrónicos son simulados por medio de leds conectados a la salida de cada bornera. En este caso, el actuador lineal es reemplazado por dos leds que simulan el avance o retroceso del mismo.

En la Figura 61, se muestra el funcionamiento del circuito de control, donde, al iniciar la activación del AMPI se enciende la alarma - indicando que el dispositivo se encuentra en uso - luego, realiza el desplazamiento del actuador lineal. Como se puede apreciar en la simulación, el circuito funciona correctamente por lo cual se procede a desarrollar su construcción.

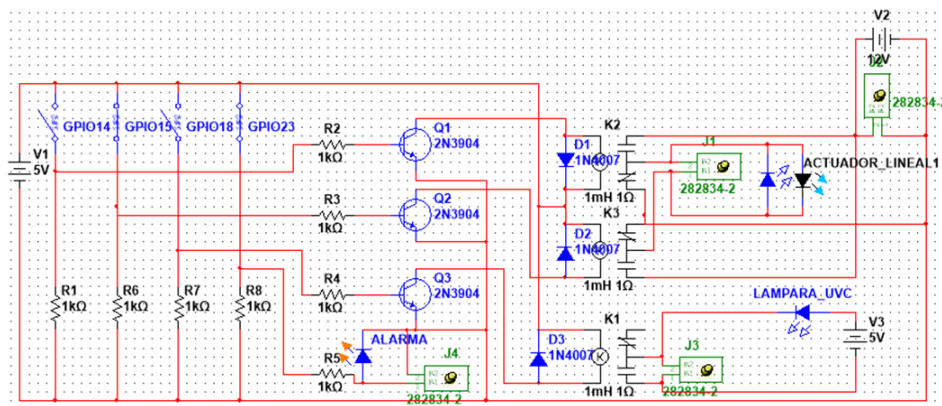
Figura 61: Simulación del avance del actuador lineal (Avance)



Fuente: Autor

Inmediatamente, después de haber completado el desplazamiento necesario del actuador lineal, durante cierto tiempo, se procede a realizar su retroceso. Esta acción se la puede apreciar en la Figura 62.

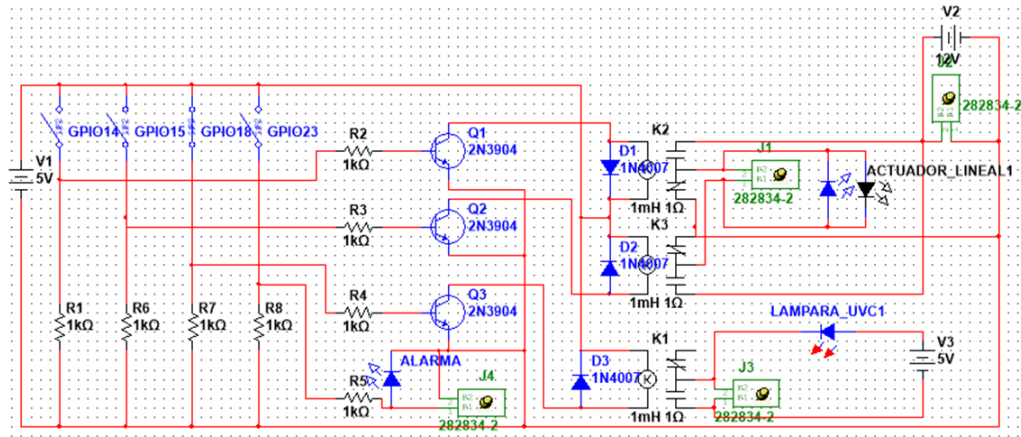
Figura 62: Simulación del avance del actuador lineal (Retroceso)



Fuente: Autor

Tras finalizar la medición, se apaga la alarma de uso e inicia el proceso de esterilización del AMPI, encendiendo la lámpara UV-C durante cierto tiempo como se muestra en la Figura 63.

Figura 63: Simulación del proceso de esterilización



Fuente: Autor

■ Resultados del reconocimiento de imagen

Para ejemplificar el proceso de reconocimiento de imagen, se procede a adquirir las imágenes resultantes de la simulación del programa. La fotografía del display capturada se explica en la Figura 64. Cabe recalcar que, para este ejemplo, se considera el reconocimiento numérico desarrollado en el oxímetro digital.

Figura 64: Captura de imagen de la medición



Fuente: Autor

Tras obtener la fotografía del display, se procede a recortar la imagen de acuerdo con el margen en rojo, de la Figura 64. Posteriormente, se compara la imagen con las plantillas de números a manera de obtener el dato numérico correspondiente a la medición del

oxímetro. En la Figura 65, se muestra la comparación y porcentaje de similitud entre la plantilla y la imagen del display del oxímetro digital.

Figura 65: Comparación y porcentaje de similitud entre (a): plantilla y (b): imagen



Fuente: Autor

Después de encontrar la similitud entre estas imágenes, se obtiene el resultado numérico de la comparación, brindando como dato de salida el valor de la medición, como se puede apreciar en la Figura 66.

Figura 66: Resultado de la simulación

```
C:\Users\DELL\Documents\UPS\SOLO_TESIS\TESIS_PROG\PROGRAMAFINAL>python RECONOX1.py
[ WARN:0] global c:\users\runneradmin\appdata\local\temp\pip-req-build-u4kjpz2z\ope
python\shadow_sift.hpp (15) cv::xfeatures2d::SIFT_create DEPRECATED: cv.xfeatures2d
transfer to the main repository. https://github.com/opencv/opencv/issues/16736
SATURACIÓN 94
```

Fuente: Autor

Luego de obtener el valor numérico de la medición, el valor es enviado a la base de datos de la aplicación digital. Cabe destacar que, este proceso es elaborado para cada dispositivo médico.

9.2.3. Diseño de la plataforma digital (App)

Para el diseño de la App, en la siguiente sección, se describe los resultados obtenidos tras aplicar la metodología de subsistemas, planteado para el cumplimiento del mismo.

▪ Subsistema 1 – Resultados del diseño de programas en Raspberry Pi

Para el control y comunicación en el Raspberry Pi, con ayuda de Python, se diseñó los siguientes programas.

- **Comunicación inicial con Firebase**

En la Figura 67, se muestra las librerías, junto con el código necesario, para establecer la comunicación entre el Raspberry Pi con la base de datos de Firebase. Esta comunicación permite sincronizar el AMPI y comprobar si en la base de datos existe un usuario.

Figura 67: Segmento del script de declaración de credenciales para comunicación inicial a Firebase

```
#-----FIREBASE-----
import pyrebase
import firebase_admin
from firebase_admin import credentials
from firebase_admin import firestore
from datetime import datetime
import time
#-----

cred = credentials.Certificate('/home/pi/Desktop/fire/cred.json')
firebase_admin.initialize_app(cred)
db= firestore.client()
print('INICIO')
```

Fuente: Autor

El archivo “cred.json” contiene las credenciales del proyecto de Firebase, que alberga los datos para el uso de la aplicación.

- **Escritura y lectura de base de datos Firebase**

En el caso de la lectura de nodos, en la Figura 68, se puede observar como el programa apunta a dos nodos diferentes a la vez. Estos nodos se encuentran dentro de la misma colección “Estado AMPI” como se muestra en la Figura 73.

El primer nodo corresponde a “Estado AMPI”, que dará la señal para iniciar el proceso de toma y reconocimiento de señales. Este lee y actualiza el estado en el que se encuentra la variable “estado” de la colección “stado”, como se observa en la Figura 73.b.

Por otra parte, el segundo nodo “Código único de Usuario”, tiene como objetivo identificar el último usuario que sincronice el AMPI con la aplicación, tal como se muestra en la Figura 73.a.

Figura 68: Programa de lectura/escritura. Funciones de lectura de la base de datos

```
while EV==1:
    date= datetime.now()
    data={
        'id':str(datetime.now()),
        'Fecha': datetime.now().strftime('%Y-%m-%d'),
        'TEMPERATURA': str(NUMERO),
    }
    ID=data['id']
    result=db.collection('Estado AMPI').document('stado').get()
    vale=db.collection('Estado AMPI').document('DatoRasp').get()
    if result.exists:
        print(result.to_dict())
        estado = result.to_dict()['estado']
        Usuario= vale.to_dict()['UserEmail']
        if estado == True:
            db.collection('Datos').document(Usuario).collection('Medidas').document(ID).set(data)
            estado = False
            time.sleep(10)
```

Fuente: Autor

En el caso de la escritura de datos, la Figura 69, muestra la función para el almacenamiento de información en la base de datos Firebase de la Figura 72. En este nodo, se almacenarán los parámetros y datos medidos por el AMPI, correspondientes a las señales fisiológicas.

Figura 69: Programa de lectura/escritura. Función de escritura de la base de datos

```
while EV==1:
    date= datetime.now()
    data={
        'id':str(datetime.now()),
        'Fecha': datetime.now().strftime('%Y-%m-%d'),
        'TEMPERATURA': str(NUMERO),
    }
    ID=data['id']
    result=db.collection('Estado AMPI').document('stado').get()
    vale=db.collection('Estado AMPI').document('DatoRasp').get()
    if result.exists:
        print(result.to_dict())
        estado = result.to_dict()['estado']
        Usuario= vale.to_dict()['UserEmail']
        if estado == True:
            db.collection('Datos').document(Usuario).collection('Medidas').document(ID).set(data)
            estado = False
            time.sleep(10)
```

Fuente: Autor

- **Escucha permanente del nodo para variable de Activación de Firebase**
En este caso, se planteó una función "while" para la creación de un bucle, que permanentemente consulte y actualice el dato de estado de la variable "Estado AMPI", de la base de datos de Firebase. Esta lógica se presenta en la Figura 69.

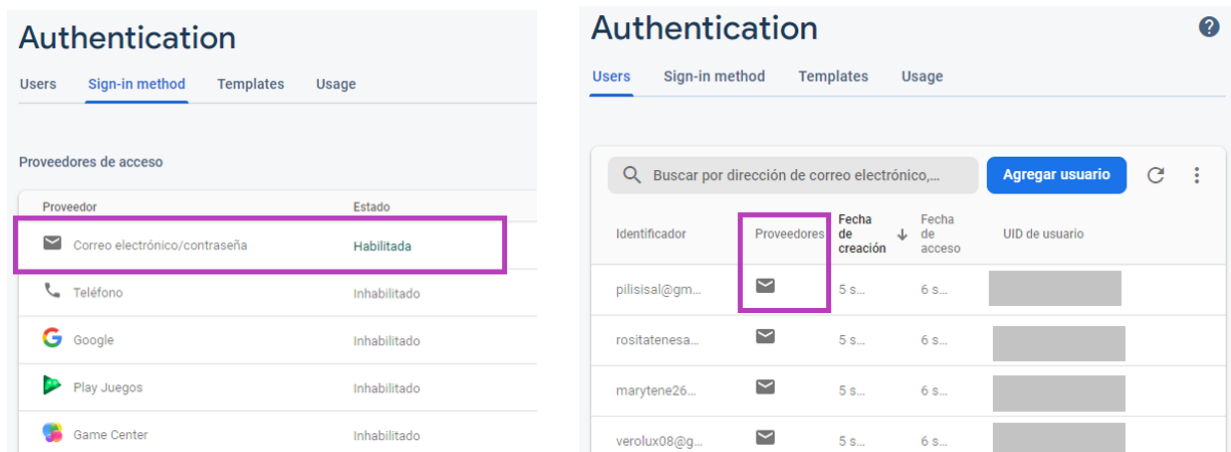
▪ Subsistema 2 – Resultados del diseño en Firebase

Se establece que, el nombre del proyecto en Firebase será la misma que la del proyecto técnico: “AMPI”. Los resultados del diseño de la base de datos en Firebase, se describen con base a los servicios utilizados.

• Autenticación

En el caso del servicio de autenticación, se escoge el método de correo electrónico y contraseña. En la Figura 70.a, se puede observar que este servicio de autenticación está habilitado, lo que permitirá crear y gestionar usuarios desde la consola.

Figura 70: Servicio de autenticación



(a) Proveedor de correo/contraseña habilitada

(b) Lista de usuarios suscritos al servicio AMPI

Fuente: Autor

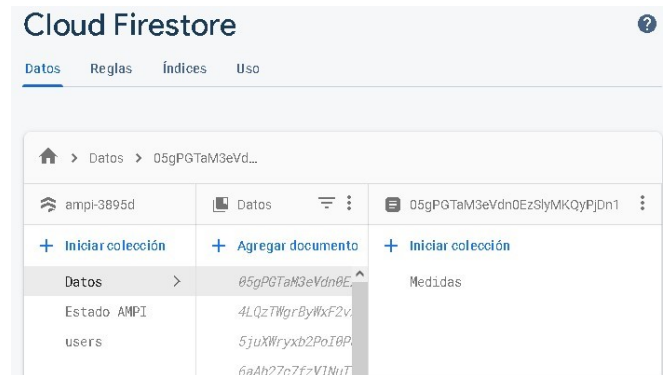
La Figura 70.b, presenta la base de datos donde se almacenará la información de identificación, el proveedor de servicio, fecha de creación de cuenta, última fecha de acceso y el UID de usuario; correspondiente al Código único de Usuario, el cual es dado en el momento que el usuario crea una cuenta.

• Base de datos en Firebase

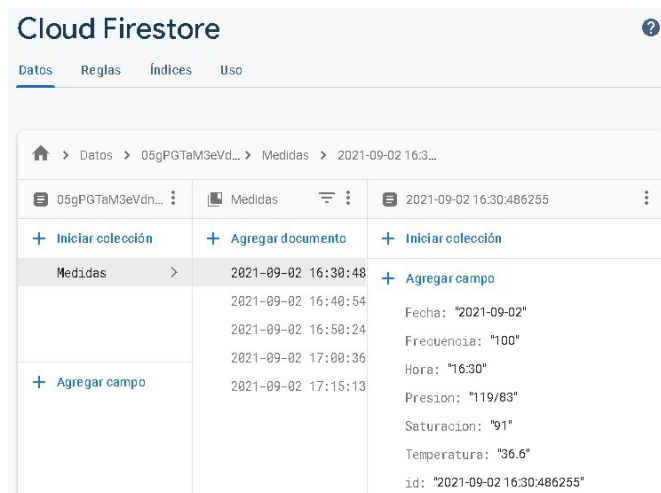
En la Figura 52, se presenta la jerarquía de la base de datos creada en la consola de Cloud Firestore. Se han creado tres colecciones principales, que a su vez incluyen documentos con subcolecciones y objetos anidados. La primera colección corresponde a “Datos”, como se observa en la Figura 71.a, esta colección principal

se divide en varias colecciones que irán escalando a medida en que los usuarios se suscriban al servicio AMPI, puesto que, estas colecciones están destinadas a tomar de nombre las claves correspondientes a los “Códigos únicos de Usuario”.

Figura 71: Colección principal “Datos”



(a) Documentos de “Código único de usuario” dentro de la colección principal “Datos”



(b) Lista de parámetros de señales fisiológicas dentro de documentos de “Fecha y hora de creación” dentro de la subcolección “Medidas”

Fuente: Autor

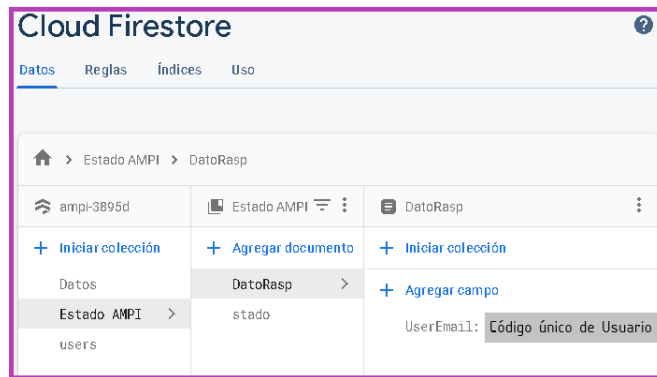
Continuando con esta colección, como se puede observar en la Figura 71.b, “Código único de usuario” se divide en la subcolección “Medidas”, que contiene vectores de parámetros correspondientes a las medidas de las señales fisiológicas; dichos

vectores tienen como nombre: su fecha y hora de creación.

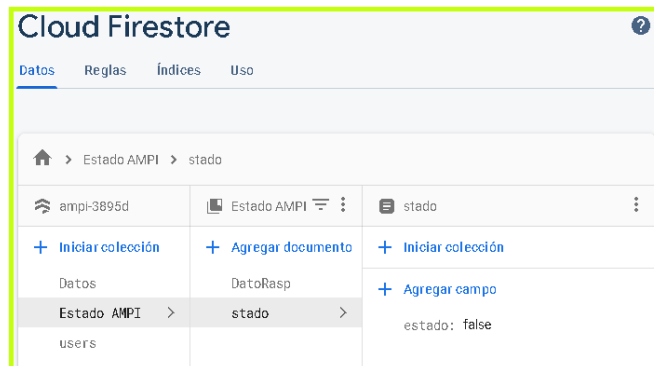
De igual forma, en la Figura 72 se muestra la segunda colección principal, “Estado AMPI”. Esta colección se divide en dos colecciones:

- “DatoRasp”: Permite identificar el “Código único de Usuario” del último usuario que sincronice el dispositivo AMPI con la App.
- “stado”: Toma el papel del nodo “Estado AMPI” (Figura 50) y dependiendo del estado del parámetro “estado”, dará inicio el proceso interno del AMPI.

Figura 72: Segunda colección principal “Estado AMPI”



(a) Parámetro “Código único de Usuario” dentro del documento DatoRasp



(b) Parámetro “estado” dentro del documento stado

Fuente: Autor

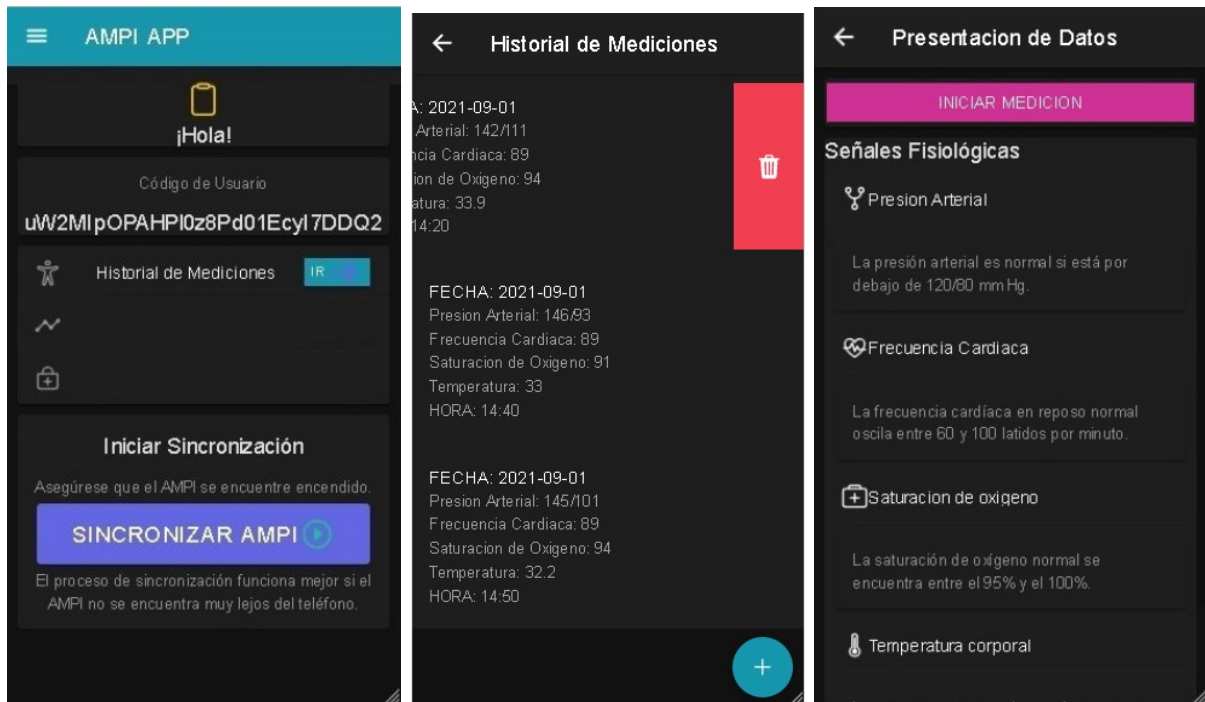
■ Subsistema 3 – Resultados del diseño de la aplicación en Ionic

Con base al diagrama de navegación de la Figura 53, a continuación, se presenta el diseño de la aplicación. Para este diseño, se utilizó el framework Ionic.

En la Figura 73.a, se muestra la interfaz correspondiente a la página principal, de este se despliegan las páginas y actividades principales de la aplicación, como:

- Sección de saludo: Facilita el código único del usuario, que sirve como identificador de la persona que se encuentra logueada a la App.
- Historial de Mediciones: Opción que permite el acceso a la página de la Figura 73.b, que muestra las mediciones almacenadas en la base de datos de Firebase obtenidas del dispositivo AMPI.
- Sincronización con el AMPI: Permite el acceso a la página de la Figura 73.c, que contiene el botón que da la señal de activación del AMPI para la toma y envío de señales fisiológicas.

Figura 73: Interfaz y despliegue de interfaz de la página principal



(a) Página principal

(b) Página: Historial mediciones

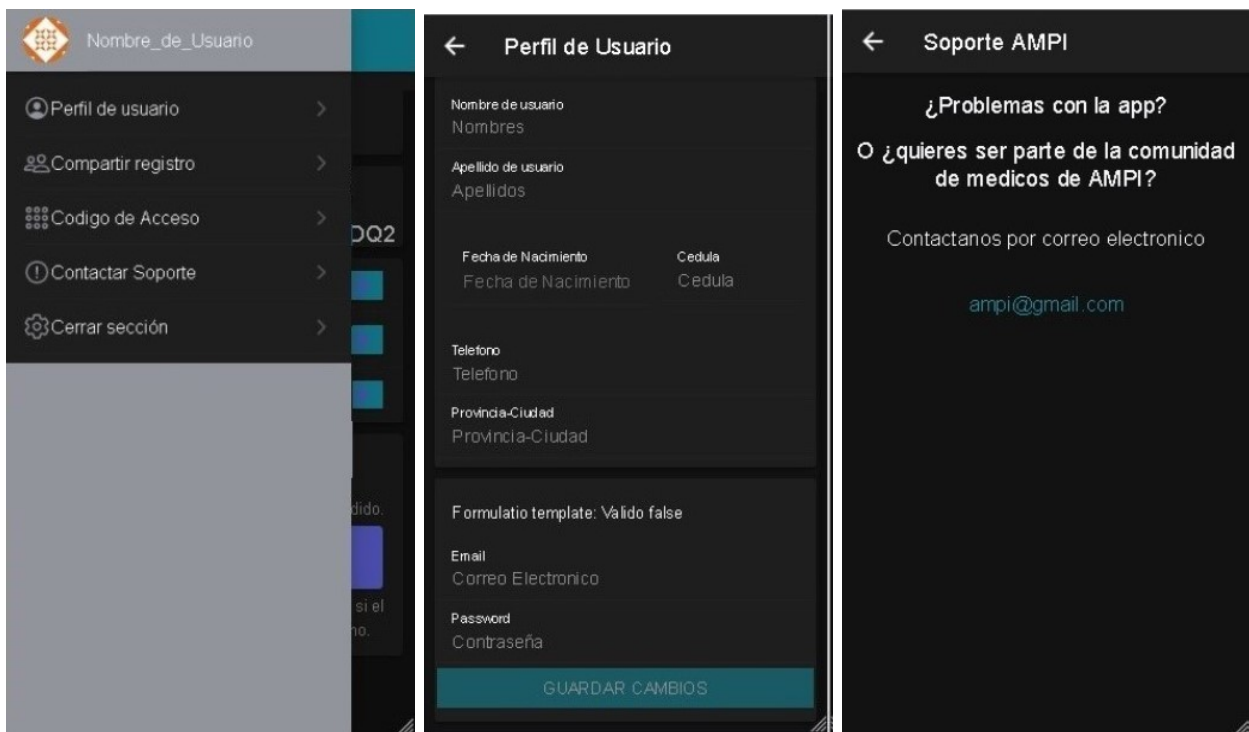
(c) Página: Presentación datos

Fuente: Autor

Además, como lo muestra la Figura 74.a, paralelo a la página principal, se tiene un servicio de Menú de Navegación Lateral, este se activa por medio de un botón hamburguesa y ofrece al usuario las siguientes opciones:

- Perfil de usuario: Opción que permite el acceso a la página de la Figura 74.b, y permite que el usuario pueda modificar sus datos personales y contraseña de acceso.
- Compartir registro: Opción que permite al usuario compartir la información con el personal médico.
- Contactar Soporte: Opción que permite el acceso a la página de la Figura 74.c, y permite que el usuario pueda contactar con el soporte técnico.
- Cerrar sección: Opción que permite que el usuario pueda cerrar la sección actual, en el caso de que otro usuario desee loguearse.

Figura 74: Interfaz y despliegue de interfaz del menú de navegación



(a) Menú de navegación lateral

(b) Página: Perfil de usuario

(c) Página: Soporte de usuario

Fuente: Autor

El diseño de la aplicación resulta ser sencilla e intuitiva, lo que permite que el usuario maneje remotamente la aplicación, esto en vista de que, la aplicación sirve como interfaz para la comunicación entre el usuario y el dispositivo AMPI.

Gracias al framework Ionic, la aplicación funciona perfectamente con diferentes sistemas operativos (Android e IOS) y desde una página web.

9.3. Objetivo 3: Construcción de un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19

Considerando los parámetros de construcción, tanto mecánico como electrónico, se procede a construir e integrar el AMPI.

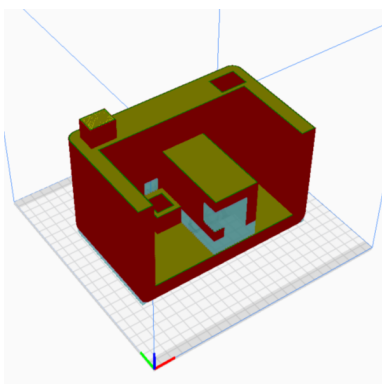
9.3.1. Estructura mecánica

- **Prototipado rápido de los particulares**

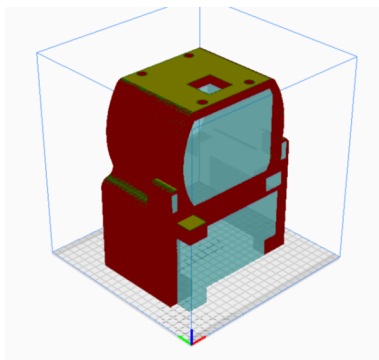
Para el prototipado, primero se obtuvieron los archivos .stl de cada particular para su ensamblaje en físico. El software Autodesk Inventor 2020, tiene una herramienta que permite vectorizar los archivos .ipt, de los particulares, para que estos puedan ser leídos por un archivo de impresión y se realicen los debidos cálculos para llevar al cabo la impresión 3D. En la Figura 75, se presentan las simulaciones de las impresiones 3D de los principales particulares del dispositivo AMPI, dentro del software Ultimaker Cura.

Las distintas posiciones de los particulares, son un factor importante a considerar a la hora de aprovechar o desperdiciar material. En este caso, se procuró colocar, como base, el área más grande del particular con el fin de gastar menos material en la realización de soportes. En la Tabla 27, se muestran los datos de tiempo de impresión y consumo de filamento que se requiere para la construcción de los particulares del dispositivo.

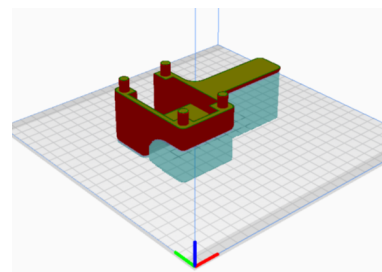
Figura 75: Simulación de impresiones de los elementos del dispositivo AMPI



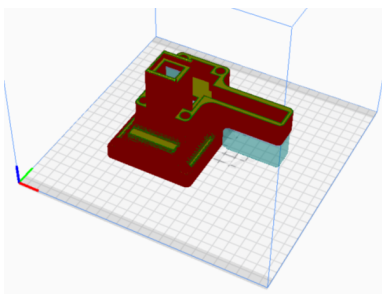
(a) Particular 1. Soporte de tensiómetro digital



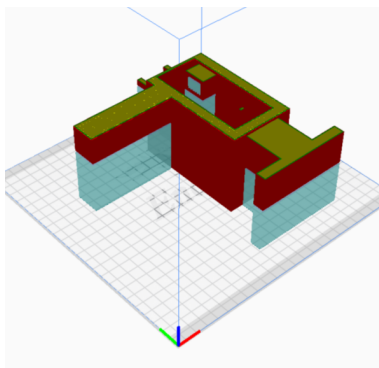
(b) Particular 2. Soporte de estructura del termómetro digital



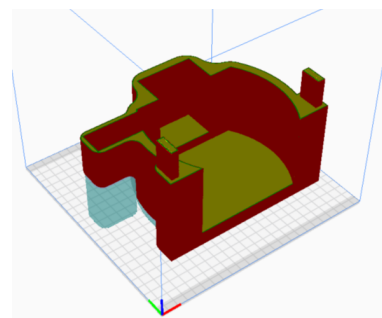
(c) Particular 3. Cubierta superior del termómetro digital



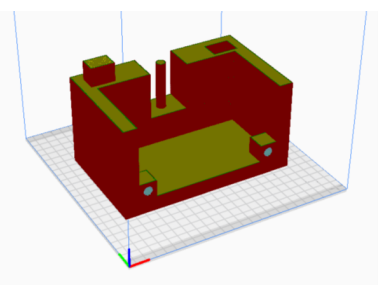
(d) Particular 4. Estructura del termómetro digital



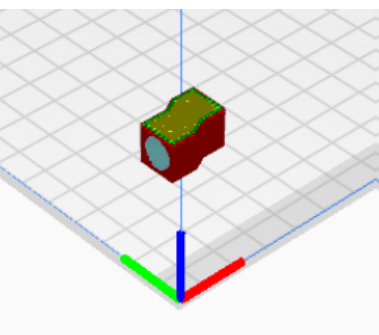
(e) Particular 5. Estructura de oxímetro digital



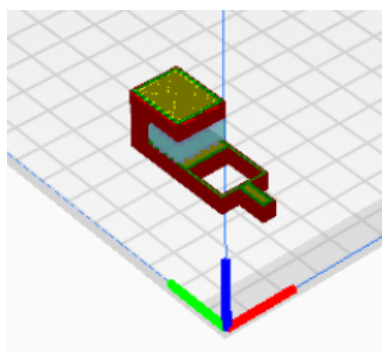
(f) Particular 6. Cubierta frontal del termómetro digital



(g) Particular 7. Soporte de estructura del oxímetro digital



(h) Particular 8. Brazo de desplazamiento



(i) Particular 9. Corredera

Fuente: Autor

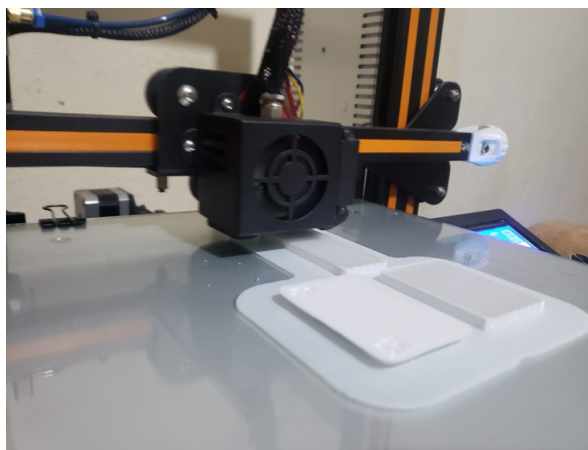
Tabla 27: Datos del tiempo de impresión y consumo de filamento requerido para la construcción

N. de Particular	Descripción	Tiempo (h)	Material(g)
Particular 1	Cubierta inferior del AMPI	54,77	552
Particular 2	Cubierta frontal del AMPI	92,75	1008
Particular 3	Soporte para la estructura del oxímetro digital	8,86	75
Particular 4	Estructura de soporte para oxímetro digital	20,48	148
Particular 5	Soporte de la estructura del termómetro digital	25,68	239
Particular 6	Soporte para tensiómetro digital de muñeca	34,95	337
Particular 7	Cubierta posterior del AMPI	29,12	350
Particular 8	Brazo de desplazamiento	18,26	83
Particular 9	Corredera	15,16	102
Particular 10	Estructura de soporte para termómetro digital	0,67	5
Particular 11	Cubierta superior del termómetro digital	0,47	3
Total		301,17	2902

Fuente: Autor

La estructura mecánica fue impresa en 3D con material PLA, considerando todas las especificaciones necesarias de la impresora. En la Figura 76, se puede apreciar el proceso de impresión 3D, de una parte mecánica de la estructura del AMPI.

Figura 76: Impresión 3D de estructura del AMPI

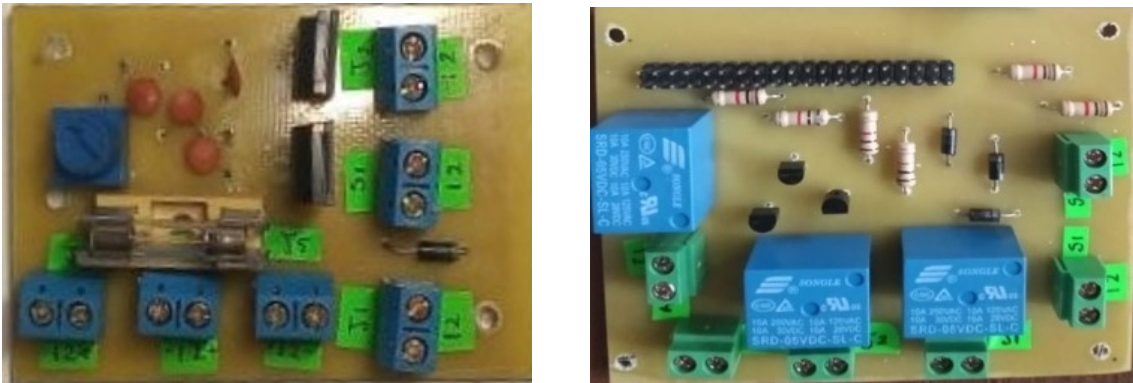


Fuente: Autor

9.3.2. Circuito electrónico

Reveladas las placas PCBs de la Figura 55, se procede a soldar los componentes a las placas PCBs. En la Figura 77 se presentan las placas finales.

Figura 77: PCBs finales



(a) Circuito PCB de carga y alimentación final

(b) Circuito PCB del sistema de control

Fuente: Autor

Las medidas reales de las placas son presentadas en la Tabla 28.

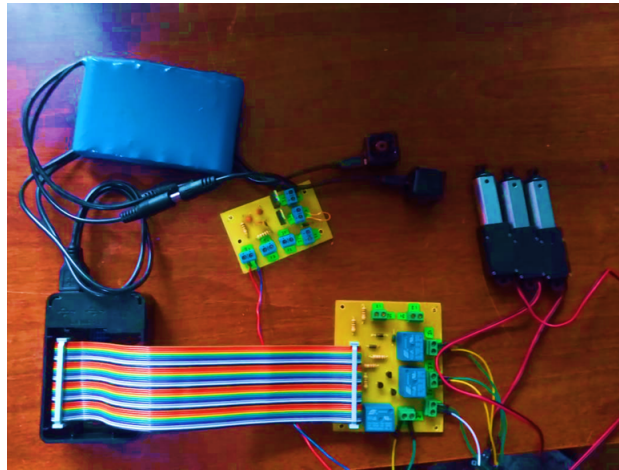
Tabla 28: Dimensiones de PCBs finales

Placa	Parámetro		
	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]
Circuito de carga y alimentación	47,00	67,30	25,00
Circuito del sistema de control	77,50	90,00	20,00

Fuente: Autor

Después de verificar, que los valores de salida de las dos placas sean correctos, se procede a realizar la conexión de los elementos externos: actuadores lineales, cámaras, batería, entre otros; como se puede apreciar en la figura 78.

Figura 78: Circuito electrónico armado



Fuente: Autor

9.3.3. Ensamble

Una vez fabricada la estructura mecánica en PLA y verificado el funcionamiento de las placas PCBs, se realiza la integración de las partes mecánicas y los elementos electrónicos, como se observa en la Figura 79.

Figura 79: Integración estructural y electrónica del dispositivo AMPI



(a) Vista frontal



(b) Vista posterior

Fuente: Autor

La Figura 79, muestra el dispositivo AMPI sin las cubiertas: frontal, posterior e inferior; esto para apreciar de mejor manera las conexiones internas.

El AMPI integrado en su totalidad se presenta en la Figura 80. Una vez finalizado este ensamble, en la siguiente sección se verifica el correcto funcionamiento de los elementos electrónicos, dentro del AMPI finalmente integrado.

Figura 80: AMPI final integrado



(a) Vista lateral izquierda del AMPI



(b) Vista lateral derecha del AMPI

Fuente: Autor

En general, el proceso de ensamble del dispositivo AMPI, se explica en su totalidad en el manual de construcción adjunto en el ANEXO B.

9.4. Objetivo 4: Evaluación de los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad

9.4.1. Resultados del cuestionario System Usability Scale (SUS)

Con el fin de evaluar la usabilidad del dispositivo AMPI desarrollado, se realizó la prueba de usabilidad SUS, la cual contó con la participación de 16 usuarios. Con respecto a las características de los 16 participantes, incluidos en las pruebas, se encuentran personas entre

los 15 y los 72 años de edad. Los participantes fueron seleccionados por conveniencia, con base a las características establecidas en la sección 8.4.1 en público objetivo y no se les exigió ninguna experiencia previa.

En la Tabla 29, se presentan los valores de satisfacción- en una escala de 1 a 5- de las diez preguntas realizadas a cada usuario en el cuestionario SUS. Además, se presenta la puntuación SUS total calculado de cada cuestionario. Este puntaje total se calcula con el algoritmo explicado en la sección 8.4.1.

Tabla 29: Puntaje total de satisfacción de prueba de usabilidad SUS

Sistema de Escalas de Usabilidad (SUS)													
Edad	Usuario	Género	Pregunta										Puntaje SUS Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
23	U1	Masculino	4,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00	3,00	1,00	5,00	1,00	92,50
26	U2	Masculino	3,00	2,00	5,00	2,00	4,00	2,00	3,00	2,00	4,00	2,00	72,50
27	U3	Femenino	2,00	4,00	2,00	1,00	4,00	2,00	5,00	1,00	4,00	1,00	70,00
29	U4	Femenino	5,00	1,00	5,00	4,00	5,00	1,00	4,00	1,00	5,00	1,00	90,00
45	U5	Femenino	2,00	4,00	2,00	5,00	3,00	4,00	1,00	2,00	2,00	4,00	27,50
72	U6	Masculino	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00	100,00
70	U7	Femenino	5,00	1,00	5,00	5,00	5,00	1,00	4,00	1,00	5,00	5,00	77,50
41	U8	Masculino	5,00	1,00	4,00	2,00	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	2,00	92,50
23	U9	Masculino	4,00	2,00	5,00	1,00	4,00	3,00	4,00	1,00	5,00	1,00	85,00
48	U10	Masculino	3,00	2,00	3,00	2,00	5,00	2,00	4,00	1,00	4,00	2,00	75,00
15	U11	Masculino	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	2,00	4,00	1,00	3,00	1,00	90,00
28	U12	Femenino	5,00	1,00	4,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00	4,00	1,00	95,00
32	U13	Femenino	4,00	2,00	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00	4,00	1,00	92,50
30	U14	Femenino	5,00	1,00	5,00	1,00	4,00	2,00	4,00	1,00	4,00	1,00	90,00
68	U15	Femenino	4,00	4,00	4,00	3,00	5,00	1,00	5,00	2,00	5,00	2,00	77,50
44	U16	Femenino	5,00	1,00	5,00	2,00	4,00	1,00	5,00	1,00	4,00	1,00	92,50

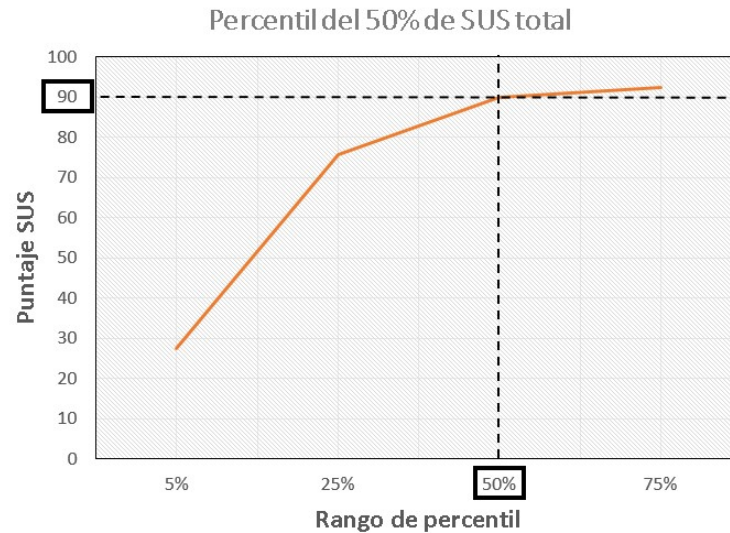
Fuente: Autor

Una forma de interpretar las puntuaciones finales de un SUS, es observar los valores SUS por percentiles, para esto, se ordenó todas las puntuaciones en la gráfica de percentiles de la Figura 81.

En la Figura 81, se puede observar que la puntuación media dada por los participantes es 90. Este valor corresponde al percentil del 50 %, lo que significa que este valor es la puntuación de satisfacción final, que la mitad de los participantes elige como puntuación del prototipo.

Esta calificación final, representa que el prototipo se encuentra en un nivel aceptable de satisfacción y usabilidad, sin embargo, obtener y analizar sólo este resultado, no permite ver con facilidad que aspectos del prototipo se deben mejorar.

Figura 81: Gráfica de percentiles. Puntuación final de SUS por percentil



Fuente: Autor

Las preguntas del cuestionario son elementos importantes que se pueden desglosar para obtener información. Es por ello que, a continuación, se presenta un resumen general de las observaciones y respuestas aportadas por los usuarios del cuestionario SUS, teniendo en cuenta los porcentajes de valoración de cada pregunta del cuestionario SUS, expuesto en la Figura 82.

1. *"Creo que usaría este dispositivo frecuentemente".*

Con base a la Figura 82.a se obtuvo que el 50% de los usuarios usarían el AMPI con frecuencia, el 12% está de acuerdo, el 13% tiene una opinión neutra y el último 25% de los participantes, puntuó como en desacuerdo o totalmente en desacuerdo. Algunos de los participantes en desacuerdo, comentaron que el tiempo total de 4 minutos que dura el funcionamiento, representaba el problema, esto tomando en consideración que en el mercado no existen dispositivos similares con los que comparar, por lo que les parecía un dispositivo innovador. Sin embargo, otros usuarios comentaron que el tiempo les parecía el correcto, puesto que perderían mucho más tiempo escribiendo un mensaje de texto con los datos tomados.

2. *"Encuentro este dispositivo innecesariamente complejo".*

Con base a la Figura 82.b, se obtuvo que solo el 19 % de los usuarios está de acuerdo con esta afirmación, el 25 % no está de acuerdo, y el 59 % puntuó como totalmente en desacuerdo. Los participantes opinaron que, encuentra el AMPI innecesariamente complejo debido a que, no contaban con un manual de funcionamiento a la mano.

3. *"Creo que el dispositivo fue fácil de usar".*

Para esta pregunta, la Figura 82.c, muestra que el 63 % de los participantes está totalmente de acuerdo con que el AMPI fue fácil de usar, el 12 % está de acuerdo, el 6 % tiene una opinión neutra y solo el 19 % de los participantes puntuó como en desacuerdo. Los participantes con opiniones en desacuerdo, opinaron que al aprisionar su mano izquierda, al momento de usar el AMPI, provocaba dificultad al usar el teléfono celular con una sola mano. Por otra parte, los participantes con calificaciones neutras, opinaron que al inicio no estaban seguros de la correcta colocación y posición de su mano, pero con las reiteradas explicaciones y repeticiones del procedimiento, llegaron a acostumbrarse.

4. *"Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar este dispositivo".*

En este caso, la Figura 82.d, expone que el 50 % (totalmente de acuerdo) y el 6 % (de acuerdo) de los participantes requerirían de la ayuda de una persona con conocimientos técnicos, el 6 % puntúa como neutro y solo el 19 % está en desacuerdo o totalmente en desacuerdo con la afirmación. Los participantes opinaron que, requerían de un profesional para realizar todo el proceso la primera vez. También opinaron que se sentirían más seguros con alguien que sepa del tema a su lado, puesto que, temen descomponer el AMPI al momento de realizar el mantenimiento del dispositivo.

Los participantes adultos mayores, opinaron que no es necesario un profesional que los ayude, sin embargo, es necesario que una persona les asista en la parte de la aplicación.

5. *"Las funciones de este dispositivo están bien integradas".*

Con base a la Figura 82.d, se obtuvo que el 63 % de los participantes están totalmente de acuerdo con la afirmación, el 6 % tiene una opinión neutra y el 31 % de los participantes puntuó como en desacuerdo. Los participantes opinaron que si bien, en conjunto, el dispositivo AMPI es un buen equipo; no obstante, intentarían utilizar todo por separado, puesto que no creen acostumbrarse al dispositivo.

6. *"Creo que el dispositivo es muy inconsistente".*

La Figura 82.f, muestra que el 57 % (totalmente en desacuerdo) de los participantes no creen que el dispositivo sea inconsistente. Sin embargo, el 31 % está de acuerdo con la afirmación y el 6 % prefirió colocar una calificación neutra. Los participantes opinaron estar de acuerdo con el enunciado, debido a que, existieron errores de envío de datos incompletos y fallos de no accionamiento de los dispositivos clínicos; lo que resultó en que, algunos de estos participantes, tuvieran que repetir más mediciones de las cinco establecidas.

7. *"Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este dispositivo en forma muy rápida".*

Los porcentajes mostrados en la Figura 82.g, muestran que el 44 % de los participantes están totalmente de acuerdo con el enunciado, el 12 % optó por una puntuación neutra, el 38 % está en desacuerdo y el 6 % restante, totalmente en desacuerdo. Los participantes opinaron que, las personas de tercera edad requerirían de una mayor ayuda en lo que la aplicación se refiere.

8. *"Encuentro que el dispositivo es muy difícil de usar".*

Con respecto a la Figura 82.h, el 61 % de los participantes opinaron estar totalmente en desacuerdo con esta afirmación y el 19 % puntuó como en desacuerdo. Las opiniones se centraron en que con un manual de funcionamiento, o en todo caso, una buena explicación y práctica, el dispositivo no es complejo y es fácil de usar.

9. *"Me siento confiado al usar este dispositivo".*

En este aspecto, la Figura 82.i, presenta que el 48 % (44 % totalmente de acuerdo y 6 % de acuerdo) de los participantes se sienten confiados de usar el AMPI. El 6 % dio una calificación neutra y un sorprendente 44 % opinó estar en desacuerdo, puesto que presentaron gran incertidumbre al no saber si las medidas reales de los dispositivos médicos se estaban enviando correctamente, pues no podían observar en tiempo real los displays de los dispositivos. En cambio, otros participantes opinaron sentir cierta incomodidad al no poder visualizar su mano al momento de usar el AMPI.

10. *"Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar este dispositivo".*

En la Figura 82.j, se presenta que el 63 % de los participantes están totalmente en desacuerdo con el enunciado, el 25 % de acuerdo, el 6 % en desacuerdo y el último 6 %

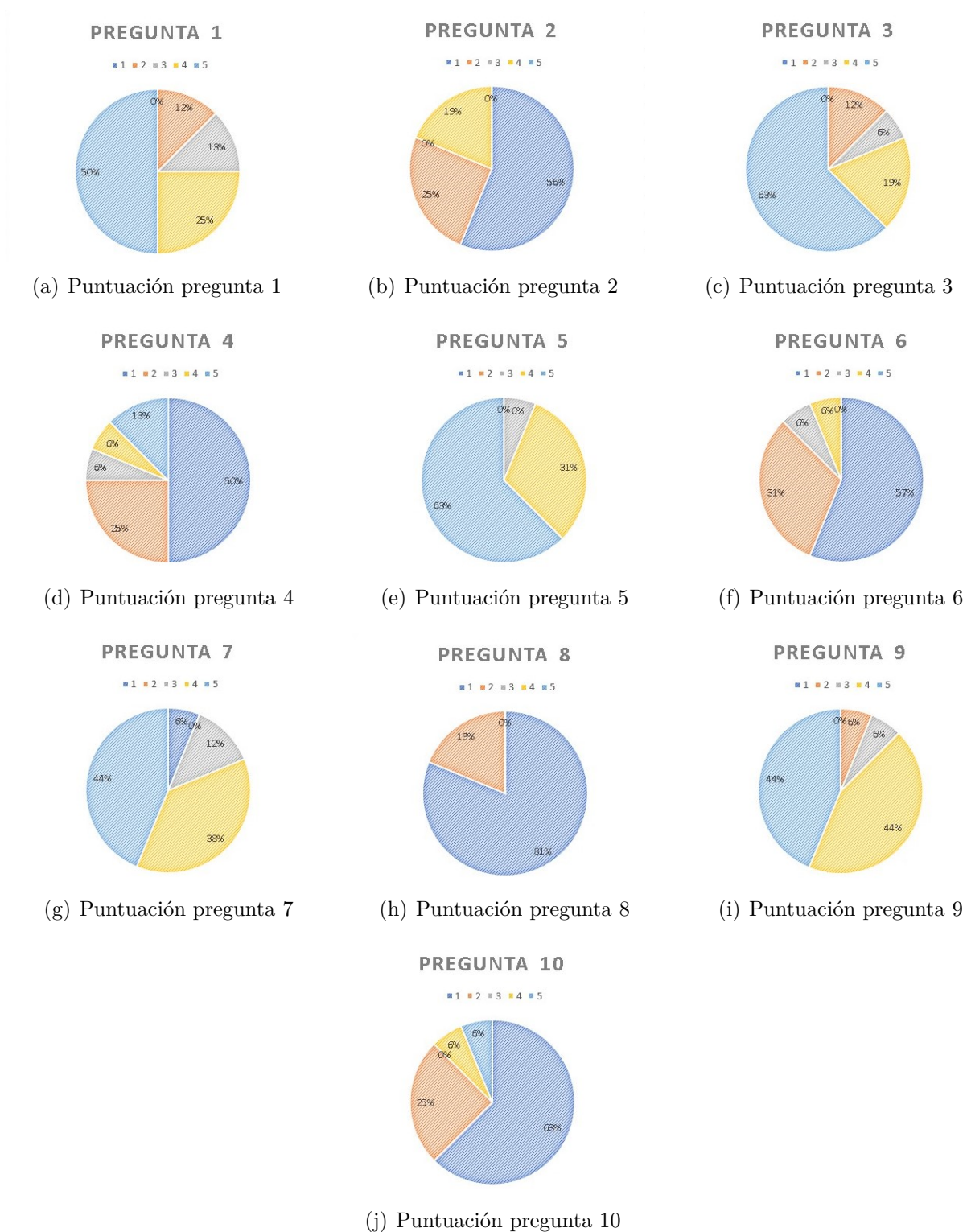
en un total desacuerdo. En este caso, los participantes opinaron que solo las indicaciones iniciales fueron suficientes para ser capaz de usar el prototipo.

9.4.2. Evaluación de las medidas

Para evaluar los resultados de la medición de las señales fisiológicas y determinar el tiempo que tarda el dispositivo AMPI en realizar una medición, se desarrollan tablas de resultados, en donde se explican las medidas obtenidas al realizar la toma de señales fisiológicas, utilizando los dispositivos médicos por separado y empleando el dispositivo AMPI.

En la Tabla 30, se muestra la exactitud del AMPI con respecto a la medición de la saturación de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardiaca. Se obtiene el porcentaje de error que tienen las mediciones adquiridas dentro del AMPI, frente a las medidas obtenidas empleando los métodos de oximetría de pulso y de toma de la frecuencia cardiaca; para determinar la saturación de oxígeno y el ritmo cardiaco del usuario. Alcanzando un porcentaje de exactitud máximo de 98 % en las dos mediciones.

Figura 82: Diagramas de porcentajes obtenidos a partir de los resultados de la evaluación SUS



Fuente: Autor

Tabla 30: Porcentaje de error en saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca

Usuario	Género	Mediciones Oxímetro digital								
		Saturación de Oxígeno	Frecuencia Cardiaca	Saturación de Oxígeno	Frecuencia Cardiaca	Saturación de Oxígeno	Frecuencia Cardiaca	Saturación de Oxígeno	Frecuencia Cardiaca	
		Valor Promedio [%SpO2]	Valor Promedio Particular [bpm]	Valor Promedio [bpm]	Valor medio AMPI	Valor medio [%SpO2]	Pro-AMPI	Pro-AMPI	Porcentaje de Error	
U1	Masculino	91,60	76	90,40	81,8	81,8	90,40	81,8	1,31 %	7,63 %
U2	Femenino	93,80	70,4	94,00	68,8	68,8	94,00	68,8	0,21 %	2,27 %
U3	Femenino	93,20	68,4	95,00	70,6	70,6	95,00	70,6	1,93 %	3,22 %
U4	Masculino	92,80	70,2	92,20	73,8	73,8	92,20	73,8	0,65 %	5,13 %
U5	Femenino	92,80	71,2	93,80	70	70	93,80	70	1,08 %	1,69 %
U6	Masculino	93,00	81	96,00	80,6	80,6	96,00	80,6	3,23 %	0,49 %
U7	Femenino	92,40	93	94,00	92	92	94,00	92	1,73 %	1,08 %
U8	Masculino	90,20	100,4	86,00	100,8	100,8	86,00	100,8	4,66 %	0,40 %
U9	Masculino	94,20	72,4	96,00	72,8	72,8	96,00	72,8	1,91 %	0,55 %
U10	Masculino	92,00	99,2	91,20	101,2	101,2	91,20	101,2	0,87 %	2,02 %
U11	Masculino	94,40	72,2	94,00	72,8	72,8	94,00	72,8	0,42 %	0,83 %
U12	Femenino	92,20	88,6	91,00	89	89	91,00	89	1,30 %	0,45 %
U13	Femenino	94,80	100,6	96,00	101,4	101,4	96,00	101,4	1,27 %	0,80 %
U14	Femenino	92,80	87,6	93,20	87,8	87,8	93,20	87,8	0,43 %	0,23 %
U15	Femenino	93,00	71,8	93,00	73,4	73,4	93,00	73,4	0,00 %	2,23 %
U16	Femenino	94,40	73	96,00	71,8	71,8	96,00	71,8	1,69 %	1,64 %

Fuente: Autor

En la Tabla 31, se muestra la exactitud del AMPI con respecto a la medición de la presión arterial. Se obtiene el porcentaje de error que tienen las mediciones adquiridas dentro del AMPI, frente a las medidas obtenidas empleando el método de toma de presión arterial habitual. Alcanzando un porcentaje de exactitud máximo de 96 %.

Tabla 31: Porcentaje de error en temperatura corporal

Mediciones termómetro digital				
Usuario	Género	Valor promedio particular [°C]	Valor promedio AMPI [°C]	Porcentaje de error
U1	Masculino	36,94	36,42	1,43 %
U2	Femenino	37,18	36,68	1,36 %
U3	Femenino	37,2	36,18	2,82 %
U4	Masculino	33,44	32,44	3,08 %
U5	Femenino	36,46	35,54	2,59 %
U6	Masculino	37,02	36,36	1,82 %
U7	Femenino	34,5	33,12	4,17 %
U8	Masculino	33,12	31,36	5,61 %
U9	Masculino	37,1	36,16	2,60 %
U10	Masculino	35,68	35,38	0,85 %
U11	Masculino	37,16	36,28	2,43 %
U12	Femenino	33,12	31,36	5,61 %
U13	Femenino	36,92	35,92	2,78 %
U14	Femenino	33,24	30,26	9,85 %
U15	Femenino	34,92	31,38	11,28 %
U16	Femenino	36,3	33,36	8,81 %

Fuente: Autor

En la Tabla 32, se muestra la exactitud del AMPI con respecto a la medición de la temperatura corporal. Se obtiene el porcentaje de error que tienen las mediciones adquiridas dentro del AMPI, frente a las medidas obtenidas empleando el método de medición de temperatura corporal habitual, alcanzando un porcentaje de exactitud mínimo del 96 %.

Tabla 32: Porcentaje de error en presión arterial

Usuario	Género	Mediciones tensiómetro digital							
		Valor promedio Particular Sístole [mmHg/Kpa]	Valor promedio Particular Diástole [mmHg/Kpa]	Valor promedio AMPI [mmHg/Kpa]	Valor promedio Sístole [mmHg/Kpa]	Valor promedio AMPI Diástole [mmHg/Kpa]	Porcentaje de error de sístole	Porcentaje de error de diástole	
U1	Masculino	137,2	91,8	141	97,2	5,56 %	2,70 %		
U2	Femenino	137	94	145	99	5,05 %	5,52 %		
U3	Femenino	157,8	99,8	153	99	0,81 %	3,14 %		
U4	Masculino	138,4	103,6	141,2	104	0,38 %	1,98 %		
U5	Femenino	129,6	89,6	132,8	96,6	7,25 %	2,41 %		
U6	Masculino	112	74,4	105,2	74	0,54 %	6,46 %		
U7	Femenino	139,2	107,4	144,6	107,4	0,00 %	3,73 %		
U8	Masculino	125	75,4	122,8	76,4	1,31 %	1,79 %		
U9	Masculino	163,2	95,6	165,6	99	3,43 %	1,45 %		
U10	Masculino	120,2	80,8	109,2	82,4	1,94 %	10,07 %		
U11	Masculino	176,6	96,2	181,4	97,4	1,23 %	2,65 %		
U12	Femenino	136,4	92	150	99	7,07 %	9,07 %		
U13	Femenino	121,2	73,4	125,8	73,2	0,27 %	3,66 %		
U14	Femenino	162,4	90,6	166	99	8,48 %	2,17 %		
U15	Femenino	132,6	96,8	137	99	2,22 %	3,21 %		
U16	Femenino	142,4	92	145,8	94,6	2,75 %	2,33 %		

Fuente: Autor

Para obtener el error entre estas medidas, se empleó la fórmula del porcentaje de error como se muestra en la Ecuación (5).

$$\%error = \left(\frac{V_{Real} - V_{Aprox}}{V_{Real}} \right) \times 100 \quad (5)$$

En donde:

V_{Real} : Valor promedio del dispositivo particular
 V_{Aprox} : Valor promedio del dispositivo dentro del AMPI

El análisis de datos adquiridos, por usuario, se puede apreciar más detalladamente en el ANEXO F.

9.4.3. Tiempo de funcionamiento

En la tabla 33, se muestra el tiempo que tomó adquirir las mediciones empleando el AMPI (Tiempo AMPI), versus las medidas obtenidas empleando la metodología de toma de medidas fisiológicas (Tiempo independiente). Los tiempos resultantes, son un promedio del lapso que se demora en tomar las medidas de cada persona. Para mayor información respecto a los tiempos obtenidos, dirigirse al ANEXO F.

Tabla 33: Tiempo de medición de los dispositivos

TIEMPO DE MEDICIÓN		
Dispositivo	Tiempo AMPI [s]	Tiempo independiente [s]
Oxímetro Digital	43	86
Termómetro Digital	0,5	3,69
Tensiómetro Digital	70	142,8

Fuente: Autor

Con base a los tiempos requeridos por los dispositivos para realizar cada proceso, se desarrolló la programación del sistema de control, que tras ejecutar varias pruebas, se estimó que el dispositivo tarda 4 minutos en efectuar una medición y su respectiva esterilización.

9.4.4. Consumo de energía

Tras desarrollar los distintos ensayos de funcionamiento y pruebas con los distintos usuarios, se pudo comprobar que el dispositivo puede efectuar 21 mediciones antes de que necesite ser

recargado. Cabe recalcar, que después de este número de mediciones, el dispositivo puede seguir en uso, no obstante, los actuadores lineales pierden velocidad por lo cual pueden no accionar a los dispositivos médicos, lo que causaría datos erróneos o nulos en las mediciones.

9.4.5. Reconocimiento de imagen

Para valorar la exactitud del reconocimiento numérico, se comparan las imágenes capturadas por las cámaras USB y el dato numérico, luego de haber realizado el reconocimiento de la imagen de la medición. En la Tabla 34, se puede apreciar el porcentaje de error obtenido en el reconocimiento numérico. Es posible verificar que la exactitud en el reconocimiento es de 87 % para el oxímetro digital y para el termómetro digital, y una exactitud de 80 % en el tensiómetro digital.

Tabla 34: Porcentaje de error en el reconocimiento

PORCENTAJE DE ERROR EN EL RECONOCIMIENTO	
Dispositivo	Porcentaje de error
Oxímetro digital saturación de oxígeno	13,00 %
Oxímetro digital oxímetro digital frecuencia cardiaca	12,00 %
Termómetro digital	13,00 %
Tensiómetro digital sístole	20,00 %
Tensiómetro digital diástole	19,00 %

Fuente: Autor

El análisis de datos obtenidos tras evaluar el reconocimiento numérico, se puede apreciar más detalles en el ANEXO G.

9.5. Objetivo 5: Pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo

Para la realización de las pruebas técnicas y la prueba PSSUQ, se utilizaron dispositivos móviles físicos. Además, la ventaja de Ionic de crear aplicaciones, tanto en Android como en iOS, permitió realizar pruebas en cualquier dispositivo móvil.

9.5.1. Pruebas técnicas

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en la pruebas técnicas, pruebas necesarias para comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación.

■ Resultados de las pruebas de funcionamiento de la aplicación

- Registro/Login y recuperación de clave: En la Tabla 35, se presentan los datos de un usuario, (tomado como muestra) para comprobar que el servicio de Autenticación (Registro/Login) y recuperación de clave, se cumple en su totalidad.

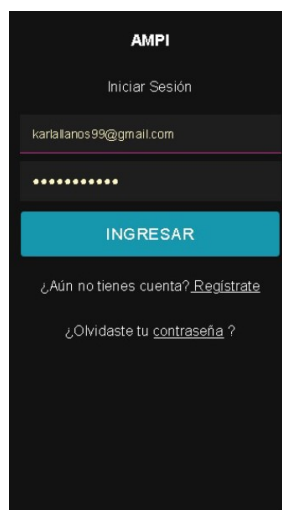
Tabla 35: Datos del usuario de prueba

Dato	Designación de registro	Designación de prueba
E-mail	karlallanos99@gmail.com	karlallanos99@gmail.com
Nombre y Apellido	Karla Llanos	Karla Llanos
Fecha de Nacimiento	1 de Febrero 1999	2 de Marzo 1999
Cédula	1234567890	9876543210
Telefono	888888888	999999999
Provincia-Ciudad	Azuay	Guayas

Fuente: Autor

En la Figura 83, se observa la interfaz de login de la aplicación. Esta es la interfaz principal que brinda la privacidad y seguridad indispensable para los usuarios.

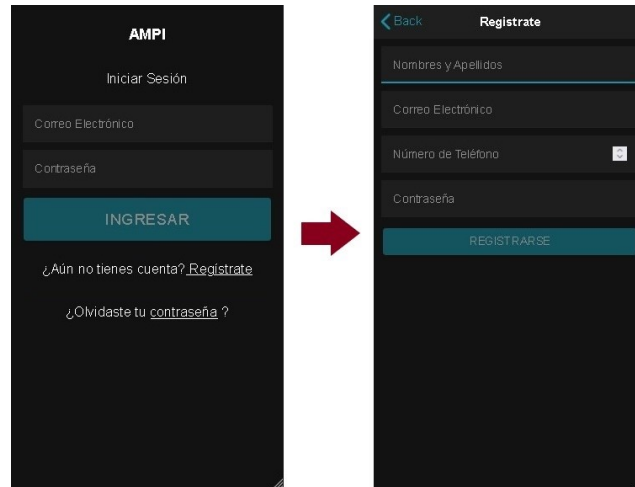
Figura 83: Interfaz principal de login



Fuente: Autor

En la Figura 84, se observa que para el registro de un nuevo usuario se emplea la opción de “Registrarse”, esta opción permite el acceso a la pantalla de registro, en la cual, se ingresa los primeros datos requeridos.

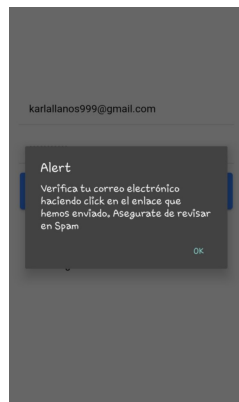
Figura 84: Interfaz de login e interfaz de registro de Usuario



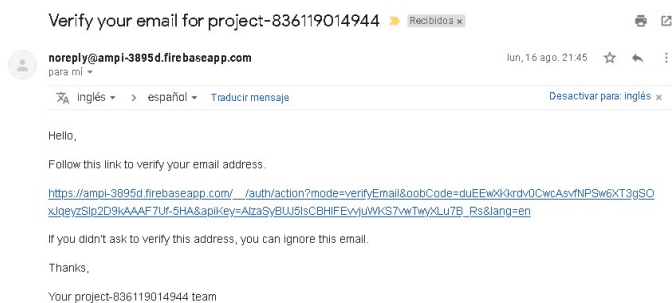
Fuente: Autor

Como se muestra en la Figura 85.a, inmediatamente, aparece un cuadro de texto dentro de la App que informa al usuario que debe verificar el e-mail registrado. Esta verificación se realiza por medio de un servicio de correo electrónico proveído por G-mail, tal como se observa en la Figura 85.b.

Figura 85: Verificación de e-mail del usuario de prueba



(a) Aviso



(b) Correo de verificación en G-mail

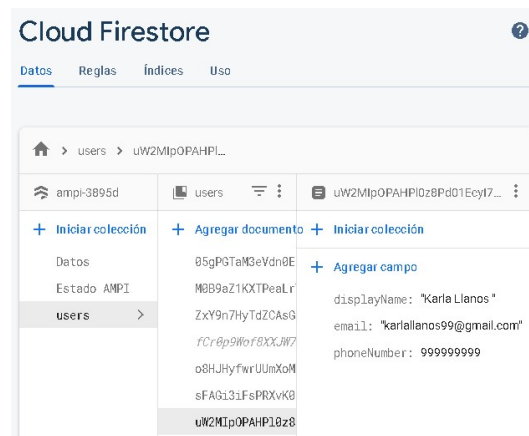
Fuente: Autor

En la Figura 86, se comprueba el correcto registro del usuario desde la aplicación. Se observa la creación de un nuevo usuario en el servicio de autenticación y el ingreso de datos principales en la base de datos en la nube. En el caso de la Figura 86.a, se observa como automáticamente el servicio de Firebase, asigna un UID único para el usuario recién registrado, este UID toma el papel de “Código único de Usuario”.

Figura 86: Creación de usuario nuevo



(a) Creación de usuario en servicio de Autenticación de Firebase



(b) Creación de colección de datos en servicio de Cloud Firestore

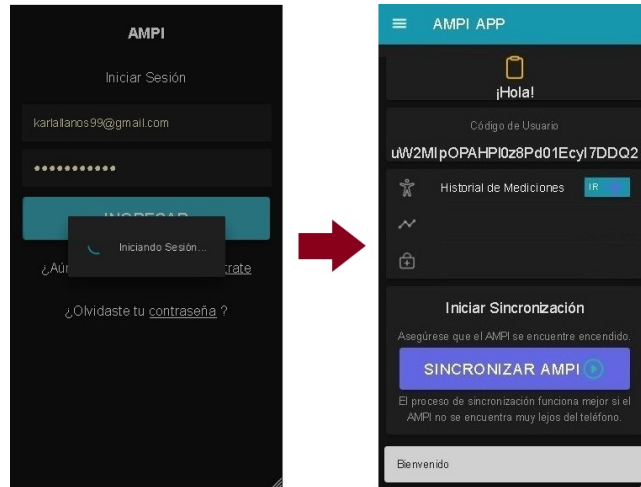
Fuente: Autor

Una vez registrado el usuario, se procede a comprobar si el servicio de Login funciona correctamente, para ello se realizan dos ingresos, descritos a continuación:

1. Ingreso con datos correctos de e-mail y contraseña. En la Figura 87, se muestra el correcto acceso a la interfaz principal.
2. Ingreso con datos erróneos de e-mail y contraseña. En la Figura 88.a, se muestra el aviso de que no existe el usuario karlallanos999@gmail.com. Igualmente, en

la Figura 88.b, se muestra el aviso que informa que la contraseña es incorrecta. En estos dos casos, se niega el acceso a la interfaz principal de la App.

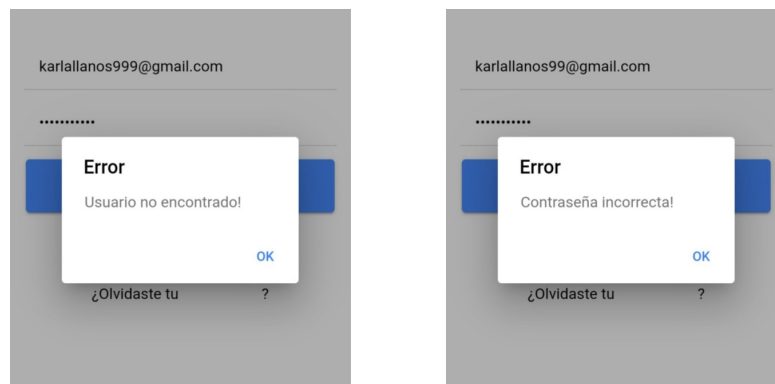
Figura 87: Resultados del uso de la interfaz login con Acceso correcto



Fuente: Autor

Se comprueba por tanto, que el sistema de autenticación funciona sin problemas.

Figura 88: Resultados del uso de la interfaz login: Acceso denegado



(a) Error de ingreso de E-mail

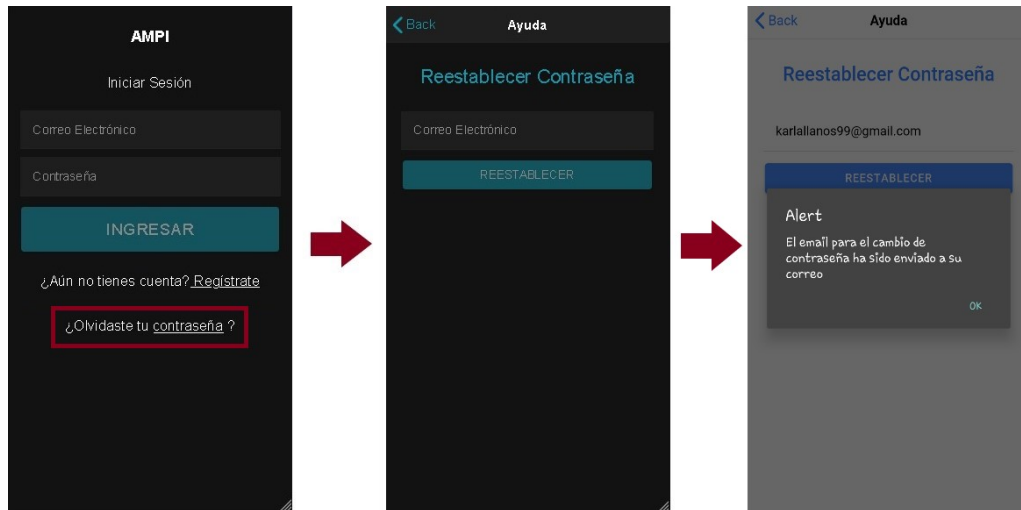
(b) Error de ingreso de contraseña

Fuente: Autor

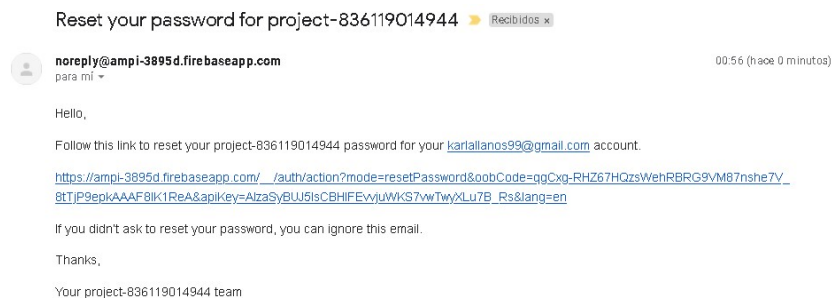
Comprobado el servicio de creación de usuario e inicio de sección, en la Figura 89, se

verifica posteriormente, la correcta integración con el servicio de correo de Google para la recuperación de la contraseña, en caso de pérdida.

Figura 89: Servicio de recuperación de contraseña



(a) Interfaz de recuperación de contraseña



(b) Correo de recuperación de contraseña

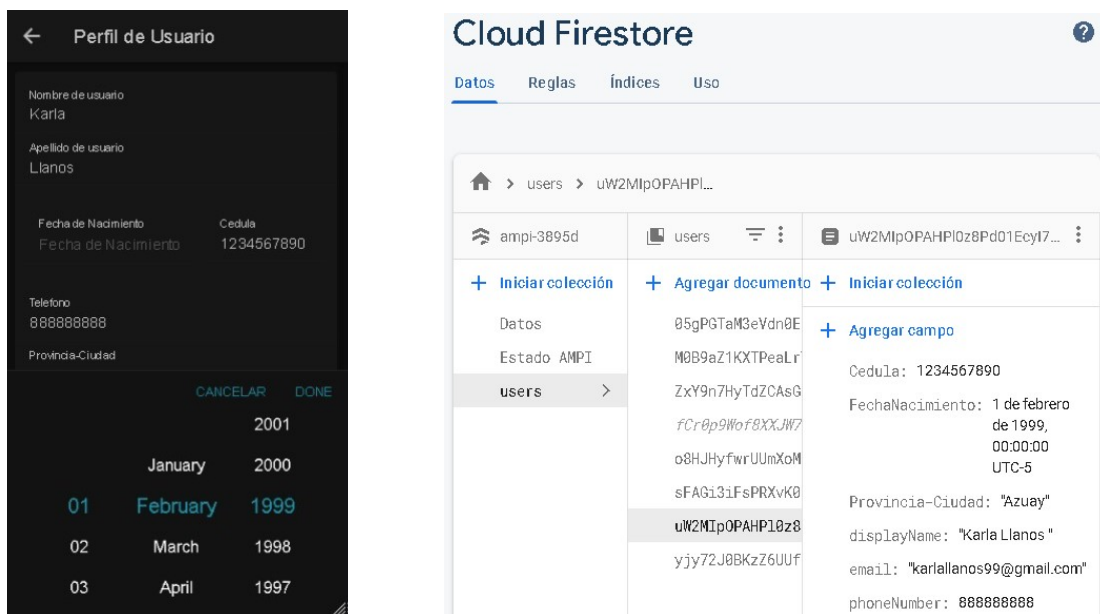


(c) Cambio de contraseña: Efectuado

Fuente: Autor

- Servicio de base de datos y almacenamiento: Para constatar la correcta gestión de la información entre la aplicación y la base de datos, se realizaron dos pruebas diferentes. La primera prueba se presenta en la Figura 90. Específicamente en la Figura 90.b, se comprueba que los parámetros de la colección de datos de usuario, en la base de datos, se modifican correctamente al momento de guardar los cambios realizados al ingresar los nuevos datos - correspondientes a la designación de registro de la Tabla 35 - en los campos de información presentados en la interfaz “Perfil de usuario” de la Figura 35.b.

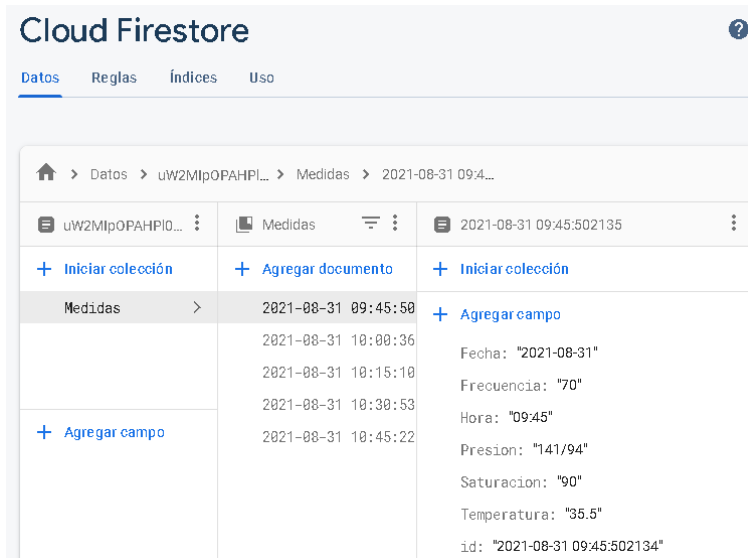
Figura 90: Creación y gestión de datos de usuario



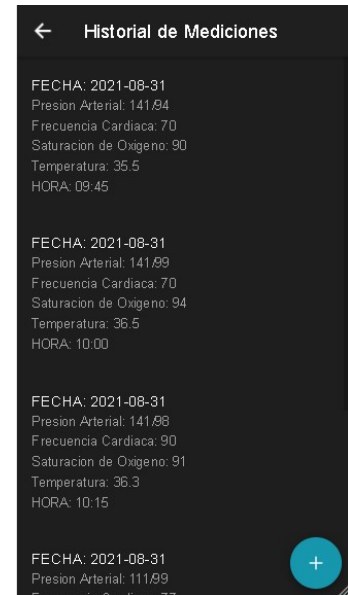
Fuente: Autor

La segunda prueba, también tiene que ver con el almacenamiento de datos en el servicio de cloud firestore. Esta prueba se diferencia de la anterior, en el hecho de que los datos se almacenan en otra colección. En la Figura 91.a se comprueba el correcto funcionamiento de almacenamiento de las medidas fisiológicas en la base de datos. Así mismo, en la Figura 91.b, se comprueba la adecuada exhibición de estas medidas en la aplicación.

Figura 91: Presentación y almacenamiento de datos fisiológicos



(a) Almacenamiento de datos en la colección de medidas

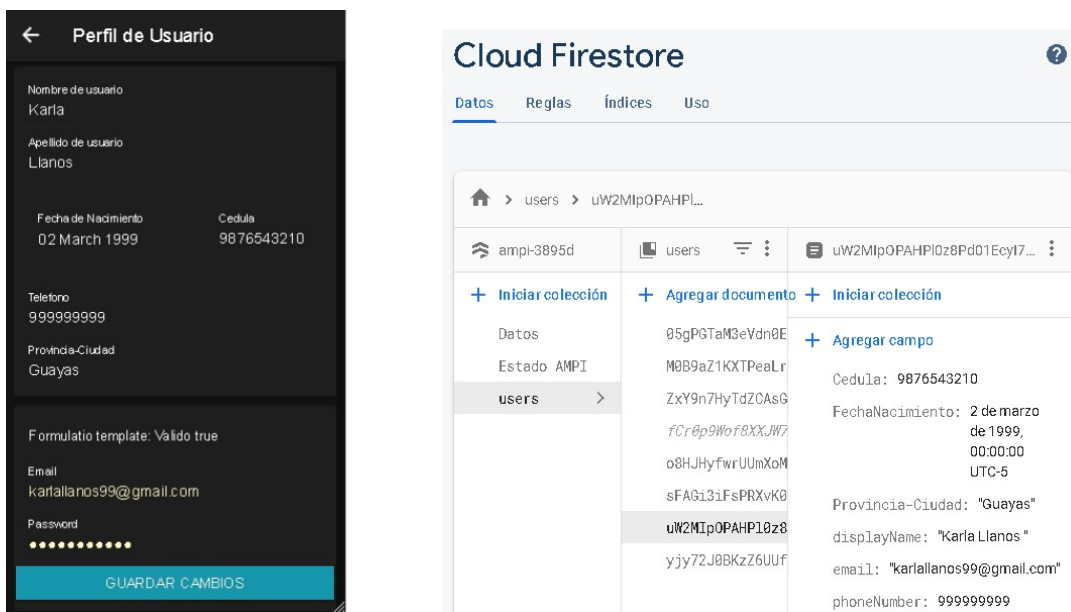


(b) Interfaz "Historial mediciones"

Fuente: Autor

- Actualización de datos en la base de datos: En la Figura 92, se comprueba que los nuevos datos ingresados - correspondientes a la designación de prueba de la Tabla 35 - en realidad modificaron los parámetros de la colección users en Firebase. Esto permitió constatar que si es posible modificar la información de la aplicación.

Figura 92: Actualización de medidas fisiológicas



(a) Interfaz “Perfil de usuario”

(b) Modificación de parámetros en la colección “users”

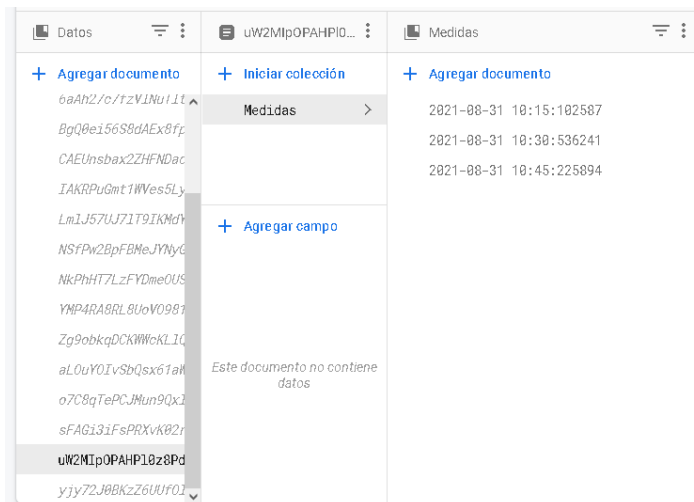
Fuente: Autor

Otra prueba realizada, fue la modificación y actualización de datos, cuando en la aplicación se utiliza la herramienta de eliminar mediciones, presentada en la Figura 93.a. En esta prueba, se eliminaron dos mediciones del historial y como se observa en la Figura 93.b., se comprueba como se modifican las mediciones de la colección de “Medidas”.

Figura 93: Modificación y actualización de mediciones



(a) Herramienta de eliminación en la interfaz “Historial mediciones”



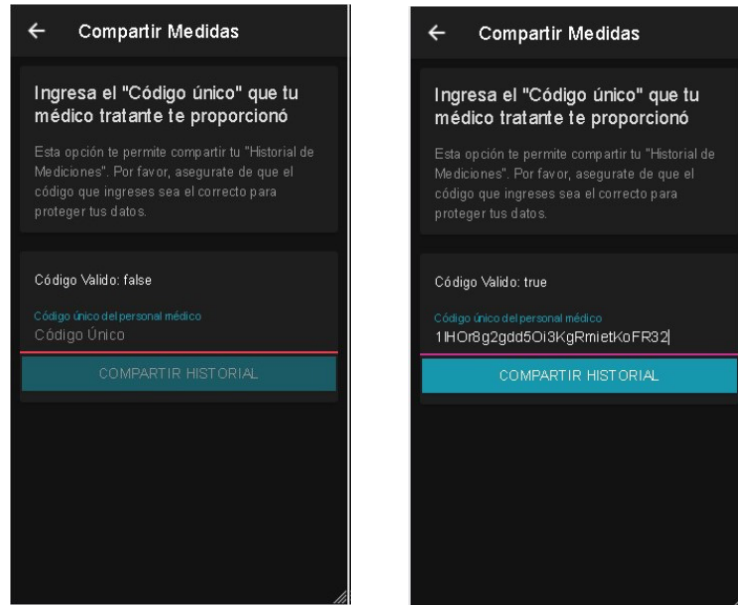
(b) Actualización de parámetros en la colección “Medidas”

Fuente: Autor

- Verificación del servicio para compartir historial de mediciones: Este servicio se encuentra estrechamente relacionado con la correcta sincronización del usuario con el personal médico. El personal sanitario debe lograr visualizar el historial de mediciones de los pacientes con los que se hayan estableciendo dicha sincronización.

Para hacer posible esta sincronización, como se puede observar en la Figura 94, el usuario debe confirmar que si desea compartir sus datos con el personal médico de confianza. Para esto, es necesario que el médico comparta su “Código Único de Personal Clínico” con el usuario. Para que el paciente, ingrese este “Código Único de Personal Clínico” en la interfaz de “Compartir Medidas”, tal como se muestra en la Figura 94.b.

Figura 94: Interfaz “Compartir Medidas”



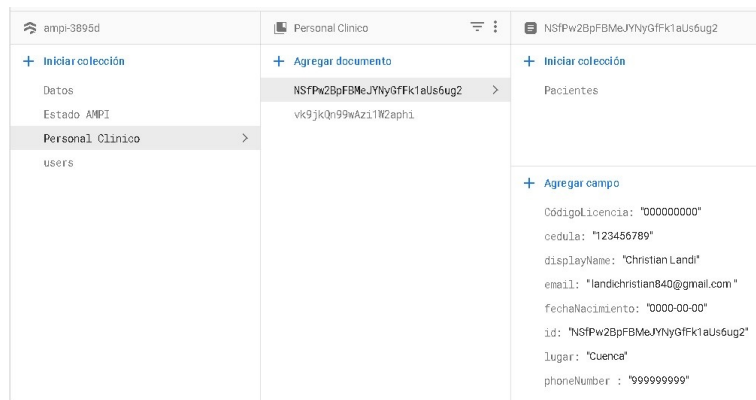
(a) Espera de ingreso “Código Único de Personal Clínico”

(b) Ingreso y envío de “Código Único de Personal Clínico”

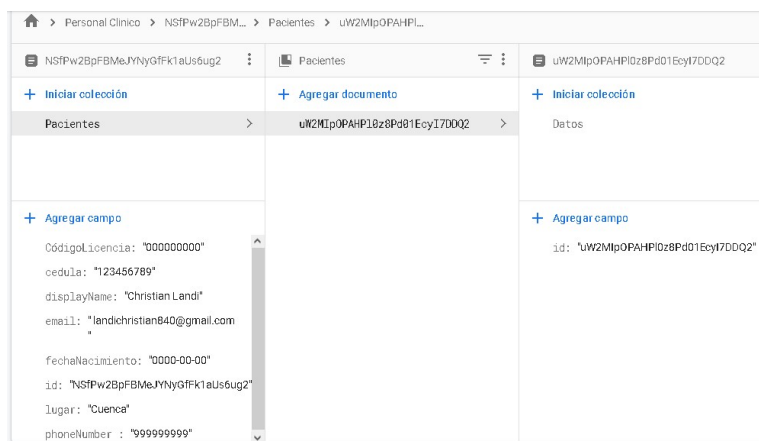
Fuente: Autor

Con base en la Figura 52 (Modelo de datos de Cloud Firestore), para el personal médico se tiene una colección principal llamada “PersonalClinico”. Esta colección principal es la que recolecta los “Código Único de Usuario” de las personas que realicen la sincronización. Esta acción se puede ver traducida en la Figura 95, en la cual se puede observar que el personal médico “NSfPw2BpFBMeJYNyGfFk1aUs6ug2” contiene en su base de datos el código único del usuario “uW2MIpOPAHPl0z8Pd01EcyI7DDQ2”.

Figura 95: Ingreso del dato de “Código Único de Usuario” en la colección principal “PersonalClinico”



(a) Colección “Pacientes” dentro de la colección principal “PersonalClinico”

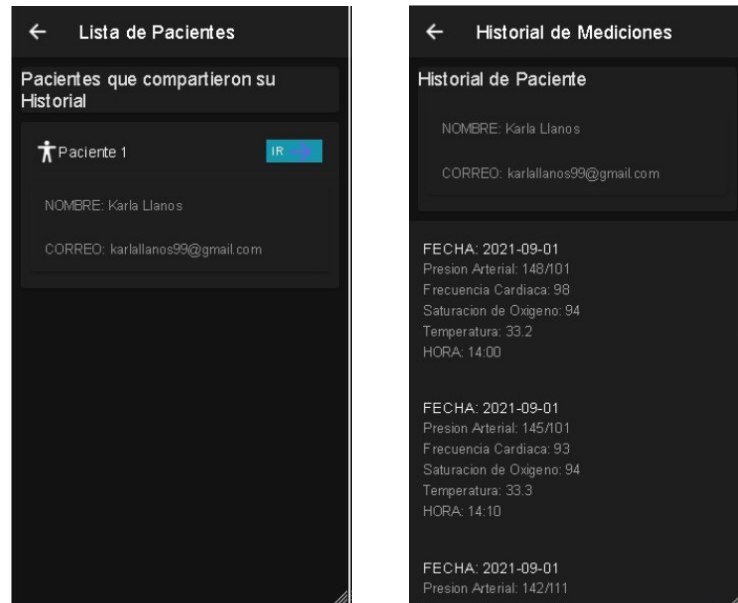


(b) “Código Único de Usuario” dentro de la colección “Pacientes”

Fuente: Autor

Por el contrario, en la Figura 96 se puede observar la interfaz del personal médico. Aquí, después de que el paciente realice la sincronización, el personal sanitario, desde la interfaz “Lista de Pacientes” (Figura 96.a), puede observar la lista de pacientes quienes establecieron dicha sincronización.

Figura 96: Historial de medidas del paciente vista desde la interfaz del personal médico



(a) Interfaz “Lista de Pacientes”

(b) Interfaz “Historial de mediciones”

Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la Figura 96.b, se comprueba que el historial, junto con los principales datos personales del paciente; fueron compartidos con el personal médico de manera satisfactoria.

- **Conectividad:** Para estas pruebas de conectividad, también se utilizó un dispositivo móvil físico. Se establece que la aplicación no funciona sin conexión, aunque si muestra los datos recolectados sin acceso a internet, por ello solo se verifica si la aplicación funciona correctamente frente diferentes velocidades de conexión. A continuación, en las Tablas 36, 37 y 38 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 36: Prueba 1: Comportamiento de la aplicación conectada a diferentes escenarios

Prueba 1			
Título	Inicio de sesión		
Descripción	Inicio de sesión con los datos correctos		
Prueba	Se abre la aplicación sin haber iniciado sesión. En la interfaz de login (Figura 83) se introducen los datos (e-mail y contraseña). Aparece la pantalla principal.		
Escenario		Magnitud de la señal	Resultado
Red de datos de operador	Movistar	Débil	Correcto
	Claro	Alta	Correcto
Red Wi-Fi		Débil	Correcto
		Alta	Correcto

Fuente: Autor**Tabla 37:** Prueba 2: Comportamiento de la aplicación conectada a diferentes escenarios

Prueba 2			
Título	Historial de mediciones		
Descripción	Exposición de historial de mediciones		
Prueba	Se abre la aplicación con la sección iniciada. En la interfaz de historial de mediciones (Figura 73.b) aparece todas las mediciones tomadas en el pasado.		
Escenario		Magnitud de la señal	Resultado
Red de datos de operador	Movistar	Débil	Correcto
	Claro	Alta	Correcto
Red Wi-Fi		Débil	Correcto
		Alta	Correcto

Fuente: Autor

Se puede observar que, para las pruebas 1 y 2, la aplicación funciona correctamente en diferentes escenarios y a diferentes intensidades de señal de internet.

Tabla 38: Prueba 3: Comportamiento de la aplicación conectada a diferentes escenarios

Título	Toma de mediciones		
Descripción	Inicio de proceso de toma y reconocimiento de medidas		
Prueba	Se abre la aplicación con la sección iniciada. En la interfaz de presentación de datos (Figura 73.c) se acciona el botón “INICIAR MEDICIÓN” e inicia el proceso de toma de mediciones.		
Escenario		Magnitud de la señal	Resultado
Red de datos de operador	Movistar	Débil	Inexacto
	Claro	Alta	Correcto
Red Wi-Fi		Débil	Inexacto
		Alta	Correcto

Fuente: Autor

Por otra parte, la prueba 3, muestra que para intensidades bajas de internet, la aplicación no siempre da la orden de iniciar el proceso de toma de datos fisiológicos.

- **Rendimiento:** Para la realización de estas pruebas, se utilizaron los datos recolectados (datos técnicos de los celulares) de solo diez colaboradores, de la muestra total que participaron en la evaluación del prototipo de la sección 9.4. La Tabla 39 presenta que el tiempo promedio, desde que se abre la aplicación hasta que se muestra la interfaz principal, es de 3,25 segundos. Este tiempo debe optimizarse debido a que lo recomendado es que sea de 2 segundos.

Tabla 39: Tiempo desde que se abre la aplicación

Usuario	Modelo Celular	Tiempo [s]
U1	Nokia 8.3 5G	2,00
U2	Samsung Galaxy J7	4,00
U3	Sony Xperia 5 II	3,00
U4	Samsung Galaxy Grand Prime	4,00
U5	Motorola Edge 20 Pro	2,50
U6	Samsung Galaxy j5	5,00
U7	Samsung Galaxy j5	5,00
U8	Alcatel PIXI 4	2,00
U9	Huawei P8 Lite	2,00
U10	Samsung Galaxy S5	3,00
PROMEDIO [s]		3,25

Fuente: Autor

La Tabla 40, muestra que el consumo de batería promedio de la aplicación es de 5,10 %. Para obtener este dato de porcentaje de batería perdido, primero se recolectaron de cada participante, los datos de batería inicial y final, en un tiempo definido de 30 minutos. Cabe recalcar que el promedio obtenido puede estar sesgado en vista de que, el consumo de batería en cada celular está condicionado por más factores que los de la aplicación.

Tabla 40: Consumo de batería

Usuario	Modelo Celular	Porcentaje Inicial [%]	Porcentaje Final [%]	Porcentaje de batería perdido [%]
U1	Nokia 8.3 5G	33,00	27,00	6,00
U2	Samsung Galaxy J7	26,00	22,00	4,00
U3	Sony Xperia 5 II	56,00	52,00	4,00
U4	Samsung Galaxy Grand Prime	25,00	22,00	3,00
U5	Motorola Edge 20 Pro	39,00	27,00	12,00
U6	Samsung Galaxy j5	50,00	44,00	6,00
U7	Samsung Galaxy j5	81,00	77,00	4,00
U8	Alcatel PIXI 4	59,00	54,00	5,00
U9	Huawei P8 Lite	41,00	37,00	4,00
U10	Samsung Galaxy S5	70,00	67,00	3,00
PROMEDIO [%]				5,10

Fuente: Autor

La Tabla 41, muestra que a ningún dispositivo móvil de los 10 participantes se sobrecalentó. Estos resultados, se recolectaron después de terminar cinco mediciones completas.

Tabla 41: Sobrecalentamiento del dispositivo móvil

Usuario	Modelo Celular	Resultado
U1	Nokia 8.3 5G	no
U2	Samsung Galaxy J7	no
U3	Sony Xperia 5 II	no
U4	Samsung Galaxy Grand Prime	no
U5	Motorola Edge 20 Pro	no
U6	Samsung Galaxy j5	no
U7	Samsung Galaxy j5	no
U8	Alcatel PIXI 4	no
U9	Huawei P8 Lite	no
U10	Samsung Galaxy S5	no

Fuente: Autor

En el caso del uso de memoria total, se obtuvo que el uso promedio de RAM es de 13 MB y de almacenamiento 25,9 MB.

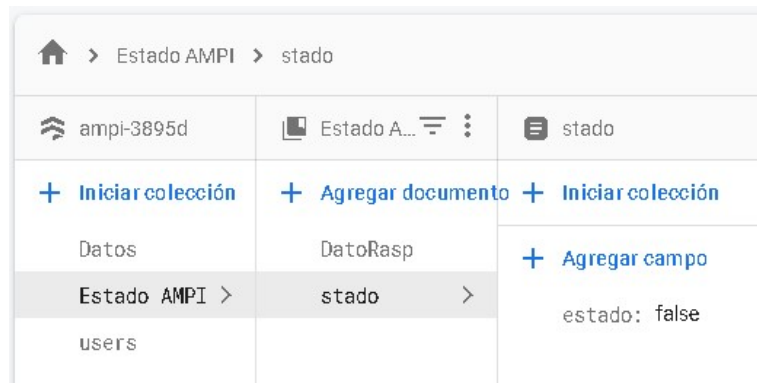
■ Resultados de las pruebas de funcionamiento en el Raspberry Pi

En la Figura 97, se muestra como el AMPI se encuentra en un estado de espera (Figura 97.a), al tener un valor False en la base de datos (Figura 97.b), que también se traduce en una lectura de valor False en la consola del Raspberry Pi (Figura 97.c).

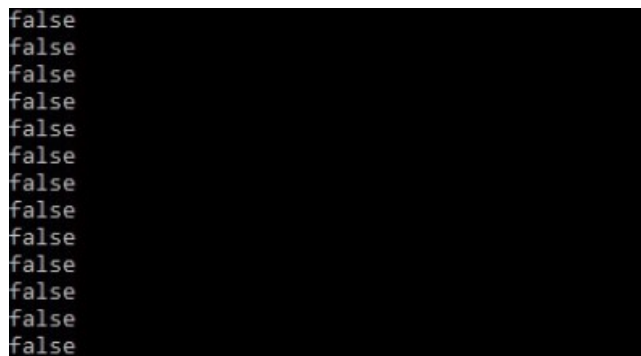
Figura 97: Pruebas de funcionamiento en el Raspberry Pi: Estado False



(a) Interfaz “Presentación de Datos” en espera



(b) Estado del parámetro “estado” dentro de firebase

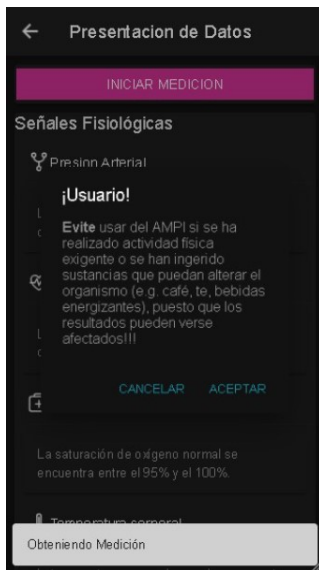


(c) Estado del parámetro “estado” dentro de la consola de Raspberry Pi

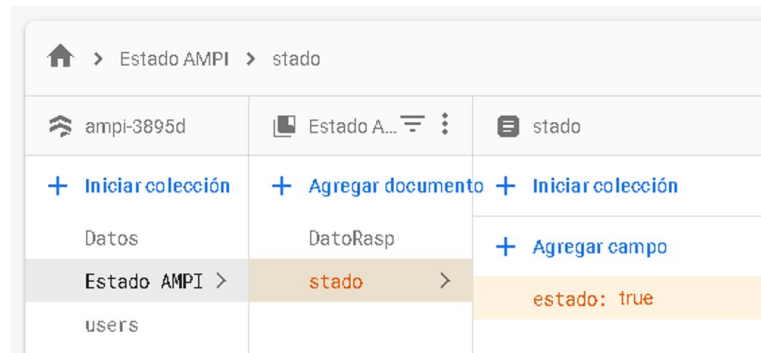
Fuente: Autor

Por otra parte, en la Figura 98.b y 98.c, se muestra como el AMPI cambia de estado a TRUE, debido a de que en la aplicación (Figura 98.a) se ha accionado el botón “INICIAR MEDICIÓN” que, como su nombre lo indica, da inicio al envío y almacenamiento de los datos de medición en Firebase.

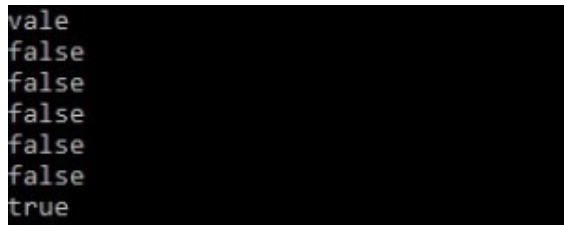
Figura 98: Pruebas de funcionamiento en el Raspberry Pi: Estado True



(a) Interfaz “Presentación de Datos” cuando se acciona “INICIAR MEDICIÓN”



(b) Actualización del parámetro “estado” dentro de firebase



(c) Actualización del parámetro “estado” dentro de la consola de Raspberry Pi

Fuente: Autor

De esta manera, en la Figuras 97 y 98, se comprueba la correcta lectura del estado del AMPI y del funcionamiento en el Raspberry Pi.

9.5.2. Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)

Del mismo modo que el cuestionario SUS, utilizado para medir la usabilidad del prototipo, a continuación, se expone los resultados de la prueba de usabilidad PSSUQ para la aplicación.

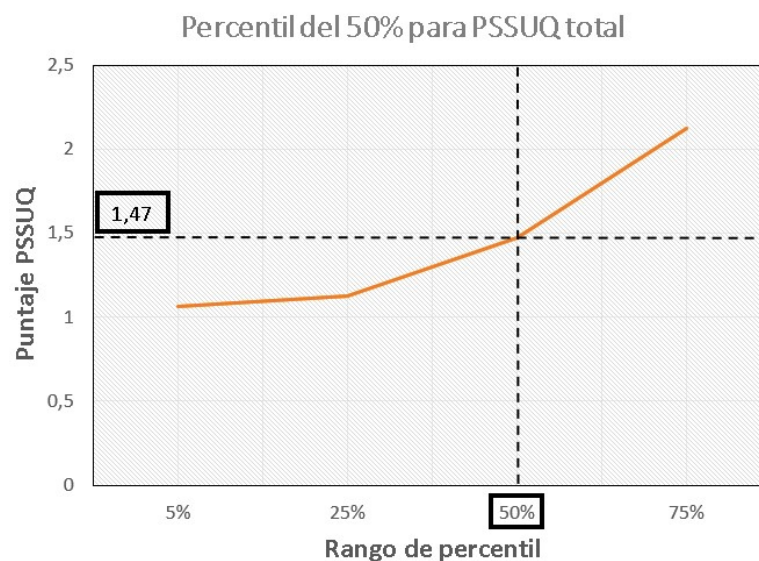
En la Tabla 42, se presentan los diferentes puntajes dados a la aplicación por los 16 participantes, esto en una escala de 1 a 7. Se presenta la puntuación PSSUQ total y la puntuación de sus diferentes subescalas: Utilidad del sistema (SYSUSE), Calidad de la información (INFOQUAL) y Calidad de la interfaz (INTERQUAL). Estos puntajes totales, se calcularon usando la herramienta “PSSUQ Calculator” disponible en (UIUX-Trend, 2021).

De manera similar a la prueba SUS, una forma de interpretar las puntuaciones finales del cuestionario PSSUQ y sus subescalas, es observar los valores por percentiles y para ello, se ordenan todas las puntuaciones finales de PSSUQ en varias gráficas de percentiles.

Cabe recalcar que los valores finales, mostrados a continuación, corresponden al percentil del 50 %, que significa que estos valores son la puntuación de satisfacción final que la mitad de los participantes elige como puntuación para cada aspecto de la aplicación.

En la gráfica de la Figura 99, se observa que la puntuación media dada por los participantes es 1,47. Tomando en consideración que; cuanto menor sea la puntuación, mejor es el rendimiento y la satisfacción, esta calificación de PSSUQ indica que la aplicación se encuentra en un nivel alto de satisfacción y usabilidad.

Figura 99: Gráfica de percentiles y la puntuación final de PSSUQ por percentil



Fuente: Autor

Tabla 42: Puntajes totales de las diferentes subescalas de la prueba de PSSUQ de la aplicación

Edad	Usuario	Cuestionario de usabilidad del sistema posterior al estudio (PSSUQ)																		
		Pregunta																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
23	U1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	1,19	1,00	1,00	1,67
26	U2	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00	4,00	4,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	2,00	2,19	2,17	2,33
27	U3	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	1,50	1,17	1,17	2,67
29	U4	2,00	2,00	4,00	3,00	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,75	2,17	1,84	1,00
45	U5	5,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,13	3,83	4,50	4,00
72	U6	2,00	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,94	2,00	2,33	2,34
70	U7	4,00	4,00	4,00	4,00	5,00	7,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,94	3,83	4,00	4,00
41	U8	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,13	1,17	1,17	1,00
23	U9	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	3,00	2,00	1,00	2,00	1,44	1,33	1,50	1,67
48	U10	3,00	2,00	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	2,00	2,00	1,75	2,00	1,67	1,67
15	U11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,13	1,00	1,17	1,33
28	U12	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,13	1,17	1,50	1,33
32	U13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	3,00	1,00	1,31	1,00	1,50	1,67
30	U14	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,07	1,00	1,17	1,00
68	U15	3,00	2,00	3,00	2,00	1,00	3,00	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	1,00	2,00	2,00	4,00	2,75	2,33	3,50	2,34
44	U16	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	1,17	1,00	1,00

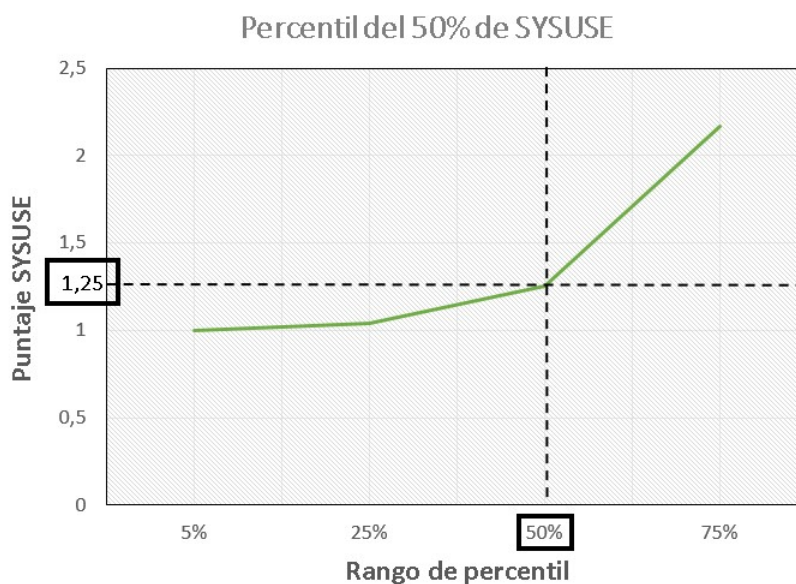
Fuente: Autor

Se estipula que solo analizar el resultado general de PSSUQ, no permite examinar con facilidad y profundidad todos los aspectos de la aplicación. Por esta razón, más adelante se presenta los resultados obtenidos de cada subescala del cuestionario PSSUQ, el desglosar este cuestionario en subescalas, proporciona mucha más información acerca de la aplicación. Se presenta un resumen general de las observaciones y respuestas aportadas por los usuarios de cada subescala del cuestionario PSSUQ, teniendo en cuenta los porcentajes de valoración de cada pregunta que engloba cada subescala.

- *"Utilidad del sistema (SYSUSE)"*

La Figura 100, muestra que, en el caso de la calidad del sistema, la puntuación media es de 1,25. Este valor, garantiza que ante los ojos de los participantes, la aplicación es confiable, lo cual aumenta la satisfacción frente a la funcionalidad y eficiencia del prototipo construido.

Figura 100: Gráfica de percentiles. Puntuación final de subescala SYSUSE por percentil



Fuente: Autor

En la Figura 103, se presentan los porcentajes obtenidos para los items del 1 al 6 (ver Anexo E), correspondientes a la subescala SYSUSE.

Los participantes opinaron que la aplicación era sumamente intuitiva, puesto que no

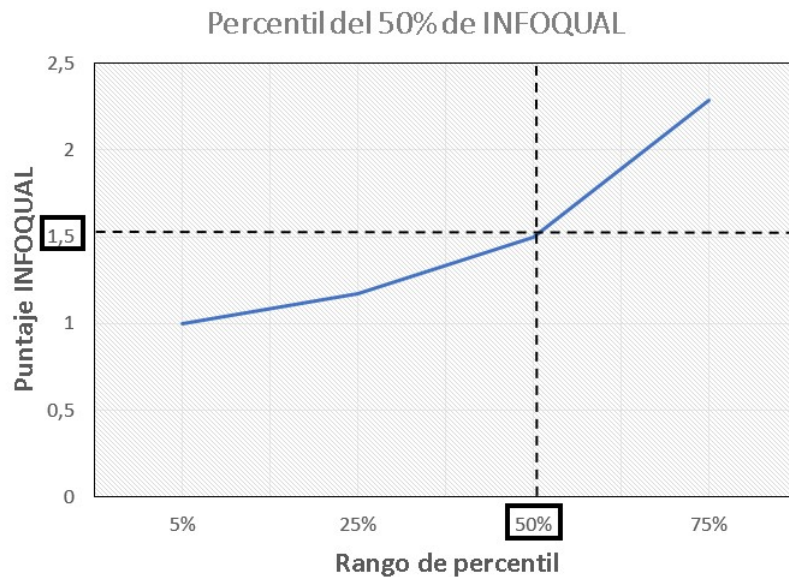
poseía muchas herramientas ni interfaces. Algunos opinaron que la interacción con el dispositivo fue difícil solo la primera vez que la utilizaron.

Por otra parte, los participantes de la tercera edad, expresaron su malestar de tener que crear una cuenta de g-mail que no poseían, aun si una tercera persona les ayudó con el procedimiento. Asimismo, algunos participantes opinaron que fue un poco complicado utilizar el celular con la mano izquierda dentro del equipo, aunque afirmaron que es una buena opción que la mano derecha quedara libre para el uso de la aplicación.

■ *"Calidad de la información (INFOQUAL)"*

Para el caso de la calidad de la información, la Figura 101, muestra que la puntuación media es de 1,5. Esta puntuación asegura que la aplicación contiene los sistemas de información, necesarios, para la toma de decisiones y el desarrollo de actividades dentro de la aplicación.

Figura 101: Gráfica de percentiles y puntuación final de subescala INFOQUAL por percentil



Fuente: Autor

En la Figura 104, se presenta los porcentajes obtenidos para los items del 7 al 12 (ver Anexo E), correspondientes a la subescala INFOQUAL.

Los participantes opinaron que aun faltaban algunas alertas. Mensajes de anuncio en los siguientes escenarios:

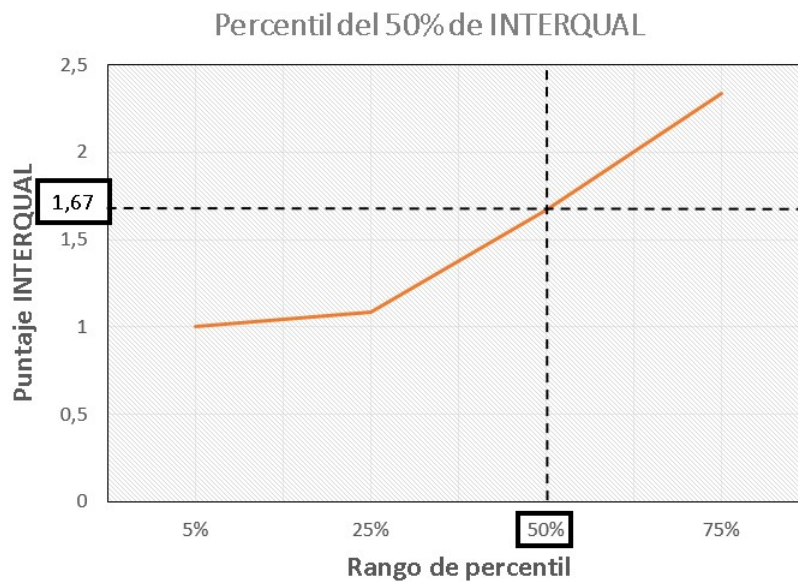
- Error, cuando se corta la señal de internet o la señal es muy débil.
- Aviso, cuando finalice la toma de mediciones y pueda retirar la mano. Las señales del prototipo no son suficientes.
- Aviso, que indique si la mano no se encuentra posicionada correctamente.
- Anuncio, del estado en el que se encuentra el AMPI o en que parte de proceso de toma y reconocimiento se encuentra.

Además, muchos participantes opinaron que el proceso de toma de datos mejoraría y sería más fácil si se integrara el manual de funcionamiento dentro de la aplicación.

■ *"Calidad de la interfaz (INTERQUAL)"*

En el caso de la calidad de la interfaz, la Figura 102, muestra que la puntuación media es de 1,67. Esta puntuación asegura que la aplicación facilita la interacción entre el dispositivo móvil y el usuario.

Figura 102: Gráfica de percentiles y puntuación final de subescala INTERQUAL por percentil



Fuente: Autor

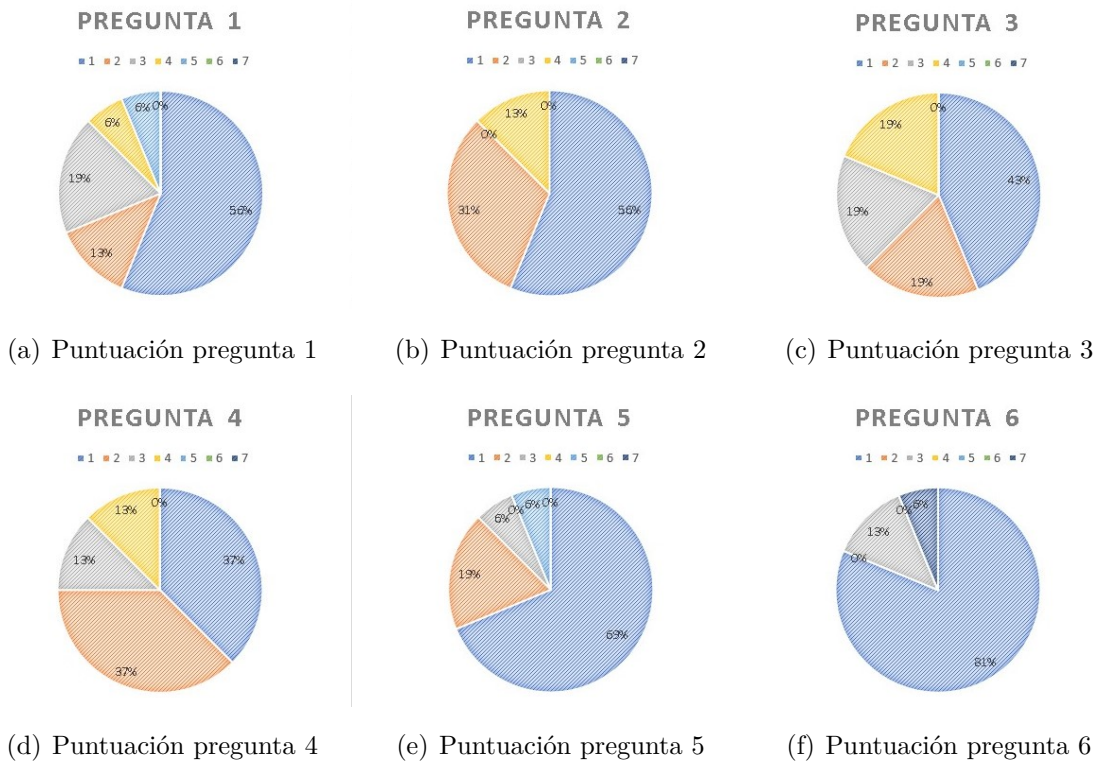
En la Figura 105, se presenta los porcentajes obtenidos para los items del 13 al 15 (ver Anexo E), correspondientes a la subescala INTERQUAL.

En este caso, los participantes opinaron que si bien, la aplicación fue clara y agradable, se podría mejorar con más gráficos. Además, algunos participantes recomendaron agregar las siguientes herramientas:

- Una opción, que permita colocar la aplicación en modo oscuro y modo claro.
- Temporizador, que indique el tiempo real de la toma y almacenamiento de datos.
- Herramienta, que permita saber en que estado se encuentra el AMPI.

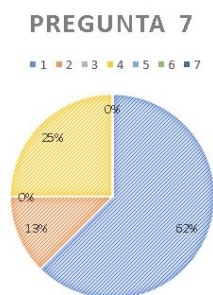
Los resultados expuestos, verifican que la aplicación se encuentra en un nivel aceptable de satisfacción y usabilidad. Sin embargo, con base a las opiniones de los participantes, la aplicación aun tiene aspectos y sistemas que deben mejorar.

Figura 103: Diagramas de porcentajes obtenidos de la prueba PSSUQ: Subescala de utilidad del sistema (SYSUSE)

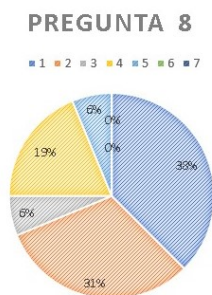


Fuente: Autor

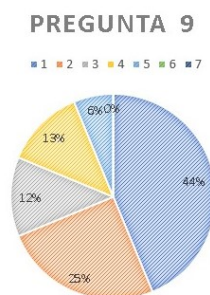
Figura 104: Diagramas de porcentajes obtenidos de la prueba PSSUQ: Subescala de calidad de la información (INFOQUAL)



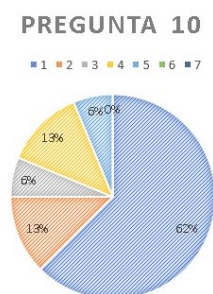
(a) Puntuación pregunta 7



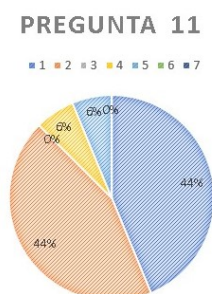
(b) Puntuación pregunta 8



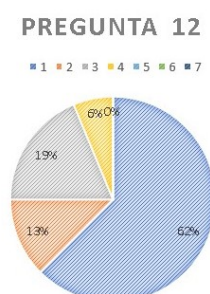
(c) Puntuación pregunta 9



(d) Puntuación pregunta 10

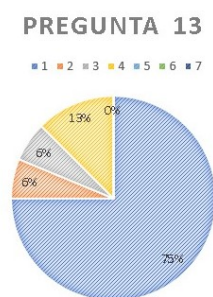


(e) Puntuación pregunta 11

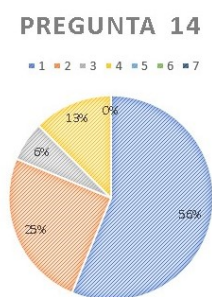


(f) Puntuación pregunta 12

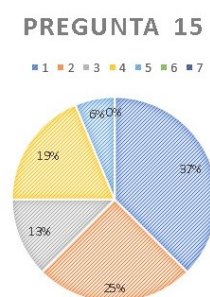
Figura 105: Diagramas de porcentajes obtenidos de la prueba PSSUQ: Subescala de calidad de la interfaz (INTERQUAL)



(a) Puntuación pregunta 13



(b) Puntuación pregunta 14



(c) Puntuación pregunta 15

10. Conclusiones

10.1. Conclusión general

Se cumplió de manera satisfactoria con el objetivo general de este proyecto técnico, debido a que se logró diseñar y construir un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19.

Se ha desarrollado este dispositivo para diagnóstico y seguimiento, como respuesta a la necesidad médica de brindar una alternativa segura para la adquisición, transmisión y administración de señales fisiológicas.

Las características del prototipo desarrollado, como su conveniente tamaño, reducido peso y la capacidad de funcionar de manera autónoma (sin necesidad de fuentes externas); permiten concluir que en efecto, se trata de un dispositivo portátil que puede ser transportado a diferentes locaciones.

Las condiciones que se requieren para llevar a cabo una medición son: 1) que el dispositivo se encuentre colocado sobre una superficie firme y a nivel del pecho del usuario; 2) para una correcta medición, el paciente debe permanecer sentado (con la espalda apoyada), con la mano izquierda estirada y dentro del dispositivo; 3) el usuario debe sincronizar la App con el AMPI, esto con tan solo iniciar sección en la App; 4) el usuario debe establecer contacto con el personal sanitario por medio de un código único de usuario que, permite identificar tanto al emisor y receptor de la información. Estos requerimientos, razonablemente fáciles de cumplir, hacen posible la adquisición y envío seguro de datos; facilitando así la aplicación de protocolos de cuidado de COVID-19. Además, el hecho de que las mediciones sean adquiridas automáticamente y que el dispositivo cuenta con un sistema de esterilización, brinda mayor autonomía y seguridad al paciente.

La metodología aplicada y los resultados obtenidos, tanto de las pruebas técnicas del prototipo como de las prueba de usabilidad, pretende servir de ayuda a otros investigadores como apoyo a futuras mejoras de este prototipo o futuras investigaciones acerca de este tema.

10.2. Establecimiento de las condiciones iniciales en el diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas

Se establecieron las condiciones iniciales que debe tener el prototipo que se desarrolló. Estas condiciones iniciales brindaron las pautas para definir la función principal y el proceso de construcción del prototipo. Tal es el caso de las condiciones mecánicas iniciales de: los dispositivos médicos, las cámaras, los actuadores lineales, los dispositivos eléctricos, la lámpara UV-C y las medidas antropométricas de la mano; que brindaron los datos iniciales para dimensionar la estructura del AMPI. Así mismo, las condiciones mecánicas de los materiales propuestos, aportaron en la determinación del material final que se utilizó en la impresión de la estructura del AMPI. De igual forma, las condiciones iniciales de seguridad, relacionadas con la protección de los usuarios y del prototipo; influye en los diferentes factores a considerar durante el funcionamiento final que tendrá el dispositivo.

Por otra parte, en el caso de las condiciones iniciales establecidas para la App, estas tienen un impacto directo, tanto en el diseño de la base de datos, como en el diseño de la interfaz para la comunicación entre el dispositivo AMPI y el usuario.

10.3. Propuesta del diseño de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de diagnóstico y monitoreo de COVID-19

■ Diseño mecánico

El análisis de esfuerzos y deformaciones obtenidos en el software, permitió determinar que la mejor opción para el desarrollo del AMPI es el PLA, dado que, a pesar de que sus esfuerzos máximos son casi idénticos, el PLA sufre menos deformación que el ABS. Además, confrontando las propiedades de los materiales se verifica que el PLA es ideal, pues presenta menos inconvenientes que el ABS, al momento de llevar a cabo la impresión 3D.

En lo que se refiere al mecanismo para activar los dispositivos clínicos; el sistema de corredera, permite accionar los pulsantes de cada dispositivo a partir, del movimiento horizontal de los actuadores lineales. La finalidad de realizar el análisis de esfuerzos del mecanismo de corredera, es determinar el material con el cual se construirá las piezas del AMPI, para tener la certeza de que no existirá ningún problema en su construcción

y funcionamiento, evitando así gastos innecesarios.

El sistema de desplazamiento basado en un resorte de compresión, permite que el dispositivo se ajuste a diferentes longitudes de mano de los usuarios, siendo 17,78 cm y 22 cm los rangos de ajuste mínimo y máximo respectivamente.

■ **Diseño del sistema de control**

Se diseñó un sistema que, al funcionar simultáneamente con el mecanismo de corredera, permite accionar los distintos dispositivos clínicos de forma automática. Esto de tal manera que, tras un determinado tiempo, estas mediciones son capturadas por cámaras, procesadas y enviadas a una plataforma digital con fecha y hora de la medición; a fin de que un profesional médico puede observar y dar seguimiento al estado de salud del usuario. Tras finalizar cada medición, el AMPI procede a esterilizarse, no sin antes de verificar - por medio de un sensor de movimiento - que el usuario haya retirado su mano del dispositivo; garantizando de esta manera, la seguridad del usuario. Este proceso tarda 4 minutos en culminar, siendo capaz de efectuar 21 mediciones antes de que la batería necesite ser recargada.

■ **Diseño de la plataforma digital**

Se diseñó una aplicación que se ajusta a los principales sistemas operativos como, Android e IOS. Su principal función, es servir como interfaz para la comunicación entre el dispositivo AMPI y el usuario, esto a fin de que, la App se sincronice directamente al dispositivo AMPI para empezar la toma de datos fisiológicos, esto cuando el usuario lo ordene.

La aplicación implementa satisfactoriamente un módulo para la gestión de información de los usuarios, el cual permite que el usuario consiga: visualizar su historial de medidas con fecha y hora de la medición, compartir dicho historial de medidas con el personal sanitario, agregar y actualizar sus datos personales. De igual forma, la aplicación también implementa un módulo para que el profesional de la salud pueda acceder a la información o a parte del historial de mediciones de los usuarios que han decidido compartir su historial de mediciones.

Por otra parte, para la administración de datos, se diseñó una base de datos en la nube, que dispone de los datos del paciente para identificarlo y poder enlazar su información con el dispositivo AMPI (Raspberry Pi), además de la aplicación, datos de horarios, códigos de usuarios y por último, datos de las mediciones que se enviarán desde el Raspberry Pi para poder ser mostrados en la aplicación.

10.4. Construcción de un prototipo del dispositivo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas

Se cumplió el objetivo de construir un prototipo de acuerdo al diseño propuesto para automatizar la medición de señales fisiológicas. El prototipo posee 315x210x310 mm de dimensión y un peso aproximado de 1,125Kg, lo que facilita su movilidad. Además, el diseño cumple con los protocolos y parámetros de medición necesarios para cada uno de los dispositivos clínicos, garantizando la precisión en la adquisición de las señales fisiológicas.

La estructura del dispositivo se ajusta por medio del método llamado “diseño para ensamblaje de autosujeción por presión”, dado que este método es la forma más práctica para lograr el ensamble de dos piezas de polímero.

El dispositivo consta de un manual de usuario, en donde se explica el proceso de construcción y uso del AMPI.

Al analizar los resultados de la construcción del dispositivo se puede determinar que, para la producción en serie del mismo, se requiere el uso de un material y un método de elaboración estructural diferente, pues el costo de la impresión 3D en PLA es demasiado elevado. No obstante, si se desea replicar el dispositivo se recomienda realizar la impresión 3D en PLA debido a que, este material no emana gases nocivos.

El empleo de herramientas “CAD-CAE-CAM”, en combinación con tecnologías de prototipado rápido, si bien son muy adecuados como apoyo al proceso de producción de un prototipo funcional del AMPI, no son una buena opción en el proceso de producción en serie del AMPI, por lo cual se ha considerado el uso de inyección o moldeo en PVC, puesto que este material al igual que el PLA es resistente a la luz UV-C, es resistente y más económico con respecto al PLA y al ABS.

10.5. Evaluación de los resultados en la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento

Se consiguió evaluar los resultados de la medición de las señales fisiológicas obtenidas con el prototipo del dispositivo frente a los resultados particulares de cada instrumento, esto siguiendo los protocolos de medición respectivos para verificar su funcionalidad y obtener la eficiencia del AMPI. Para esto se contó con la participación de 16 usuarios, a los quienes se les realizó diez mediciones utilizando ambos métodos: 5 mediciones utilizando el AMPI y 5

mediciones utilizando los dispositivos clínicos por separado.

- **System Usability Scale (SUS)**

Los puntajes obtenidos de este cuestionario permiten concluir que el prototipo se encuentra en un nivel aceptable de satisfacción y usabilidad, sin embargo, existen factores acerca del diseño que se deben mejorar.

- **Medición de señales fisiológicas**

Al evaluar los resultados de la medición de las señales fisiológicas, se consiguió determinar la exactitud en las mediciones tomadas por el dispositivo con respecto a las mediciones obtenidas empleando los métodos habituales de medición. Se obtuvo un porcentaje de exactitud de 98 %, tanto en la medición de la frecuencia cardiaca como en la saturación de oxígeno, y un 96 % de exactitud para la presión arterial y la temperatura corporal. Por ende, se puede concluir que el AMPI cumple con los protocolos y parámetros requeridos.

- **Reconocimiento numérico**

En lo que respecta a esta prueba técnica, se alcanzó en el reconocimiento numérico un porcentaje de exactitud de 80 % en el tensiómetro digital, y 87 % en el oxímetro digital y en el termómetro digital. Es necesario mejorar el algoritmo para garantizar el correcto procesamiento de las imágenes adquiridas de los distintos dispositivos clínicos.

10.6. Pruebas de la plataforma digital (App) para verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo

Se realizaron pruebas a la plataforma digital (App) y se pudo verificar el envío y administración correcta de los datos de las mediciones realizadas con el dispositivo.

- **Pruebas técnicas**

Se diseñó una aplicación, la cual recopila las principales señales fisiológicas para su visualización. Las pruebas técnicas realizadas comprueban su buen funcionamiento y el uso de la plataforma de desarrollo Firebase permite la comunicación y el control remoto del AMPI. Además, se pudo comprobar la correcta implementación de los servicios de autenticación, base de datos y almacenamiento en la nube. Esto permite cumplir con las características de permitir servicios de autenticación, de actualización automática y permanente de datos, y la posibilidad de almacenamiento de elementos en la nube.

- **Post Study System Usability Questionnaire (PSSUQ)**

Por otra parte, con base a los puntajes recolectados el cuestionario PSSUQ, se puede concluir que la aplicación se encuentra en un nivel alto de satisfacción y usabilidad; lo que significa que aún existen aspectos como; la implementación de información y de alertas; que se pueden mejorar.

11. Recomendaciones

- Para una nueva versión del dispositivo se sugiere reemplazar el RaspBerry Pi por un microcontrolador para disminuir el tamaño y peso del AMPI.
- Se aconseja sustituir los actuadores lineales por otros de menor tamaño, esto debido a que la distancia de desplazamiento requerida, para accionar los dispositivos clínicos, es corta.
- Se debe realizar las placas PCBs empleando métodos de fabricación profesional. A razón de evitar, accidentes producto del desoldado de los elementos o la rotura de las pistas en la placa final.
- Se debe tener en consideración que los instrumentos de medición, deben contar con iluminación en la pantalla LCD para garantizar el correcto reconocimiento numérico.
- Para mejorar la exactitud en el reconocimiento numérico, se debe considerar el uso de redes neuronales en el algoritmo, utilizar un mayor número de plantillas y/o emplear cámaras con mejor resolución.

Referencias

- Actuonix (2016). *Miniature Linear Motion Series - Mini Linear Actuator JS35A*.
- Almenara, M. (2018). *Modelo teórico-práctico para la implementación del diseño centrado en el usuario en el desarrollo, la validación y la aceptación de los productos de apoyo para personas con enfermedades de origen neurológico*. PhD tesis, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- AUTODESK (2021a). EAGLE | PCB Design And Electrical Schematic Software | Autodesk. URL: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview> (visitado 2021-08-16).
- AUTODESK (2021b). Inventor Software | Official Inventor INFORMATION | Autodesk. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> (visitado 2021-08-03).
- Ayala, A. (2019). Desarrollo de un prototipo de dispensador automático de alimento para perros usando la plataforma Raspberry Pi 3B y controlado remotamente por una aplicación móvil en Android. Technical report, Quito.
- Barata, D., Louzada, G., Carreiro, A., y Damasceno, A. (2013). System of Acquisition, Transmission, Storage and Visualization of Pulse Oximeter and ECG Data Using Android and MQTT. *Procedia Technology*, 9:1265–1272.
- BidcoM (2018). *Manual de Usuario - Mini Cámara Espía Opticam*.
- BIOPROMEDICAL (2019). *Instruction manual Oxímetros-Shenzhen IMDK Medical*.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., y Knight, W. (2010). *Product Design for Manufacture and Assembly*. CRC Press.
- Brent, A. (1996). Acabado y ensamblaje de materiales plásticos Informador Técnico. *Informador Técnico*, 53:1–6.
- Budynas, R. G. y Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill, México, D. F., octava edición.
- Buonanno, M., Welch, D., Shuryak, I., y Brenner, D. (2020). Far-UVC light efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses.

- Cadena, F. y Galarza, A. B. (2020). Análisis comparativo de costo-beneficio entre pavimentos de hormigón con fibras de acero y asfalto en frío apliado sobre empredados, mediante simulación en el software kenlayer. Technical report, Quito.
- Card, K., Crozier, D., Dhawan, A., Dinh, M., Dolson, E., Farrokhian, N., Gopalakrishnan, V., Hitomi, M., Ho, E., Jagdish, T., King, E., Krishnan, N., Kuzmin, G., Maltas, J., Mo, J., Pelesko, J., Scarborough, J., Scott, J., Sedor, G., Tian, E., y Weaver, D. (2020). UV Sterilization of Personal Protective Equipment with Idle Laboratory Biosafety Cabinets During the COVID-19 Pandemic. *medRxiv*, pp. 2020.03.25.20043489.
- Contreras, P. (2019). Sitio correcto para medir la temperatura corporal con el termómetro infrarrojo - ministerio de salud publica y bienestar social 2020. *Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social Disponible en: <https://www.mspbs.gov.py/portal/21329/iquestcual-es-el-sitio-correcto-para-medir-la-temperatura-corporal-con-el-termometro-infrarrojo.html>*.
- Costa Da Cunha, J. (2020). Uso adecuado de lámparas Germicidas. Technical report.
- Crespo, J. y Enríquez, M. (2020). Prototipo de una plataforma de telemedicina para la monitorización de parámetros fisiológicos en domicilios para casos sospechosos y/o positivos de COVID-19. Technical report, Guayaquil.
- Cubillos, N. y Medina, O. (2010). Estudio piloto de medidas antropométricas de la mano y fuerzas de presión, aplicables al diseño de herramientas mauales. Technical report, Santiago de Chile.
- Cury, J. (2001). *Teoria de Controle Supervis oriode Sistemas a Eventos Discretos*. PhD tesis, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- Daddona, D., Rongo, R., Teti, R., y Martina, R. (2018). Bio-compatible cyber-physical system for cloud-based customizable sensor monitoring of pressure conditions. *Procedia CIRP*, 67:150–155.
- Depari, A., Flammini, A., Rinaldi, S., y Vezzolia, A. (2012). A portable multi-sensor system for non-invasive measurement of biometrical data. *Procedia Engineering*, 47:1323–1326.
- Diego-Mas, J. (2019). Evaluación del riesgo por las fuerzas ejercidas en el puesto de trabajo o en la utilización de máquinas mediante la norma EN 1005-3. Technical report, Valencia.

- EDDM (2021). Materiales de impresión 3D FDM/FFF. URL: <https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/> (visitado 2021-09-01).
- Ena, J. y Wenzel, R. (2020). Emerge un nuevo coronavirus. *Revista Clínica Española Disponible en: <https://www.revclinesp.es/es-un-nuevo-coronavirus-emerge-articulo-S0014256520300217>*.
- FireBase (2021). Firebase, la infraestructura para crear y lograr el crecimiento de apps. URL: <https://firebase.google.com/?hl=es> (visitado 2021-08-03).
- Gala M. García (2016). Monitorización de pacientes con pulseras inteligentes. Technical report, Alicante.
- García, E., Cárdbaba, M., y Sánchez, L. (2020). Revisión bibliográfica sobre la eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y Ozono para la desinfección de superficies (Actualización). Technical report, Madrid.
- Gavilema, J. y Mullo, E. (2014). Diseño y Construcción de un sistema electrónico de medición de señales fisiológicas, que ayuda al diagnóstico médico utilizando FPGA, con comunicación inalámbrica a tablet, con monitoreo remoto en tiempo real. Technical report, Latacunga.
- Gómez, M. (2007). Constantes vitales, temperatura corporal, pulso, frecuencia respiratoria, presión arterial, enfermería médica, apuntes de enfermería. *Revista Electrónica de PortalesMédicos.com Disponible en: <https://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/410/1/Constantes-vitales-Temperatura-corporal-pulso-frecuencia-respiratoria-presion-arterial-Enfermeria-medica-Apuntes-de-enfermeria.html>*.
- Gómez, S. y Suntasig, F. (2011). Diseño y construcción de un prototipo de oxímetro de pulso (bachelor's thesis, quito/epn/2011). *Escuela Politécnica Nacional Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4325>*.
- Hedlefs, M. y Garza, A. (2016). Análisis comparativo de la Escala de Usabilidad del Sistema (EUS) en dos versiones / Comparative analysis of the System Usability Scale (SUS) in two versions. *RECI Revista Iberoamericana de las Ciencias Computacionales e Informática*, 5(10):44.

- Heroku (2021). Getting Started on Heroku with Python | Heroku Dev Center. URL: <https://devcenter.heroku.com/articles/getting-started-with-python> (visitado 2021-08-16).
- Hilario, R. (2020). Efectividad del uso del termómetro digital versus el termómetro infrarrojo en el paciente pediátrico. *Universidad Nobert Winer Disponible en: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/3692>*.
- Instruments, E. (2018). *Instruction manual Non-Contact Forehead IR Thermometer Easy East model IR200*.
- IONICONF (2021). Ionic - The Cross-Platform App Development Leader. URL: <https://ionic.io/support> (visitado 2021-08-03).
- ITAN (2020). *Elementos para Matrices Y Moldes. Catálogo de resortes*.
- King, R. C., Villeneuve, E., White, R. J., Sherratt, R. S., Holderbaum, W., y Harwin, W. S. (2017). Application of data fusion techniques and technologies for wearable health monitoring. *Medical Engineering and Physics*, 42:1–12.
- Kuzmar, I. E., Rizo, M., y Cortés, E. (2014). How to create a telemedicine service: telemedicine heptagon. *ACTUALIDAD MEDICA*, 99(791):44–45.
- Laborde, M. (2004). Medida de la Saturación de Oxígeno por Medio Optico. *XIII Seminario de Ingeniería Biomédica*.
- LEDBOX (2017). *Ficha técnica - Batería recargable 18650 3S2P, 4400mAh, 12V Li-ion*.
- LEDBOX (2020). *Ficha técnica - Lámpara Germicida Ultravioleta UV-C 280nm portátil + batería, CE*.
- Lewis, J. R. (1995). IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1):57–78.
- Lozano, K., Fernández, M., y García, M. (2015). Diseño de un sistema no invasivo de medición de la temperatura corporal interna. Technical report, Cataluña.
- Lugo, E., Velarde, A., y Arias, M. (2020). *Diseño mecatrónico implementado en el desarrollo de prototipos virtuales y físicos*. Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN, Querétaro.

- Magro, R. (2013). Binarización de imágenes digitales y su algoritmia como herramienta aplicada a la ilustración entomológica. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (S.E.A.)*, 53:443–464.
- Martinho, J., Prates, L., y Costa, J. (2014). Design and Implementation of a Wireless Multiparameter Patient Monitoring System. *Procedia Technology*, 17:542–549.
- Martínez, M., Bal, M., Guerra, F. S., Ares, R., Suárez, R., Rodríguez, A., y Freire, J. C. (2020). Telemedicina con telemonitorización en el seguimiento de pacientes con covid-19. revista clínica española. *Revista Clínica Española*.
- Mejía, H. y Mejía, M. (2014). Oximetría de pulso. *Scielo Disponible en: <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sciarttextpid=S1024-06752012000200011>*.
- Meza, L., Botero, M., y Ardila, W. (2011). Diseño de procedimientos para la calibración de tensiómetros según la norma técnica ntc-iso/iec 17025. *Revista Colombiana de Física Disponible en: <http://revcolfis.org/ojs/index.php/rcf/article/download/430226/212>*.
- Ministerio de Salud Pública (2021). Actualización de casos de coronavirus en ecuador. URL: <https://www.salud.gob.ec/actualizacion-de-casos-de-coronavirus-en-ecuador/> (visitado 2021-08-01).
- Mott, R. L. (2008). *Diseño de elementos de máquinas*. PEARSON Educación, México, cuarta edición.
- NI (2021). Software de Aplicación para Pruebas Electrónicas e Instrumentación - Multisim. URL: <https://www.ni.com/es-cr/support/software-products/312060> (visitado 2021-08-16).
- Nielsen, J. y Landauer, T. (1993). Mathematical model of the finding of usability problems. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, pp. 206–213.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria*. McGRAW-HILL, México, D.F., cuarta edición.
- OMRON (2017). *Instruction manual automatic inflation blood pressure monitor Model HEM-712CLC With Large Adult Cuff*.
- Organización Mundial de la Salud (2021). COVID-19 - Crisis del coronavirus. URL: <https://www.who.int/es/health-topics/coronavirustab=tab1> (visitado 2021-08-15).





- O'Brien, N., Barboza-Palomino, M., Ventura-León, J., Caycho-Rodríguez, T., Sandoval-Díaz, J. S., López-López, W., y Salas, G. (2020). Nuevo coronavirus (covid-19). un análisis bibliométrico. *Revista Chilena de Anestesia Disponible en: <https://revistachilenadeanestesia.cl/revchilanestv49n03-020/>*.
- Pacheco, J. y Guzmán, A. (2020). Pruebas para el covid-19 en la gestante y su interpretación. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia Disponible en: <https://doi.org/10.31403/rpgo.v66i2258>*.
- Palacios, S., Álvarez, C., Schönffeldt, P., Céspedes, J., Gutiérrez, M., Oyarzún, M., Función, C. D., y Adultos, P. D. (2010). Guía para realizar oximetría de pulso en la práctica clínica guideline for performing pulse oximetry in the clinical practice. *Rev Chil Enf Respir*, 26:49–51.
- Peraza de Aparicio, C. X. (2020). Monitorización de pacientes con pulseras inteligentes. *MediSur*.
- Portela, F., Gago, P., Santos, M., Machado, J., Abelha, A., Silva, A., Quintas, C., y Pinto, F. (2012). Intelligent and Real Time Data Acquisition and Evaluation to Determine Critical Events in Intensive Medicine. *Procedia Technology*, 5:716–724.
- Portillo, R. T. V., Uscata, B. A., Gonzales-Zubiate, F. A., Medina, K. J., Sevillano, O. R., y Ramos-Sanchez, E. M. (2020). Pruebas rápidas para covid-19, la mejor alternativa para Ecuador.
- Prado, M. y Grunauer, G. (2020). Salud pública: detección de concentración de personas aplicando Big Data para evitar brotes epidemiológicos COVID-19. *Identidad Bolivariana*, 4(2):5–19.
- PuntoFlotante (2017). *Hoja Técnica - Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501*.
- Pérez, P., García, J., y Ibáñez, J. (2007). *Procesado de señales biomédicas*. Universidad de Castilla La Mancha.
- Qingyuan, H. (2018). *Infrared Forehead Thermometer Product Specification Product model:QY-EWQ-01*. Hangzhou Qingyuan Medical Equipment Technology.
- Ramírez, J. (2006). Presión normal e hipertensión arterial en niños y adolescentes Comentario editorial. *Arch. argent. pediatr*, 104(3):193–195.




- RaspBerryPi (2018). *Raspberry Pi Camera Module*.
- RaspBerryPi (2019). *Raspberry Pi 3 Model B+*.
- Rioja, S. (2019). Medir correctamente la tensión arterial - rioja salud. *Disponible en: <https://www.riojasalud.es/servicios/nefrologia/articulos/medir-correctamente-la-tension-arterial>*.
- Rodriguez, S. y Vargas, K. (2019). Dimensiones antropométricas de las manos y su relación con la fuerza de agarre en una población administrativa de la ciudad de Bogotá, Colombia. Technical report, Bogotá.
- Rossi, M. (1979). *Estampado en Frío de La Chapa Estampas, Matrices, Punzones, Prensas y Máquinas*. Dossat S.A, Madrid, novena edición.
- Salas, R., P. J. y Ramírez, J. (2007). Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos. Technical report, Venezuela.
- Sauro, J. y Lewis, J. (2009). Correlations among Prototypical Usability Metrics: Evidence for the Construct of Usability. *Measuringu*.
- Seys (2021). Ansys, software ingeniería para la simulación de dinámica de fluidos. URL: <https://seystic.com/distribucion/software/ansys/> (visitado 2021-09-01).
- Sánchez, R., García, H., Aires, A., Pérez, D., Vicente, A., y Jiménez, R. (2020). Valoración, manejo y plan de cuidados del paciente covid-19 en urgencias. *Revista Enfermería CyL Disponible en: <http://www.revistaenfermeriacyl.com/index.php/revistaenfermeriacyl/article/264/231>*.
- Torreblanca, D. (2016). Tecnologías de Fabricación Digital Aditiva, ventajas para la construcción de modelos, prototipos y series cortas en el proceso de diseño de productos. *Iconofacto*, 12(18):118–143.
- UIUX-Trend (2021). PSSUQ Calculator. URL: <https://uiuxtrend.com/pssuq-calculator/> (visitado 2021-09-16).
- UltiMachine (2021a). *Hoja de datos técnicos de ABS*.
- UltiMachine (2021b). *Hoja de datos técnicos de PLA*.



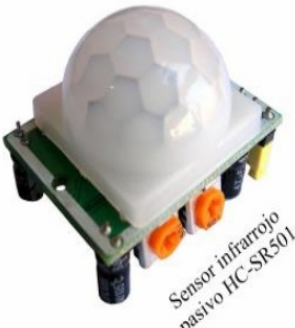
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D., Holbrook, M., Gamble, A., Williamson, B., Tamin, A., Harcourt, J., Thornburg, N., Gerber, S., Lloyd-Smith, J., de Wit, E., y Munster, V. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16):1564–1567.
- Velavan, T. P. y Meyer, C. G. (2020). The COVID-19 epidemic. *Tropical Medicine International Health*, 25(3):278–280.
- Villegas, M. (2020). Pandemia de COVID-19: pelea o huye. *Revista Experiencia en Medicina del Hospital Regional Lambayeque*, 6(1).
- Wilches, J. y Castillo, M. (2020). Luz ultravioleta lejana para inactivar superficies y aerosoles contaminados con SARS-CoV2. *Hacia la Promoción de la Salud*, 25(2):24–26.
- Yassin, M. M., Saber, A. M., Saad, M. N., Said, A. M., y Khalifa, A. M. (2021). Developing a Low-cost, smart, handheld electromyography biofeedback system for telerehabilitation with Clinical Evaluation. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 10:100056.
- Zapata, A. y Moreno, S. (2020). El uso de la luz ultravioleta para controlar la transmisión del virus SARS-CoV-2 en medios hospitalarios. *Journal of Medical Virology*, 92(7):719–725.

ANEXOS

A. Lista de materiales

Lista de elementos		
Tensiómetro digital		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Monitor de presión arterial de muñeca automático-HEM-6122	1	25
Termómetro digital		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Termómetros Digitales Easy East IR200	1	15
Oxímetro digital		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Oxímetro-Shenzhen IMDK Medical Technology – Finngertip pulse Oximeter – C101A3	1	20
Lámpara UV-C		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Lámpara Germicida Ultravioleta UV-C	1	15

Batería		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Batería recargable de litio 18650 3S2P - 12v 4400 mAh	1	12
RaspBerry Pi		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
RaspBerry Pi 3 modelo B+	1	100
Actuador Lineal		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Actuador lineal mini JS35A	3	12

Cámara RaspBerry Pi		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Rasperry Pi Camera Module 5Mp	1	5
Cámara USB		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Minicámara Espía Opticam	2	5
Sensor		
		
Dispositivo	Cantidad	Precio [\$]
Sensor infrarrojo de movimiento PIR HC-SR501	1	4
Filamento para Impresión 3D		

		
Dispositivo	Cantidad	Precio [S]
Filamento Amolen Pla, Abs, Tpu, Petg, Carbon, Wood, Uv, Temp (Blanco)	2	27
Costo Total de Dispositivos [S]		245

Lista de materiales electrónicos

Nº	Elemento	Cantidad	Precio Unitario [S]	Precio Total [S]
1	Bomera	13	0.20	2.60
2	1N4007 (diodo)	5	0.10	0.50
3	Capacitor 0.1uf (micro)	8	0.50	4.00
4	Resistencia 1ko	13	0.50	6.50
5	Resistencia 1o	6	0.30	1.80
6	LM7805CT	4	0.40	1.60
7	2N3904 (Transistor)	7	0.10	0.70
8	GPIO Header 40 pin para Raspberry 2x20	2	0.80	1.60
9	Baquelita 8x15 cm	2	3.50	7.00
10	Espanja de aluminio	1	0.40	0.40
11	Acido Cloruro Férrico	2	2.50	5.00
12	Estaño	2	2.00	4.00
13	Cutter	1	1.00	1.00
14	Pasta para soldar	1	2.30	2.30
15	Tornillos	8	0.30	2.40
16	Impresión laser	4	0.50	2.00
17	Papel Fotográfico	2	1.00	2.00
18	Alcohol Isopropílico	1	0.95	0.95
TOTAL				46.35

Impresión 3D de estructura mecánica

Nº de Particular	Descripción	Tiempo [h]	Costo impresión / hora [\$]	Costo impresión [\$]
Particular 1	Soporte para tensiómetro digital de muñeca, parte posterior de la base del AMPI	54,77	1,25	68,46
Particular 2	Soporte de la estructura del termómetro digital, parte intermedia de la base del AMPI	92,75	1,25	115,94
Particular 3	Cubierta superior del termómetro digital	8,86	1,25	11,08
Particular 4	Estructura de soporte para termómetro digital	20,48	1,25	25,60
Particular 5	Estructura de soporte para oxímetro digital	25,68	1,25	32,10
Particular 6	Cubierta frontal del AMPI	34,95	1,25	43,69
Particular 7	Soporte para la estructura del oxímetro digital, parte frontal de la base del AMPI	29,12	1,25	36,40
Particular 8	Cubierta inferior del AMPI	18,26	1,25	22,83
Particular 9	Cubierta posterior del AMPI	15,16	1,25	18,95
Particular 10	Brazo de desplazamiento	0,67	1,25	0,84
Particular 11	Corredera	0,47	1,25	0,59
TOTAL		301,17	1,25	376,46

Por ende, se requiere de un precio total para desarrollar el prototipo de: \$ 667.85

B. Manual

Manual de Construcción: Dispositivo AMPI



SEDE CUENCA

CAMPUS EL VECINO

MANUAL DEL AMPI

AUTORES

Christian Landi

Karla Llanos

Contenido

Introducción 3

Construcción del AMPI 4

1. Diseño Estructural del AMPI..... 4

 1.1 Generalidades..... 5

 1.2 Planos del Dispositivo..... 5

 1.1 Partes del AMPI..... 7

2. Procedimientos técnicos para el montaje 9

 2.1 Ensamblaje estructural 9

 2.2 Ensamblaje eléctrico 14

3. Funcionamiento..... 17

 3.1 Procedimientos técnicos para el uso del AMPI..... 17

Introducción

La ingeniería tiene como objetivo el crear soluciones que permitan mejorar la calidad de vida de toda la sociedad combatiendo problemas o carencias a los cuales las personas son vulnerables.

La pandemia del COVID-19 ha provocado que los sistemas de salud presenten dificultades a la hora de hacer frente a una demanda exponencial y fuera de control de pacientes. En este contexto, se ha desarrollado un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19 (AMPI). Este dispositivo incorpora sensores certificados clínicamente para la adquisición de señales fisiológicas, obtenidas de la mano del paciente para el posterior envío de información al personal clínico por medio de una plataforma digital (App). Se busca mejorar de esta forma la autonomía del paciente y a su vez reducir la exposición a contagio del COVID-19. El dispositivo realiza las mediciones de manera automática, sin requerir de otra persona para garantizar la correcta toma de datos, es de fácil uso y seguro para el paciente.

Construcción del AMPI

1. Diseño Estructural del AMPI

El dispositivo va dirigido a personas con casos sospechosos de COVID-19, para guiar el diagnóstico y el monitoreo. Uno de los objetivos del AMPI es que sea portátil por tanto es armable y liviano, en las figuras 1 y 2 se puede apreciar el ensamblaje y desensamblaje del dispositivo AMPI.

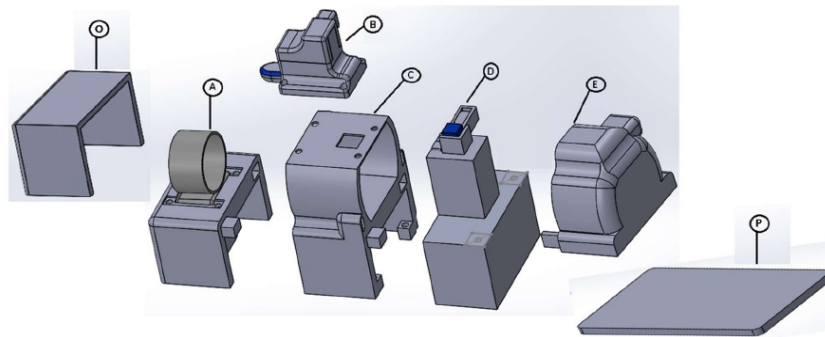


Figura 1. Desensamble

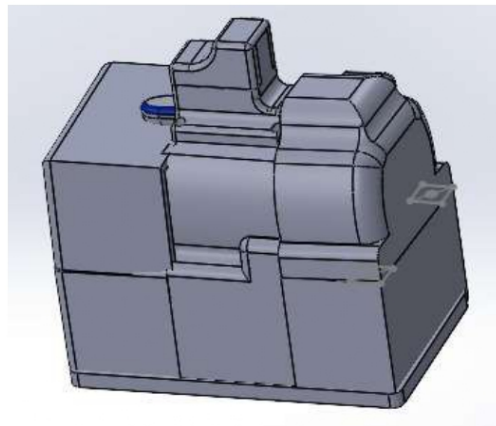


Figura 2. Ensamble

Las distintas partes estructurales del dispositivo presentes en la figura 1 se explican en la tabla 1.

Tabla 1. Partes del AMPI

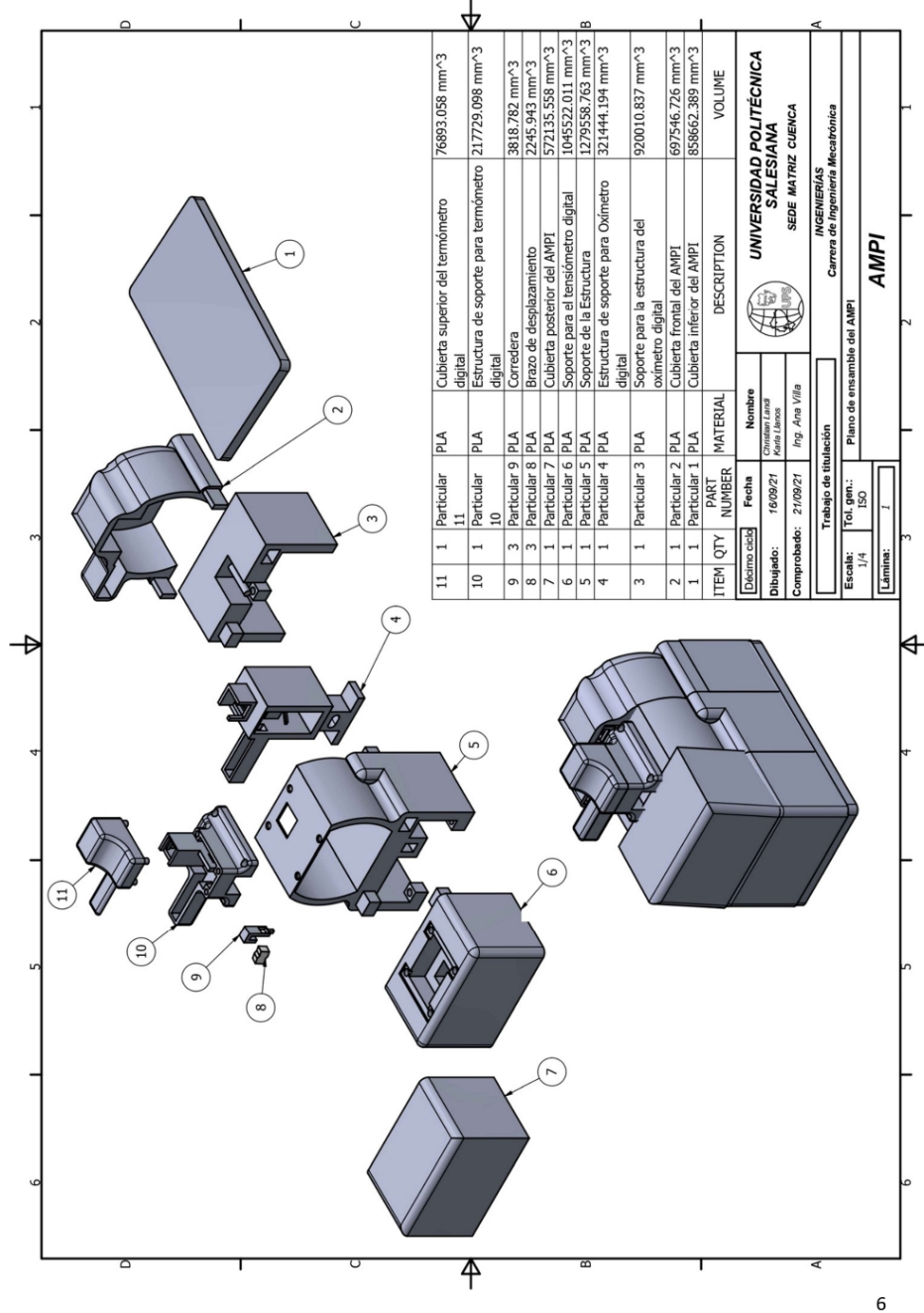
Partes	Nombre	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]
A	Soporte tensiómetro	180,00	110,00	103,00
B	Soporte termómetro	117,00	135,00	89,00
C	Soporte de la Estructura	180,00	214,00	110,00
D	Soporte oxímetro	332	113,00	115,00
E	Cubierta frontal del AMPI	145,00	210,00	125,00
O	Cubierta inferior del AMPI	315,00	182,00	10,00
P	Cubierta posterior del AMPI	180,00	113,00	113,00

1.1 Generalidades

El AMPI surge como parte de un esfuerzo para reducir la propagación del virus COVID-19 y mantener el distanciamiento físico. Su diseño posibilita el seguimiento, diagnóstico o monitoreo de pacientes a distancia por medio de intercambio digital de información clínica esencial (Telemedicina). Este método de atención permite que los pacientes sean atendidos a distancia y al mismo tiempo reduce la exposición a contagio del COVID-19 de pacientes y doctores.


1.2 Planos del Dispositivo

El dispositivo está compuesto por distintas partes correspondientes a la estructura mecánica. Por ende, a continuación, se presenta el plano de ensamble del AMPI:



ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION	VOLUME
11	1	Particular 11	PLA	Cubierta superior del termómetro digital	76893.058 mm ³
10	1	Particular 10	PLA	Estructura de soporte para termómetro digital	217729.098 mm ³
9	3	Particular 9	PLA	Corredera	3818.782 mm ³
8	3	Particular 8	PLA	Brazo de desplazamiento	2245.943 mm ³
7	1	Particular 7	PLA	Cubierta posterior del AMPI	572135.558 mm ³
6	1	Particular 6	PLA	Soporte para el tensiómetro digital	1045522.011 mm ³
5	1	Particular 5	PLA	Soporte de la Estructura	1279558.763 mm ³
4	1	Particular 4	PLA	Estructura de soporte para Oxímetro digital	321444.194 mm ³
3	1	Particular 3	PLA	Soporte para la estructura del oxímetro digital	920010.837 mm ³
2	1	Particular 2	PLA	Cubierta frontal del AMPI	697546.726 mm ³
1	1	Particular 1	PLA	Cubierta inferior del AMPI	858662.389 mm ³

ITEM	QTY	PART NUMBER	MATERIAL	DESCRIPTION	VOLUME									
<table border="1"> <tr> <td>Estado</td> <td>Fecha</td> <td>Nombre</td> </tr> <tr> <td>Dibujado:</td> <td>16/09/21</td> <td>Camacho</td> </tr> <tr> <td>Comprobado:</td> <td>21/09/21</td> <td>Ing. Ana Villa</td> </tr> </table>					Estado	Fecha	Nombre	Dibujado:	16/09/21	Camacho	Comprobado:	21/09/21	Ing. Ana Villa	
Estado	Fecha	Nombre												
Dibujado:	16/09/21	Camacho												
Comprobado:	21/09/21	Ing. Ana Villa												
<table border="1"> <tr> <td colspan="3">Trabajo de titulación</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Plano de ensamble del AMPI</td> </tr> </table>					Trabajo de titulación			Plano de ensamble del AMPI						
Trabajo de titulación														
Plano de ensamble del AMPI														
<table border="1"> <tr> <td>Escala:</td> <td>1/4</td> <td>ISO</td> </tr> <tr> <td>Lámina:</td> <td>1</td> <td></td> </tr> </table>					Escala:	1/4	ISO	Lámina:	1					
Escala:	1/4	ISO												
Lámina:	1													

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA	
INGENIERIAS Carrera de Ingeniería Mecatrónica	
AMPI	

Las dimensiones del AMPI según el plano de este son de 315 mm x 210 mm x 310 mm según su acabado final y posee un peso aproximado de 1.125Kg.

1.1 Partes del AMPI

El AMPI está compuesto por distintos elementos entre ellos: elementos electrónicos empleados para realizar la medición de las señales fisiológicas, partes estructurales o particulares, y placas electrónicas. Estas partes se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Elementos electrónicos

PARTE	ITEM	Nombre	Ancho [mm]	Largo [mm]	Alto [mm]	Imagen
Instrumentos de medición	V	Tensiómetro digital	100,00	110,00	110,00	
	W	Cámara USB	25,00	25,00	25,00	
	X	Actuador lineal	50,00	50,00	180,00	
	Y	Termómetro digital	160,00	82,00	42,00	
	Z	Oxímetro digital	52,00	36,00	33,00	
Placas electrónicas	P1	Placa de alimentación	47,00	67,30	25,00	
	P2	Placa de control	77,5	90,00	20,00	
	P3	RaspBerry Pi	56	85	30	

Estructura Mecánica	1	Soporte para tensiómetro	180,00	110,00	103,00	Ver en plano particular 6
	2	Corredera	14,50	42,07	17,00	Ver en plano particular 9
	3	Brazo de desplazamiento	14,00	19,80	11,80	Ver en plano particular 8
	4	Estructura de soporte para termómetro digital	107,00	135,00	89,00	Ver en plano particular 10
	5	Cubierta superior del termómetro digital	77,17	120,00	47,00	Ver en plano particular 11
	6	Estructura de soporte para oxímetro digital	152,50	72,50	176,00	Ver en plano particular 4
	7	Soporte para la estructura del oxímetro digital	180,00	113,00	115,00	Ver en plano particular 3
	C	Soporte de la Estructura	180,00	214,00	110,00	Ver en plano particular 5
	E	Cubierta frontal del AMPI	145,00	210,00	125,00	Ver en plano particular 2
	O	Cubierta inferior del AMPI	315,00	182,00	10,00	Ver en plano particular 1
	P	Cubierta posterior del AMPI	180,00	113,00	113,00	Ver en plano particular 7

Cabe mencionar que el particular 8 concierne a un resorte V 16-044 correspondiente a un resorte de carga leve de la Serie V del catálogo de ITAN.

2. Procedimientos técnicos para el montaje

2.1 Ensamblaje estructural

El ensamble se realiza siguiendo una serie de pasos que se muestran a continuación. Cabe recalcar que cada pieza encaja a presión, por lo que no se requiere de herramientas ni pegamentos.

❖ Paso 1

Introducir el tensiómetro digital en el espacio del soporte para el tensiómetro como se muestra en la figura 3.

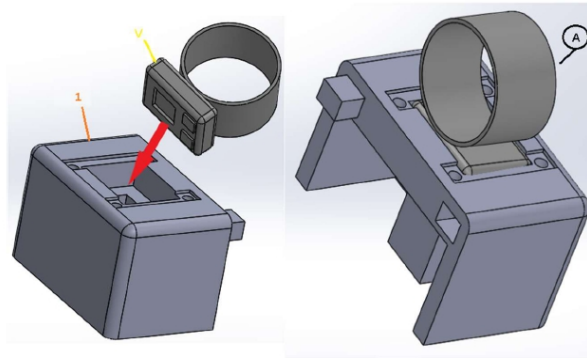


Figura 3

❖ Paso 2

Introducir la cámara USB en el espacio ubicado en la parte inferior del soporte para el tensiómetro como se muestra en la figura 4.

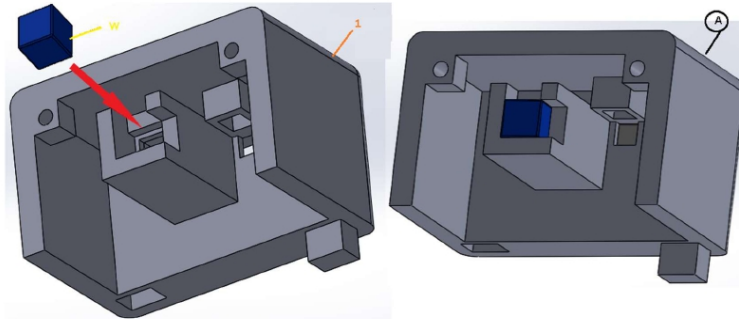


Figura 44

❖ **Paso 3**

Para armar el sistema de corredera se debe unir el brazo de desplazamiento con el actuador lineal y luego deslizar la corredera por el brazo de desplazamiento como se muestra en la figura 5.

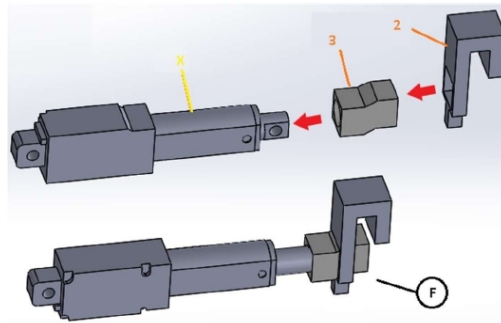


Figura 55

❖ **Paso 4**

Introducir la cámara USB y el sistema de corredera armado en el punto anterior en el espacio ubicado en la parte superior de la estructura de soporte para termómetro digital como se muestra en la figura 6.

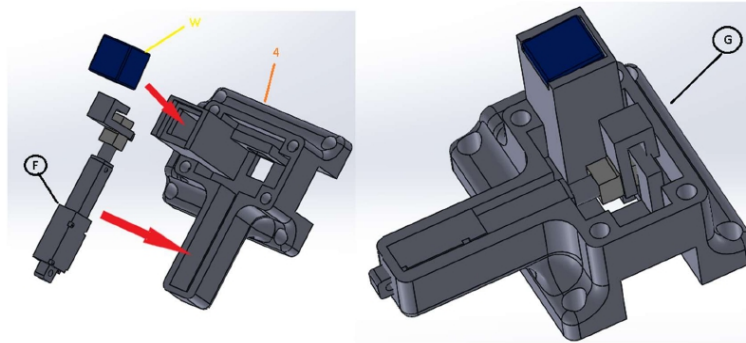


Figura 6

❖ **Paso 5**

Introducir el termómetro digital en el espacio ubicado en la parte inferior de la estructura de soporte para termómetro digital como se muestra en la figura 7.

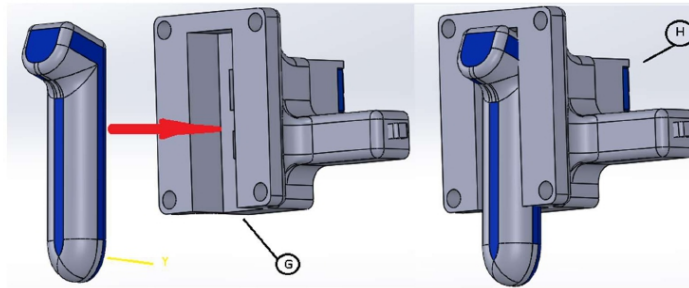


Figura 76

❖ Paso 6

Introducir la cubierta superior del termómetro digital en el espacio ubicado en la parte superior de la estructura de soporte para termómetro digital como se muestra en la figura 8.

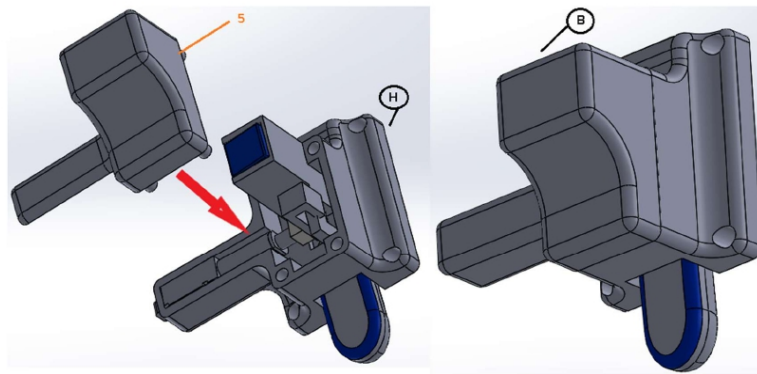


Figura 8

❖ Paso 7

Introducir la cámara USB y el sistema de corredera en el espacio ubicado en la parte superior de la estructura de soporte para oxímetro digital e introducir el oxímetro digital en la parte interior de la estructura de soporte para oxímetro digital como se muestra en la figura 9.

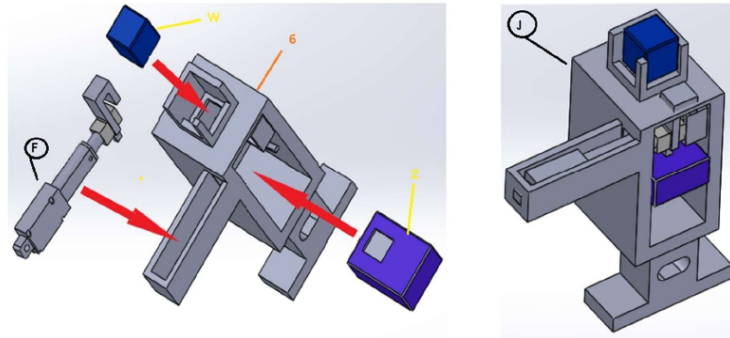


Figura 7

❖ Paso 8

Introducir el resorte helicoidal en el espacio del soporte para la estructura del oxímetro digital, luego encajar la parte armada en el paso 7 en el mismo espacio como se muestra en la figura 11.

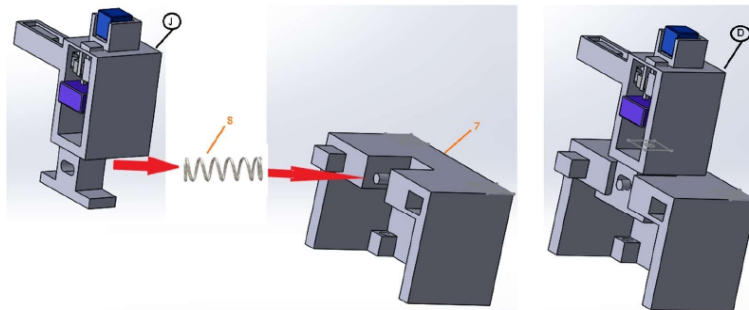


Figura 81

❖ Paso 9

Para el ensamblaje del AMPI se procede a unir cada parte armada en los pasos anteriores al soporte de la estructura como se muestra en la figura 12.

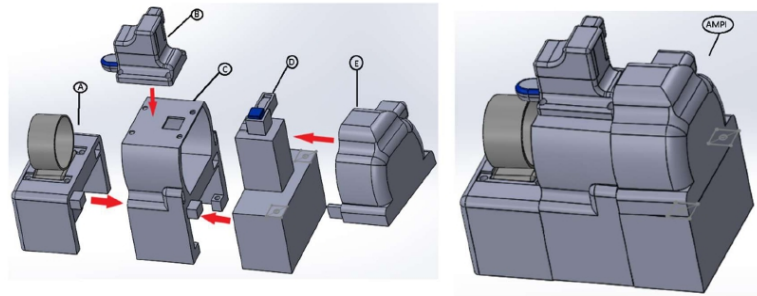


Figura 92

❖ **Paso 10**

Como paso final se requiere introducir el sistema corredero en la parte inferior a la estructura armada del AMPI como se muestra en la figura 13.

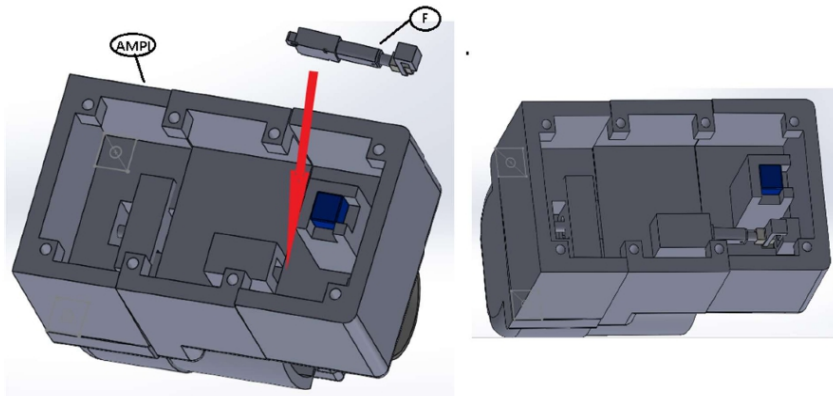


Figura 103

❖ **Paso 11**

Tras haber realizado todas las conexiones eléctricas se procede a colocar la cubierta inferior del AMPI como se muestra en la figura 14.

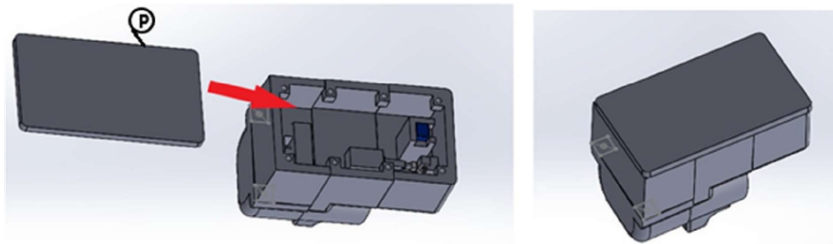


Figura 114

❖ Paso 12

Por seguridad, tras realizar una medición se debe colocar la cubierta Posterior del AMPI como se muestra en la figura 15 para proceder con la esterilización de este.

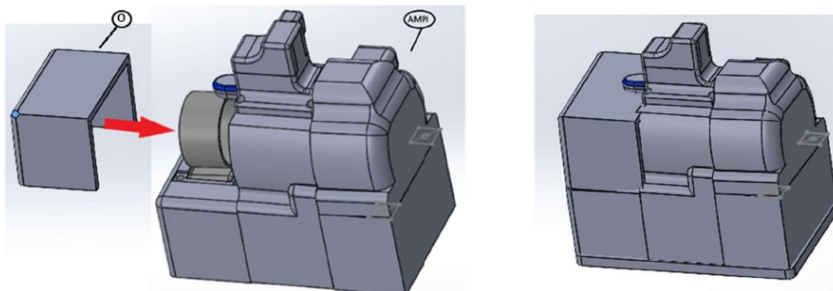


Figura 125

2.2 Ensamblaje eléctrico

Cada dispositivo cuenta con alimentación por lo que a continuación se muestran los pasos a seguir para realizar su correcta instalación.

❖ Paso 1

Conectar los instrumentos de medición (Oxímetro digital, Tensiómetro digital y Termómetro digital) al circuito de alimentación con un cable USB para alimentar el dispositivo como se explica en la figura 16.

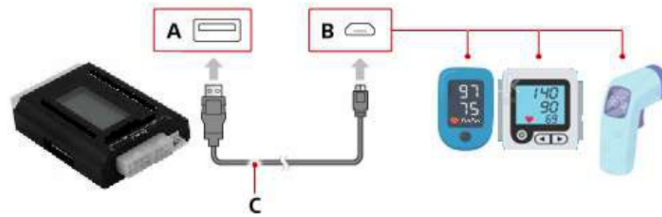


Figura 136

- A) Puerto USB (Placa de alimentación)
- B) Puerto USB (Instrumentos de medición)
- C) Cable USB

❖ Paso 2

Conectar las cámaras USB al RaspBerry Pi con un cable USB para alimentar el dispositivo y permitir la captura de imágenes, como se muestra en la figura 17.

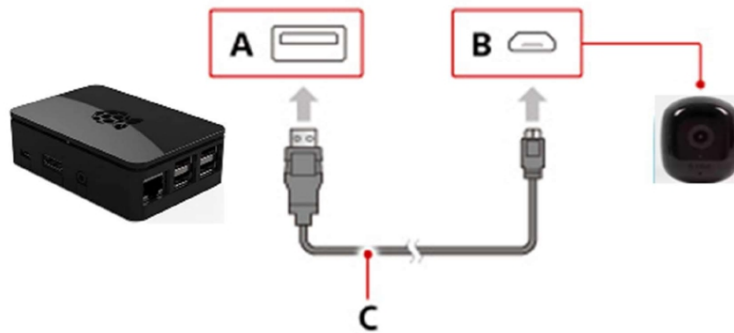


Figura 147

- A) Puerto USB (RaspBerry Pi)
- B) Puerto USB (Cámara USB)
- C) Cable USB

❖ **Paso 3**

Unir la placa de control con la placa de alimentación por medio de un conector ATX de 2 pines para alimentar la placa de control, como se muestra en la figura 18.

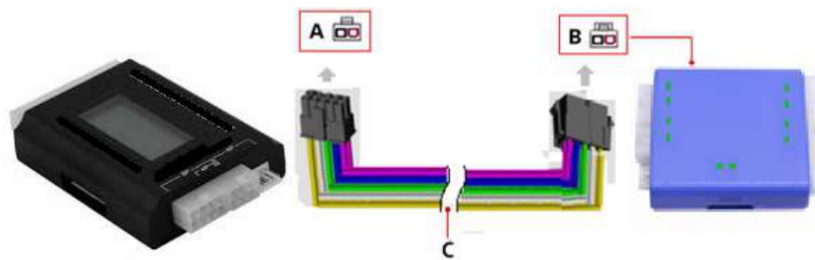


Figura 158

A) Conector Hembra ATX (Placa de Alimentación)

B) Conector Macho ATX (Placa de Control)

C) Cable conector ATX 2 pines

❖ **Paso 4**

Unir la placa de alimentación por medio de un conector ATX de 12 pines con el conector hembra ATX de 12 pines que se encuentra en la parte inferior del soporte de la estructura, para alimentar y controlar los distintos elementos conectados (actuadores lineales, sensores, luz UV-C, alarma), como se muestra en la figura 19.

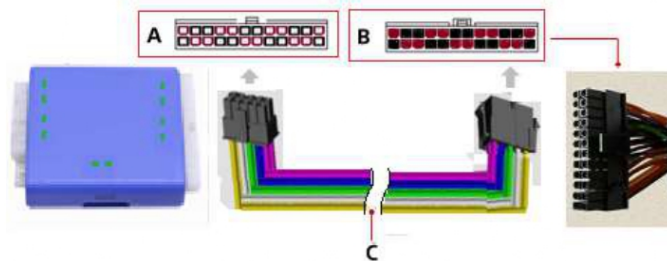


Figura 169

A) Conector Macho ATX (Conector macho ATX del soporte)

B) Conector Hembra ATX (Placa de Control)

C) Cable conector ATX 12 pines

NOTA: La construcción del dispositivo AMPI se la puede apreciar en el video:
<https://www.youtube.com/watch?v=OVxWvvHaTB0&t=2s>

3. Funcionamiento

3.1 Procedimientos técnicos para el uso del AMPI

Luego de realizar el ensamble del dispositivo AMPI, se procede a obtener las mediciones correspondientes; para ello se requiere seguir una serie de pasos que se muestran a continuación.

❖ **Paso 1**

Descargarse la App “My AMPI” en un celular que tenga acceso a internet de la plataforma Play Store como se muestra en la figura 20.

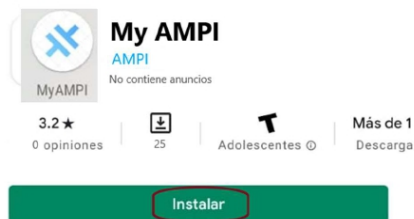


Figura 20

❖ **Paso 2**

Si aún no tiene cuenta seleccionar la opción que se muestra en la figura 21. Caso contrario ir al paso 4.

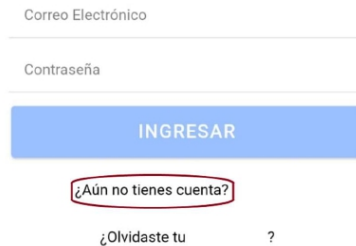
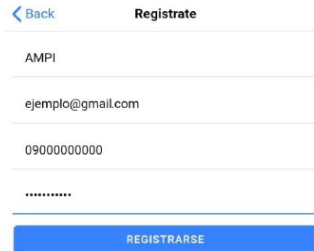


Figura 21

❖ **Paso 3**

Llenar los datos con información personal como se muestra en el ejemplo de la figura 22. Luego se debe revisar el correo electrónico para verificar y confirmar la cuenta.



The screenshot shows a registration screen with a blue header containing a back arrow and the word "Registrate". Below the header are four input fields: the first contains "AMPI", the second contains "ejemplo@gmail.com", the third contains "09000000000", and the fourth contains a series of dots representing a password. At the bottom of the form is a blue button labeled "REGISTRARSE".

Figura 22

❖ **Paso 4**

Ingresar con su usuario y contraseña a la aplicación, y presionar en la opción se señala en la figura 23.



The screenshot shows the home screen of the AMPI app. At the top is a blue header with a hamburger menu icon and the text "AMPI APP". Below the header is a white card with a yellow smartphone icon and the text "¡Hola!". Underneath is the text "Código de Usuario" followed by the alphanumeric string "NSfPw2BpFBMeJYnyGfK1aUs6ug2". There are three menu items, each with an icon, a label, and a blue button with "IR" and a right arrow: "Historial de Mediciones", "Gráficos", and "Cuadro Médico". At the bottom is another white card titled "Iniciar Sincronización" with the text "Asegúrese que el AMPI se encuentre encendido." and a large blue button labeled "SINCRONIZAR AMPI" with a circular arrow icon. Below this button is the text "El proceso de sincronización funciona mejor si el AMPI no se encuentra muy lejos del teléfono."

Figura 23

❖ **Paso 5**

Introducir la mano izquierda con la palma hacia abajo y cerrar la cinta del como se muestra en el ejemplo de la figura 24.

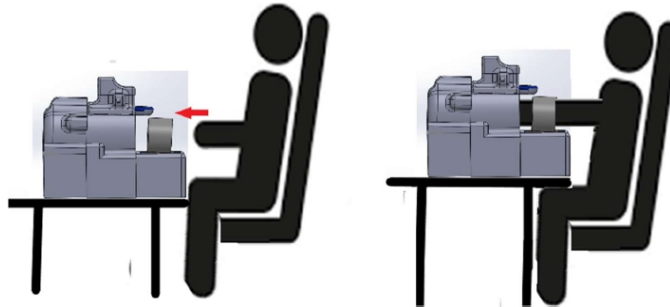


Figura 24

❖ **Paso 6**

Para poder realizar una medición se debe seleccionar la opción de iniciar la como se muestra en la figura 25. Cuando la medición inicie se encenderá una alarma visual.



Figura 25

❖ **Paso 7**

Cuando la alarma visual se apague se procede a retirar la mano del dispositivo y a presionar la opción “Aceptar” como se muestra en la figura 26.

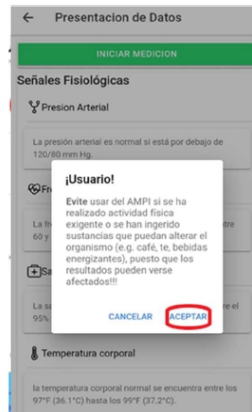


Figura 26

❖ **Paso 8**

Después de cada medición se coloca la cubierta posterior del AMPI para realizar su esterilización como se muestra en la figura 15. Después de este proceso el AMPI estará listo para realizar una nueva medición.

Nota: Si se desea revisar el historial de las mediciones realizadas de cada usuario. Se debe seleccionar la opción “ir” en el espacio de “Historial de Mediciones” y se pueden apreciar las mediciones, la fecha y hora en las que se las ha realizado como se explica en la figura 27.

Manual de Construcción: Dispositivo AMPI

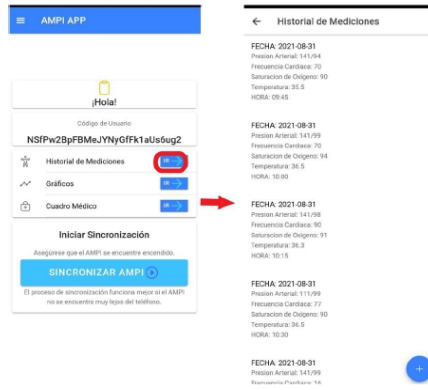


Figura 27

C. Consentimiento informado para realización de pruebas



Consentimiento informado para realización de prueba de usabilidad SUS y PSSUQ

Encuestadores: Christian Damian Landi Sisalima y Karla Magaly Llanos Quilli.

Nombre de la Organización: Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB).

Nombre de la Propuesta: Evaluación de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19 (AMPI).

Este Documento de Consentimiento Informado tiene dos partes:

- Información (proporciona información sobre el estudio)
- Formulario de Consentimiento (para firmar si está de acuerdo en participar) Se le dará una copia del Documento completo de Consentimiento Informado

PARTE I: Información

Somos Christian Damian Landi Sisalima y Karla Magaly Llanos Quilli, colaboramos con el grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la Universidad Politécnica Salesiana. Nos encontramos realizando nuestro trabajo de titulación para la obtención del título de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, enfocado en diseñar y construir un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19. Le vamos a brindar información e invitarle a participar de esta evaluación de prototipo. Antes de decidirse, puede hablar con alguien que se sienta cómodo sobre la investigación. Puede que existan algunas palabras que no entienda. Por favor, puede detenernos mientras le informamos para darnos tiempo a explicarle. Si tiene preguntas más tarde, puede preguntar a cualquier miembro del equipo.

Propósito

El dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19 (AMPI), surge como parte de un esfuerzo para aportar a los protocolos que buscan reducir la propagación del virus COVID-19 y mantener el distanciamiento físico. Su diseño posibilita el seguimiento, diagnóstico o tratamiento de pacientes a distancia por medio de intercambio digital de información clínica esencial (Telemedicina). Este método de atención permite que los pacientes sean atendidos a distancia y al mismo tiempo reduce la exposición a contagio del COVID-19 de pacientes y personal clínico.

La importancia del AMPI radica en brindar una alternativa para la transmisión y administración de señales fisiológicas obtenidas de instrumentos certificados como: oxímetro digital, tensiómetro digital de muñeca y termómetro digital; por medio de una App que asegure que la información será compartida con el personal clínico de forma segura, de tal manera que el personal médico pueda evaluar los datos de la sintomatología de la persona y brindar un diagnóstico.

Participación Voluntaria

Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no hacerlo. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aun cuando haya aceptado antes.

Procedimientos y Protocolo

A. Descripción del Proceso

El presente estudio incluye dos pruebas prácticas en la cuales se le pedirá que interactúe y realice todo el procedimiento de toma y envío de señales fisiológicas con la aplicación móvil y el dispositivo AMPI. Este proceso se repetirá 5 veces seguidas con un descanso de 2 minutos y medio. Después, en base a los protocolos de medición, se procede a realizar las pruebas particulares con un tensiómetro de muñeca digital, un oxímetro y un termómetro digitales; este proceso también se repite 5 veces seguidas con descansos de 2 minutos para su descanso y tranquilidad. Durante todo este tiempo, los observadores tomarán nota de la interacción, en particular de los errores y dificultades que usted encuentre.

Una vez finalizado las pruebas prácticas, se procede a la entrega de dos cuestionarios: SUS y PSSUQ, mismos que permiten recopilar información sobre el prototipo y la aplicación que se está evaluando.

Duración

La toma de datos de este estudio durará 4 días. Durante ese tiempo, su presencia será requerida por 1 día, por únicamente 2 horas.

Efectos Secundarios y Riesgos

Al tratarse de la evaluación de un dispositivo médico no invasivo, no existen efectos secundarios ni riesgos potenciales.

Molestias

Al participar en esta evaluación es posible que experimente molestias como el que tomemos varias veces la presión sanguínea, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y temperatura corporal.

Confidencialidad

Nosotros no compartiremos la identidad de aquellos que participen en el estudio, sin embargo, tanto los resultados y la información que se recoja será publicada en la base de datos de la Universidad Politécnica Salesiana. Cualquier información acerca de usted tendrá un número en vez de su nombre.

Derecho a negarse o retirarse

Usted no tiene porqué tomar parte en esta investigación si no desea hacerlo. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que quiera. Es su elección y todos sus derechos serán respetados.

PARTE II: Formulario de Consentimiento

Yo _____,
declaro que he sido informado e invitado a participar en una investigación denominada
“EVALUACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA AUTOMATIZAR LA MEDICIÓN DE SEÑALES
FISIOLÓGICAS APLICADAS EN PROTOCOLOS DE TELEMEDICINA PARA ASISTIR EL
DIAGNÓSTICO Y MONITOREO DE COVID-19 (AMPI)”, éste es un proyecto de investigación
científica que cuenta con el respaldo del Grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) de la
Universidad Politécnica Salesiana. Entiendo que este estudio busca conocer la capacidad que tiene la
aplicación del dispositivo AMPI de cumplir el propósito para el cual fue diseñado, además de
observar cómo las personas utilizan dicha aplicación de la manera más realista posible, para así poder
detectar los problemas potenciales y la percepción subjetiva de los usuarios y sé que mi participación
se llevará a cabo en _____,
en el horario _____ y consistirá en responder dos encuestas. Me han explicado
que la información registrada no será confidencial, pero que mi información personal sí.

Estoy en conocimiento que los datos no me serán entregados y que no habrá retribución por la participación en este estudio, sí que esta información podrá beneficiar de manera indirecta y por lo tanto tiene un beneficio para la sociedad dada la investigación que se está llevando a cabo. Asimismo, sé que puedo negar la participación o retirarme en cualquier etapa de la investigación, sin expresión de causa ni consecuencias negativas para mí.

He leído la información proporcionada o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y he recibido una copia del presente documento.

Nombre del Participante _____

Firma del Participante _____

Fecha _____ (Día/mes/año)

D. Sistema de escalas de usabilidad (SUS)

Sistema de Escalas de Usabilidad (SUS)

Prototipo de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19 (AMPI)

Fecha de la evaluación _____

Edad _____

Género _____

Observadores _____

El objetivo de esta encuesta es evaluar su satisfacción con el dispositivo AMPI.

El cuestionario SUS (Escala de Usabilidad de Sistemas) está conformado por una serie de 10 preguntas. Para cada pregunta, marque su nivel de satisfacción (que tan complacido está con el prototipo) usando la siguiente escala de 1 a 5

1	2	3	4	5
Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

- Marque por favor con un círculo sobre el número que describe mejor su grado de satisfacción, en cada una de las 10 preguntas.
- No deje preguntas sin responder.
- En cada pregunta con la cual usted declara que no está muy satisfecho, por favor escríbalo en la sección comentarios.

Gracias por su colaboración

1. Creo que usaría este dispositivo frecuentemente Comentarios:	1	2	3	4	5
2. Encuentro este dispositivo innecesariamente complejo Comentarios:	1	2	3	4	5
3. Creo que el dispositivo fue fácil de usar Comentarios:	1	2	3	4	5

<p>4. Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar este dispositivo</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5</p>
<p>5. Las funciones de este dispositivo están bien integradas</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5</p>
<p>6. Creo que el dispositivo es muy inconsistente</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5</p>
<p>7. Imagino que la mayoría de la gente aprendería a usar este dispositivo en forma muy rápida</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5</p>
<p>8. Encuentro que el dispositivo es muy difícil de usar</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5</p>
<p>9. Me siento confiado al usar este dispositivo</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5</p>
<p>10. Necesité aprender muchas cosas antes de ser capaz de usar este dispositivo</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5</p>

SECCION DE PUNTAJE

Esta SECCIÓN es para el puntaje de sus respuestas
NO ESCRIBA EN ELLA

	Puntaje total

E. Cuestionario de usabilidad del sistema posterior al estudio (PSSUQ)

Cuestionario de usabilidad del sistema posterior al estudio (PSSUQ)

Prototipo de un dispositivo para automatizar la medición de señales fisiológicas aplicadas en protocolos de telemedicina para asistir el diagnóstico y monitoreo de COVID-19 (AMPI)

Fecha de la evaluación _____

Edad _____

Género _____

Observadores _____

El objetivo de esta encuesta es evaluar su satisfacción con la aplicación del dispositivo AMPI.

El cuestionario PSSUQ (Cuestionario de usabilidad del sistema posterior al estudio) está conformado por una serie de 16 preguntas. Para cada pregunta, marque su nivel de satisfacción (que tan complacido está con la aplicación) usando la siguiente escala de 1 a 7

1	2	3	4	5	6	7
Totalmente de acuerdo	De acuerdo	No tan de acuerdo	Neutro	No tan en desacuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo

- Marque por favor con un círculo sobre el número que describe mejor su grado de satisfacción, en cada una de las 16 preguntas.
- No deje preguntas sin responder.
- En cada pregunta con la cual usted declara que no está muy satisfecho, por favor escríbalo en la sección comentarios.

Gracias por su colaboración

1. En general, estoy satisfecho con lo fácil que es utilizar esta aplicación. Comentarios:	1	2	3	4	5	6	7
2. Fue simple usar esta aplicación. Comentarios:	1	2	3	4	5	6	7
3. Pude completar las tareas y escenarios rápidamente usando este sistema esta aplicación. Comentarios:	1	2	3	4	5	6	7

<p>4. Me sentí cómodo utilizando este esta aplicación.</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>
<p>5. Fue fácil aprender a utilizar esta aplicación.</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>
<p>6. Creo que me volví experto rápidamente utilizando esta aplicación.</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>
<p>7. La aplicación muestra mensajes de error que me dicen claramente cómo resolver los problemas.</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>
<p>8. Cada vez que cometo un error utilizando la aplicación, lo resuelvo fácil y rápidamente</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>
<p>9. La información (como ayuda en línea, mensajes en pantalla y otra documentación) que provee esta aplicación es clara.</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>
<p>10. Es fácil encontrar en la aplicación la información que necesitaba.</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>
<p>11. La información que proporciona la aplicación fue efectiva ayudándome a completar las tareas.</p> <p>Comentarios:</p>	<p>1 2 3 4 5 6 7</p>

12. La organización de la información de la aplicación en la pantalla fue clara. Comentarios:	1 2 3 4 5 6 7
13. La interfaz de la aplicación fue agradable. Comentarios:	1 2 3 4 5 6 7
14. Me gustó utilizar la aplicación Comentarios:	1 2 3 4 5 6 7
15. La aplicación tuvo todas las herramientas que esperaba que tuviera. Comentarios:	1 2 3 4 5 6 7
16. En general, estuve satisfecho con la aplicación. Comentarios:	1 2 3 4 5 6 7

SECCION DE PUNTAJE

Esta SECCIÓN es para el puntaje de sus respuestas
NO ESCRIBA EN ELLA

Usando la herramienta “PSSUQ Calculator” disponible en: <https://uiuxtrend.com/pssuq-calculator/>

Puntaje general de PSSUQ	
Utilidad del sistema (SYSUSE)	
Calidad de la información (INFOQUAL)	
Calidad de la interfaz (INTERQUAL)	

F. Registro de mediciones

EVALUACIÓN DE MEDICIÓN TENSÍOMETRO DIGITAL																
Usuario	Genero	Edad	Valor AMPI [mmHg/Kpa]		Valor Promedio AMPI		Tiempo de medición [min]	Valor Tensiómetro [mmHg/Kpa]		Valor Promedio Particular		Tiempo de medición [min]	Porcentaje de error			
			Sístole	Diástole	Sístole	Diástole		Sístole	Diástole	Sístole	Diástole		Sístole	Diástole		
U1	Masculino	23	141,00	94,00	141,00	97,20	1,10	130,00	94,00	137,20	91,80	2,00	5,56%	2,70%		
			141,00	99,00				140,00	90,00						2,50	
			141,00	95,00				135,00	90,00						2,00	
			141,00	99,00				140,00	90,00						2,10	
			141,00	99,00				141,00	95,00						2,20	
			145,00	99,00				130,00	90,00						2,30	
U2	Femenino	45	145,00	99,00	145,00	99,00	1,10	140,00	91,00	137,00	94,00	2,40	5,05%	5,52%		
			145,00	99,00				140,00	99,00						2,20	
			145,00	99,00				145,00	91,00						2,30	
			145,00	99,00				130,00	99,00						2,30	
			153,00	99,00				153,00	103,00						2,10	
			153,00	99,00				155,00	99,00						2,20	
U3	Femenino	27	153,00	99,00	153,00	99,00	1,10	165,00	98,00	157,80	99,80	2,00	0,81%	3,14%		
			153,00	99,00				165,00	98,00						2,00	
			153,00	99,00				153,00	100,00						2,40	
			153,00	99,00				163,00	99,00						2,20	
			141,00	95,00				110	114,00						95,00	3,00
			141,00	95,00				110	155,00						95,00	3,10
U4	Masculino	72	142,00	141,00	141,20	104,00	1,10	142,00	141,00	138,40	103,60	3,30	0,38%	1,98%		
			141,00	95,00				141,00	93,00						3,60	
			141,00	94,00				140,00	94,00						3,50	
			134,00	99,00				110	134,00						99,00	3,30
			132,00	93,00				110	130,00						80,00	3,00
			132,00	99,00				110	132,00						99,00	3,50
U5	Femenino	70	134,00	99,00	132,80	96,60	1,10	120,00	75,00	129,60	89,60	3,20	7,25%	2,41%		
			132,00	99,00				132,00	95,00						3,40	
			134,00	99,00				110	103,00						76,00	2,50
			132,00	93,00				110	140,00						71,00	2,20
			106,00	76,00				110	101,00						75,00	2,20
			106,00	76,00				110	106,00						74,00	2,60
U6	Masculino	41	106,00	76,00	105,20	74,00	1,10	110,00	76,00	112,00	74,40	2,30	0,54%	6,46%		
			106,00	76,00				110,00	101,00						2,00	
			106,00	76,00				110	140,00						101,00	2,20
			145,00	101,00				110	135,00						101,00	2,20
			145,00	101,00				110	130,00						141,00	2,20
			146,00	93,00				110	146,00						93,00	2,40
U7	Femenino	29	146,00	93,00	144,60	107,40	1,10	145,00	101,00	139,20	107,40	2,10	0,00%	3,73%		
			145,00	101,00				110	124,00						76,00	2,10
			124,00	76,00				110	129,00						78,00	2,00
			121,00	78,00				110	127,00						72,00	1,80
			127,00	72,00				110	124,00						73,00	2,00
			121,00	78,00				110	121,00						78,00	2,10
U8	Masculino	26	121,00	78,00	122,80	76,40	1,10	165,00	101,00	125,00	75,40	2,30	1,31%	1,79%		
			121,00	78,00				110	168,00						99,00	2,20
			165,00	99,00				110	165,00						99,00	2,20
			168,00	99,00				110	155,00						80,00	2,00
			165,00	99,00				110	165,00						99,00	1,90
			110,00	84,00				110	140,00						76,00	2,10
U9	Masculino	23	110,00	84,00	165,60	99,00	1,10	101,00	84,00	163,20	95,60	2,50	3,43%	1,45%		
			110,00	84,00				110	110,00						84,00	2,30
			106,00	76,00				110	140,00						76,00	2,40
			110,00	84,00				110	110,00						84,00	2,30
			181,00	97,00				110	165,00						97,00	2,00
			181,00	97,00				110	184,00						97,00	2,20
U10	Masculino	48	181,00	97,00	181,40	97,40	1,10	181,00	91,00	176,60	96,20	2,20	1,23%	2,65%		
			181,00	97,00				110	181,00						91,00	2,20
			183,00	99,00				110	183,00						99,00	2,30
			181,00	97,00				110	170,00						97,00	2,30
			150,00	99,00				110	130,00						80,00	2,20
			150,00	99,00				110	142,00						103,00	2,10
U11	Femenino	28	150,00	99,00	150,00	99,00	1,10	145,00	99,00	136,40	92,00	2,30	7,07%	9,07%		
			150,00	99,00				110	130,00						88,00	2,50
			150,00	99,00				110	130,00						88,00	2,50
			150,00	99,00				110	135,00						90,00	2,10
			127,00	72,00				110	120,00						71,00	2,30
			127,00	72,00				110	121,00						75,00	2,30
U12	Femenino	32	127,00	72,00	125,80	73,20	1,10	121,00	72,00	121,20	73,40	2,00	0,27%	3,66%		
			121,00	78,00				110	121,00						72,00	2,00
			127,00	72,00				110	125,00						74,00	2,40
			127,00	72,00				110	119,00						75,00	2,10
			165,00	99,00				110	150,00						80,00	2,10
			168,00	99,00				110	168,00						88,00	2,20
U13	Femenino	30	161,00	99,00	166,00	99,00	1,10	165,00	91,00	162,40	90,60	2,50	8,48%	2,17%		
			161,00	99,00				110	165,00						91,00	2,50
			168,00	99,00				110	161,00						99,00	2,60
			168,00	99,00				110	168,00						95,00	2,40
			137,00	99,00				110	130,00						98,00	2,50
			137,00	99,00				110	135,00						93,00	2,60
U14	Femenino	68	137,00	99,00	137,00	99,00	1,10	137,00	95,00	132,60	96,80	2,50	2,22%	3,21%		
			137,00	99,00				110	137,00						95,00	2,50
			137,00	99,00				110	131,00						99,00	2,30
			137,00	99,00				110	130,00						99,00	2,60
			146,00	93,00				110	140,00						93,00	2,30
			145,00	101,00				110	145,00						95,00	2,30
U15	Femenino	44	146,00	93,00	145,80	94,60	1,10	135,00	88,00	142,40	92,00	2,30	2,75%	2,33%		
			146,00	93,00				110	146,00						91,00	2,40
			146,00	93,00				110	146,00						91,00	2,40
			146,00	93,00				110	146,00						93,00	2,10
			146,00	93,00				110	146,00						93,00	2,10
			146,00	93,00				110	146,00						93,00	2,10
TIEMPO PROMEDIO							1,10					2,38				
ERROR EN MEDICIÓN													3,02%	3,90%		

EVALUACIÓN DE MEDICIÓN TERMOMETRO DIGITAL									
Usuario	Genero	Edad	Valor AMPI [°C]	Valor Promedio	Tiempo de medición [s]	Valor Termómetro [°C]	Valor Promedio	Tiempo de medición [s]	Porcentaje de error
U1	Masculino	23	36,50	36,42	0,50	37,00	36,94	4,00	1,43%
			36,50		0,50	37,20		3,50	
			36,30		0,50	36,90		3,80	
			36,50		0,50	36,50		4,10	
			36,30		0,50	37,10		3,80	
U2	Femenino	45	36,50	36,68	0,50	37,20	37,18	3,60	1,36%
			36,80		0,50	37,00		3,70	
			36,80		0,50	36,80		3,70	
			36,50		0,50	37,50		3,80	
			36,80		0,50	37,40		4,00	
U3	Femenino	27	36,00	36,18	0,50	37,00	37,20	3,60	2,82%
			36,50		0,50	37,20		3,80	
			36,00		0,50	37,50		3,90	
			36,40		0,50	37,10		4,00	
			36,00		0,50	37,20		3,60	
U4	Masculino	72	32,80	32,44	0,50	33,40	33,44	3,80	3,08%
			32,00		0,50	33,10		3,90	
			32,20		0,50	34,00		3,70	
			32,90		0,50	33,20		3,80	
			32,30		0,50	33,50		3,70	
U5	Femenino	70	35,30	35,54	0,50	36,10	36,46	3,50	2,59%
			35,90		0,50	36,00		3,60	
			35,50		0,50	36,40		3,80	
			35,10		0,50	37,00		3,40	
			35,90		0,50	36,80		3,60	
U6	Masculino	41	36,20	36,36	0,50	37,10	37,02	3,80	1,82%
			36,10		0,50	37,30		3,90	
			36,60		0,50	37,00		3,50	
			36,60		0,50	36,80		3,40	
			36,30		0,50	36,90		3,80	
U7	Femenino	29	33,20	33,12	0,50	34,80	34,50	3,90	4,17%
			33,30		0,50	34,50		3,80	
			33,90		0,50	34,70		3,70	
			33,00		0,50	34,20		3,50	
			32,20		0,50	34,30		3,90	
U8	Masculino	26	31,10	31,36	0,50	33,10	33,12	3,40	5,61%
			31,90		0,50	33,50		3,70	
			31,20		0,50	33,20		3,50	
			31,10		0,50	33,00		3,60	
			31,50		0,50	32,80		3,90	
U9	Masculino	23	36,20	36,16	0,50	37,50	37,10	3,80	2,60%
			35,20		0,50	37,10		3,70	
			36,60		0,50	36,80		3,40	
			36,50		0,50	36,90		3,80	
			36,30		0,50	37,20		3,60	
U10	Masculino	48	35,50	35,38	0,50	36,10	35,68	3,90	0,85%
			35,90		0,50	35,90		3,80	
			35,30		0,50	35,40		3,70	
			35,00		0,50	35,80		3,80	
			35,20		0,50	35,20		3,90	
U11	Masculino	15	36,20	36,28	0,50	37,10	37,16	3,80	2,43%
			36,40		0,50	37,40		3,40	
			36,20		0,50	37,00		3,60	
			36,00		0,50	37,10		3,80	
			36,60		0,50	37,20		3,70	
U12	Femenino	28	31,60	31,36	0,50	33,40	33,12	3,60	5,61%
			31,50		0,50	33,10		3,70	
			31,30		0,50	33,00		3,40	
			31,10		0,50	33,20		3,50	
			31,30		0,50	32,90		3,50	
U13	Femenino	32	36,20	35,92	0,50	37,00	36,92	3,40	2,78%
			36,30		0,50	37,10		3,60	
			35,50		0,50	36,50		3,50	
			35,30		0,50	36,90		3,40	
			36,30		0,50	37,10		3,50	
U14	Femenino	30	30,00	30,26	0,50	32,10	32,46	3,90	7,27%
			30,20		0,50	32,30		3,80	
			30,50		0,50	32,50		3,70	
			30,10		0,50	33,40		3,70	
			30,50		0,50	32,00		3,50	
U15	Femenino	68	31,50	31,38	0,50	33,80	33,58	3,50	7,01%
			31,30		0,50	33,10		3,80	
			31,10		0,50	32,70		3,90	
			31,50		0,50	34,80		3,80	
			31,50		0,50	33,50		3,40	
U16	Femenino	44	33,10	33,36	0,50	35,00	35,92	3,40	7,67%
			33,30		0,50	36,40		4,00	
			33,60		0,50	35,70		3,50	
			33,60		0,50	36,70		3,60	
			33,20		0,50	35,80		3,80	
TIEMPO PROMEDIO					0,50			3,69	
ERROR EN MEDICIÓN									3,69%

EVALUACIÓN DE MEDICIÓN OXÍMETRO DIGITAL														
Usuario	Genero	Edad	Saturación de Oxígeno en Sangre [%SpO2]		Frecuencia Cardíaca [bpm]		Tiempo de medición [s]	Saturación de Oxígeno en Sangre [%SpO2]		Frecuencia Cardíaca [bpm]		Tiempo de medición [s]	Saturación de oxígeno	Frecuencia Cardíaca
			Valor AMPI	Valor Promedio	Valor AMPI	Valor Promedio		Valor Oxímetro	Valor Promedio	Valor Oxímetro	Valor Promedio			
U1	Masculino	23	90,00	90,40	70,00	81,80	43,00	92,00	91,60	75,00	76,00	85,00	1,31%	7,63%
			91,00		70,00		43,00	91,00		76,00		85,00		
			91,00		90,00		43,00	92,00		74,00		83,00		
			90,00		77,00		43,00	92,00		75,00		86,00		
			90,00		102,00		43,00	91,00		80,00		85,00		
U2	Femenino	45	94,00	94,00	68,00	68,80	43,00	94,00	93,80	70,00	70,40	84,00	0,21%	2,27%
			94,00		68,00		43,00	94,00		72,00		83,00		
			94,00		75,00		43,00	93,00		70,00		86,00		
			94,00		68,00		43,00	94,00		70,00		86,00		
			94,00		65,00		43,00	94,00		70,00		83,00		
U3	Femenino	27	95,00	95,00	64,00	70,60	43,00	93,00	93,20	68,00	68,40	87,00	1,93%	3,22%
			95,00		64,00		43,00	92,00		70,00		85,00		
			94,00		68,00		43,00	94,00		66,00		82,00		
			95,00		68,00		43,00	93,00		70,00		83,00		
			96,00		89,00		43,00	94,00		68,00		84,00		
U4	Masculino	72	93,00	92,20	74,00	73,80	43,00	92,00	92,80	70,00	70,20	87,00	0,65%	5,13%
			92,00		70,00		43,00	94,00		70,00		86,00		
			92,00		70,00		43,00	94,00		70,00		85,00		
			92,00		71,00		43,00	92,00		71,00		86,00		
			92,00		84,00		43,00	92,00		70,00		88,00		
U5	Femenino	70	94,00	93,80	72,00	70,00	43,00	92,00	92,80	70,00	71,20	86,00	1,08%	1,69%
			94,00		69,00		43,00	92,00		72,00		84,00		
			94,00		66,00		43,00	92,00		69,00		86,00		
			94,00		75,00		43,00	94,00		72,00		86,00		
			94,00		68,00		43,00	94,00		73,00		86,00		
U6	Masculino	41	96,00	96,00	89,00	80,60	43,00	94,00	93,00	80,00	81,00	87,00	3,23%	0,49%
			96,00		77,00		43,00	92,00		80,00		82,00		
			96,00		81,00		43,00	92,00		81,00		83,00		
			96,00		67,00		43,00	94,00		75,00		84,00		
			96,00		89,00		43,00	93,00		89,00		86,00		
U7	Femenino	29	94,00	94,00	98,00	92,00	43,00	92,00	92,40	94,00	93,00	89,00	1,73%	1,08%
			94,00		95,00		43,00	92,00		92,00		87,00		
			94,00		89,00		43,00	93,00		92,00		85,00		
			94,00		89,00		43,00	92,00		94,00		86,00		
			94,00		89,00		43,00	93,00		93,00		88,00		
U8	Masculino	26	86,00	86,00	101,00	100,80	43,00	88,00	90,20	100,00	100,40	87,00	4,66%	0,40%
			86,00		103,00		43,00	90,00		101,00		89,00		
			86,00		99,00		43,00	91,00		100,00		88,00		
			86,00		98,00		43,00	90,00		102,00		85,00		
			86,00		103,00		43,00	92,00		99,00		87,00		
U9	Masculino	23	96,00	96,00	70,00	72,80	43,00	94,00	94,20	72,00	72,40	88,00	1,91%	0,55%
			96,00		73,00		43,00	94,00		72,00		89,00		
			96,00		74,00		43,00	94,00		73,00		87,00		
			96,00		74,00		43,00	95,00		72,00		85,00		
			96,00		73,00		43,00	94,00		73,00		88,00		
U10	Masculino	48	92,00	91,20	103,00	101,20	43,00	92,00	92,00	99,00	99,20	79,00	0,87%	2,02%
			91,00		103,00		43,00	92,00		99,00		82,00		
			91,00		99,00		43,00	92,00		99,00		86,00		
			91,00		98,00		43,00	92,00		98,00		87,00		
			91,00		103,00		43,00	92,00		101,00		89,00		
U11	Masculino	15	94,00	94,00	70,00	72,80	43,00	95,00	94,40	72,00	72,20	88,00	0,42%	0,83%
			94,00		73,00		43,00	94,00		70,00		88,00		
			94,00		74,00		43,00	94,00		73,00		85,00		
			94,00		74,00		43,00	95,00		74,00		89,00		
			94,00		73,00		43,00	94,00		72,00		87,00		
U12	Femenino	28	91,00	91,00	75,00	89,00	43,00	92,00	92,20	81,00	88,60	86,00	1,30%	0,45%
			91,00		98,00		43,00	92,00		93,00		85,00		
			91,00		99,00		43,00	93,00		92,00		83,00		
			91,00		98,00		43,00	92,00		94,00		87,00		
			91,00		75,00		43,00	92,00		83,00		89,00		
U13	Femenino	32	96,00	96,00	103,00	101,40	43,00	95,00	94,80	99,00	100,60	86,00	1,27%	0,80%
			96,00		101,00		43,00	94,00		101,00		86,00		
			96,00		101,00		43,00	96,00		100,00		83,00		
			96,00		103,00		43,00	94,00		103,00		82,00		
			96,00		99,00		43,00	95,00		100,00		87,00		
U14	Femenino	30	94,00	93,20	75,00	87,80	43,00	92,00	92,80	87,00	87,60	89,00	0,43%	0,23%
			94,00		95,00		43,00	92,00		90,00		89,00		
			94,00		75,00		43,00	92,00		85,00		88,00		
			94,00		99,00		43,00	94,00		87,00		87,00		
			94,00		95,00		43,00	94,00		89,00		86,00		
U15	Femenino	68	93,00	93,00	72,00	73,40	43,00	92,00	93,00	73,00	71,80	85,00	0,00%	2,23%
			93,00		70,00		43,00	92,00		70,00		85,00		
			93,00		67,00		43,00	94,00		71,00		89,00		
			93,00		79,00		43,00	94,00		72,00		87,00		
			93,00		79,00		43,00	93,00		73,00		87,00		
U16	Femenino	44	97,00	96,60	79,00	71,80	43,00	94,00	94,40	74,00	73,00	89,00	2,33%	1,64%
			97,00		67,00		43,00	94,00		77,00		88,00		
			95,00		67,00		43,00	95,00		73,00		89,00		
			97,00		67,00		43,00	94,00		71,00		89,00		
			97,00		79,00		43,00	95,00		70,00		87,00		
TIEMPO PROMEDIO							43,00			86,06				
ERROR EN MEDICIÓN											1,46% 1,92%			

G. Tabla de comparación de resultados

ENTRENAMIENTO OXÍMETRO						
Usuario	Saturación de Oxígeno [%SpO2]	Frecuencia Cardíaca [bpm]	Reconocimiento Saturación AMPI [%SpO2]	Reconocimiento Frecuencia AMPI [bpm]	Error	Error
U1	90,00	70,00	90,00	70,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	70,00	94,00	70,00	ERROR	IGUAL
	91,00	90,00	91,00	90,00	IGUAL	IGUAL
	90,00	77,00	90,00	77,00	IGUAL	IGUAL
	90,00	102,00	90,00	16,00	IGUAL	ERROR
U2	94,00	68,00	91,00	68,00	ERROR	IGUAL
	94,00	68,00	94,00	68,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	75,00	94,00	73,00	IGUAL	ERROR
	94,00	68,00	94,00	68,00	IGUAL	IGUAL
U3	94,00	65,00	94,00	65,00	IGUAL	IGUAL
	95,00	64,00	93,00	61,00	ERROR	ERROR
	95,00	64,00	95,00	64,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	68,00	91,00	68,00	ERROR	IGUAL
U4	95,00	68,00	95,00	68,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	89,00	96,00	89,00	IGUAL	IGUAL
	93,00	74,00	95,00	74,00	ERROR	IGUAL
	92,00	70,00	92,00	70,00	IGUAL	IGUAL
U5	92,00	70,00	92,00	70,00	IGUAL	IGUAL
	92,00	71,00	92,00	74,00	IGUAL	ERROR
	92,00	84,00	92,00	84,00	IGUAL	IGUAL
	93,00	72,00	93,00	72,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	69,00	94,00	69,00	IGUAL	IGUAL
U6	94,00	66,00	94,00	66,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	75,00	94,00	75,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	68,00	91,00	68,00	ERROR	IGUAL
	96,00	89,00	96,00	89,00	IGUAL	IGUAL
U7	96,00	77,00	96,00	77,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	81,00	96,00	84,00	IGUAL	ERROR
	96,00	67,00	95,00	67,00	ERROR	IGUAL
	96,00	89,00	96,00	89,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	98,00	94,00	98,00	IGUAL	IGUAL
U8	94,00	95,00	94,00	93,00	IGUAL	ERROR
	94,00	89,00	94,00	89,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	89,00	91,00	89,00	ERROR	IGUAL
	94,00	89,00	94,00	89,00	IGUAL	IGUAL
	86,00	101,00	86,00	104,00	IGUAL	ERROR
U9	86,00	103,00	86,00	103,00	IGUAL	IGUAL
	86,00	99,00	86,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	86,00	98,00	86,00	98,00	IGUAL	IGUAL
	86,00	103,00	86,00	103,00	IGUAL	IGUAL
U10	96,00	70,00	96,00	70,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	73,00	96,00	73,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	74,00	96,00	74,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	74,00	96,00	74,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	73,00	96,00	73,00	IGUAL	IGUAL
U10	92,00	103,00	92,00	103,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	103,00	91,00	103,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	99,00	91,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	98,00	91,00	98,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	103,00	91,00	160,00	IGUAL	ERROR

U11	94,00	70,00	94,00	70,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	73,00	94,00	73,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	74,00	94,00	74,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	74,00	94,00	74,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	73,00	94,00	73,00	IGUAL	IGUAL
U12	91,00	75,00	91,00	75,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	98,00	91,00	98,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	99,00	91,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	98,00	91,00	98,00	IGUAL	IGUAL
	91,00	75,00	91,00	75,00	IGUAL	IGUAL
U13	96,00	103,00	96,00	103,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	101,00	96,00	101,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	101,00	96,00	104,00	IGUAL	ERROR
	96,00	103,00	96,00	103,00	IGUAL	IGUAL
	96,00	99,00	96,00	99,00	IGUAL	IGUAL
U14	90,00	75,00	90,00	75,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	95,00	94,00	95,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	75,00	94,00	75,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	99,00	94,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	94,00	95,00	94,00	95,00	IGUAL	IGUAL
U15	93,00	72,00	93,00	72,00	IGUAL	IGUAL
	93,00	70,00	93,00	70,00	IGUAL	IGUAL
	93,00	67,00	93,00	67,00	IGUAL	IGUAL
	93,00	79,00	95,00	79,00	ERROR	IGUAL
	93,00	79,00	93,00	79,00	IGUAL	IGUAL
U16	97,00	79,00	91,00	79,00	ERROR	IGUAL
	97,00	67,00	97,00	67,00	IGUAL	IGUAL
	95,00	67,00	95,00	67,00	IGUAL	IGUAL
	97,00	67,00	97,00	67,00	IGUAL	IGUAL
	97,00	79,00	97,00	79,00	IGUAL	IGUAL
ERROR EN RECONOCIMIENTO					10	9
PORCENTAJE DE ERROR EN RECONOCIMIENTO					13%	12%

ENTRENAMIENTO TERMÓMETRO			
Usuario	Valor Termómetro [°C]	Reconocimiento AMPI [°C]	Error
U1	36,50	35,50	ERROR
	36,50	36,50	IGUAL
	36,30	36,30	IGUAL
	36,50	35,50	ERROR
	36,30	36,30	IGUAL
U2	36,50	36,50	IGUAL
	36,80	36,80	IGUAL
	36,80	36,80	IGUAL
	36,50	36,50	IGUAL
	36,80	36,80	IGUAL
U3	36,00	36,00	IGUAL
	36,50	36,50	IGUAL
	36,00	36,00	IGUAL
	36,40	36,10	ERROR
	36,00	36,00	IGUAL
U4	32,80	32,80	IGUAL
	32,00	32,00	IGUAL
	32,20	32,20	IGUAL
	32,90	32,90	IGUAL
	32,30	32,30	IGUAL
U5	35,30	35,30	IGUAL
	35,90	35,90	IGUAL
	35,50	35,50	IGUAL
	35,10	35,10	IGUAL
	35,90	35,90	IGUAL
U6	36,20	36,20	IGUAL
	36,10	36,10	IGUAL
	36,60	36,60	IGUAL
	36,60	36,80	ERROR
	36,30	36,30	IGUAL
U7	33,20	33,20	IGUAL
	33,30	33,30	IGUAL
	33,90	33,90	IGUAL
	33,00	33,00	IGUAL
	32,20	32,20	IGUAL
U8	31,10	31,10	IGUAL
	31,90	31,90	IGUAL
	31,20	31,20	IGUAL
	31,10	31,10	IGUAL
	31,50	31,80	ERROR
U9	36,20	36,20	IGUAL
	35,20	35,20	IGUAL
	36,60	36,60	IGUAL
	36,50	36,50	IGUAL
	36,30	36,30	IGUAL
U10	35,50	35,30	ERROR
	35,90	35,90	IGUAL
	35,30	35,30	IGUAL
	35,00	35,00	IGUAL
	35,20	35,20	IGUAL

U11	36,20	36,20	IGUAL
	36,40	36,10	ERROR
	36,20	36,20	IGUAL
	36,00	36,00	IGUAL
	36,60	36,60	IGUAL
U12	31,60	31,60	IGUAL
	31,50	31,50	IGUAL
	31,30	31,30	IGUAL
	31,10	31,40	ERROR
	31,30	31,30	IGUAL
U13	36,20	36,20	IGUAL
	36,30	36,30	IGUAL
	35,50	35,50	IGUAL
	35,30	35,30	IGUAL
	36,30	36,30	IGUAL
U14	30,00	30,00	IGUAL
	30,20	30,20	IGUAL
	30,50	30,80	ERROR
	30,10	30,10	IGUAL
	30,50	30,50	IGUAL
U15	31,50	31,50	IGUAL
	31,30	31,30	IGUAL
	31,10	31,10	IGUAL
	31,50	34,50	ERROR
	31,50	31,50	IGUAL
U16	33,10	33,10	IGUAL
	33,30	33,30	IGUAL
	33,60	33,60	IGUAL
	33,60	33,60	IGUAL
	33,20	33,20	IGUAL
ERROR EN RECONOCIMIENTO			10
PORCENTAJE DE ERROR EN RECONOCIMIENTO			13%

ENTRENAMIENTO TENSÍOMETRO						
Usuario	Valor Tensiómetro [mmHg/Kpa]		Reconocimiento AMPI [mmHg/Kpa]		ERROR	
	Sístole	Diástole	Sístole	Diástole	Sístole	Diástole
U1	141,00	94,00	141,00	94,00	IGUAL	IGUAL
	141,00	99,00	141,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	141,00	95,00	141,00	98,00	IGUAL	ERROR
	141,00	99,00	111,00	99,00	ERROR	IGUAL
	141,00	99,00	141,00	99,00	IGUAL	IGUAL
U2	145,00	99,00	145,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	145,00	99,00	145,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	145,00	99,00	145,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	145,00	99,00	143,00	99,00	ERROR	IGUAL
	145,00	99,00	145,00	99,00	IGUAL	IGUAL
U3	153,00	99,00	155,00	99,00	ERROR	IGUAL
	153,00	99,00	153,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	153,00	99,00	153,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	153,00	99,00	153,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	153,00	99,00	155,00	99,00	ERROR	IGUAL
U4	141,00	95,00	141,00	93,00	IGUAL	ERROR
	141,00	95,00	111,00	95,00	ERROR	IGUAL
	142,00	141,00	142,00	141,00	IGUAL	IGUAL
	141,00	95,00	141,00	95,00	IGUAL	IGUAL
	141,00	94,00	141,00	91,00	IGUAL	ERROR
U5	134,00	99,00	151,00	99,00	ERROR	IGUAL
	132,00	93,00	132,00	93,00	IGUAL	IGUAL
	132,00	99,00	132,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	134,00	99,00	134,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	132,00	93,00	132,00	98,00	IGUAL	ERROR
U6	106,00	76,00	106,00	76,00	IGUAL	IGUAL
	104,00	71,00	104,00	71,00	IGUAL	IGUAL
	104,00	71,00	101,00	71,00	ERROR	IGUAL
	106,00	76,00	106,00	76,00	IGUAL	IGUAL
	106,00	76,00	106,00	76,00	IGUAL	IGUAL
U7	145,00	101,00	148,00	101,00	ERROR	IGUAL
	145,00	101,00	145,00	101,00	IGUAL	IGUAL
	142,00	141,00	142,00	111,00	IGUAL	ERROR
	146,00	93,00	146,00	93,00	IGUAL	IGUAL
	145,00	101,00	145,00	101,00	IGUAL	IGUAL
U8	124,00	76,00	121,00	16,00	ERROR	ERROR
	121,00	78,00	121,00	78,00	IGUAL	IGUAL
	127,00	72,00	127,00	72,00	IGUAL	IGUAL
	121,00	78,00	121,00	18,00	IGUAL	ERROR
	121,00	78,00	121,00	78,00	IGUAL	IGUAL
U9	165,00	99,00	168,00	99,00	ERROR	IGUAL
	168,00	99,00	168,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	165,00	99,00	163,00	99,00	ERROR	IGUAL
	165,00	99,00	165,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	165,00	99,00	165,00	99,00	IGUAL	IGUAL
U10	110,00	84,00	110,00	51,00	IGUAL	ERROR
	110,00	84,00	110,00	84,00	IGUAL	IGUAL
	110,00	84,00	110,00	84,00	IGUAL	IGUAL
	106,00	76,00	106,00	76,00	IGUAL	IGUAL
	110,00	84,00	110,00	81,00	IGUAL	ERROR

U11	181,00	97,00	181,00	97,00	IGUAL	IGUAL
	181,00	97,00	181,00	91,00	IGUAL	ERROR
	181,00	97,00	181,00	97,00	IGUAL	IGUAL
	183,00	99,00	183,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	181,00	97,00	181,00	91,00	IGUAL	ERROR
U12	150,00	99,00	150,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	150,00	99,00	180,00	99,00	ERROR	IGUAL
	150,00	99,00	150,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	150,00	99,00	150,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	150,00	99,00	150,00	99,00	IGUAL	IGUAL
U13	127,00	72,00	121,00	12,00	ERROR	ERROR
	127,00	72,00	127,00	72,00	IGUAL	IGUAL
	121,00	78,00	121,00	13,00	IGUAL	ERROR
	127,00	72,00	127,00	72,00	IGUAL	IGUAL
	127,00	72,00	127,00	72,00	IGUAL	IGUAL
U14	165,00	99,00	165,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	168,00	99,00	168,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	161,00	99,00	161,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	168,00	99,00	168,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	168,00	99,00	168,00	99,00	IGUAL	IGUAL
U15	137,00	99,00	137,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	137,00	99,00	187,00	99,00	ERROR	IGUAL
	137,00	99,00	137,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	137,00	99,00	137,00	99,00	IGUAL	IGUAL
	137,00	99,00	137,00	99,00	IGUAL	IGUAL
U16	146,00	93,00	146,00	93,00	IGUAL	IGUAL
	145,00	101,00	145,00	101,00	IGUAL	IGUAL
	146,00	93,00	116,00	93,00	ERROR	IGUAL
	146,00	93,00	146,00	98,00	IGUAL	ERROR
	146,00	93,00	146,00	93,00	IGUAL	IGUAL
ERRORES EN EL RECONOCIMIENTO					15	14
PORCENTAJE DE ERROR EN EL RECONOCIMIENTO					20%	19%