



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE
RED BIOMÉTRICA PARA EL CONTROL DE SATURACIÓN DE
OXÍGENO CON LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Dispositivo Tecnológico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORA: PAOLA ALEJANDRA GRANIZO MARCILLO

DIRECTOR: Ing. HUGO OSWALDO MORENO AVILÉS. PhD.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Paola Alejandra Granizo Marcillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Paola Alejandra Granizo Marcillo, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de Abril de 2023



Paola Alejandra Granizo Marcillo

060453938-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Dispositivo Tecnológico, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE RED BIOMÉTRICA PARA EL CONTROL DE SATURACIÓN DE OXÍGENO CON LA TECNOLOGÍA BLUETOOTH”**, realizado por la señorita: **PAOLA ALEJANDRA GRANIZO MARCILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira **Ramírez**
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2023-04-20

Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

2023-04-20

Ing. Verónica Elizabeth Mora Chunllo
**ASESORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

2023-04-20

DEDICATORIA

Ha llegado el día donde cumpliré uno de mis sueños y de mis metas y poder decir que soy una “Ingeniera” y este trabajo de titulación ha sido la evidencia de mi logro, el cual lo dedico a Dios, Jesús y a la Virgen María, que me han iluminado durante todo mi camino universitario, con sabiduría y conocimiento, a mi familia quien ha sido mi pilar fundamental, en especial a mi madre, Mónica y mi padre Johnny, quienes han estado presentes brindándome apoyo y motivándome a no rendirme y seguir adelante y conseguir mis objetivos, al igual que a mis hermanos Johnny y Esteban que de cierta forma han velado por mi superación y a mi abuelita que siempre se preocupa cuando damos alguna prueba y pone su velita a la virgencita.

A un amigo especial, Israel con quien he compartido varios momentos especiales y hemos tenido grandes experiencias, y quien ha estado siempre alado mío diciéndome que puedo lograrlo y que no me rinda, y que la verdadera vida es fuera de acá y que debo de prepararme para todo.

Paola

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por iluminarme y guiarme por mi etapa universitaria y permitirme disfrutar este logro junto con mi familia quienes fueron mi soporte y mi apoyo en cada uno de los pasos que he dado, así también a mis amigos, familiares y personas que estuvieron presentes dándome apoyo para alcanzar los objetivos y metas necesarias.

Gracias a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme las puertas y ser mi segundo hogar, y ser un lugar de risas, y lágrimas, y en especial a los docentes que conforman a la carrera Telecomunicaciones que han impartido sus conocimientos, enseñanzas y tiempo a lo largo de la carrera formando lo que hoy seremos profesionales de la República del Ecuador, en especial a mi tutor el ingeniero Hugo Moreno, que ha estado atrás de cada paso para poder lograr culminar con éxito este trabajo de titulación.

En fin, gracias a todos aquellos que estuvieron presentes en mi etapa universitaria, porque detrás de cada paso que he dado ha habido personas que me han apoyado, aconsejado y haciéndome recordar que si se pone empeño se puede realizar todo.

Paola.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xii |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | xiii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xvi |
| RESUMEN..... | xvii |
| SUMMARY | xviii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|--|----------|
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 3 |
| 1.1.1 Antecedentes | 3 |
| 1.1.2 Formulación del problema..... | 5 |
| 1.1.2.1 Sistematización del problema..... | 5 |
| 1.2 Justificación | 6 |
| 1.2.1 Justificación teórica | 6 |
| 1.2.2 Justificación aplicativa..... | 6 |
| 1.3 Alcance | 7 |
| 1.4 Objetivos | 7 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 7 |
| 1.4.2 Objetivos específicos | 7 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|----------|
| 2. MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1. Biometría..... | 8 |
| 2.1.1. Tipos de biometría | 8 |

| | |
|---|----|
| 2.1.2. <i>Comparativa de los rasgos más generales</i> | 10 |
| 2.2. Sistemas Biométricos | 11 |
| 2.2.1. <i>Proceso de un sistema biométrico</i> | 12 |
| 2.2.1.1. <i>Proceso de registro</i> | 12 |
| 2.2.1.2. <i>Proceso de autenticación</i> | 13 |
| 2.2.1.3. <i>Proceso de decisión</i> | 13 |
| 2.2.2. <i>Aplicaciones de un sistema Biométrico</i> | 14 |
| 2.3. Signos Vitales | 14 |
| 2.3.1. <i>Saturación de oxígeno</i> | 14 |
| 2.3.2. Hemoglobina | 15 |
| 2.3.2.1. <i>Técnicas de medición de la saturación de oxígeno en la sangre</i> | 15 |
| 2.3.2.2. <i>Oximetría de Pulso</i> | 17 |
| 2.3.2.3. <i>Gasometría Arterial</i> | 18 |
| 2.3.2.4. <i>Monitor de oxígeno de anillo continuo Wellue O2Ring™</i> | 20 |
| 2.3.2.5. <i>Apple Watch Series 6 – Series 7</i> | 23 |
| 2.4. Tecnologías biométricas | 24 |
| 2.4.1. <i>Sensores biométricos</i> | 24 |
| 2.4.1.1. <i>Sensores Ópticos</i> | 24 |
| 2.4.1.2. <i>Sensores Termoeléctricos</i> | 25 |
| 2.4.1.3. <i>Sensores Capacitivos</i> | 25 |
| 2.4.1.4. <i>Sensores E-Field (de Campo Eléctrico)</i> | 25 |
| 2.4.1.5. <i>Sensores sin contacto</i> | 26 |
| 2.4.1.6. <i>Micrófonos ópticos unidireccionales</i> | 26 |
| 2.4.2. <i>Ejemplos de sensores oxímetro</i> | 26 |
| 2.4.2.1. <i>Sensor MAX 30102</i> | 27 |
| 2.4.2.2. <i>Sensor MAX30101</i> | 27 |
| 2.5. Redes Inalámbricas | 28 |
| 2.5.1. <i>Arquitectura de redes inalámbricas</i> | 29 |
| 2.5.2. <i>Topología</i> | 29 |
| 2.5.3. Bluetooth | 30 |
| 2.5.3.1. <i>Normas</i> | 31 |
| 2.5.3.2. <i>Características</i> | 31 |
| 2.5.3.3. <i>Arquitectura de Bluetooth</i> | 32 |

| | |
|--|----|
| 2.5.3.4. <i>Versiones</i> | 33 |
| 2.5.3.5. <i>Clases</i> | 35 |
| 2.5.3.6. <i>Redes Bluetooth</i> | 35 |
| 2.5.3.7. <i>Módulos de bluetooth</i> | 37 |
| 2.6. Tarjetas de desarrollo | 39 |
| 2.6.1. <i>Arduino</i> | 39 |
| 2.6.1.1. <i>Características</i> | 40 |
| 2.6.1.2. <i>Modelos</i> | 40 |
| 2.6.2. <i>Raspberry pi (RPi)</i> | 41 |
| 2.6.3. <i>ESP8266 Node MCU</i> | 42 |
| 2.6.3.1. <i>Características</i> | 43 |
| 2.6.3.2. <i>Variantes</i> | 43 |
| 2.6.4. <i>Comparativa de las tarjetas de desarrollo</i> | 44 |
| 2.7. Plataformas para la creación de aplicaciones móviles | 45 |
| 2.7.1. <i>App Inventor</i> | 45 |
| 2.7.1.1. <i>Ventajas</i> | 46 |
| 2.7.1.2. <i>Desventajas</i> | 46 |
| 2.7.1.3. <i>Aplicaciones</i> | 46 |
| 2.7.2. <i>Android Studio</i> | 47 |
| 2.7.2.1. <i>Características</i> | 47 |
| 2.8. Plataformas para la creación de páginas web | 48 |
| 2.8.1. <i>Visual Studio Code</i> | 48 |
| 2.8.2. <i>Sublime Text</i> | 49 |
| 2.8.3. <i>Atom</i> | 49 |

CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| 3. MARCO METODOLÓGICO | 51 |
| 3.1. Requerimientos del sistema | 51 |
| 3.1.1. <i>Requerimientos del hardware del sistema</i> | 51 |
| 3.1.2. <i>Requerimientos del software del sistema</i> | 51 |
| 3.2. Descripción general del sistema | 52 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.3. | Concepción del sistema | 52 |
| 3.4. | Arquitectura del sistema..... | 54 |
| 3.4.1. | <i>Nodo transmisor</i> | 54 |
| 3.4.2. | <i>Nodo receptor</i> | 55 |
| 3.4.2.1. | <i>Aplicación móvil</i> | 56 |
| 3.4.2.2. | <i>Página web</i> | 57 |
| 3.4.3. | <i>Visualización de la información</i> | 58 |
| 3.4.4. | <i>Fuente de alimentación</i> | 59 |
| 3.5. | Toma de resultados | 60 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|--------|--|----|
| 4. | PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO | 62 |
| 4.1. | Etapas de construcción del prototipo | 62 |
| 4.1.1. | <i>Etapa previa: Conexión para verificación del funcionamiento de sensores</i> | 62 |
| 4.1.2. | <i>Etapa 1: Diseño de la placa y sus conexiones</i> | 63 |
| 4.1.3. | <i>Etapa 2: Sistema de comunicación</i> | 65 |
| 4.1.4. | <i>Etapa 3: Diseño de la aplicación móvil</i> | 67 |
| 4.1.5. | <i>Etapa 4: Diseño de la Página web</i> | 72 |
| 4.1.6. | <i>Etapa 5: Diseño del protector plástico para el prototipo</i> | 74 |
| 4.1.7. | <i>Etapa 6: Montaje del prototipo con las carcasas</i> | 76 |
| 4.1.8. | <i>Etapa 7: Elaboración de un cuestionario para la entrevista al médico</i> | 79 |

CAPÍTULO V

| | | |
|--------|---|----|
| 5. | VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO | 81 |
| 5.1. | Implementación del sistema prototipo | 81 |
| 5.2. | Prueba del prototipo | 83 |
| 5.2.1. | <i>Conexión de los sensores</i> | 83 |
| 5.3. | Resultados del prototipo | 84 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.3.1. | <i>Mediciones a menores de edad</i> | 85 |
| 5.3.2. | <i>Mediciones a mayores de edad (18-40 años)</i> | 86 |
| 5.3.3. | <i>Mediciones a personas entre 41-60 años</i> | 86 |
| 5.3.4. | <i>Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)</i> | 87 |
| 5.4. | Mediciones con dos marcas de oxímetro del mercado | 87 |
| 5.4.1. | <i>Mediciones a menores de edad</i> | 88 |
| 5.4.2. | <i>Mediciones a mayores de edad (18-40 años)</i> | 89 |
| 5.4.3. | <i>Mediciones a personas entre 41-60 años</i> | 90 |
| 5.4.4. | <i>Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)</i> | 90 |
| 5.5. | Análisis del prototipo con las marcas de oxímetro de mercado | 91 |
| 5.5.1. | <i>Cálculo de la varianza de los resultados</i> | 93 |
| 5.6. | Entrevista médica | 95 |
| 5.7. | Análisis económico del prototipo | 96 |

CAPÍTULO VI

| | | |
|------|---|----|
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 98 |
| 6.1. | Conclusiones | 98 |
| 6.2. | Recomendaciones | 99 |

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabla 1-2: | Características principales de rasgos generales | 11 |
| Tabla 2-2: | Actuación según porcentaje de saturación..... | 15 |
| Tabla 3-2: | Valores de referencia | 19 |
| Tabla 4-2: | Topologías de una red inalámbrica..... | 30 |
| Tabla 5-2: | Parámetros de la clase de Bluetooth..... | 35 |
| Tabla 6-2: | Características del módulo LM746..... | 39 |
| Tabla 7-2: | Comparativa entre las placas de desarrollo | 44 |
| Tabla 1-5: | Mediciones de calibración | 83 |
| Tabla 2-5: | Mediciones a menores de edad..... | 85 |
| Tabla 3-5: | Mediciones a mayores de edad (18-40 años)..... | 86 |
| Tabla 4-5: | Mediciones a personas entre 41-60 años | 86 |
| Tabla 5-5: | Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)..... | 87 |
| Tabla 6-5: | Características de Oxímetros | 88 |
| Tabla 7-5: | Mediciones a menores de edad..... | 89 |
| Tabla 8-5: | Mediciones a mayores de edad (18-40 años)..... | 89 |
| Tabla 9-5: | Mediciones a personas entre 41-60 años | 90 |
| Tabla 10-5: | Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)..... | 91 |
| Tabla 11-5: | Análisis comparativo | 92 |
| Tabla 12-5: | Análisis de la varianza en consideración los valores obtenidos con el prototipo y los oxímetros de mercado..... | 94 |
| Tabla 13-5: | Resumen de los valores de error | 94 |
| Tabla 14-5: | Análisis económico | 97 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|--------------------------|---|----|
| Ilustración 1-1: | Dispositivo Masimo SafetyNet..... | 3 |
| Ilustración 2-1: | Dispositivo sensor..... | 4 |
| Ilustración 3-1: | Dispositivo de la ESPOCH..... | 5 |
| Ilustración 4-1: | Pasos a seguir dentro de la implementación..... | 7 |
| Ilustración 1-2: | Minucias de la huella dactilar..... | 9 |
| Ilustración 2-2: | Diagrama básico de un sistema biométrico..... | 12 |
| Ilustración 3-2: | Proceso de registro..... | 12 |
| Ilustración 4-2: | Oximetría de pulso..... | 17 |
| Ilustración 5-2: | Funcionamiento del fotorreceptor..... | 18 |
| Ilustración 6-2: | Gasometría Arterial..... | 19 |
| Ilustración 7-2: | Monitor de oxígeno de anillo..... | 20 |
| Ilustración 8-2: | APP del Anillo 02..... | 21 |
| Ilustración 9-2: | APP del Anillo 02..... | 21 |
| Ilustración 10-2: | APP del Anillo 02..... | 22 |
| Ilustración 11-2: | Apple Watch..... | 23 |
| Ilustración 12-2: | Garmin..... | 23 |
| Ilustración 13-2: | Funcionamiento de un sensor capacitivo..... | 25 |
| Ilustración 14-2: | Funcionamiento de un micrófono óptico..... | 26 |
| Ilustración 15-2: | Sensor MAX30102..... | 27 |
| Ilustración 16-2: | Sensor MAX30101..... | 28 |
| Ilustración 17-2: | Estructura de una red inalámbrica..... | 29 |
| Ilustración 18-2: | Topología de red..... | 29 |
| Ilustración 19-2: | Arquitectura de Hardware..... | 32 |
| Ilustración 20-2: | Arquitectura de Software..... | 33 |
| Ilustración 21-2: | Redes de Bluetooth..... | 36 |
| Ilustración 22-2: | Módulo de Bluetooth..... | 37 |
| Ilustración 23-2: | Módulo LM746..... | 38 |
| Ilustración 24-2: | Tarjeta de desarrollo Raspberry pi..... | 41 |
| Ilustración 25-2: | Tarjeta de desarrollo ESP8266..... | 43 |
| Ilustración 26-2: | Interfaz App Inventor..... | 45 |
| Ilustración 27-2: | Fases en App Inventor..... | 46 |
| Ilustración 28-2: | Logo de Visual Studio Code..... | 48 |
| Ilustración 29-2: | Logo de Sublime Text..... | 49 |

| | | |
|--------------------------|---|----|
| Ilustración 30-2: | Logo de Atom | 49 |
| Ilustración 1-3: | Diagrama de bloques del concepto del sistema. | 53 |
| Ilustración 2-3: | Diagrama pictórico de la concepción general del sistema | 53 |
| Ilustración 3-3: | Diagrama de bloque del nodo transmisor | 54 |
| Ilustración 4-3: | Diagrama de flujo del nodo transmisor..... | 55 |
| Ilustración 5-3: | Diagrama del nodo receptor..... | 56 |
| Ilustración 6-3: | Diagrama de bloque del módulo de identificación | 56 |
| Ilustración 7-3: | Diagrama de flujo de la aplicación móvil..... | 57 |
| Ilustración 8-3: | Diagrama de flujo de la página web | 58 |
| Ilustración 9-3: | Pantalla LCD OLED..... | 59 |
| Ilustración 10-3: | Batería lipo..... | 59 |
| Ilustración 11-3: | Puerto USB del prototipo..... | 60 |
| Ilustración 12-3: | Diagrama de bloque de la toma de resultados..... | 61 |
| Ilustración 1-4: | Conexiones de la etapa previa..... | 62 |
| Ilustración 2-4: | Diagrama de bloque de la etapa 1 | 63 |
| Ilustración 3-4: | Visualización superior 3D de la placa | 64 |
| Ilustración 4-4: | Visualización 3D de la placa..... | 64 |
| Ilustración 5-4: | Pines de la placa..... | 65 |
| Ilustración 6-4: | Etapa 2: Sistema de comunicación | 65 |
| Ilustración 7-4: | Visualización LCD oled..... | 66 |
| Ilustración 8-4: | Conexiones del nodo lector..... | 66 |
| Ilustración 9-4: | Inicialización de variables generales | 67 |
| Ilustración 10-4: | Inicialización de variables para gráficas | 67 |
| Ilustración 11-4: | Funciones de la aplicación | 68 |
| Ilustración 12-4: | Acciones dentro de la aplicación en relación a la conexión con el dispositivo..... | 68 |
| Ilustración 13-4: | Acciones para los botones de envío, recepción y comando de voz | 68 |
| Ilustración 14-4: | Acciones para activación de puertos..... | 69 |
| Ilustración 15-4: | Acciones para la ejecución de botones | 69 |
| Ilustración 16-4: | Visualización de la programación por Bloques | 69 |
| Ilustración 17-4: | Distribución en la aplicación móvil | 70 |
| Ilustración 18-4: | Aplicación móvil..... | 70 |
| Ilustración 19-4: | Opciones de la aplicación móvil | 71 |
| Ilustración 20-4: | Vinculación Bluetooth | 71 |
| Ilustración 21-4: | Identificación de cada dispositivo..... | 72 |
| Ilustración 22-4: | Conexión con el dispositivo Bluetooth..... | 72 |

| | | |
|--------------------------|---|----|
| Ilustración 23-4: | Diseño de la página web | 73 |
| Ilustración 24-4: | Envío de datos a la página web..... | 74 |
| Ilustración 25-4: | Diseño del protector del prototipo | 74 |
| Ilustración 26-4: | Diseño del case inferior | 75 |
| Ilustración 27-4: | Diseño del case parte superior, módulo Bluetooth | 75 |
| Ilustración 28-4: | Case del sensor oxímetro | 75 |
| Ilustración 29-4: | Montaje final del prototipo | 76 |
| Ilustración 30-4: | Montaje del prototipo..... | 76 |
| Ilustración 31-4: | Case del sensor..... | 76 |
| Ilustración 32-4: | Case del sensor..... | 77 |
| Ilustración 33-4: | Colocación del dispositivo en el paciente | 77 |
| Ilustración 34-4: | Visualización de datos del prototipo..... | 78 |
| Ilustración 35-4: | Función del pulsador superior..... | 78 |
| Ilustración 36-4: | Funcionalidad del pulsador inferior | 79 |
| Ilustración 37-4: | Diagrama para realización de la entrevista al médico..... | 79 |
| Ilustración 38-4: | Dr. Mario Bonifaz..... | 80 |
| Ilustración 1-5: | Mediciones de la saturación de oxígeno | 81 |
| Ilustración 2-5: | Mediciones con el oxímetro 1 | 82 |
| Ilustración 3-5: | Mediciones con el oxímetro 2..... | 82 |
| Ilustración 4-5: | Oxímetro de mercado..... | 84 |
| Ilustración 5-5: | Registro de los datos de la aplicación móvil..... | 84 |
| Ilustración 6-5: | Datos registrados en la página web..... | 85 |
| Ilustración 7-5: | Oxímetros de mercado utilizados en las mediciones | 88 |
| Ilustración 8-5: | Entrevista al Dr. | 95 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET MAX30101

ANEXO B: DATASHEET ARDUINO NANO

ANEXO C: VISUALIZACIÓN DE LA PLACA DISEÑADA POR EASYEDA

ANEXO D: CÓDIGO DE LA PLACA

ANEXO E: CÓDIGO DE LA PÁGINA WEB

ANEXO F: PREGUNTAS PARA LA ENTREVISTA DEL MÉDICO

ANEXO G: LICENCIA DEL MÉDICO ENTREVISTADO

ANEXO H: TOMA DE MEDICIONES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO

RESUMEN

El presente Trabajo de Titulación tuvo como objetivo el diseño e implementación de un prototipo de un sistema biométrico, con tecnología Bluetooth 2.4GHz, que permite la medición de la saturación de oxígeno en la sangre, con el registro y envío a una aplicación móvil (Android) y posterior, el envío a un base de datos en una página web. La construcción del prototipo fue en dos etapas, el transmisor que estaba conformado por cuatro dispositivos semejantes a un reloj, en el que se visualizó los niveles de saturación de oxígeno en tiempo real, tanto en porcentaje y en gráfica de la variación del mismo, valores que fueron enviados por los módulos Bluetooth HC-05 y recibidos por la siguiente etapa, el receptor, que fue conformado por una aplicación móvil, y una base de datos, los cuales contaban con una interfaz gráfica amigable con el usuario, en donde se visualizaba los datos personales del paciente, al igual que los niveles de saturación de oxígeno. Para la toma de resultados se consideró el uso de dos oxímetros de mercado los cuales serán comparados con los resultados obtenidos con el prototipo, en dos escenarios diferentes, el primer escenario fue cuando las personas se encontraban en reposo es decir unos 10min antes de tomar las medidas, y el segundo escenario se trató de realizar las medidas después de una actividad física. Finalmente, se concluyó que el prototipo funciona y optimiza el tiempo de los médicos en cuando a la vigilancia de la salud del paciente y se recomienda utilizar este prototipo para evitar el contacto directo de un paciente, y monitorearle de manera remota de manera eficaz y eficiente.

Palabras clave: <TELECOMUNICACIONES>, <BLUETOOTH>, <TIEMPO REAL>, <TECNOLOGÍA MÓVIL>, <SATURACIÓN DE OXÍGENO EN LA SANGRE>, <COMUNICACIONES INALAMBRICAS>, <SISTEMA BIOMÉTRICO>, <OXÍMETRO>



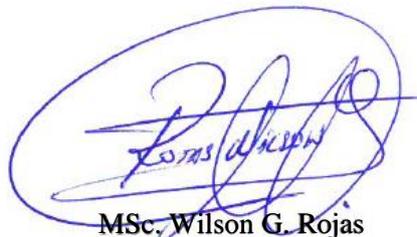
xvii


0745-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The objective of this Titulation Work was the design and implementation of a prototype of a biometric system, with Bluetooth 2.4GHz technology, which allows the measurement of oxygen saturation in the blood, with the registration and sending to a mobile application (Android) and later, sending it to a database in a web page. The construction of the prototype was in two stages, the transmitter that is made up of four devices similar to a watch, in which the oxygen saturation levels are displayed in real time, both in percentage and in a graph of the variation of the same, values which are sent by the HC-05 Bluetooth modules and received by the next stage, the receiver, made up of a mobile application, and a database, which have a user-friendly graphical interface, where the data is displayed patient's personal data, as well as oxygen saturation levels. For the taking of results, the use of two market oximeters was considered, which were compared with the results obtained with the prototype, in two different scenarios, the first scenario was when the people were at rest, that is, about 10min before take the measurements, and in the second scenario it was attempted to perform the measurements after a physical activity. Finally, it was concluded that the prototype works and optimizes the time of doctors when it comes to monitoring the health of the patient and it is recommended to use this prototype to avoid direct contact with a patient, and monitor him or her remotely effectively and efficiently.

Keywords: <TELECOMMUNICATIONS>, <WIRELESS COMMUNICATIONS>, <MOBILE TECHNOLOGY>, <BLUETOOTH TECHNOLOGY>, <REAL TIME TRANSMISSION>, <BLOOD OXYGEN SATURATION>, <BIOMETRIC SYSTEM>, <OXIMETER>.



MSc. Wilson G. Rojas

NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

C.I 0602361842

INTRODUCCIÓN

El ser humano con el pasar de los tiempos ha ido desarrollando herramientas para satisfacer las necesidades del mismo, minimizando los riesgos y aumentando la productividad, en donde la tecnología ha jugado un papel muy importante, enfocada en el ámbito de la robótica, nanotecnología, biotecnología y la visión artificial, aplicada en diversas soluciones a problemas de control de calidad, tareas sistemáticas, automatización de la industria, diagnóstico en la medicina, uso militar, seguridad, entre otras. A raíz de la problemática que ha pasado el mundo entero el monitoreo del nivel de saturación de oxígeno ha sido uno de los aspectos más importantes para monitorear la salud de los pacientes, desde hace ya algunos años se ha ido implementando sensores para el monitoreo del mismo, pero existe una limitación en cuanto a la portabilidad, movilidad de los nodos y la autoconfiguración de los sistemas (Gutierrez Segales, 2019), inicialmente se realizaron aplicaciones de monitorización con sensores biométricos, dando así el origen al término de redes inalámbricas de sensores biométricos, los cuales han sido perfeccionándose con el pasar de los años.

Siendo así estos sistemas biométricos una gran solución para la automatización y escalabilidad, mejorando el monitoreo por parte del médico, y siendo posible la implementación de telemedicina, por el acceso a la información del paciente de manera remota, y viable. (Gutierrez Segales, 2019)

Otros de los aspectos que se consideró para la propuesta de este prototipo es el descubrimiento de COVID-19, y su expansión rápida por el mundo provocando miles de muertes, generando así una preocupación en el personal médico, ya que se evidenció que en muchos de los casos de las personas que portaban el virus tenían una insuficiencia en los niveles de saturación de oxígeno, la que no se percibía a simple vista, y por esta razón es importante el monitoreo constante del mismo, ya que con una detección temprana de los niveles de insuficiencia de saturación de oxígeno en la sangre, frecuencia cardíaca elevada, y el aumento de la temperatura corporal en cualquier persona infectada con el virus provocará que el médico tome decisiones a tiempo, y es por eso que este monitoreo se debe de realizar en tiempo real, y de manera remota a través de una base de datos que se registrara en una plataforma que será accedida por medio de internet, y además, para que el personal médico tenga el mínimo contacto con la persona infectada. (Silva Baque, 2021)

En ese contexto y considerando las problemáticas que se ha pasado, como la pandemia, al igual, de la falta de equipos tecnológicos portables, se planteó la implementación de un prototipo de un sistema de red biométrica para el control de saturación de oxígeno con la tecnología Bluetooth, el

cual consta de una estructura móvil con un conjunto de sensores, actuadores, elementos electrónicos, tarjetas de desarrollo, y módulos Bluetooth, además consta de una aplicación que permitirá el monitoreo constante de los diferentes dispositivos en cualquier lugar que se encuentre, con el fin de evitar el contacto con los pacientes contagiados, accediendo adicionalmente al récord médico de cada uno de los pacientes.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el Capítulo I consiste en la recolección de la información necesaria sobre un marco referencial para el desarrollo del prototipo del trabajo de titulación, en el que se irán detallando diversos aspectos metodológicos, así como antecedentes del mismo.

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Antecedentes

Estados Unidos siendo uno de los ponentes más importantes en el ámbito tecnológico, se ha evidenciado la existencia de un diseño que ayuda a los proveedores y médicos a gestionar de forma remota la atención de los pacientes, dicho diseño se lo llamó *Masimo SafetyNet*, dispositivo que se evidencia en la Ilustración 1-1, la que permite controlar la saturación de oxígeno, signos cardiacos, de un paciente de manera segura, donde los datos que se reciben en un servidor son enviados a una nube, que cuenta con seguridad, cumpliendo el objetivo de la vigilancia remota de pacientes, dicho dispositivo se caracteriza por utilizar la tecnología Bluetooth 5.0, una de las últimas versiones de la tecnología ofreciendo mayores beneficios en cuanto a la comunicación. (Masimo SafetyNet, 2020)



Ilustración 1-1: Dispositivo Masimo SafetyNet

Fuente: (Masimo SafetyNet, 2020)

En La Paz, Bolivia un país que se encuentra en vías de desarrollo, ya existe un precedente de una tesis realizada en el año 2018 denominado “IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DIGITAL PARA LA DETECCIÓN DE FRECUENCIA CARDIACA Y

SATURACIÓN DE OXÍGENO CON INTERFAZ A ORDENADOR Y SMARTPHONE”, tesis que se basa en un sistema de dos etapas, etapa digital y etapa analógica, con el uso de un Arduino, un display LCD, el objetivo principal se centraba en la información recolectada por el arduino, para la visualización en la PC a través de la conexión USB y el uso de programación Java, o presenta la opción de conectarse a través de un módulo de Bluetooth a un smartphone, además usa la plataforma online de Google llamada Firebase donde registra los datos de la persona o paciente, dicho dispositivo se observa en la Ilustración 2-1. (Poma Canaza, 2018)



Ilustración 2-1: Dispositivo sensor

Fuente: (Poma Canaza, 2018)

En Ecuador, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo “ESPOCH”, se ha realizado una tesis en el año 2016, denominada “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO MULTIMODAL EN TELEMEDICINA PARA EMERGENCIA UTILIZANDO REDES WSN Y TECNOLOGÍA MÓVIL PARA TRANSMITIR MEDIDAS FISIOLÓGICAS HUMANAS EN TIEMPO REAL” donde se diseñó e implementó un prototipo basado en un arduino UNO y un E-Health Sensor Shield con programación en Labview y para la comunicación inalámbrica utilizando dos módems SIM900 GSM/GRPS, y en la Ilustración 3-1 se encuentra montado el prototipo final de la tesis, y a su vez está vinculada al receptor a una base de datos denominada Reporte Médico, permitiendo almacenar información del paciente como cédula de identidad, frecuencia respiratoria, temperatura, pulso y oxígeno en la sangre. (Loachamin Chanataxi, y otros, 2016)



Ilustración 3-1: Dispositivo de la ESPOCH

Fuente: (Loachamin Chanataxi, y otros, 2016)

1.1.2 *Formulación del problema*

¿Un sistema de red biométrica para el control de saturación de oxígeno con tecnología bluetooth, permitirá obtener los datos en tiempo real del nivel de saturación del oxígeno de una persona y con eso generar una base de datos?

1.1.2.1 *Sistematización del problema*

El Ecuador ha estado dando grandes pasos en el campo de la tecnología, pero se carece todavía de información, y se requiere de la identificación de las variables que pueden afectar al cambio, y en cuento a una red biométrica, se debe de poner a pensar en dichos problemas para el monitoreo de pacientes de forma remota.

Partiendo del problema planteado, surgen una serie de interrogantes:

¿Qué sistemas de red biométrica existen en la actualidad usando tecnología inalámbrica?

¿Qué características y parámetros se consideran al momento de usar tecnología Bluetooth para la obtención de los datos del control del nivel de saturación de oxígeno?

¿Qué posibilidad existe que se pueda acceder a la base de datos, y corroborar que la información registrada sea en tiempo real?

¿Qué limitaciones presenta la tecnología bluetooth en la implementación de un sistema de red biométrica?

¿Qué dificultades se presenta al momento de una implementación de base de datos en una red celular?

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación teórica*

Actualmente el monitoreo del nivel de saturación de oxígeno ha sido uno de los aspectos más importantes para verificación de la salud de los pacientes, por lo que desde hace ya algunos años se ha ido implementando sensores para el monitoreo del mismo, pero existe una limitación en cuanto a la portabilidad, movilidad de los nodos y la autoconfiguración de los sistemas. (Gutierrez Segales, 2019), inicialmente se realizaron aplicaciones de monitorización con sensores biométricos, dando así el origen al término de redes inalámbricas de sensores biométricos, los cuales han sido perfeccionándose con el pasar de los años. Siendo así estos sistemas biométricos una gran solución para la automatización y escalabilidad, mejorando el monitoreo por parte del médico, y siendo posible la implementación de telemedicina, por el acceso a la información del paciente de manera remota, y viable. (Gutierrez Segales, 2019)

Otros de los aspectos que se consideró para la propuesta de este prototipo es el descubrimiento de COVID-19, y su expansión rápida por el mundo provocando miles de muertes, generando así una preocupación en el personal médico, ya que se evidenció que en muchos de los casos de las personas que portaban el virus tenían una insuficiencia en los niveles de saturación de oxígeno, la que no se percibía a simple vista, y por esta razón es importante el monitoreo constante del mismo, ya que con una detección temprana de los niveles de insuficiencia de saturación de oxígeno en la sangre, frecuencia cardiaca elevada, y el aumento de la temperatura corporal en cualquier persona infectada con el virus provocará que el médico tome decisiones a tiempo, y es por eso que este monitoreo se debe de realizar en tiempo real, y de manera remota a través de una base de datos que se registrara en una plataforma que será accedida por medio de internet, y además, para que el personal médico tenga el mínimo contacto con la persona infectada. (Silva Baque, 2021)

1.2.2 *Justificación aplicativa*

El presente trabajo de titulación propone desarrollar un prototipo de un sistema biométrico que tiene el objetivo de controlar el nivel de saturación de oxígeno con el uso de tecnología bluetooth con una interfaz de usuario, implementada en un dispositivo smartphone, la finalidad de este dispositivo tecnológico es proporcionar medida del nivel de saturación de oxígeno en tiempo real, la cual se guarda en una base de datos, que permitirá así al médico tomar decisiones oportunas, además otro propósito del dispositivo es acceder a la información de forma remota con el uso de

la interfaz de usuario, en donde el proceso seguirá diferentes pasos en donde se detallan las diferentes conexiones que se definen en la Ilustración 4-1.

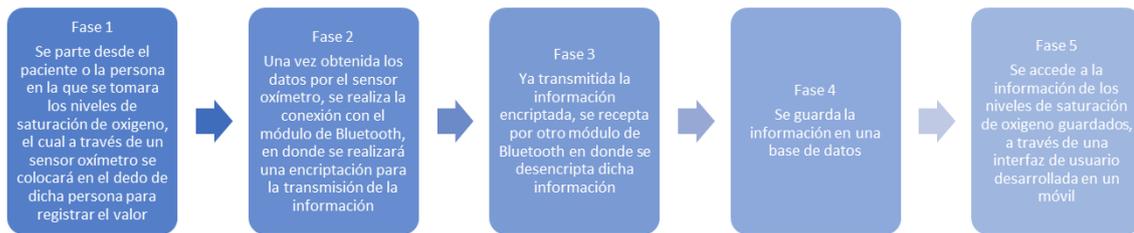


Ilustración 4-1: Pasos a seguir dentro de la implementación

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

1.3 Alcance

El trabajo de titulación tiene la finalidad de la obtención, desarrollo, y diseño de un prototipo de un sistema biométrico capaz de medir la saturación de oxígeno en la sangre de un paciente, para lo cual se tiene la idea de un dispositivo que será colocado en la muñeca del paciente y de manera remota ir controlando la saturación del paciente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar un prototipo de un sistema de red biométrica para el control de saturación de oxígeno con la tecnología Bluetooth.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar los sistemas biométricos con tecnología inalámbrica.
- Diseñar un prototipo con la tecnología bluetooth, que permita controlar el nivel de saturación de oxígeno de una persona.
- Diseñar una interfaz de usuario para un dispositivo móvil usado para el ingreso a la base de datos del nivel de saturación de oxígeno de una persona, registrando en tiempo real.
- Implementar el prototipo de un sistema de red biométrica tomando en consideraciones las limitaciones que presenta la tecnología Bluetooth.
- Implementar una interfaz de usuario en un dispositivo móvil para el ingreso a la base de datos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describe la investigación teórica de puntos esenciales para el desarrollo del presente trabajo como, biometría, tipos de sensores, comunicaciones inalámbricas, tarjetas de desarrollo, plataformas para el desarrollo de aplicaciones móviles.

2.1. Biometría

Biometría se deriva de las palabras griegas “bios” que significa vida, y “metron” que significa medida, se puede decir que es la ciencia de la identificación de los seres humanos que se basa en las características físicas únicas y que se diferencia de la sociedad aplicando términos matemáticos, por lo que se define como el estudio estadístico de las características cuantitativas de los seres vivos, como: peso, longitud, entre otros. (Delgado Parra, s.d)

Entre las principales características biométricas empleadas deben de tener en consideración las siguientes propiedades, como universalidad, singularidad (se distingue de cada individuo), permanencia en el tiempo y deben ser medibles cuantitativamente, y en cuanto a las tecnologías se debe de proporcionar un nivel de exactitud alta, aceptación por el usuario, y debe de tener resistencia al fraude o usurpación. (INCIBE, 2016)

2.1.1. Tipos de biometría

Dentro de los tipos de biometría se caracterizan dos grandes áreas que se caracteriza en el estudio de las características físicas del ser humano:

- **Biometría estática:** que se caracteriza por el estudio de las características físicas de los seres humanos tomando en consideración diferentes puntos clave, entre los que se explica a continuación cada uno de ellos: (Delgado Parra, s.d)
- **Reconocimiento del ADN:** Es una técnica poco usada por las personas, usada principalmente en el campo forense debido a la complejidad y al tiempo que toma el proceso de obtener la huella genética del tejido, en la que se extrae el A.D.N. (Ácido Desoxirribonucleico) del núcleo de una célula.

- **Reconocimiento del iris:** método que utiliza el iris humano como forma de identificación, ya que mantiene sus patrones y rara vez cambian, en la que se utiliza de una cámara infrarroja especial que toma una fotografía de alta resolución y obtiene los detalles del iris, sin que se encuentre afectado.
- **Huella dactilar:** es un rasgo singular y la más antigua de un ser humano la que posee un alto grado de precisión, ya que no existen personas que compartan este rasgo incluso gemelos idénticos no comparten las mismas huellas dactilares, y en la implementación en un sistema biométrico tiene un alto procesamiento y una elevada capacidad en el almacenamiento, además es seguro y fácil de usar, siendo uno de los métodos más utilizados en la actualidad, y según INCIBE (2016), se caracteriza en la búsqueda de coincidencias por dos diferentes técnicas, basadas en minucias, dichas minucias se definen en la Ilustración 1-2.



Ilustración 1-2: Minucias de la huella dactilar

Fuente: INCIBE, 2016

- **Reconocimiento de retina:** Es una técnica ideal donde se utiliza la alta seguridad, ya que la retina ocular es estable a lo largo de la vida de una persona, en la que utiliza los patrones de los vasos sanguíneos que se utiliza a partir de la pupila.
- **Reconocimiento de la geometría de la mano:** es una técnica en la que combina imágenes individuales de algunos dedos, en la que se extrae la información de datos como las longitud, altura, posición relativa y articulaciones, y para la obtención de la muestra se debe poner la mano sobre la superficie de un lector.
- **Reconocimiento facial:** se define a la técnica en la cual se identifica a la persona mediante sus rasgos, usando programas de cálculo que analizan imágenes de rostros humanos, y la lectura de las características del rostro humano se usan nodos para la creación de un mapa en tres dimensiones.
- **Reconocimiento de la geometría de las venas:** es una técnica que se basa en la estructura de las venas de la mano o del dedo principalmente, siendo una estructura diferente en cada

ser humano incluyendo gemelos, para lo que se usa de un sensor infrarrojo toma una imagen del patrón de las venas, a partir de esta imagen se genera una plantilla biométrica.

- **Reconocimiento espectroscópico de la piel:** es una técnica que capta una imagen de la superficie de la piel y que a través de un algoritmo de análisis de la textura de la piel se toma en cuenta una serie de características aleatorias y genera una plantilla.

- **Biometría dinámica:** caracterizados en la conducta del ser humano, tomando en consideración diferentes características basadas en el proceso de identificación de rasgos derivados de una acción realizada definidas a continuación (Delgado Parra, s.d):

- **Reconocimiento de voz:** Es un método de reconocimiento natural realizado a diario por los seres humanos y usa redes neuronales, en la que se usa algoritmos para medir y estimar la similitud para devolver un resultado e identificar a las personas, en la que se debe de considerar un margen de error por factores como el ruido de fondo, la calidad de la muestra y su duración.
- **Reconocimiento de la dinámica del tecleo:** técnica conocida también como key-stroke y se basa en el patrón de escritura en teclado que es propio de cada individuo, en la que se mide varias características del tecleo de cada individuo como la fuerza de tecleo, la duración de la pulsación y el período de tiempo que se presionan las teclas, la cual está sujeta a variaciones del usuario por posibles lesiones sufridas en las manos.
- **Reconocimiento de firma:** técnica que utiliza la firma de un individuo como patrón para confirmar la identidad en relación a la localización de inicio, y final de trazos, concavidad de los trazos, centro geométrico, entre otros, teniendo en consideración que existen pequeñas variaciones en la firma, pero gracias a la repetición constante de sus trazos crea un patrón válido que se puede usar para la identificación biométrica.
- **Reconocimiento de la cadencia del paso (forma de andar):** método que utiliza la forma de caminar de una persona para crear una plantilla biométrica usando una cámara y a través de un software se empareja los datos con su respectivo algoritmo; permitiendo la identificación a distancia.

2.1.2. Comparativa de los rasgos más generales

Existen diferentes rasgos los cuales se pueden considerar como los más generales, y en la Tabla 1-2, se definen algunas características de estos rasgos más generales que se encuentran en un sistema biométrico.

Tabla 1-2: Características principales de rasgos generales

| | Iris del ojo | Retina del Ojo | Huella Dactilar | Geometría de la mano | Escritura-Firma | Voz |
|------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------|
| Fiabilidad | Muy alta | Muy alta | Alta | Alta | Alta | Alta |
| Factibilidad | Media | Baja | Alta | Alta | Alta | Alta |
| Prevención de ataques | Muy Alta | Muy alta | Alta | Alta | Media | Media |
| Aceptación | Media | Media | Media | Alta | Muy alta | Alta |
| Estabilidad | Alta | Alta | Alta | Media | Media | Media |
| Identificación | Si | Si | Si | No | Si | No |
| Autenticación | Si | Si | Si | Si | Si | Si |
| Interferencias | Gafas | Irritaciones | Suciedad Heridas Asperezas | Artritis Reumatismo | Firmas falsas | Ruido Resfriado |

Realizado por: Granizo Marillo, Paola, 2023

2.2. Sistemas Biométricos

Un sistema biométrico se define en la Real Academia Española como el estudio mensurativo o estadístico de los fenómenos o procesos biológico, en sí es un sistema desarrollado con la finalidad de autenticar a las personas, mediante la identificación o verificación de la identidad, sumergiéndose en un análisis y comparativa en relación a una plantilla de referencia tomada como muestra con uno o varios rasgos biométricos, basados en características fisiológicas o de comportamiento. (Ruiz Marin, y otros, 2009)

En la Ilustración 2-2 se define el diagrama básico de un sistema biométrico que se caracteriza por el uso de un sensor, módulo de elaboración de calidad, y extracción de características, en la que se genera inicialmente un generador de plantillas, para subirlo a una base de datos, que se realizara una comparación a través de un módulo de comparación y llegar a un módulo de decisión. (Ludeña Veliz, 2018)

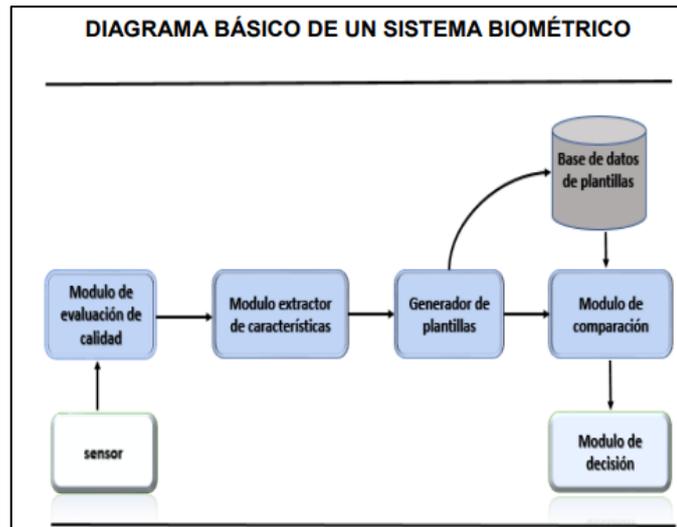


Ilustración 2-1: Diagrama básico de un sistema biométrico

Fuente: (Ludeña Veliz Fernando)

2.2.1. Proceso de un sistema biométrico

Los sistemas biométricos se basan en distintos procesos discretos, como el registro, captura en vivo, y extracción y comparación de plantillas, y según Ludeña (2018), define una serie de procesos, que habitualmente se utiliza:

2.2.1.1. Proceso de registro

Cuando se utiliza un sistema biométrico, por seguridad del mismo se realiza un registro de identidad en el sistema, y cuando se realiza la identificación en el sistema se realiza la extracción de las muestras y datos biométricos, formado por tres diferentes fases que se detallan en la Ilustración 3-2.

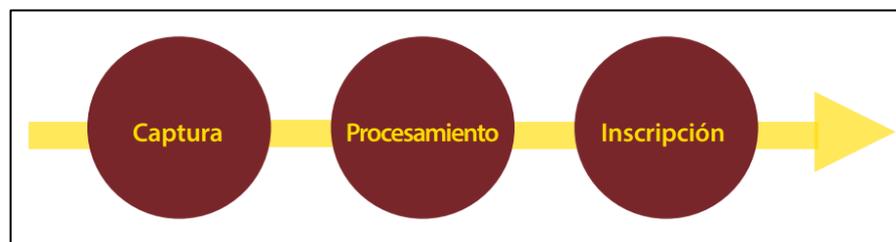


Ilustración 3-2: Proceso de registro

Fuente: (INCIBE, 2016)

- **Captura:** es la recolección de las muestras biométricas de los usuarios, en la que depende de la tecnología por su precisión y la forma de la captura.

- **Procesamiento:** una vez capturada la información del usuario se procede a la creación de una plantilla con las características propias de cada usuario a partir de las muestras capturadas.
- **Inscripción:** de basa de una plantilla procesada y se almacena en una base de datos para estas plantillas, y una vez acabada con la fase de inscripción se procede a la autenticación de los usuarios usando estas plantillas como herramienta.

2.2.1.2. *Proceso de autenticación*

En el proceso de autenticación se caracteriza por la obtención una muestra biométrica del usuario para luego ser comparada con las plantillas que se encuentran registradas en el sistema, este proceso se puede llevar a cabo de dos formas diferentes, mediante identificación o verificación: (INCIBE, 2016)

- **Identificación:** consiste en la comparación de la muestra obtenida del usuario con la base de datos de plantillas de los rasgos biométricos previamente registrados en el sistema, este proceso requiere de un proceso de un cálculo complejo, pero no se requiere del apoyo del nombre del usuario o cualquier otro tipo de reconocimiento, es decir que solo precisa de una muestra.
- **Verificación:** de la base de datos de plantillas se selecciona el patrón que se ha registrado con anterioridad por parte del usuario y seguido de eso, el sistema extraes las características biométricas y la compara con las que han sido previamente almacenadas en la base.

2.2.1.3. *Proceso de decisión*

En el proceso de decisión en los sistemas biométricos se puede diferenciar cuatro etapas: búsqueda de coincidencias, cálculo de puntaje, comparación de umbral y la decisión final (INCIBE, 2016).

- **Búsqueda de coincidencias:** consiste en realizar una comparación de las muestras biométricas de los usuarios con el objetivo de determinar el nivel de similitud entre las muestras tomadas previamente.
- **Cálculo de puntaje:** se realiza una comparación de datos biométricos para calcular un valor numérico que indique el nivel de similitud entre las muestras de los usuarios.
- **Comparación de umbral:** Se determina un valor predeterminado para el umbral, comúnmente por el administrador del sistema biométrico, que constituye el nivel de similitud necesario para que una muestra sea considerada similar a otra.

- **Decisión:** toma como resultado la comparación entre el umbral y el puntaje. Un sistema biométrico normalmente puede tomar decisiones tales como: coincidencia, no coincidencia e indeterminada cuando el sistema biométrico no puede ser capaz de determinar si la muestra obtenida coincide o no.

2.2.2. *Aplicaciones de un sistema Biométrico*

Una de los principales usos de un sistema biométrico ha sido la seguridad, debido al auge del Internet, en compras en línea, transacciones bancarias, por lo que los principales usos de un sistema biométrico son:

- **Entidades financieras:** usados especialmente en la seguridad para evitar fraudes y pérdidas de dinero, con el uso de sistemas de reconocimiento manual y de iris.
- **Comercio electrónico y banca electrónica:** usado en la seguridad implementados como parte del PC, en un ratón, teclado, u otro tipo de equipos móviles como: teléfonos móviles o PDA.
- **Turismo y viajes.**
- **Acceso a sistemas.** A entradas de empresas grandes, e inclusive a nivel local ha sido muy beneficioso el uso de sistemas biométricos, el cual permite identificar a los clientes o a los mensajeros, y a trabajadores de la empresa.
- **DNI electrónico.** Un DNI biométrico que supondría la eliminación de tarjetas, sustituidas por ejemplo por el iris de su titular.

2.3. **Signos Vitales**

Según la Dra. Ana García (2019), “las constantes vitales son aquellos indicadores que proporcionan información de cuál es el estado de salud de un paciente, como evidencia sirven de alarma para indicar que algo no funciona bien” (párr. 1).

2.3.1. *Saturación de oxígeno*

El ser humano al respirar, los pulmones cumplen con dos funciones principales, inhalan oxígeno y exhalan dióxido de carbono, y si presenta algún desequilibrio de alguno de estos componentes puede ocasionar afección y daños en los pulmones, en sí la saturación de oxígeno es un parámetro que indica la cantidad de oxígeno circula por el cuerpo a través de la sangre mediante la hemoglobina.

La hemoglobina se define como una proteína de los glóbulos rojos que transporta el oxígeno de los pulmones al resto del cuerpo, además existen diferentes métodos para poder medir la saturación de oxígeno en la sangre, entre una de las que se menciona es la gasometría arterial que consiste en pruebas de laboratorio tomando una muestra de sangre, siendo uno de los métodos más habituales, pero otro de los métodos más comunes es la pulsioximetría que consiste en utilizar un dispositivo ubicado en los dedos y mediante sensores que emiten luz se estima el nivel de saturación oxígeno medido en SpO₂. (Silva Baque, 2021)

Tabla 2-1: Actuación según porcentaje de saturación.

| %Saturación | PaO₂(mmHg) actuación |
|--------------------|---|
| >95% | Ninguna actuación |
| 94-90% | Tratamiento y monitorización |
| <90% | Hipoxia moderada, tratamiento inmediato |
| <80% | Hipoxia severa, intubación y ventilación mecánica |

Fuente: (Silva Baque, 2021)

En la Tabla 2-2 se muestra valores que se toma como referencia para poder determinar los resultados después de un monitoreo del nivel de oxígeno en la sangre, la que se aplica el método de la pulsioximetría, dando como resultado que los valores inferiores al 95%, comienza a decaer el porcentaje dando como resultado la generación de hipoxia, siendo este uno de los principales síntomas de las personas contagiadas con COVID-19, la cual fue denominada como hipoxia silenciosa debido a que el paciente no presenta ningún síntoma evidente, pero se observa un nivel de oxígeno menor a 80%. (Silva Baque, 2021)

2.3.2. Hemoglobina

La hemoglobina es una de las proteínas que transporta el oxígeno en los glóbulos rojos, las dos principales formas que se encuentran presentes son la hemoglobina oxigenada o denominada también como oxihemoglobina (HbO₂) y la hemoglobina desoxigenada denominada como desoxihemoglobina (RHb). (Maxim integrated, 2019)

2.3.2.1. Técnicas de medición de la saturación de oxígeno en la sangre

MEDIDAS DE OXIGENACIÓN

- **Saturación arterial O₂ (SaO₂)**

Consiste en la proporción de hemoglobina unida a oxígeno de la hemoglobina total, su principal técnica de medición es la oximetría de pulso o la gasometría arterial.

La oximetría de pulso es la técnica que permite el monitoreo no invasivo de la saturación periférica de hemoglobina, siendo uno de los métodos más estándar para dicho propósito, en la que no define un valor anormal de SaO₂ ya que no existe un umbral claramente establecido o estandarizado debajo del cual haya hipoxia tisular, una de las condiciones que conlleva la falta de oxígeno en la sangre es una cianosis franca se desarrolla hasta alcanzar 5 g/dL de desoxihemoglobina, que usualmente corresponde a una SaO₂ de aproximadamente 67%, y el umbral al cual se vuelve aparente depende múltiples factores como perfusión periférica o pigmentación cutánea, considerando valores anormales de SaO₂ <95% en reposo y una desaturación >5% durante ejercicio. (Baelish, 2022)

- **Presión arterial de O₂ (PaO₂)**

Consiste en la cuantificación del oxígeno disuelto, fácilmente obtenible con la gasometría arterial. Tampoco se ha determinado un valor “anormal”. Sin embargo, es razonable considerar anormal PaO₂ menor de 80mmHg.

- **Gradiente Alveolo-arterial de O₂ (ΔA-aO₂)**

Según la Ley de las Presiones Parciales cada componente gaseoso en el alveolo ejerce una presión sobre las paredes internas del mismo proporcional a su volumen; la cantidad de oxígeno alveolar ejerce su propia presión o PAO₂, la cual constituye la fuerza con la que el oxígeno difunde a través de la barrera alveolo-capilar y por ende oxigena la sangre. La cantidad de oxígeno que se halla disuelto en sangre también ejerce su propia presión, PaO₂. La diferencia de presión alveolar y arterial se denomina Gradiente alveolo-arterial de oxígeno (Ecuación 2-1), la cual es frecuentemente utilizada como medida frecuente de la oxigenación sanguínea. La medición de la PaO₂ es fácilmente realizable a través de los gases arteriales, sin embargo, no existe manera práctica de tomar muestra directa de la cantidad de oxígeno alveolar para calcular la presión que ejerce, por lo que su valor se calcula (Ecuación 2-2):

$$\Delta Aa = PAO_2 - PaO_2$$

Ecuación 2-1: Gradiente alveolo-arterial

$$PAO_2 = (FiO_2 \times [P_{atm} - P_{agua}]) - (PaCO_2/R)$$

Ecuación 2-2: Propia presión

$$R = V_{(CO_2)}/V_{(O_2)}$$

Ecuación 2-3: Cociente respiratorio

La PAO_2 es el cálculo de la diferencia de presión ejercida en el alveolo por el oxígeno y la ejercida por el dióxido de carbono. La presión alveolar ejercida por el oxígeno se calcula a partir de la fracción inspirada de oxígeno (FiO_2 , un equivalente de la cantidad de oxígeno y que constituye el porcentaje de O_2 atmosférico, 21%) y la presión atmosférica (P_{atm}). Al inspirar, vapor de agua producido por las secreciones epiteliales de la vía aérea también alcanza el alveolo, ejerciendo su propia presión (aprox. 47 mmHg), por lo que se le debe restar a la presión atmosférica. La presión ejercida por el dióxido de carbono, producto del metabolismo celular y más difusible a través de la membrana alveolo-capilar, se calcula con base en la relación presión de dióxido de carbono y cociente respiratorio (R), el cual es la relación entre el dióxido de carbono producido y el oxígeno consumido (Ecuación 2-3). Dada la variación de la ecuación de gases alveolares con la edad, tradicionalmente se utiliza una simplificación de la fórmula, se aplica el coeficiente $PaCO_2/R$. Respirando aire ambiente, el valor normal del $\Delta A-aO_2$ es $2,5 + 0,21$.

- **Relación PaO_2 / FiO_2**

Se basa en la proporción del oxígeno inspirado que efectivamente satura la sangre. Su valor normal varía entre 300 y 500 mmHg. Valores menores de 300 mmHg implican un intercambio anormal, mientras que valores menores de 200 mmHg indican hipoxemia severa.

2.3.2.2. Oximetría de Pulso



Ilustración 4-2: Oximetría de pulso

Fuente: (ATS, 2013)

En la Ilustración 4-2 se presenta el dispositivo denominado oxímetro de pulso, el cual es un dispositivo pequeño con una pinza incorporada para ajustarse en un dedo de la mano o del pie, o como un pequeño aparato portátil con un sensor conectado a un cable que puede adherirse o aplicarse en un dedo, tanto de la mano como del pie, o en el lóbulo de la oreja. El dispositivo pequeño es más económico y más práctico para su uso en el hogar. Este dispositivo emite rayos de luz que pasan a través de la sangre de su dedo (o del lóbulo de la oreja) para medir los niveles

de oxígeno. No sentirá nada. Se hace una “lectura” de los rayos de luz para calcular el porcentaje de su sangre que contiene oxígeno. El oxímetro también indica su frecuencia cardíaca (pulso). Para asegurarse de que el oxímetro esté midiendo correctamente, cuente su pulso durante un minuto y compare el número resultante con la lectura que aparece en el oxímetro. Si son iguales, es una buena señal. (ATS, 2013)

Los oxímetros cuentan con un fotorreceptor y en la Ilustración 5-2 se describe el funcionamiento de dicho fotorreceptor, que consta en colocarse en un punto opuesto a los LEDs, dejando en medio el tejido translucido (pulpejo del dedo, pabellón auricular, etc). El mecanismo que permite la lectura de la oxigenación es que en cada pulsación de la sangre arterial se transmiten valores lumínicos, detectando al mismo tiempo la frecuencia cardíaca.



Ilustración 5-2: Funcionamiento del fotorreceptor

Fuente: (ATS, 2013)

La precisión del oxímetro este marcado por un 2% por encima o por debajo del nivel de saturación obtenido mediante una gasometría arterial; esto significa que si su nivel de saturación de oxígeno medido con un oxímetro de pulso es 92%, en realidad puede estar entre el 90 o 94%. La lectura del oxímetro puede ser menos exacta si la persona tiene las uñas pintadas, uñas artificiales, manos frías o mala circulación; la medición del oxímetro también puede perder precisión si los niveles de saturación de oxígeno son demasiado bajos (menos del 80%) o si la piel de la persona es muy oscura.

2.3.2.3. Gasometría Arterial

La gasometría arterial (ABG, por sus siglas en inglés) mide directamente tanto la cantidad de oxígeno como la cantidad de gases (oxígeno y dióxido de carbono) que contiene su sangre, en la Ilustración 6-2 se demuestra la zona de extracción de la Gasometría arterial, es decir la zona de la muñeca, la cual puede ser dolorosa.



Ilustración 6-2: Gasometría Arterial

Fuente: (ALICANTE, 2019)

La oximetría es indolora, pero no es tan exacta como una ABG. Además, el oxímetro de pulso no mide los niveles de dióxido de carbono. (ALICANTE, 2019)

La ABG mide:

- **Presión parcial de oxígeno (PaO₂).** Esto mide la presión del oxígeno disuelto en la sangre y qué tan bien el oxígeno puede desplazarse desde los pulmones hacia la sangre.
- **Presión parcial de dióxido de carbono (PaCO₂).** Esto mide la presión del dióxido de carbono disuelto en la sangre y lo bien que el dióxido de carbono puede eliminarse del cuerpo.
- **pH.** El pH mide los iones de hidrógeno (H⁺) en la sangre. Por lo general, el pH de la sangre es de entre 7.35 y 7.45. El pH inferior a 7.0 se llama ácido y el pH superior a 7.0, básico (alcalino). Por tanto, la sangre es ligeramente básica.
- **Bicarbonato (HCO₃).** El bicarbonato es una sustancia química (protectora) que impide al pH de la sangre hacerse demasiado ácido o demasiado básico.
- **Valores del contenido de oxígeno (O₂CT) y la saturación de oxígeno (O₂Sat).** El contenido de O₂ mide la cantidad de oxígeno en la sangre. La saturación de oxígeno mide la cantidad de hemoglobina en los glóbulos rojos que transporta oxígeno (O₂).

En la Tabla 3-2 se definen los diferentes valores de referencia de ABG.

Tabla 3-2: Valores de referencia

| | |
|---|--|
| Presión parcial de oxígeno (PaO ₂): | Más de 80 mm Hg (más de 10.6 kPa) |
| Presión parcial de dióxido de carbono (PaCO ₂): | 35–45 mm Hg (4.6–5.9 kPa) |
| pH: | 7.35–7.45 |
| Bicarbonato (HCO ₃): | 22–26 mEq/L (22–26 mmol/L) |
| Contenido de oxígeno (O ₂ CT): | 15–22 mL por 100 mL de sangre (6.6–9.7 mmol/L) |
| Saturación de oxígeno (O ₂ Sat): | 95%–100% (0.95–1.00) |

Fuente: (ALICANTE, 2019)

2.3.2.4. Monitor de oxígeno de anillo continuo Wellue O_2 Ring TM

El anillo continuo Wellue O_2 Ring se muestra en la Ilustración 7-2, y su funcionamiento es automático, con un seguimiento continuo de la saturación de oxígeno en la sangre durante la noche, la frecuencia cardíaca y el movimiento corporal, usando un chip SOC inteligente, combinado con tecnología de filtrado anti-interferencias, O_2 ring proporciona una medición precisa del nivel de SpO_2 y la frecuencia del pulso en tiempo real. (WELLUE, s.d)



Ilustración 7-2: Monitor de oxígeno de anillo

Fuente: (WELLUE, s.d)

Tiene una memoria incorporada, funciona de forma independiente, su información siempre está a un vistazo rápido con una pantalla más grande. O_2 ring almacena 4 grupos de datos de 10 horas. Cuando el dispositivo está conectado a la aplicación a través de Bluetooth, los datos se cargarán automáticamente. (WELLUE, s.d)

Ventajas:

- Registra datos y almacena tendencias a largo plazo en el teléfono, tableta, computadora portátil y computadora de escritorio de forma gratuita.
- Imprime y comparte Informes de oximetría de alta resolución con intervalos de cuatro segundos.
- El material de silicona suave lo hace cómodo de llevar durante la noche.
- Recargable USB, una batería completamente cargada puede durar dos noches.

En la Ilustración 8-2 se demuestra el informe de la aplicación que utiliza el anillo, donde registra el tiempo donde el oxígeno está por debajo del 90 %; y cuantas veces durante una noche tu oxígeno baja más del 4%. También puede hacer zoom en el gráfico para ver más detalles.



Ilustración 8-2: APP del Anillo O2

Fuente: (WELLUE, s.d)

La aplicación proporciona a los usuarios análisis detallados y registros de los niveles de oxígeno en sangre, frecuencia cardíaca y movimientos corporales durante la noche, demostradas en la Ilustración 9-2.

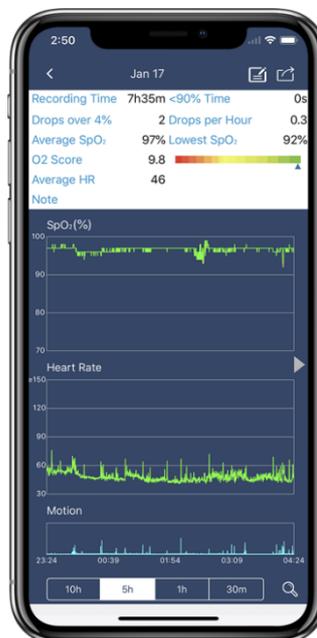


Ilustración 9-2: APP del Anillo O2

Fuente: (WELLUE, s.d)

El aplicativo permite exportar informes detallados en PDF o CSV, para poder compartirlas o imprimirlas fácilmente a través de la aplicación gratuita para Windows PC/Mac, como se describe en la Ilustración 10-2.



Ilustración 10-2: APP del Anillo 02

Fuente: (WELLUE, s.d)

Dentro de las especificaciones definidas con anterioridad se defina que:

- Rango de nivel de oxígeno: 70% -99%
- Rango de velocidad de pulso: 30 a 250 lpm
- Intervalo de medidas: 1S
- Intervalo de visualización en la tabla de datos de la aplicación: 4S
- Memoria integrada: 4 sesiones, hasta 10 horas por cada sesión
- Grado de resistencia al polvo y al agua: IP24
- Parámetros registrados: Niveles de oxígeno, pulso, movimiento
- Sistema de computadora compatible: ventanas 7/8/10; macOS 10.15.3 o superior
- Compatible con: iOS 9.0 o superior, iPhone 4s / iPad 3 o superior; Android 5.0 o superior, con Bluetooth 4.0 BLE
- Peso: 0.53 oz / 15g
- Dimensiones del dispositivo: 1.5 " x 1.2 " x 1.5 "
- Perímetro del anillo: 2.0 " - 3.2 " / 50-82 mm
- Inalámbrico: Bluetooth 4.0 BLE
- Duración de la batería: Polímero de litio recargable, 3.7 V CC; 12-16 horas para uso pical

2.3.2.5. Apple Watch Series 6 – Series 7

La app Oxígeno en Sangre mide de forma periódica los niveles de oxígeno en la sangre a lo largo del día (si se deja las mediciones en segundo plano activadas), pero también se podría tomar una medición a petición en cualquier momento. (Zumerkom Pipek, 2021)

Se han realizado múltiples pruebas del medidor Oxígeno en Sangre de Apple Watch con los oxímetros de pulso, de los cuales se han obtenido resultados iguales al medir con ambos dispositivos, indicando que Apple Watch 6 – 7 son una forma confiable de obtener la frecuencia cardiaca y la SpO2, dispositivo demostrado en la Ilustración 11-2, al igual que el funcionamiento de la medición de oxígeno de sangre.



Ilustración 11-2: Apple Watch

Fuente: (Zumerkom Pipek, 2021)

2.3.2.6. GARMIN (Fénix Serie 6 Pro)

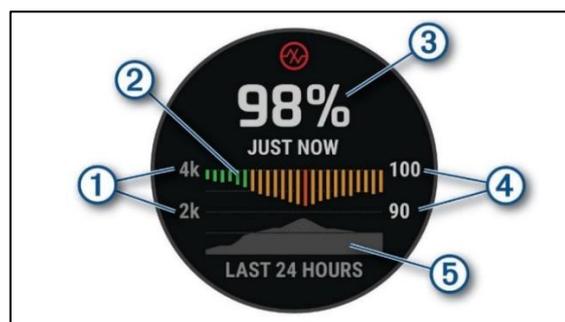


Ilustración 12-2: Garmin

Fuente: (Garmin, 2022)

El dispositivo Fénix cuenta con un pulsioxímetro basado en las mediciones de la muñeca que mide la saturación de oxígeno periférica en sangre, como se muestra en la Ilustración 12-2. Al conocer la saturación de oxígeno, se podrá determinar cómo se está adaptando el cuerpo a grandes altitudes en deportes alpinos y expediciones (Garmin, 2022). En el dispositivo, la lectura del

pulsioxímetro aparece como un porcentaje de saturación de oxígeno y un color en el gráfico. En la cuenta de Garmin Connect, se puede consultar más información sobre las lecturas del pulsioxímetro, como por ejemplo las tendencias a lo largo de varios días. Garmin a lo igual que este modelo de Smart Watch, dispone de otros modelos más que poseen el pulsioxímetro, tomando en cuenta que Garmin lo incluyó enfocándose a nivel de los deportes para poder llevar un control del mismo mientras se está realizando un deporte cualquiera en especial deportes alpinos y expediciones donde se ve más afectado el nivel de oxígeno (Garmin, 2022)

2.4. Tecnologías biométricas

Las tecnologías biométricas son aquellas herramientas electrónicas o automáticas que se usan para la identificación de personas basándose en un análisis de las características propias de cada ser humano sean físicas o de comportamiento (INCIBE, 2016). Básicamente se pueden distinguir diferentes tecnologías que ayudan en el registro de la muestra. (Tolosa Borja, y otros, s.d)

2.4.1. Sensores biométricos

En el mercado existe diferentes fabricantes que pone a disposición de los usuarios diferentes sensores para el uso de sistemas biométricos, y el método de detección de huella dactilar es una de las más grandes, existiendo mayor cantidad de sensores, y a continuación se definirá algunos de los sensores: (Tolosa Borja, y otros, s.d)

2.4.1.1. Sensores Ópticos

Son usados en el método óptico, conformado principalmente por cámaras de vídeo de tipo CCD (Dispositivo de Carga Acoplada), que consiste en cientos de miles de elementos individuales denominados píxeles localizados en la superficie de un circuito integrado diminuto, su funcionamiento consiste en que cada píxel se ve estimulado con la luz que incide sobre él, almacenando así una pequeña carga de electricidad, y gracias a su disposición en forma de malla con registros de transferencia horizontales y verticales transporta la señal 6 veces por segundo, los cuales son usados para el reconocimiento de la huella dactilar o en el reconocimiento del iris del ojo.

2.4.1.2. Sensores Termoeléctricos

Se usa en el método termoeléctrico que consiste en medir la temperatura diferencial entre las crestas papilares y el aire retenido en los surcos, usado en la detección de la huella dactilar, que tiene la característica de proporcionar una imagen de gran calidad a pesar de que se presente alguna anomalía como son la sequedad o el desgaste con pequeñas cavidades entre las cimas y los surcos de la huella, además esta tecnología permite su uso en diferentes condiciones como temperaturas muy altas, humedad, suciedad o contaminación de aceite y agua, y tienen un autolimpiado del sensor que evita huellas latentes, es decir huellas que se usaron con anterioridad.

2.4.1.3. Sensores Capacitivos

En la Ilustración 13-2 se define el funcionamiento de los sensores capacitivos que funciona como escáner generando una imagen de las crestas y valles del dedo, que consiste que en la superficie del circuito integrado de silicona, se conforma de un arreglo de píxeles de sensores capacitivos conductores cubiertos por una capa aislante, y su funcionamiento se basa en depositar una carga fija sobre cada píxel, la desventaja del uso de este tipo de sensores es que genera campo eléctrico ocasionando solapamiento sobre los píxeles vecinos, lo que provocará que el área sensor aumente de tamaño, trayendo como consecuencia un efecto de información cruzada entre los sensores adyacentes, reduciendo considerablemente la resolución de la imagen. (Tolosa Borja, y otros, s.d)

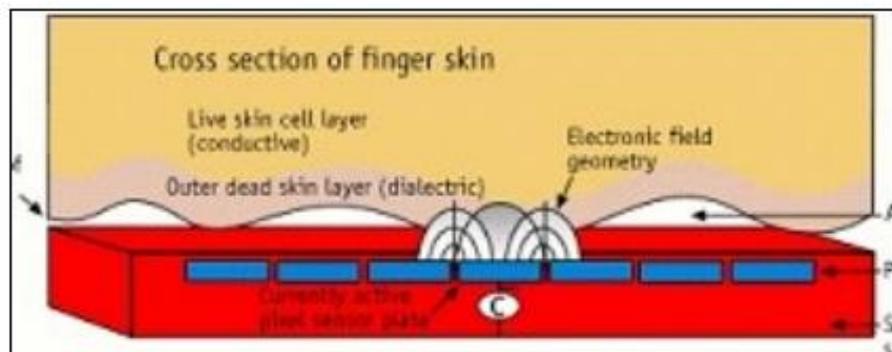


Ilustración 13-2: Funcionamiento de un sensor capacitivo

Fuente: (Tolosa Borja, y otros, s.d)

2.4.1.4. Sensores E-Field (de Campo Eléctrico)

Sensor que funciona con una antena midiendo el campo eléctrico formado entre dos capas conductoras, a través de un amplificador under-píxel se mide la señal, y reproducen una imagen

clara que se corresponde con mucha exactitud y nítida, la desventaja radica en que si se tiene una resolución baja de la imagen y el área es pequeña provoca un índice de error alto.

2.4.1.5. *Sensores sin contacto*

Su funcionamiento es parecido al sensor óptico, formado de un cristal de precisión óptica a una distancia de dos o tres pulgadas, y como en esta tecnología se presenta un hueco, pueden llegar polvo y suciedad hasta el cristal óptico ocasionando una distorsión de la imagen, además tiene uno de los algoritmos más complejo. (Tolosa Borja, y otros, s.d)

2.4.1.6. *Micrófonos ópticos unidireccionales*

Consiste en la luz de un diodo es emitida sobre una membrana reflectora a través de fibra óptica, y cuando las ondas de sonido golpean a la membrana, esta vibra; cambiando así las características de la luz reflejada, el foto-detector registra la luz reflejada que en conjunto con una electrónica de procesamiento obtiene una representación precisa de las ondas de sonido, es usado principalmente en el reconocimiento de voz, como se visualiza dicho funcionamiento en la Ilustración 14-2. (Tolosa Borja, y otros, s.d)

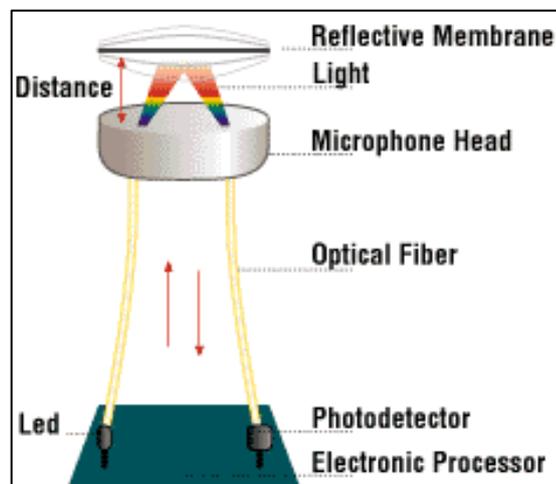


Ilustración 14-2: Funcionamiento de un micrófono óptico

Fuente: (Tolosa Borja, y otros, s.d)

2.4.2. *Ejemplos de sensores oxímetro*

Existen diferentes sensores que miden la saturación de oxígeno en la sangre, y en el mercado se evidencian varios de estos dispositivos, que se mencionan a continuación:

2.4.2.1. Sensor MAX 30102

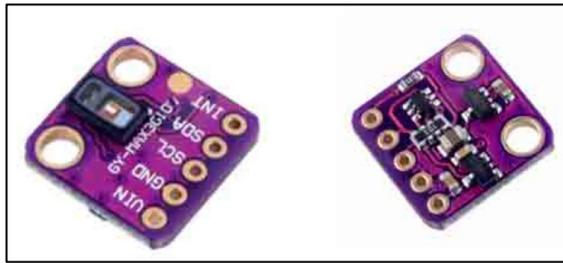


Ilustración 15-2: Sensor MAX30102

Fuente: (Llamas, 2020)

Sensor óptico visualizado en la Ilustración 15-2, sensor fabricado por la empresa Maxim Integrated, que incorpora las funciones de pulsímetro y oxímetro, que puede ser utilizado con la tarjeta de desarrollo Arduino, su funcionamiento radica en el comportamiento de la sangre ante la luz, indicando el grado de saturación de oxígeno, este sensor que incorpora dos leds, el led de espectro rojo y otro del led infrarrojo, cabe mencionar diferentes características principales de este sensor: (Llamas, 2020)

- Comunicación a través de la interfaz I2C, para la conexión con Arduino
- Tiene una doble alimentación de 1.8V y 3.3V para los leds
- Temperatura de operación: -40°C-85°C
- Temperatura de almacenamiento: -40°C-105°C
- Dimensiones: 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm
- Sensor de bajo coste diseñado para wearables.
- Funcionamiento basado en la hemoglobina (Hb) y la hemoglobina saturada (oxihemoglobina, HbO2)
- Consumo de 50mA

2.4.2.2. Sensor MAX30101

Es un sensor sofisticado de frecuencia cardiaca, oxímetro y humo/partículas, y consta de tres leds, uno verde, rojo e infrarrojo y fotodetectores para detectar la cantidad de luz reflejada en el sensor, su funcionamiento radica en la técnica llamada fotopleletismografía (PPG) que consiste en la detección del cambio de color de la piel con cada latido del corazón. (PIMORONI, 2018)

Consta de cinco pines: VCC (voltaje de funcionamiento), SDA (serie de datos), SCL (serie de reloj), INT (datos enteros), GND (tierra), disposición visualizada en la Ilustración 16-2.



Ilustración 16-2: Sensor MAX30101

Fuente: (PIMORONI, 2018)

Entre las características principales se tiene:

- Usado para detectar partículas en el aire, humo y cantidad de luz que las partículas rebotan en el sensor
- Protección contra polaridad inversa
- Consumo energético de $0.7 \mu\text{A}$
- Rango de temperatura de operación: $-40^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$
- Compatible con Raspberry Pi y Arduino
- Dimensión: $5.6\text{mm} \times 3.3\text{mm} \times 1.55\text{mm}$

2.5. Redes Inalámbricas

Según Miranda A. (2014), menciona que los avances tecnológicos en el área de las comunicaciones inalámbricas permiten integrar distintos protocolos en el desarrollo de redes inteligentes para el hogar así como en la implementación de dispositivos, y el tipo de comunicación que se utilice va a depender de la resistencia, velocidad de transmisión, distancia de cobertura, y consumo de potencia que genere, además se debe de considerar la frecuencia y la modulación de cada tecnología para poder obtener el máximo rendimiento, y los principales beneficios de esta tecnología inalámbrica son la automatización de redes vinculadas a internet.

Dentro de las características más relevantes se mencionan:

- La red no requiere de medios guiados para lograr la conexión entre dispositivos.
- La movilidad es posible dentro del área de cobertura.
- Se reduce los costos de mantenimiento que implicaría tener una red cableada.
- Facilidad de conexión con dispositivos que incluyan tecnologías inalámbricas.

2.5.1. Arquitectura de redes inalámbricas

La arquitectura de una red inalámbrica es parecida a una red cableada, la diferencia radica en la conversión de las señales de información de forma que sea adaptable para lograr su transmisión a través de medios no guiados como es el aire, en la Ilustración 17-2 se representa una arquitectura de red inalámbrica.

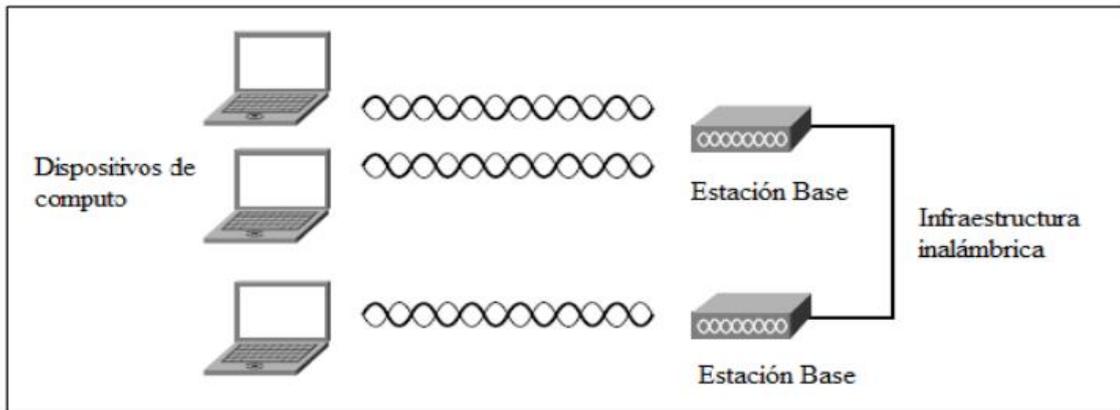


Ilustración 17-2: Estructura de una red inalámbrica.

Fuente: (Guilcapi Quisnancela, y otros, 2020)

2.5.2. Topología

En la Ilustración 18-2 se definen las diferentes topologías existentes, que se utilizan para la construcción de una red inalámbrica, entre las más conocidas está la topología Anillo, Estrella, Mesh, y cada una de ellas presentan diferentes características que generan ventajas y desventajas, las cuales se consideran de acuerdo a las necesidades del usuario, y en la Tabla 4-2 se presentan estas ventajas y desventajas de cada una de las topologías

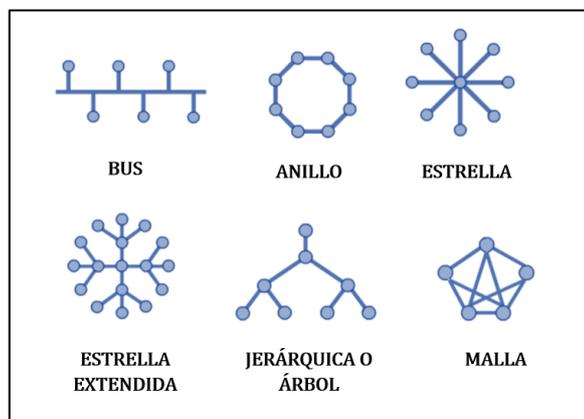


Ilustración 18-2: Topología de red

Fuente: (Guilcapi Quisnancela, y otros, 2020)

Tabla 4-2: Topologías de una red inalámbrica

| Topología | Ventajas | Desventajas |
|-----------|---|---|
| Anillo | <ul style="list-style-type: none"> • Rendimiento elevado para un número reducido de nodos • Simplicidad en la arquitectura | <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para la detección de falencias • Si un nodo falla, toda la red falla • Un cambio en la topología, falla la red • Mayor cantidad de dispositivos, la transferencia de datos es más lenta |
| Estrella | <ul style="list-style-type: none"> • Presenta mayor confiabilidad, es decir un fallo no afecta a toda la red. • Facilidad de detección de fallas. • Facilidad al insertar o eliminar dispositivos a la red. • La comunicación de los dispositivos es a convenir. • Buen rendimiento y fácil configuración. | <ul style="list-style-type: none"> • Dependencia del nodo central o concentrador. • Más número de enlaces comparadas con la topología de anillo, lo que implica un costo mayor. |
| Malla | <ul style="list-style-type: none"> • Todos los dispositivos pueden comunicarse entre sí. • Proporciona redundancia • Robustez frente a fallas. • La transmisión se los realiza por caminos dedicados • Facilidad de detección de fallas | <ul style="list-style-type: none"> • Dificultad en la implementación. • Costo elevado debido al incremento de enlaces • Se requiere mayor cantidad de puertos |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

2.5.3. Bluetooth

El origen de la tecnología bluetooth radica por los años 1994, con las investigaciones realizadas por la empresa Ericsson, y para el año 1999 se creó el SIG de Bluetooth denominado a un grupo de interés especial, integrado por las empresas Ericsson, Intel, Nokia, Toshiba e IBM, y años después se unieron a la investigación Microsoft y Motorola, en sí su nombre se debe a un rey danés y noruego Harald Blatand. (Poma Canaza, 2018)

Bluetooth es un tipo de tecnología para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN), el que permite la transmisión de voz y datos entre distintos dispositivos mediante radiofrecuencia segura de 2.4 GHz, es decir que es una tecnología de onda de radio de corto alcance, simplificando las comunicaciones y sincronización de datos entre los dispositivos u ordenadores, la frecuencia que utiliza está dentro de la banda reservada de acuerdo a los convenios internacionales para el uso de dispositivos industriales, científicos y médicos, es decir son bandas ISM, lo que permite las comunicaciones sin cables, ni conectores y la posibilidad de crear redes inalámbricas domésticas para sincronizar y compartir la información que se encuentra almacenada en estos dispositivos, definiendo que la característica principal de la conexión bluetooth es poder transmitir datos des dispositivo hacia un smartphone. (Poma Canaza, 2018)

La tecnología bluetooth es de pequeña escala, de bajo costo que se caracteriza por el uso de enlaces de radio de corto alcance entre los móviles o dispositivos, teniendo la capacidad de atravesar paredes o elementos interferentes, con la conexión entre los dispositivos con altos niveles de seguridad, consta de dos partes un dispositivo de radio que transmite y modula la señal, y un controlador digital para procesar la información, y cada dispositivo debe de contar con un microchip que transmite y recibe en la frecuencia de 2.4 GHz, que permitían comunicaciones a través de obstáculos, de hasta 10 metros de distancia.

2.5.3.1. Normas

Dentro del estándar de Bluetooth se definen una serie de normas y siglas que varían dependiendo de las velocidades y el alcance del mismo.

- IEEE 802.15.1 define Bluetooth 1.x, que puede alcanzar velocidades de 1 Mbps
- IEEE 802.15.2 recomienda prácticas para utilizar la banda de frecuencia de 2.4 GHz (la frecuencia también utilizada por WiFi). Sin embargo, este estándar todavía no se ha aprobado
- IEEE 802.15.3 es un estándar que actualmente se está desarrollando, que ofrecerá velocidad de banda ancha (20 Mbps) con Bluetooth
- IEEE 802.15.4 es un estándar que actualmente se está desarrollando para el uso con aplicaciones Bluetooth de baja velocidad. (Kioskea, 2014)

2.5.3.2. Características

- Utiliza ondas de radio que trabajan en la banda de frecuencia de 2.4 GHz

- Utiliza la técnica FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrun, que traducido al español Espectro ensanchado con salto de frecuencia) que consiste en dividir la banda de frecuencia de 2.402-2.480 GHz divididos en 79 canales denominados los diferentes saltos de 1 MHz de ancho, razón por la que al cambiar de canales con una frecuencia de 1600 veces por segundo, el estándar Bluetooth puede evitar interferencias con otras señales de radio
- Modo de operación maestro/esclavo

2.5.3.3. Arquitectura de Bluetooth

Dentro de la comunicación de la tecnología Bluetooth se debe de considerar los parámetros de descubrimiento de los dispositivos vecinos como del circuito preestablecido.

- **Arquitectura de hardware**

En el ámbito del hardware de bluetooth se compone de diferentes elementos: un controlador digital conformado por un CPU el cual se encarga de las instrucciones del dispositivo principal con la finalidad de establecer la comunicación bluetooth con otros dispositivos a través de del LM (Link Manager) conjunto con el protocolo LMP, un procesador de señales digitales (DSP-digital signal processor), o conocido también como de un LC (Link Controller), que se encarga del manejo de los protocolos FEC y ARQ de la capa física y del procesamiento de la banda base como la codificación del audio, funciones de transferencia y encriptación de los datos de comunicación, se compone además de las interfaces del dispositivo principal para la comunicación, y un dispositivo de radio el cual cumple con la función de transmitir y modular la señal de comunicación, y cada uno de estos elementos que conforman la arquitectura Hardware se definen en la Ilustración 19-2. (Torres Romero, 2017)

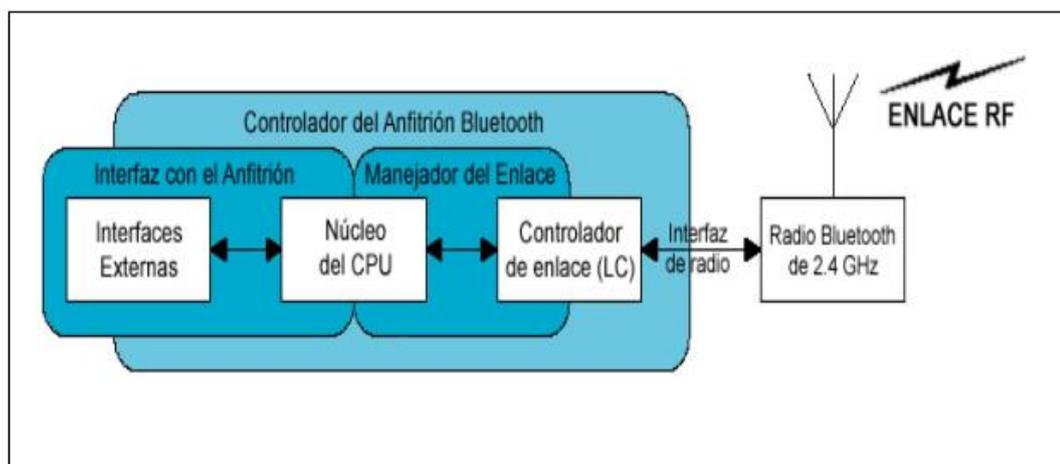


Ilustración 19-2: Arquitectura de Hardware

Fuente: (Islas, 2005)

- **Arquitectura Software**

En la comunicación de dispositivos Bluetooth se realiza mediante la interfaz chip denominada como HCI (Host Controller Interface) conjunto con una serie de protocolos, conformando a la arquitectura software definido en la Ilustración 20-2.

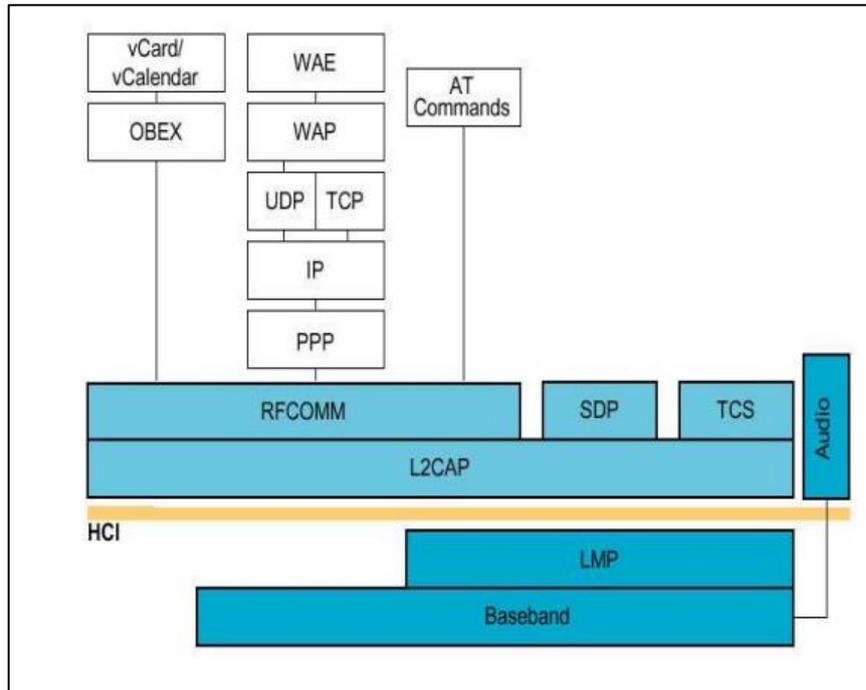


Ilustración 20-2: Arquitectura de Software

Fuente: (Islas, 2005)

- **L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol):** protocolo encargado de la segmentación y reensamblado de los paquetes de comunicación.
- **SDP (Session Description Protocol):** protocolo encargado de la descripción de sesión, que permite el descubrimiento de otros dispositivos dentro de un rango establecido para la comunicación.
- **RFComm (Radio Frequency Communication):** protocolo encargado de la comunicación por radio frecuencia utilizando las conexiones similares al puerto serial.
- **TCS (Telephony Control Protocol):** protocolo de control de telefonía, que define la señalización del control de datos entre los diferentes dispositivos Bluetooth.

2.5.3.4. Versiones

La tecnología bluetooth ha ido evolucionando desde el inicio de su aparición, en la que se presenta una serie de versiones que han ido apareciendo con el pasar de los años.

- **Bluetooth 1.0**

Es la primera versión de la tecnología Bluetooth, usada en la transmisión de datos entre dispositivos, pero en la actualidad ya no se utiliza por las nuevas versiones que han ido apareciendo, pero cabe recalcar que dentro de esta versión se define dos actualizaciones de la misma: **versión 1.1**, el cual se caracterizaba por tener un ancho de banda máxima de 1 Mbps con un rango de alcance de hasta 10 metros, con tres diferentes potencias de transmisión (media, baja y moderada) y la **versión 1.2** el cual usa la técnica AFH (Adaptive Frequency Hopping) el cual permitió la transmisión más eficiente con una mejor seguridad de cifrado, dando como resultado una calidad de voz con un ruido ambiental reducido y mejoramiento en la velocidad de la configuración para la comunicación entre dispositivos.

- **Bluetooth 2.0**

Esta versión se caracteriza por tener un ancho de banda máximo entre 2 y 3 Mbps, incorporando la técnica EDR (Enhanced Data Rate), encargada del mejoramiento de las velocidades de transmisión, con una actualización de la versión denominada como versión 2.1 que cumplía con minimizar el procedimiento para el establecimiento de la comunicación entre dispositivos, reduciendo también el consumo de potencia cinco veces menos.

- **Bluetooth 3.0**

Esta versión se caracterizó por integrar características como HS (High Speed), que se encargaba de la transferencia paquetes con más datos como archivos de música y video, tiene una tasa de transferencia de 24 Mbps.

- **Bluetooth 4.0**

Es una versión denominada también como el BLE (Bluetooth Low Energy) que se enfoca directamente al funcionamiento de dispositivos bajo el concepto del internet de las cosas (IoT), que se caracteriza de un consumo energético es menor para los dispositivos que trabajan durante un tiempo muy largo, además trabaja con una tasa de transferencia de 25 a 32 Mbps, que incluye dos actualizaciones la versión 4.1 y 4.2, dando origen al concepto de “Bluetooth Smart” que tiene como base el bluetooth clásico de las versiones 1, 2 y 3.

- **Bluetooth 5.0**

Es una versión que apareció a finales del año 2016 y es la última versión que se ha implementado en los dispositivos fabricados últimamente, que se caracterizaba por mejorar el funcionamiento de los dispositivos implementados dentro de la tecnología IoT, además cumple con el doble de

tasa de transferencia de la versión 4.0 con un soporte en los flujos de datos de los diferentes dispositivos conectados simultáneamente.

2.5.3.5. Clases

Si bien la tecnología bluetooth ha ido evolucionando con el pasar de los años, dando como resultado la aparición de diferentes versiones y clases, y estas clases hacen referencia a la variación de potencia de transmisión de los dispositivos, teniendo una compatibilidad entre las clases de la tecnología, las cuales están descritas en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Parámetros de la clase de Bluetooth

| Clases | Potencia máxima (dBm) | Potencia máxima (mW) | Rango aproximado (m) |
|---------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Clase 1 | 20 dBm | 100 mW | 100 metros |
| Clase 2 | 4 dBm | 2,5 mW | 20 metros |
| Clase 3 | 0 dBm | 1 mW | 1 metro |

Fuente: (Torres Romero, 2017)

2.5.3.6. Redes Bluetooth

La comunicación bluetooth trabaja en un ambiente multiusuario, y esta puede ser punto a punto o multi-punto, se maneja un modelo Maestro-Eslavo, con células llamadas piconet, que están conformadas por un dispositivo maestro y máximo siete dispositivos que se denominan esclavos; un esclavo puede pertenecer a más de un piconet y el conjunto de piconets forman un scatternet, dichas de redes de Bluetooth se describen en la Ilustración 21-2.

Dentro de una determinada área, puede existir un máximo de 10 piconets, y una característica interesante de bluetooth es que no depende del protocolo de internet IP, esto facilita la expansión de dispositivos que se pueden adaptar fácilmente sin la necesidad de recurrir a la conexión a internet. (Poma Canaza, 2018)

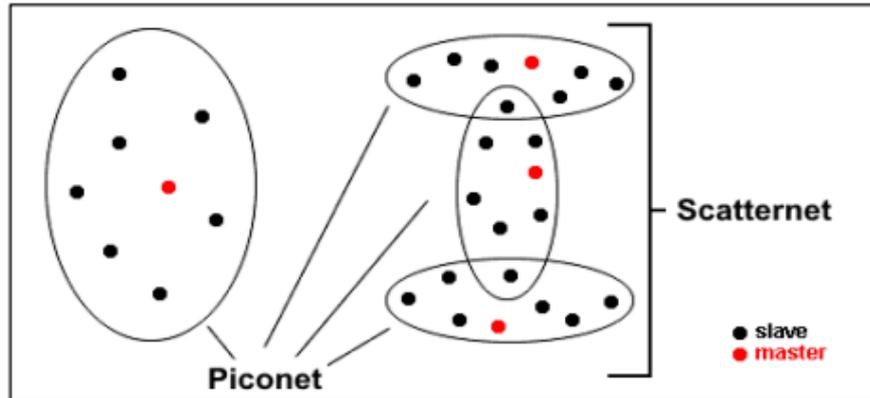


Ilustración 21-2: Redes de Bluetooth

Fuente: (Poma Canaza, 2018)

- **Piconets**

Si un equipo se encuentra dentro del radio de cobertura de otro, estos pueden establecer conexión entre ellos. En principio solo son necesarias un par de unidades con las mismas características de hardware para establecer un enlace. Dos o más unidades Bluetooth que comparten un mismo canal forman una piconet. Para regular el tráfico en el canal, una de las unidades participantes se convertirá en maestra, pero por definición, la unidad que establece la piconet asume este papel y todos los demás serán esclavos. Los participantes podrían intercambiar los papeles si una unidad esclava quisiera asumir el papel de maestra. Sin embargo solo puede haber un maestro en la piconet al mismo tiempo.

Cada unidad de la piconet utiliza su identidad maestra y reloj nativo para seguir en el canal de salto. Cuando se establece la conexión, se añade un ajuste de reloj a la propia frecuencia de reloj nativa de la unidad esclava para poder sincronizarse con el reloj nativo del maestro. El reloj nativo mantiene siempre constante su frecuencia, sin embargo los ajustes producidos por las unidades esclavas para sincronizarse con el maestro, solo son válidos mientras dura la conexión.

Como ya hemos comentado, las unidades maestras controlan en tráfico del canal, por lo que estas tienen la capacidad para reservar slots en los enlaces SCO. Para los enlaces ACL, se utiliza un esquema de sondeo.

- Conexión
- Scatternet
- Comunicación Inter-piconet

2.5.3.7. Módulos de bluetooth

Los módulos Bluetooth son dispositivos pequeños adecuados para proyectos en donde se necesita de una conexión inalámbrica, pueden actuar como Masters o como Slaves (Maestro o esclavos). La diferencia es que un Bluetooth Slave solo puede conectarse a un master y a nadie más, en cambio un master Bluetooth, puede conectarse a varios Slaves o permitir que ellos se conecten y recibir y solicitar información de todos ellos, arbitrando las transferencias de información (Hasta un máximo de 7 Slaves).

2.5.3.7.1. Módulo HC05

El módulo Bluetooth HC-05 permite la conectividad de dispositivos de forma inalámbrica, que se configuran a través de Arduino con comandos AT, la comunicación se da entre dos dispositivos: un maestro y un esclavo, considerando que viene configurado de fábrica como esclavo, es decir que cumple con la función de escuchar las peticiones de conexión, en la Ilustración 22-2, se define el módulo HC-05

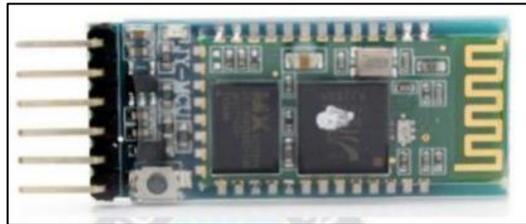


Ilustración 22-2: Módulo de Bluetooth

Fuente: (Poma Canaza, 2018)

El módulo cumple con las especificaciones del estándar Bluetooth 2.0, el cual es compatible con celulares o smartphones Android, la desventaja es que no es compatible con iPhone.

Cuenta con una serie de especificaciones, y entre las especificaciones técnicas se describen a continuación:

- Voltaje de operación: 3.6V - 6V DC
- Consumo corriente: 50mA
- Bluetooth: V2.0+EDR
- Frecuencia: Banda ISM 2.4GHz
- Modulación: GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)
- Potencia de transmisión: 4dBm, Class 2

- Sensibilidad: -84dBm a 0.1% BER
- Alcance 10 metros
- Interface comunicación: Serial TTL
- Velocidad de transmisión: 1200bps hasta 1.3Mbps
- Baudrate por defecto: 38400,8,1,n.
- Seguridad: Autenticación y encriptación
- Temperatura de trabajo: -20C a +75C
- Compatible con Android
- Dimensiones: 37*16 mm

2.5.3.7.2. *Módulo LM746*

En la Ilustración 23-2 se define el dispositivo LM746, es una solución compatible con Bluetooth 5 extremadamente versátil y rentable, que permite que los datos de audio se comuniquen de forma inalámbrica entre dispositivos de audio mediante una conexión Bluetooth y Bluetooth de baja energía. Sus características de mejora de sonido lo hacen un ajuste perfecto dentro de su dispositivo de audio premium. (LM technologies, s.d.)

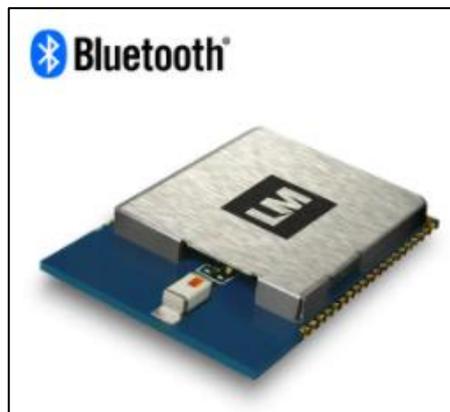


Ilustración 23-2: Módulo LM746.

Fuente.(LM technologies, s.d.)

Entre las principales aplicaciones se tiene en el uso de auriculares y parlantes inalámbricos, auriculares manos libres, sistemas de información y entretenimiento para automóviles y dispositivos de entretenimiento para el hogar y adaptadores de audio.

Según el sitio oficial de LM Technologies, quien es una empresa encargada de la manufactura de todos estos tipos de módulos, tanto de la tecnología Bluetooth, como de otro tipo de tecnología, se menciona las características principales de este módulo, descrito en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2: Características del módulo LM746

| Estándar inalámbrico | Versión 5 |
|---------------------------------|--|
| Compatibilidad | Versiones 4.1 - 4.0 – 3.0 – 2.1 – 2.0 |
| Tipo de módulo | Programable con comandos AT |
| Frecuencia | 2.4 GHz |
| Perfiles | A2DP, AVRCP, basado en GATT, HFP, HSP, SPP parcialmente compatible |
| Interfaz de programación | SPI |
| Interfaces | CART-USB |
| Antena | Antena IC |
| Potencia de salida TX | 2 dBm |
| Sensibilidad Rx | -90 dBm |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

2.6. Tarjetas de desarrollo

Una tarjeta de desarrollo se define como una placa electrónica hardware que poseen un microcontrolador creado para lenguajes específicos, el cual permite el diseño y construcción de circuitos, prototipos esta herramienta permite probar la funcionalidad de un proyecto pequeño o un sistema.

Y en la actualidad existen una amplia gama de tarjetas de desarrollo equipadas con distintas características entre las más utilizadas están Raspberry Pi, Arduino y desde el 2015 está disponible en el mercado ESP8266 en sus diversas versiones.

2.6.1. *Arduino*

Arduino se define no como un dispositivo, sino una plataforma de electrónica, basada en ofrecer un software libre a partir de unos componentes hardware y software sencillos de usar, compuesta por una placa de circuito impreso cuyo núcleo es el microcontrolador y un entorno de desarrollo diseñado para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. (Lopez Villanueva, 2021)

El hardware de un Arduino está compuesto por una PCB en la que se implementa un diseño determinado con la finalidad de que el usuario final no deba preocuparse de las conexiones eléctricas que necesitaría el microcontrolador para funcionar, conociendo como núcleo al microcontrolador que en su mayoría son de la marca Atmel AVR, entre los principales que son

utilizados son: Atmega168, Atmega1280, Atmega328 y Atmega8, al cual se le añaden numerosos puertos de comunicación, entradas y salidas para conectar con dispositivos externos a él, que cumplen con la característica de sencillez.

En cuanto al software que utiliza Arduino está basado en un entorno de desarrollo IDE, que implementa el lenguaje de programación de Arduino basado en el lenguaje de programación C++ que se caracteriza por su sencillez y facilidad uso y adaptación liviana, además cuenta con las herramientas apropiadas para transferir el firmware al microcontrolador junto con el bootloader ejecutado en la placa.

2.6.1.1. *Características*

Entre las principales características que ofrece Arduino son: (Lopez Villanueva, 2021)

- **Su comunidad:** el alcance que le da su gran comunidad a nivel global lo dota de gran cantidad de documentación de gran relevancia y extensa que abarca cualquier necesidad.
- **Entorno de programación multiplataforma:** el cual se adapta a todo tipo de sistemas operativos.
- **Lenguaje de programación fácil e intuitivo:** basado en C++, lo hace fácil de comprender y captar, permitiendo la entrada a nuevos programadores y a la vez con gran capacidad para que los programadores más avanzados desarrollen todo su potencial.
- **Bajo coste:** la placa por excelencia estándar ronda los 20 \$, incluso uno mismo la podría fabricar, una ventaja de ser software libre.
- **Versatilidad y reciclaje:** una vez desarrollado un proyecto se puede volver a utilizar en el siguiente, es muy fácil desmontar los componentes externos y comenzar el nuevo proyecto. Todos los pines son accesibles al exterior a través de conectores hembra para sacar partido a todas las posibilidades.

2.6.1.2. *Modelos*

Existen diversos modelos oficiales adoptados para un sinnúmero de necesidades del usuario, se mencionan un total de 12 modelos oficiales y muchas placas compatibles con el software, pero además permite crear una placa con los componentes que el usuario requiera, en el mercado existen 4 modelos principales los que se mencionan a continuación:

- **Arduino UNO:** es el modelo básico para, a priori, cualquier tipo de proyecto. Como ya se ha comentado ronda los 20 \$ en la página oficial y tiene suficientes entradas y salidas para los primeros proyectos. En el caso del que se describe en esta memoria, ha sido la elegida por su variedad y características concretas que se describen en el siguiente punto de la memoria.
- **Arduino Zero:** si el usuario tiene necesidades que requieren más potencia esta placa es la ideal. El precio aumenta hasta los casi 35 \$, pero supera con creces a la anterior en CPU, RAM y memoria interna.
- **Arduino Mega:** si por el contrario lo que se busca son número de entradas digitales este es el modelo adecuado. Con un precio parecido al anterior, ronda los 35 \$, ofrece hasta 54 entradas digitales para conectarse a multitud de dispositivos externos. Esto a la larga va a dotar al usuario de más posibilidades con las que jugar en sus proyectos.
- **Arduino DUE:** aumenta las prestaciones respecto a la UNO con la principal característica de poseer 2 DAC para la conversión digital analógica. Esta ha sido una de las características que la han hecho a priori una candidata para este proyecto, pero que se ha descartado por motivos que posteriormente se comentarán.

2.6.2. *Raspberry pi (RPi)*

Raspberry PiE (RPi) una tarjeta de desarrollo que simula a una mini-computadora en placa, de tamaño reducido, desarrollada en Reino Unido por la fundación Raspberry Pi con la finalidad de estimular la enseñanza de las ciencias computacionales básicas en escuelas, con lenguajes de programación principales Debian y Python, pero tiene la capacidad de instalar sistemas operativos con base en Linux o Windows10, y en la Ilustración 24-2 se visualiza una de las versiones de las tarjetas de desarrollo Raspberry pi.

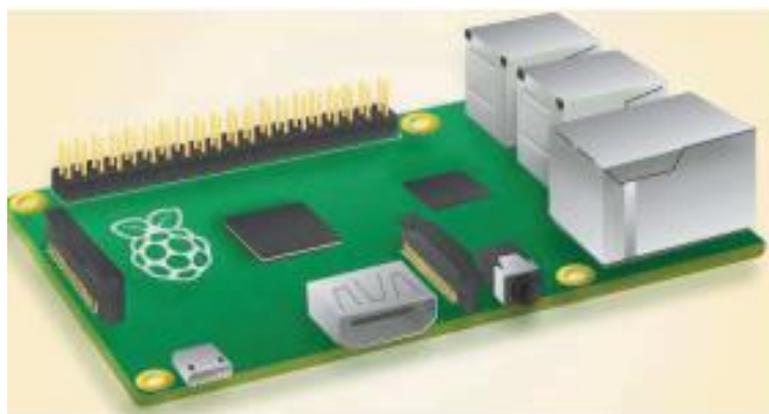


Ilustración 24-2: Tarjeta de desarrollo Raspberry pi.

Fuente: (Loachamin Chanataxi, y otros, 2016)

El bajo costo y la configuración de hardware de la placa RPi han hecho que sea muy popular entre los programadores y realizadores (aficionados) de proyectos de automatización que requieren algún procesamiento computacional, con un chip Broadcom BCM2835 con procesador ARM hasta 1.4 GHz de velocidad, GPU VideoCore IV y hasta 1 GB de memoria RAM. (Torres del Carmen, y otros, 2019)

Se requiere de un medio de almacenamiento, tarjetas de memoria SD o microSD, así como de un cargador microUSB de al menos 2000mAh. Contiene un puerto de salida de video HDMI y otro de tipo RCA, minijack de audio y un puerto USB 2.0 (modelos A y A+, B dispone de dos USB y B+ y Raspberry Pi 2 disponen de 4 USB) con el que se podrá conectar periféricos como teclado y ratón.

Para conexión en red, la RPi contiene un puerto Ethernet o es posible utilizar un adaptador inalámbrico WiFi compatible.

2.6.3. *ESP8266 Node MCU*

ESP8266 es el nombre que se le da a un micro controlador diseñado por Espressif Systems, una compañía china con sede en Shangai, a inicios del 2014, siendo una solución autónoma de las redes de WiFi, siendo como un puente entre los microcontroladores que hasta ahora existían hasta los MCU con WiFi, siendo además capaz de ejecutar aplicaciones independientes, usa el lenguaje de programación Lua, el cual es un potente lenguaje de scripting, y la aplicación más popular es NodeMCU Lua Firmware. (Ubach Granados, 2017)

Existe una serie de versiones que contienen un mismo procesador la diferencia radica en el número de pines GPIO expuestos, la cantidad de memoria flash, las dimensiones, la forma de exponer los pines, y otras consideraciones varias relativas a su construcción, que se describe en la Ilustración 25-2.

- **ESP-01:** es uno de las versiones populares, con dos pines GPIO y la antena impresa.
- **ESP-02:** cuenta con tres pines GPIO y la antena externa.
- **ESP-03:** cuenta con siete pines GPIO y la antena cerámica.
- **ESP-04:** cuenta con siete pines GPIO y no cuenta con una antena.
- **ESP-05:** no cuenta con pines GPIO y cuenta con una antena externa.
- **ESP-06:** cuenta con tres pines GPIO y no cuenta con una antena.
- **ESP-07:** cuenta con nueve pines GPIO y una antena externa y cerámica.

2.6.4. Comparativa de las tarjetas de desarrollo

Las tarjetas de desarrollo son un punto fundamental en la red, que se caracteriza que el núcleo en la recepción de información del nodo coordinador, mediante la comunicación serial, la cual se comunica con el computador, y se encarga de recibir la información de las acciones que necesita el usuario y funcione el proyecto.

Se realizó un análisis de las placas de desarrollo principales que se encuentran en el mercado con la finalidad de escoger la mejor opción considerando las diferentes características, en especial las especificaciones técnicas, entre las placas de desarrollo Raspberry pi, Arduino y ESP8266 Node MCU, las cuales se mencionan en la Tabla 7-2.

Tabla 7-2: Comparativa entre las placas de desarrollo

| TARJETAS DE DESARROLLO | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| | Raspberry pi | Arduino | ESP8266 Node MCU |
| Voltaje de operación | 5 V | 3.3 V 5 V | 3.3 V 5 V |
| Entorno de desarrollo | Linux Eclipse Windows | IDE arduino | IDE Arduino LUA |
| Sistema Operativo | Raspbian | | - |
| Pines analógicos | - | 6 | 1 |
| Pines Digitales | - | 14 | - |
| Pines GPIO | 32 | - | 15 |
| Ethernet | - | Integrado | - |
| Precio | \$ 65 | \$ 18 | \$ 9 |
| WiFi | - | - | Integrado |
| USB | 4 | - | - |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

2.7. Plataformas para la creación de aplicaciones móviles

En la actualidad existen diferentes plataformas que pueden ayudar a la creación de aplicaciones móviles, tanto para el sistema operativo Android y para el sistema operativo IOS, pero cabe mencionar que existe mayor apertura para Android, entre las que se puede mencionar a continuación:

2.7.1. *App Inventor*

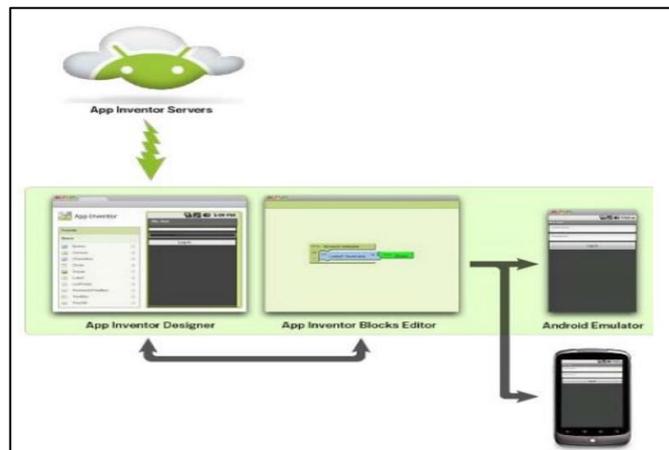


Ilustración 26-2: Interfaz App Inventor.

Fuente: (Haro, 2018)

App Inventor es una plataforma de entorno de desarrollo web que cuenta con una interfaz como en la Ilustración 26-2, usada para la creación de aplicaciones nativas orientadas a dispositivos con sistema operativo Android, esta plataforma fue creada por Google Labs en el año 2010 y con el seguimiento de su desarrollo y mantenimiento fue a cargo de MIT (Massachusetts Institute of Technology) en diciembre del 2011 utilizando su Center for Mobile learning, entre las características principales son:

- Utiliza el editor Open Blocks Java library, que permite el desarrollo a componentes con programación en bloques
- Orientada a eventos
- Entre los requerimientos de la plataforma y su funcionamiento, se necesita de un software Windows, Mac o Linux, y se recomienda utilizar el navegador web Google Chrome o Mozilla Firefox.
- Se requiere de 3 fases para la programación en App Inventor descritas en la Ilustración 27-2.



Ilustración 27-2: Fases en App Inventor

Fuente: (Haro, 2018)

2.7.1.1. *Ventajas*

- No es necesario instalar un IDE.
- Son necesarios mínimos conocimientos de programación.
- Desarrollo rápido de aplicaciones con bajos niveles de error.
- Almacenamiento en la nube.
- Contiene un componente web que permite hacer conexión de base de datos con MySQL

2.7.1.2. *Desventajas*

- No se pueden subir al Android Market (aun).
- No permite diferentes actividades en una aplicación.
- Tamaño elevado de APK.
- No permite aplicaciones complejas, aunque si completas.

2.7.1.3. *Aplicaciones*

En la actualidad existen diferentes aplicaciones de la plataforma, entre algunas pueden ser comerciales y otras no son tan conocidas, las cuales se pueden encontrar en Google Store o en algún sitio de descargas, y entre las aplicaciones son:

- Videos

- Sonidos
- Dibujos animados
- Cuentos
- Aplicaciones didácticas
- Juegos

2.7.2. *Android Studio*

Android Studio es un software o entorno de desarrollo que incluye diferentes servicios y herramientas necesarias para que el usuario sea capaz de desarrollar diversas aplicaciones, y como dice su nombre es el IDE oficial, orientado para la creación de las aplicaciones para el sistema operativo Android y para extensiones de ChromeOS, está basado en IntelliJ IDEA de la compañía JetBrains. (Haro, 2018)

2.7.2.1. *Características*

- Licencia libre Apache 2.0
- Programado en Java, siendo multiplataforma
- Tiene un editor de código, emulador y una herramienta de testeo
- Interfaz para el desarrollo en Android.
- Soporte para programar aplicaciones para Android Wear.
- Herramientas Lint para detectar problemas de rendimiento, usabilidad y compatibilidad de versiones.
- Utiliza ProGuard para optimizar y reducir el código del proyecto al exportar a APK.
- Integración de la herramienta Gradle encargada de gestionar y automatizar la construcción de proyectos, como pueden ser las tareas de testing, compilación empaquetada.
- Permite la importación de proyectos realizados en el entorno Eclipse.
- Posibilita el control de versiones accediendo a un repositorio desde el que se puede descargar Mercurial, Git, Github o Subversion.
- Alertas en tiempo real de errores sintácticos, compatibilidad o rendimiento antes de compilar la aplicación.
- Instant Run, para aplicar cambios mientras tu app se ejecuta sin la necesidad de compilar un nuevo APK.
- Vista previa en diferentes dispositivos y resoluciones.
- Integración con Google Cloud Platform, para el acceso a los diferentes servicios que proporciona Google en la nube.

- Editor de diseño que muestra una vista previa de los cambios realizados directamente en el archivo XML
- Compatibilidad con C++ y NDK.
- Ofrece varias plantillas de código que ayudan a la creación de aplicaciones.

2.8. Plataformas para la creación de páginas web

En la actualidad existen diferentes plataformas que pueden ayudar a la creación de páginas web, en diferentes lenguajes de programación, y a continuación se menciona uno de los más usados por los usuarios

2.8.1. *Visual Studio Code*

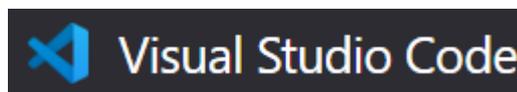


Ilustración 28-2: Logo de Visual Studio Code

Fuente: (VISUAL STUDIO CODE, s.f)

Visual Studio Code de la Ilustración 28-2, es un editor de código, desarrollado por Microsoft, el cual es libre y ayuda al programador a escribir código, a depurar y corregir utilizando el método intelli-sense, que consiste en una herramienta para la detección y auto-completar código en relación a las variables, funciones y módulos importados, tiene una gran variedad de características, que son útiles dentro del área de trabajo, entre las principales características se menciona a continuación: (VISUAL STUDIO CODE, s.f)

- Tiene una amplia variedad de plantillas que pueden ser modificadas en el entorno de trabajo
- Soporta múltiples lenguajes de programación como C++, C#, Java, Python, PHP, Go, .NET
- Es **multiplataformas**, es decir que es compatible con todos los sistemas, como Windows, Linux, o MAC.
- Permite abrir varios proyectos de manera simultánea con la finalidad de trabajar, sin tener relación entre sí.
- Está vinculado a Git, que permite un almacenamiento seguro y oportuno.
- Ayuda a los programadores en términos de front-end.
- Tiene un consumo mayor de memoria ram
- Tiene una gran cantidad de extensiones los cuales permiten personalizar y agregar funciones adicionales dentro del modular o de manera aislada.

2.8.2. *Sublime Text*



Ilustración 29-2: Logo de Sublime Text

Fuente: (code, 2022)

Sublime Text de la Ilustración 29-2, es un editor de texto desarrollado por Jon Skinner, lanzado en el año 2008, que permite escribir un código en cualquier formato de archivo, siendo un editor de código multiplataforma, ligero, pero se requiere de una licencia para su uso, entre las principales características se definen a continuación: (GENBETA, 2020)

- **Simplicidad:** tiene una interfaz limpia y sencilla, que se caracteriza por no mostrar la barra de herramientas y diálogos de configuración, con la finalidad de no distraer al usuario
- **Minimapa:** característica capaz de mostrar que parte del archivo se está visualizando en ese momento, facilitando la navegación.
- Soporta gran cantidad de lenguajes de programación, entre los principales tenemos: C, C++, C#, CSS, D, Erlang, Groovy, Haskell, HTML, Java, JavaScript, LaTeX, Lisp, Lua, Markdown, Matlab, OCaml, Perl, PHP, Python, R, Ruby, SQL, TCL, Textile and XML.
- **Autocompletado:** permite una programación más sencilla y rápida, con la finalidad de completar una palabra empleada con anterioridad
- **Multiplataforma:** compatible con OS X, Linux, y Windows

2.8.3. *Atom*



Ilustración 30-2: Logo de Atom

Fuente: (OPEN BOOTCAMP, 2021)

Atom de la Ilustración 30-2, es un editor de texto, presentado por la empresa GitHub Inc, en el año 2015, el cual es open source, basado en Electron (Atom Shell), y ofrece una interfaz gráfica para personalizar el entorno de trabajo con temas modernos y atractivos, entre las principales características de la plataforma se menciona a continuación:

- **Multipataforma:** compatible con MacOS, Linux y Windows.
- Autocompletado: contribuye al manejo eficiente del trabajo, ayudando a la elaboración de proyectos complejos.
- **Estructura de código:** permite visualizar la estructura del proyecto, sin la necesidad de tener abiertas todas las carpetas y subcarpetas.
- **Teletype:** permite la interacción de un equipo de trabajo, participando activamente en la creación del código.
- Contiene una serie de **extensiones útiles**, como emmet, color picker, file icons, template generator, Linter

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detallan las etapas para desarrollar el prototipo de la red biométrica con tecnología bluetooth, sistema y los elementos útiles para llevar a cabo el trabajo de Integración Curricular, además se especifican las características y el diseño de las diferentes etapas del Hardware y Software del prototipo, considerando los diferentes componentes necesarios para cumplir con las necesidades del proyecto.

3.1. Requerimientos del sistema

Para determinar los diferentes requerimientos del sistema se consideró las diferentes comparaciones realizadas en el Capítulo II, considerando la eficiencia y economía, al igual que las necesidades del proyecto.

3.1.1. *Requerimientos del hardware del sistema*

El dispositivo que se diseñará debe de cumplir con diferentes requerimientos los cuales ayudaran significativamente en la implementación del mismo, los cuales se definen a continuación:

- Ser bajo costo, portable, liviano, y ser fácil instalación y utilización
- Proporcionar la información en tiempo real las medidas de saturación de oxígeno de un paciente
- Transmitir las medidas de saturación de oxígeno del paciente en tiempo real con una latencia mínima
- Ser independiente de la red eléctrica y funcione con una fuente recargable
- Mantener la comunicación contante

3.1.2. *Requerimientos del software del sistema*

El software que se utilizará para la implementación del prototipo en relación a la aplicación móvil y a la página web debe cumplir con una serie de requerimientos, que se describen a continuación. Los requerimientos en relación a la aplicación móvil:

- Tener un entorno amigable, entre el usuario y el software

- Ser portable, liviano, y tener un fácil manejo
- Permitir la comunicación con los 4 módulos Bluetooth que serán considerados desde un inicio.
- Permitir el ingreso de nombre, cédula, y el registro y visualización de la saturación de oxígeno del paciente.
- Permitir guardar perfiles con la finalidad de visualizar datos anteriores
- Hacer un reset cuando se hayan acabado de tomar los niveles de saturación de oxígeno.
- Los requerimientos en relación a la página web:
- Ser portable, liviano, y tener un fácil manejo
- Permitir la visualización del nombre, cédula, el registro, edad al igual que la visualización de la saturación de oxígeno del paciente.
- Permitir modificaciones, y eliminar los datos de un paciente.

3.2. Descripción general del sistema

Definiendo los diferentes conceptos relacionados al tema del proyecto, se indican los requerimientos generales del prototipo:

- El sistema debe ser de bajo costo y escalable
- El sistema integral debe ser amigable con el usuario en su funcionalidad, seguridad y estructura.
- La información obtenida del sensor debe ser en tiempo real, y visualizada en una base de datos.
- Debe ser portátil, es decir que se alimente con una batería, pero que cumpla con la funcionalidad de recargar.

3.3. Concepción del sistema

El presente trabajo de integración curricular se enfoca en el desarrollo de un prototipo que se basa en un sistema biométrico que se enfoca en la medición de saturación de oxígeno que permite el registro en la aplicación por medio de Bluetooth, y a su vez se genera una base de datos de cada uno de sus pacientes con sus respectivos nombres, edad, y su nivel de saturación, y según el nivel de saturación de oxígeno marcará una alerta que define el estado del paciente que cumple con la finalidad que el médico reaccione de la manera correcta.

En la Ilustración 1-3 se detalla de manera analítica a través de un diagrama de bloques el desarrollo y funcionamiento del prototipo, y en la Ilustración 2-3 se detalla de la estructura y funcionamiento del prototipo a través de un diagrama pictórico.

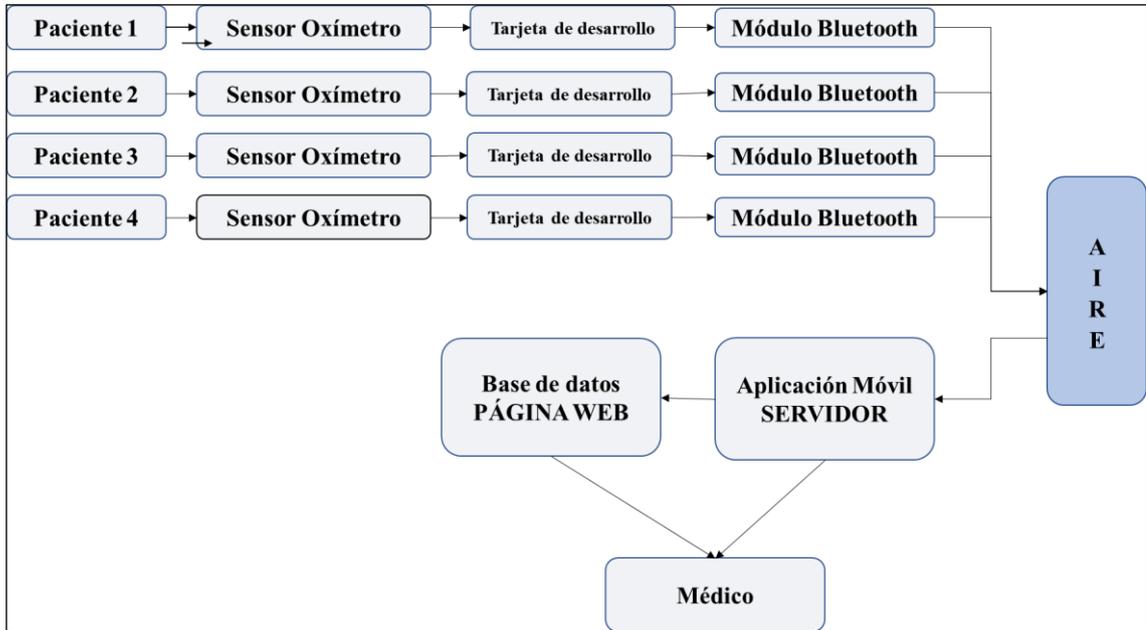


Ilustración 1-3: Diagrama de bloques del concepto del sistema.

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

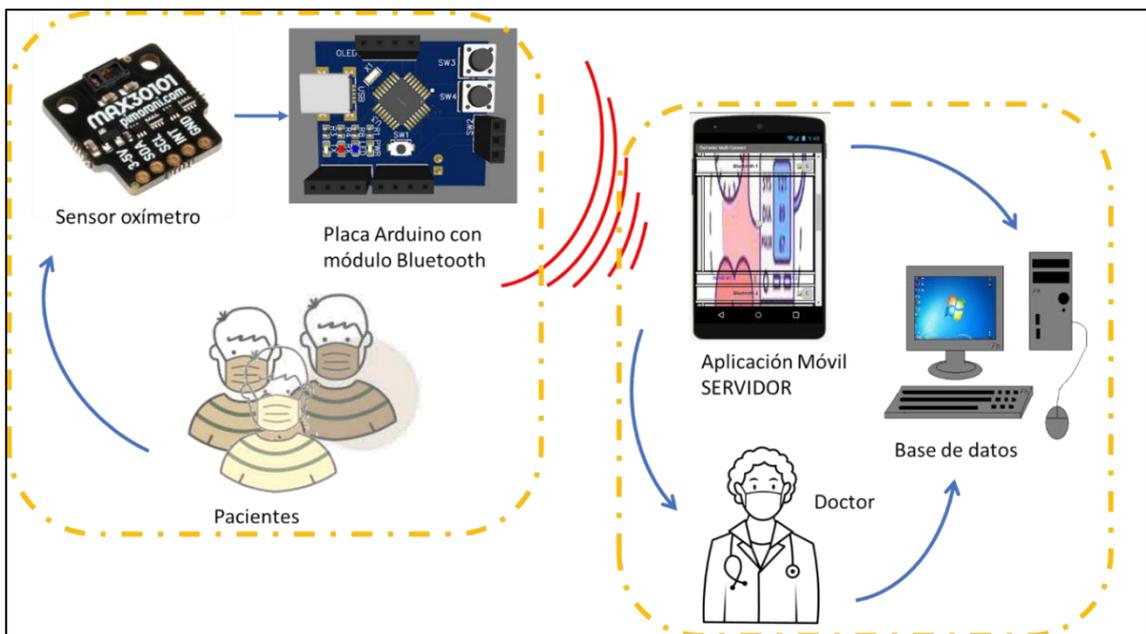


Ilustración 2-3: Diagrama pictórico de la concepción general del sistema

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Para el funcionamiento del prototipo se requiere que la enfermera registre manualmente los datos informativos de los pacientes que cuenten con el dispositivo, y la colocación del mismo de manera correcta, además realizar unas pruebas antes hasta que el sensor se estabilice, y el diagrama del registro del nivel de saturación de oxígeno se visualice correctamente.

3.4. Arquitectura del sistema

El prototipo está conformado por dos partes importantes representados por dos diagramas de bloques de cada nodo del sistema, el nodo lector y el nodo recolector y cada uno de ellos se muestra a continuación.

3.4.1. *Nodo transmisor*

En la Ilustración 3-3 se describe el diagrama de bloque del nodo lector, el cual está compuesto por cinco bloques, comenzando por el elemento sensor oxímetro que se encarga de medir el nivel de saturación de oxígeno del paciente en tiempo real, seguido del procesamiento de datos a través de la placa basada en Arduino Nano, que consta con la conexión del módulo Bluetooth, y dicha placa se abastece por una fuente de alimentación lipo de 7,4V, que a través de un LCD oled se podrá visualizar la información procesada y finalmente se encuentra el bloque de transmisión de datos que usa con el módulo Bluetooth.

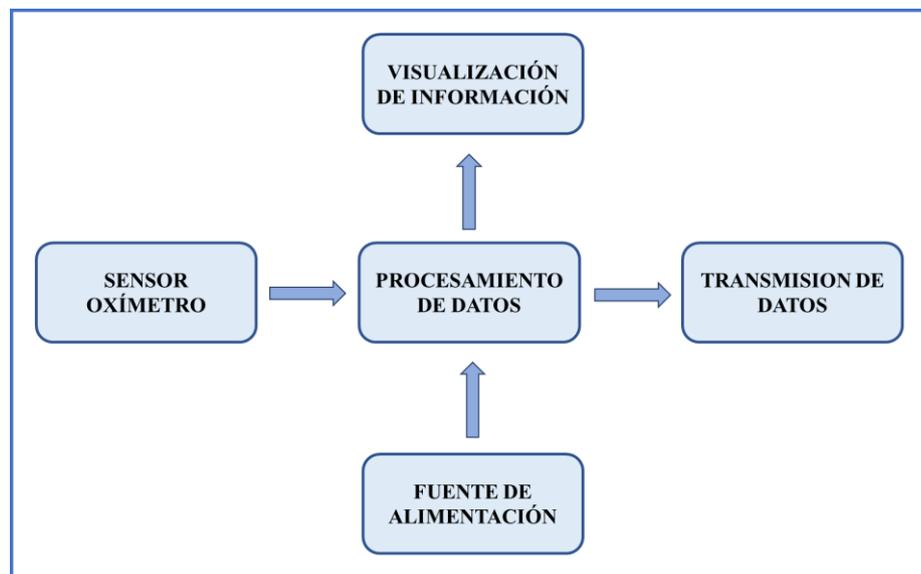


Ilustración 3-1: Diagrama de bloque del nodo transmisor

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Cuando se tenga el diagrama de bloque del nodo lector se procede a realizar el análisis del diagrama para la implementación del código con la finalidad de conocer cada uno de las acciones que debe de realizar.

En cuanto a la fuente de alimentación se han considerado dos opciones que se pueden utilizar, una mediante una batería lipo, el cual puede ser recargable y otra mediante el puerto USB, con el cual se conectará a la computadora, o a un adaptador.

En la Ilustración 4-3 se visualiza el diagrama de flujo del funcionamiento que requiere el nodo de transmisión

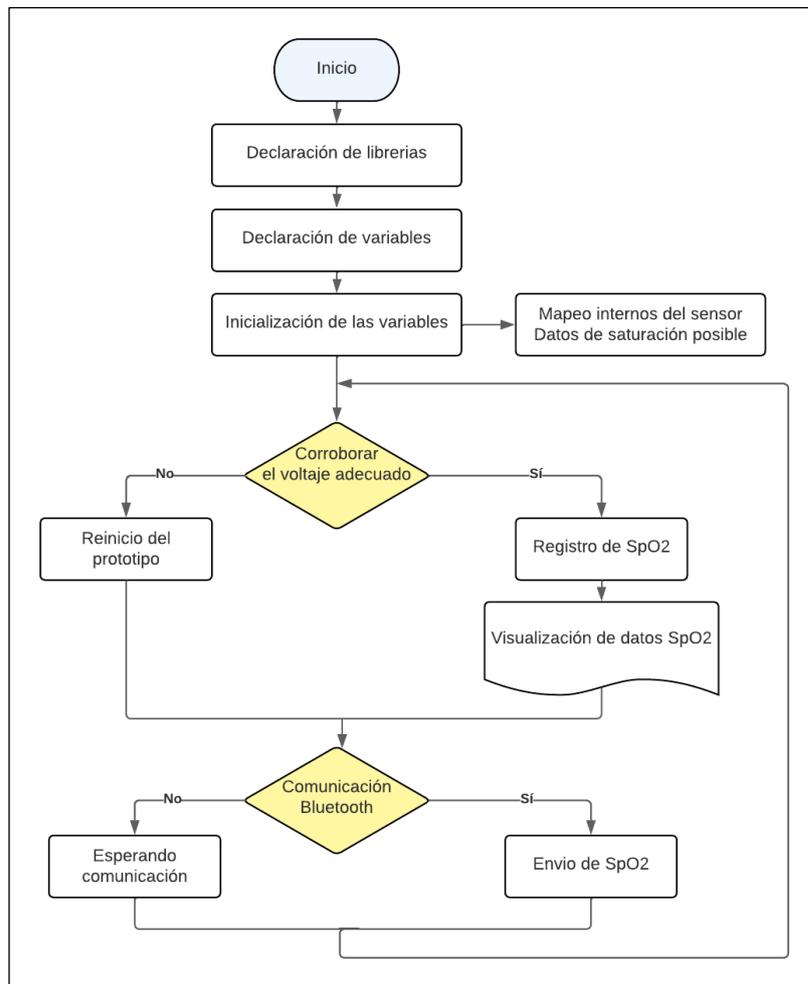


Ilustración 4-3: Diagrama de flujo del nodo transmisor

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

3.4.2. *Nodo receptor*

El diagrama de bloque del nodo receptor que se indica en la Ilustración 5-3 está compuesto por tres bloques, inicialmente cuenta con el bloque de recepción de datos, que será a través de un

servidor representado por la aplicación móvil se visualizará los niveles de oxígeno enviados por el módulo Bluetooth, seguido del bloque de procesamiento de datos, y por último la nube que es el lugar donde se guarda los datos del paciente conjunto con el nivel de saturación de oxígeno, con la finalidad que cualquier médico pueda ingresar a revisar el estado del paciente, y a su vez recibir alertas si está bajo un valor en específico.



Ilustración 5-3: Diagrama del nodo receptor

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Dentro del nodo receptor, se encuentra un módulo de identificación que se basa en 3 bloques principales, un bloque en relación con el ingreso de la información como datos personales del paciente, los cuales se realiza mediante la aplicación móvil, para procesarla, y ser enviada a la nube y registrada en la página web, como lo describe la Ilustración 6-3.

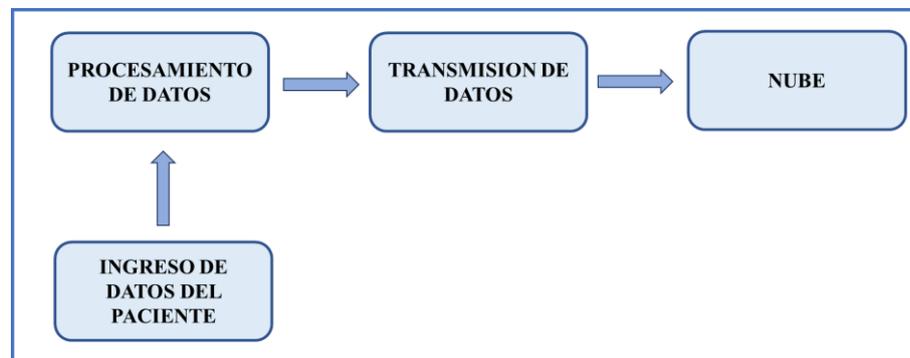


Ilustración 6-3: Diagrama de bloque del módulo de identificación

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

3.4.2.1. Aplicación móvil

En el receptor uno de los componentes será la aplicación móvil, y el diagrama de flujo se visualiza en la Ilustración 7-3, en donde existirá una comunicación continua con el módulo bluetooth para la recepción de los datos, y a su vez la comunicación con la página web para el envío de los datos.

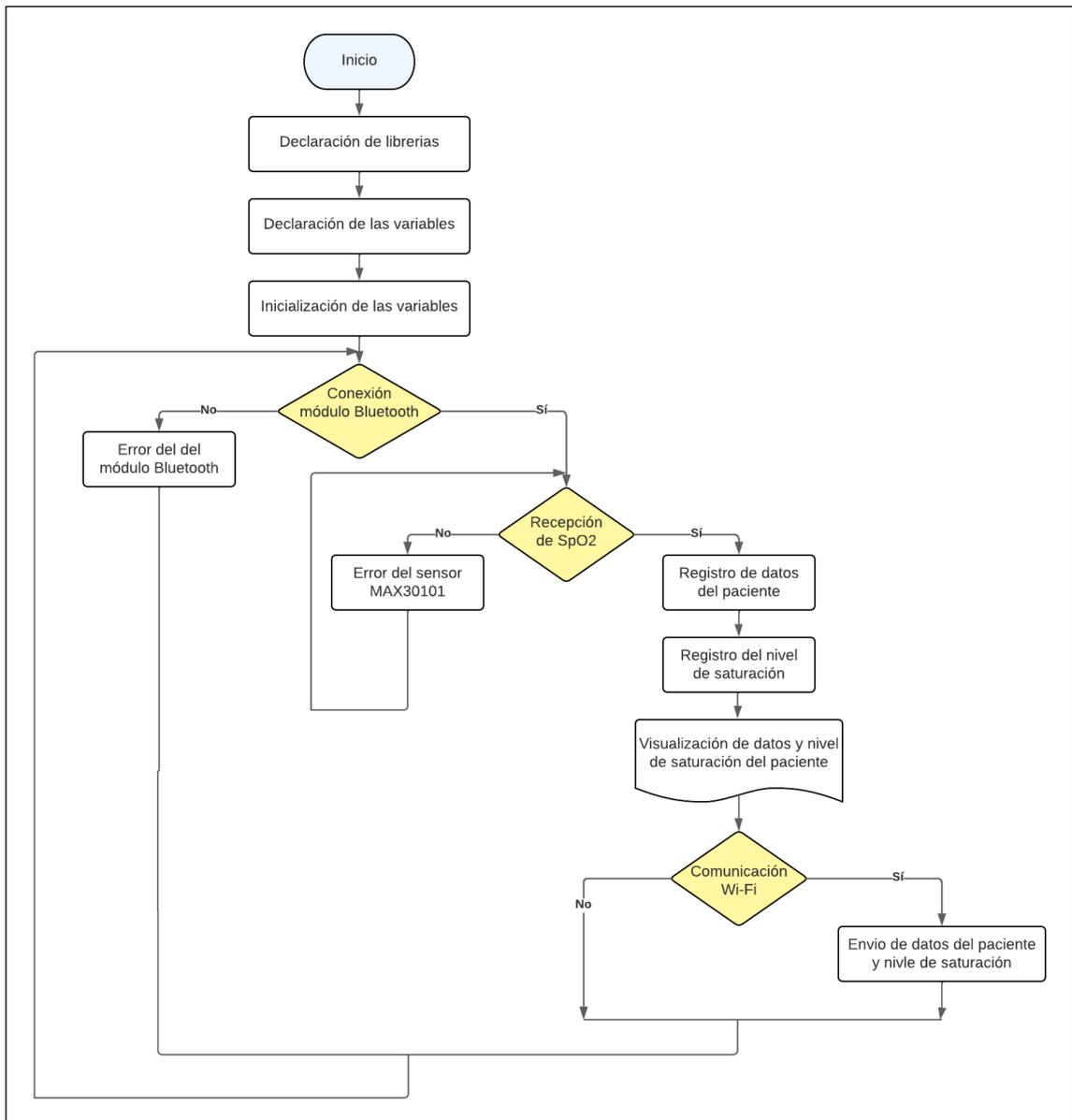


Ilustración 7-3: Diagrama de flujo de la aplicación móvil

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

3.4.2.2. Página web

En el receptor uno de los componentes será la página web, y el diagrama de flujo se visualiza en la Ilustración 8-3, en donde funcionará de manera remota, con la comunicación de la aplicación móvil, se podrá recibir los datos y la información de los pacientes y el nivel de saturación.

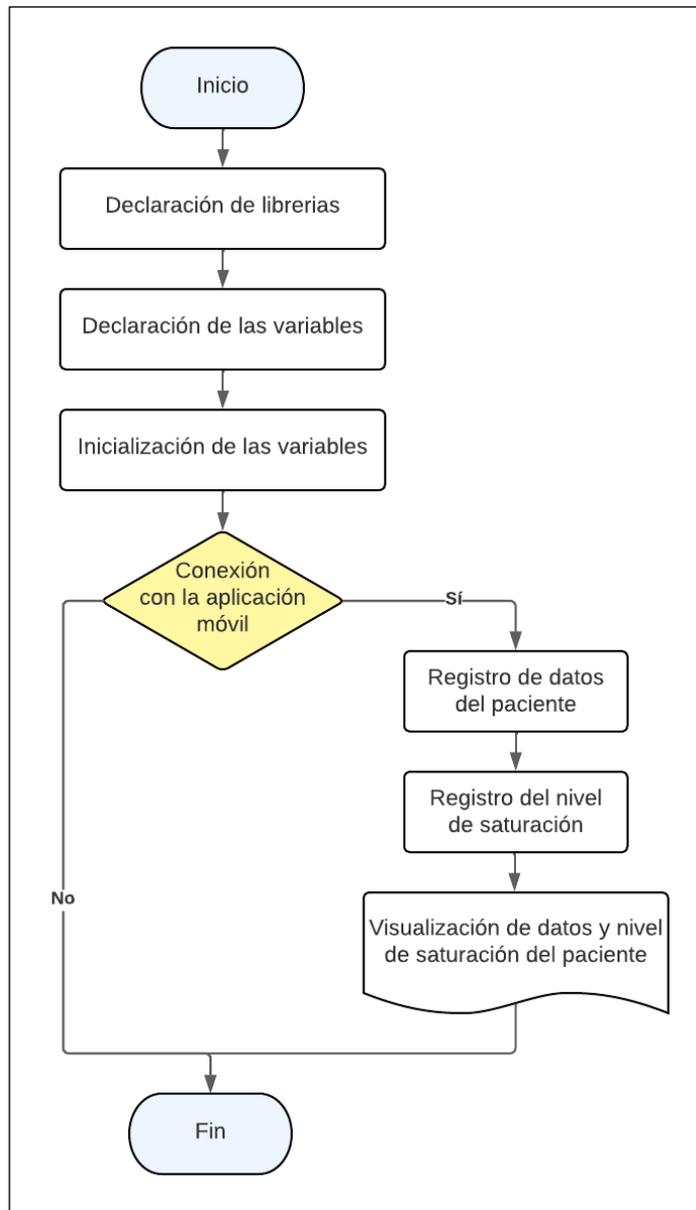


Ilustración 8-3: Diagrama de flujo de la página web

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

3.4.3. Visualización de la información

Para la visualización de los resultados obtenidos por el prototipo se ha considerado un LCD, o un LCD OLED, para lo cual se ha decidido en el transmisor se utilizó un LCD OLED, por la versatilidad en la presentación de mensajes de texto, y especialmente permite la visualización de gráficas, que en nuestro caso es la variación de la saturación de oxígeno del paciente.

En la Ilustración 9-3 se evidencia una pantalla OLED, de 0,96” que cumple con diferentes características que se mencionan a continuación:

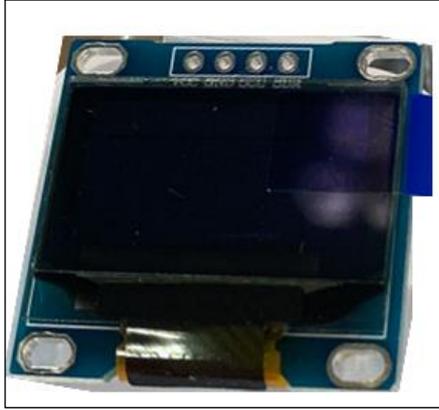


Ilustración 9-3: Pantalla LCD OLED

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Compatible con Arduino, Serie 51, Serie MPS430, STM32/2, CSR IC
- Consumo ultra bajo de 0.08W
- Alto brillo, y contrastes con ajustes
- Interfaz IIC
- Pines: GND, VCC, SCL, SDA
- Voltaje: 3-5V
- Temperatura: -30°C -70°C
- Dimensiones: 26.7*19.26*1.85/1.03*0.76*0.07 (pulgadas)

3.4.4. Fuente de alimentación

En cuanto a la fuente de alimentación se define una batería lipo con un voltaje de 7.4V, el cual es recargable, pero a la vez se ha diseñado también con la finalidad de existir un puerto USB, para la comunicación con la computadora, o un adaptador y poder realizar cualquier cambio dentro de la programación.



Ilustración 10-3: Batería lipo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 10-3 se define la Batería lipo que se utilizó y las características principales de la batería lipo se describe:

- Voltaje nominal: 7,4V
- Tipo de carga: recargable
- Capacidad: 250mA
- Tipo de conector: JST y PH2.0
- Composición: Polímero de litio
- Duración: 3 años

En la Ilustración 11-3, se visualiza la comunicación USB, el cual será utilizado como fuente de alimentación alternativa, la cual puede ser conectada a la computadora o a un adaptador.



Ilustración 11-3: Puerto USB del prototipo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

3.5. Toma de resultados

En la toma de resultados se consideró dos escenarios y en cada uno ellos se realizó las mediciones de los niveles de saturación de oxígeno con los dos oxímetros de mercado y el con el dispositivo que se implementará, como se describe en la Ilustración 12-3.

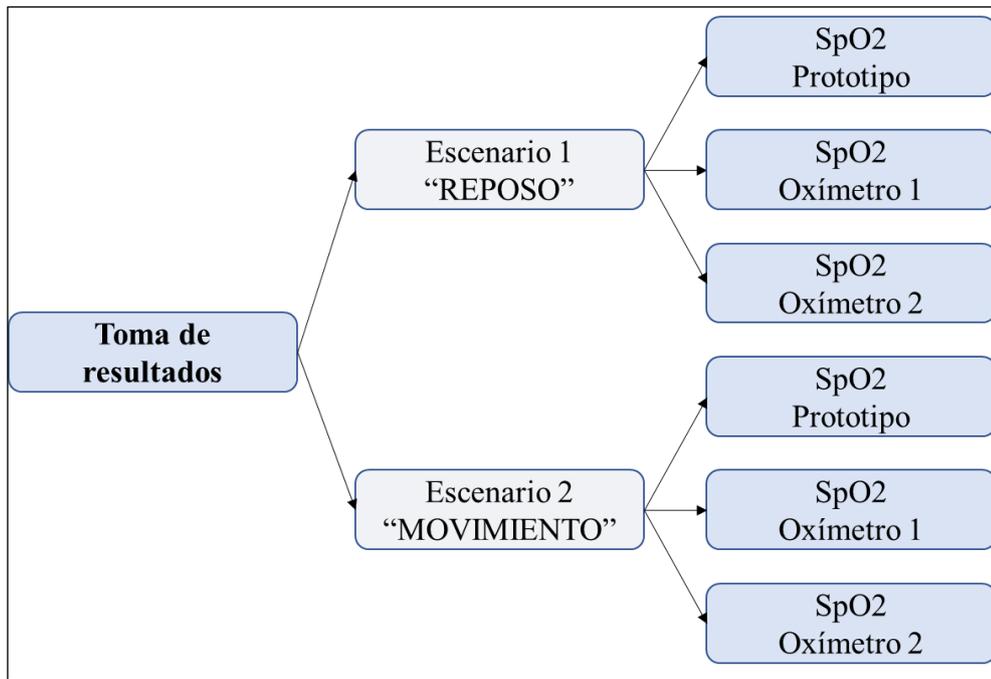


Ilustración 12-3: Diagrama de bloque de la toma de resultados

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

CAPÍTULO IV

4. PROPUESTA Y DISEÑO DE PROTOTIPO

En el capítulo IV se definen las diferentes etapas por la cual están constituidas para la construcción del prototipo, y cada uno de los componentes y pasos necesarios que conforman cada etapa, es decir, que se irán detallando cada uno de los procesos para definir una propuesta y diseño del prototipo.

4.1. Etapas de construcción del prototipo

4.1.1. Etapa previa: Conexión para verificación del funcionamiento de sensores

Antes de comenzar con las etapas de ensamble y conexiones del prototipo, se requiere comprobar el funcionamiento de los componentes que se van a utilizar, en especial el sensor oxímetro (MAX30101) y verificar la calibración ofrecida por el sensor en relación con las mediciones obtenidas por un oxímetro de mercado.

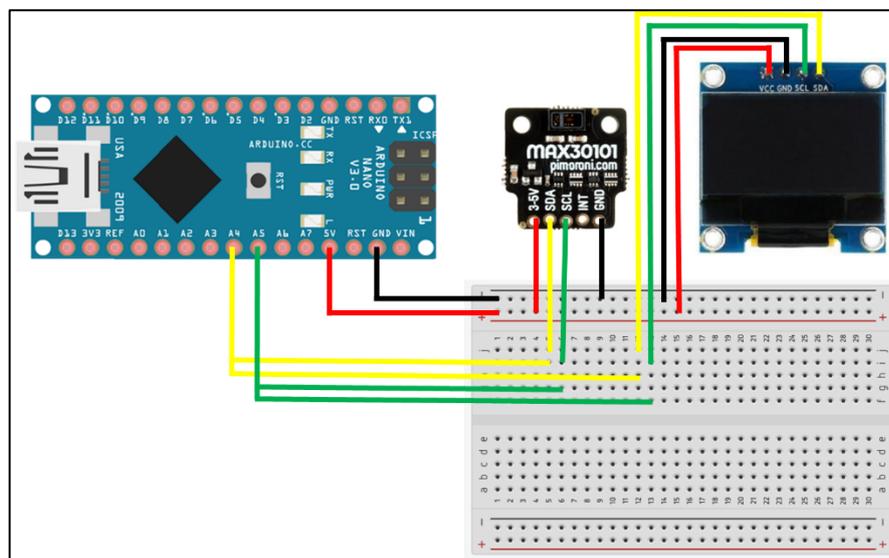


Ilustración 1-4: Conexiones de la etapa previa

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 1-4 se observan las conexiones necesarias en el arduino nano, tarjeta de desarrollo utilizada para esta etapa, en donde el sensor MAX30101 y el LCD oled de 0.96", se conecta con los pines de alimentación a 5 Voltios, y GND representados con los cables rojos y

negros respectivamente y los pines A4 y A5 conectados a SDA y SCL, representados con los cables amarillos, y los cables verdes respectivamente.

4.1.2. Etapa 1: Diseño de la placa y sus conexiones

Dentro de la primera etapa, se desarrolla el sistema integral, y el diseño con la finalidad de obtener un dispositivo compacto, el cual es el objetivo del prototipo, y definir la correcta conexión de los pines y puertos, en la Ilustración 2-4 se define como será las primeras conexiones, es decir la conexión del sensor y el módulo Bluetooth HC-05 a la tarjeta de desarrollo, comprobando la funcionalidad de las señales.

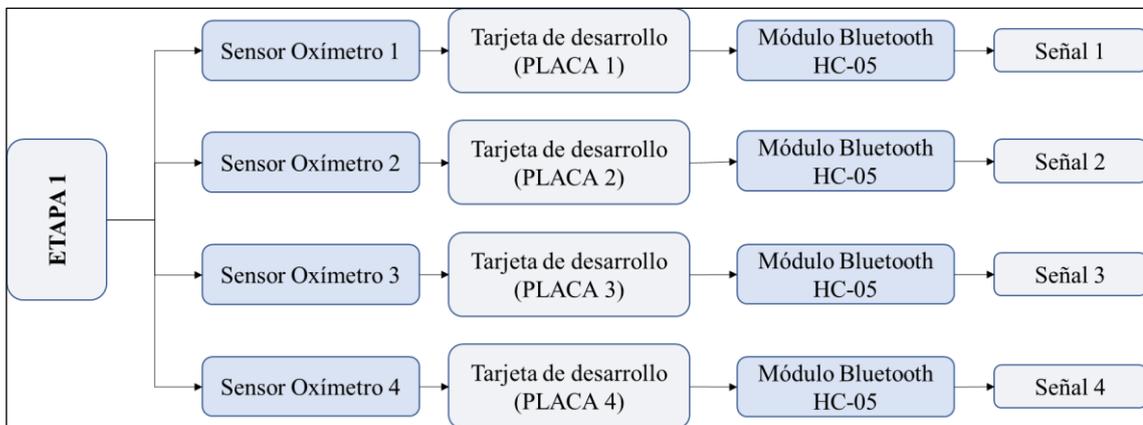


Ilustración 2-4: Diagrama de bloque de la etapa 1

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Entre los requerimientos de la etapa se considera:

- Como sensor principal, el oxímetro que medirá el nivel de saturación de oxígeno del paciente.
- Tarjeta de desarrollo con una alimentación de 5V, basado en el diseño de la tarjeta de desarrollo Arduino Nano, con un diseño compacto con los componentes, las entradas y salidas que se necesita.
- LCD oled debe tener un tamaño adecuado, el cual funcionará como visualizador de los datos en tiempo real de la saturación de oxígeno.
- Un módulo Bluetooth HC-05, que permite la transmisión de datos a la etapa 2

Para el diseño de la placa se realizó con ayuda de la página web EasyEDA, definida como una herramienta que ofrece el servicio de diseño de PCB e integrar componentes LCSC en línea de una manera fácil, capaz de fabricar, diseñar y compartir proyectos con otros ingenieros,

educadores y estudiantes, ahorrando tiempo en la fabricación de proyectos de manera gratuita. (EASYEDA, 2022)

Esta herramienta permite visualizar las conexiones necesarias de la placa, así como el esquema y visualización en 3D del proyecto, y en el Anexo A se visualizan las conexiones y el esquema del prototipo, y a continuación se visualiza la placa en 3D.

En la Ilustración 3-4 y en la Ilustración 4-4 se visualiza el diseño de la placa en 3D, diseñada con una serie de resistencias y capacitores, los cuales cumplen con la función de cuidar los demás componentes de ser el caso exista alguna sobrecarga, al igual está conformada de componentes de un arduino nano, y como se evidencia en la Ilustración 5-4 se describe cada uno de los pines que se han considerado para el diseño de la placa, y con varios pines de VCC y GND, con la finalidad que nos facilite las conexiones del mismo, los cuales están conectados a la fuente de alimentación de una batería lipo de 7.4V que funciona a 250 miliamperios, además se diseñó con los pines SDA y SCL, los cuales son pines para la conexión del sensor MAX30101, y para la pantalla Led OLED de 0.96", y la placa tiene pines para la conexión del switch deslizante y los dos pulsadores.

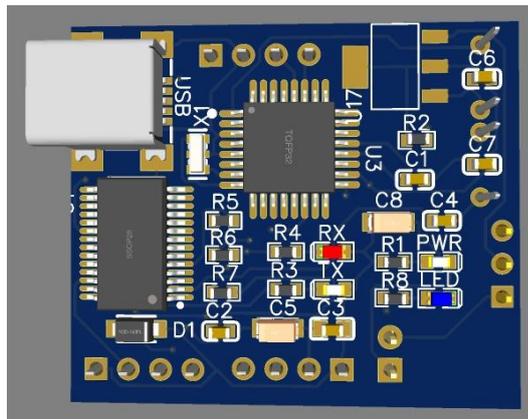


Ilustración 3-4: Visualización superior 3D de la placa

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

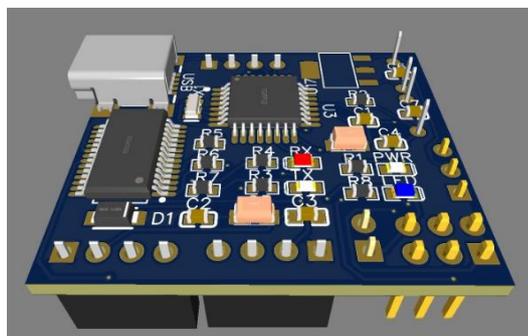


Ilustración 4-1: Visualización 3D de la placa.

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

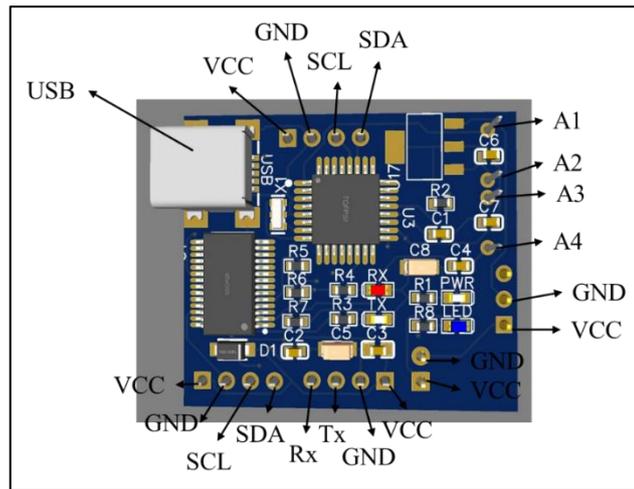


Ilustración 5-4: Pines de la placa

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

4.1.3. Etapa 2: Sistema de comunicación

Una vez diseñada la placa en donde se conectarán los componentes del prototipo, se procede con la segunda etapa que consiste en cumplir con uno de los objetivos del proyecto, que es la comunicación y transmisión de los datos en tiempo real. En la Ilustración 6-4 se considera los diferentes aspectos para poder cumplirlos, el principal es establecer la comunicación entre el módulo Bluetooth HC-05 y una aplicación móvil, para ello se verifica el funcionamiento del módulo, con la finalidad que el teléfono móvil lo reconozca.

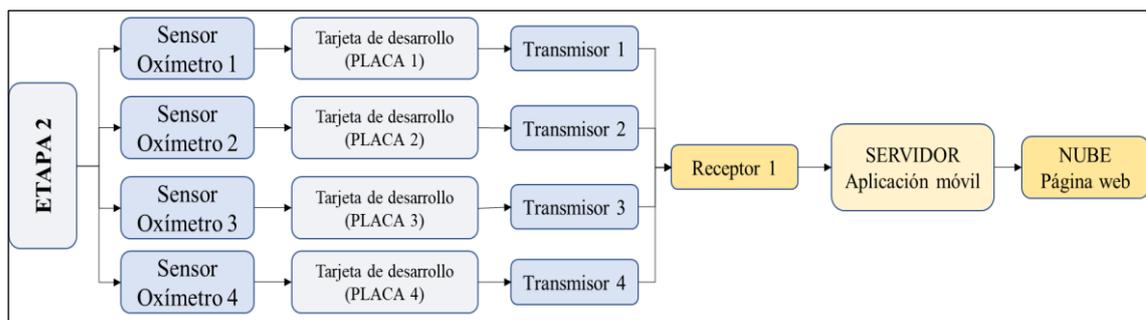


Ilustración 6-4: Etapa 2: Sistema de comunicación

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Adicional en la Ilustración 7-4, se describe la comunicación interna, la que consiste en la visualización de datos en tiempo real en un LCD oled, al igual, de la curva de los valores obtenidos, es decir, que se visualiza los datos sin necesidad de establecer la comunicación Bluetooth, permitiendo que el dispositivo funcione de manera remota, y de manera manual.

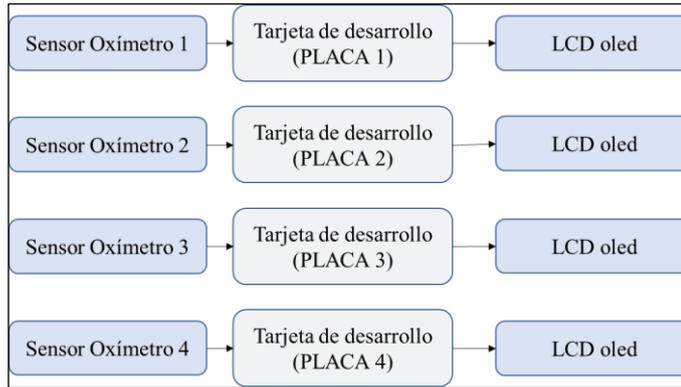


Ilustración 7-4: Visualización LCD oled

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En los requerimientos de la comunicación se establece diferentes parámetros:

- Comunicación de bajo alcance, aproximadamente de 10m en relación con la aplicación móvil, y el módulo bluetooth, y de largo alcance en relación con la aplicación móvil y la nube (página web).
- Comunicación en tiempo real
- Banda de operación libre (sin licencia).

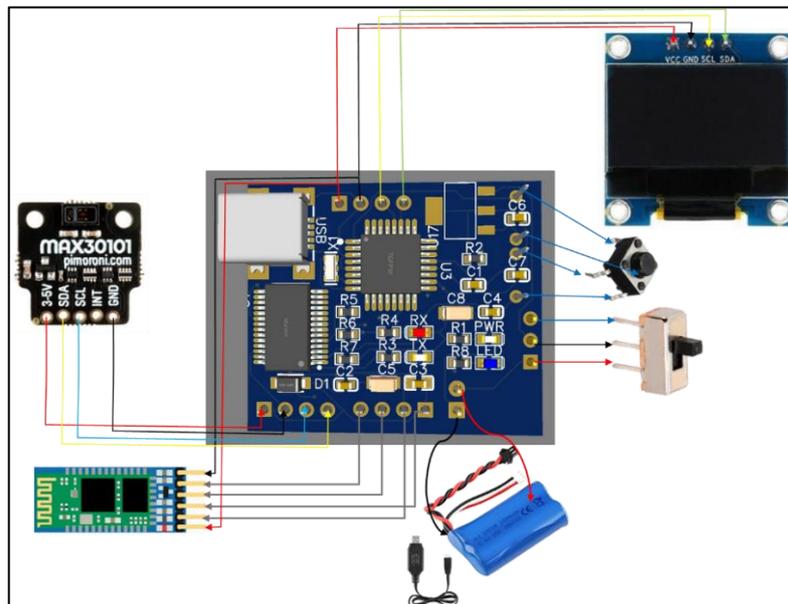


Ilustración 8-4: Conexiones del nodo lector

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 8-4 se muestra todas las conexiones con la placa con la finalidad de tener un diseño de cómo será la conexión, y una vez realizada la conexión se realiza pruebas de

funcionamiento, para posterior al tener un error se realice las modificaciones necesarias, y ayuden a la implementación de la misma.

4.1.4. Etapa 3: Diseño de la aplicación móvil

Para la comunicación y transmisión de los datos se requiere de un receptor que en este caso es una aplicación móvil realizada por APPinventor, y dentro de esta etapa tiene la finalidad de establecer un diseño, y creación de la aplicación móvil, que se conecten a los diferentes módulos Bluetooth que se establecieron como requerimiento del prototipo.

Se establece los diferentes bloques que conforman la aplicación móvil:

1. En la Ilustración 9-4 se define las variables de inicialización de cada uno de las secciones, como las variables nombre, la conectividad a Bluetooth, y de perfiles, al igual la inicialización de una variable que se usará de ser el caso exista un error, y en la Ilustración 10-4 la inicialización de diferentes variables internas para las gráficas que permitirá además la conexión con el módulo Bluetooth y el teléfono móvil, capaz de recibir los datos en tiempo real y la gráfica del mismo.



Ilustración 9-4: Inicialización de variables generales

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

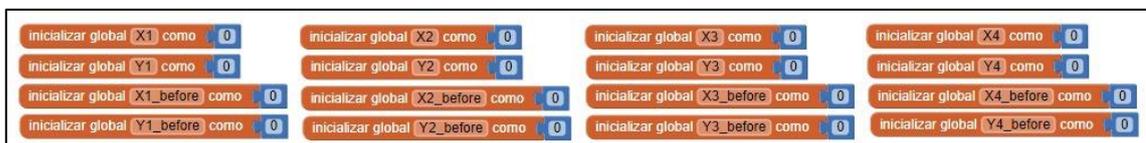


Ilustración 10-4: Inicialización de variables para gráficas

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

2. En la Ilustración 11-4 se definen cada una de las funciones para guardar, y restaurar perfiles de uso, es decir, que se guardara un perfil cuando se cierre por completo la aplicación, se

define la función recepción y envío de datos por el módulo Bluetooth, y por último se define la función para el menú de cierre de aplicación y el uso de perfiles.

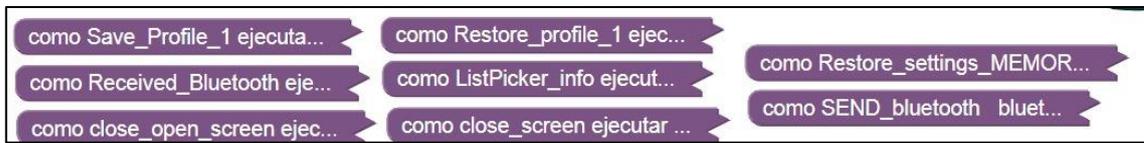


Ilustración 11-4: Funciones de la aplicación

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Definir cada una de las acciones en relación con la selección de dispositivos Bluetooth, para cada uno de los perfiles, acciones para el uso de dispositivos luego de la acción de selección de los dispositivos Bluetooth y por último acciones que permiten la ejecución de comandos de voz para cambio de nombre en los botones de cada uno de los perfiles inscritos, como en la Ilustración 12-4.



Ilustración 12-4: Acciones dentro de la aplicación en relación a la conexión con el dispositivo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Definir cada una de las acciones en relación con el uso de los botones de envío, recepción y comandos de voz, una vez exista la conexión con por lo menos uno de los dispositivos Bluetooth, como en la Ilustración 13-4.



Ilustración 13-4: Acciones para los botones de envío, recepción y comando de voz

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Definir cada una de las acciones en relación con la activación de los puertos de comunicación con los dispositivos conectados a la aplicación, de la Ilustración 14-4.



Ilustración 14-4: Acciones para activación de puertos

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Definir cada una de las acciones en relación con la ejecución de los botones para la selección del dispositivo a conectarse dentro de la lista de aplicación, definido en la Ilustración 15-4.

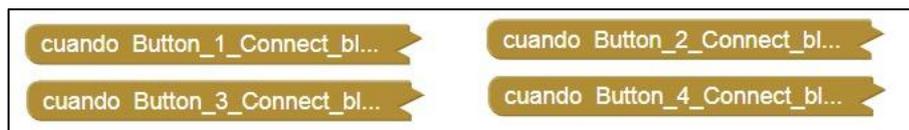


Ilustración 15-4: Acciones para la ejecución de botones

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 16-4 se define la visualización general y la organización de la aplicación móvil por bloques, en la Ilustración 17-4 se visualiza el diseño final de la aplicación dentro de la plataforma APPinventor y en la Ilustración 18-4 se demuestra el funcionamiento de la aplicación una vez finalizada con el diseño.

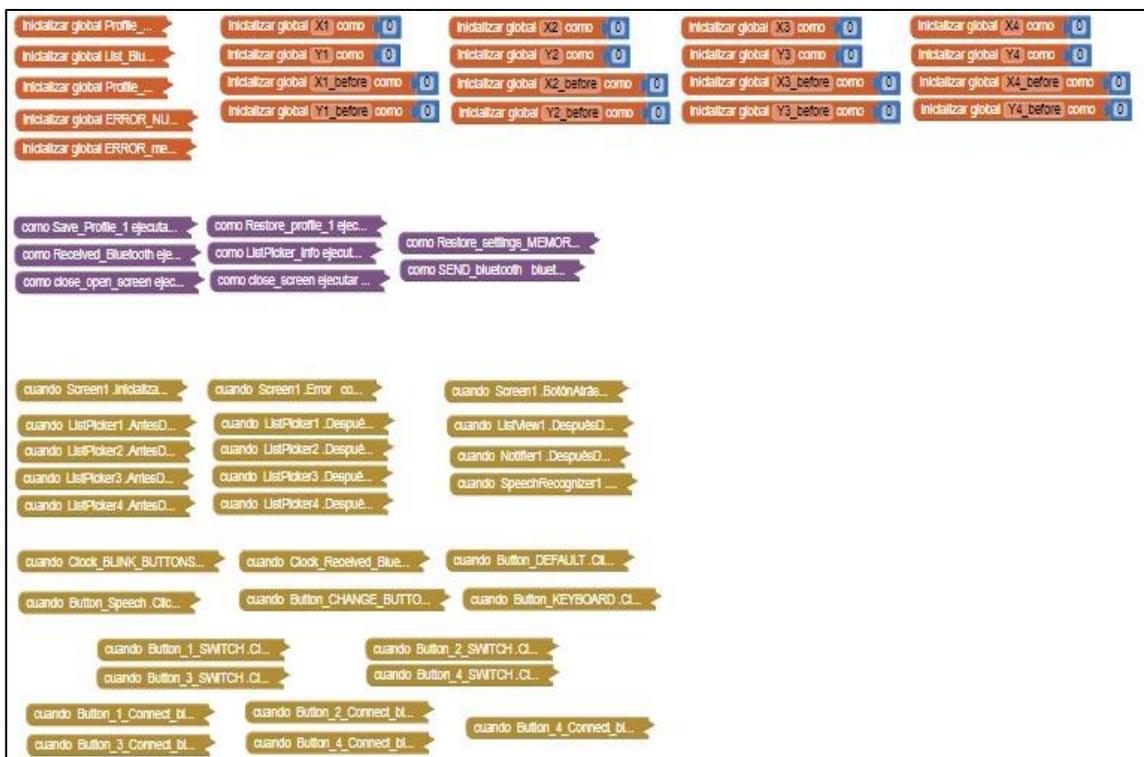


Ilustración 16-4: Visualización de la programación por Bloques

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

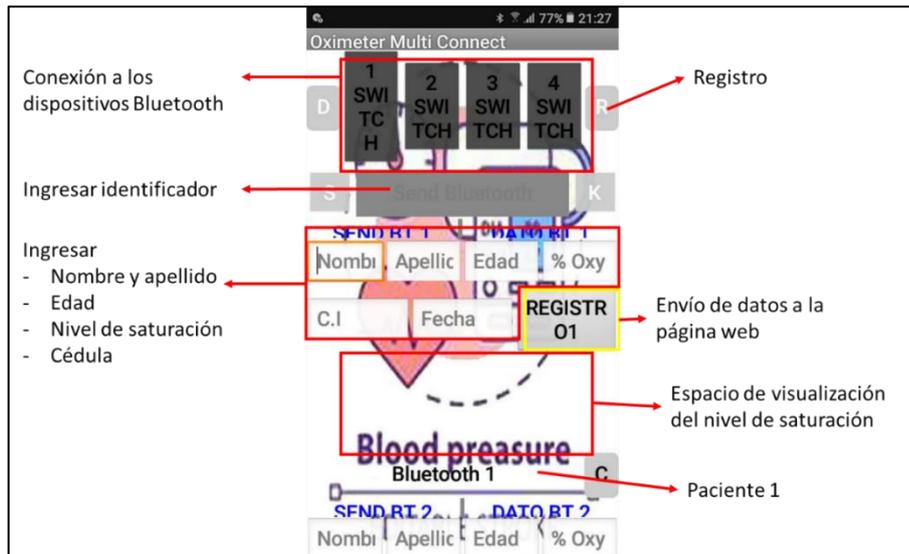


Ilustración 17-4: Distribución en la aplicación móvil

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023



Ilustración 18-4: Aplicación móvil

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 19-4 permite visualizar las opciones de la aplicación móvil, como permitir guardar perfiles con la finalidad que se pueda restaurar la información de los pacientes conectados en ese momento, y ofrece opciones como restaurar el último perfil, reiniciar la aplicación, o cerrar la aplicación, para acceder a las funciones, se logra mediante el botón de retroceso del teléfono móvil.

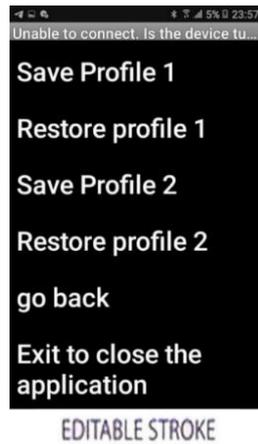


Ilustración 19-4: Opciones de la aplicación móvil

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Para establecer la comunicación con los dispositivos se debe seguir una serie de pasos, los cuales se describen a continuación:

1. Se establece la comunicación con todos los dispositivos, accediendo a la configuración del teléfono móvil, y vinculando con la contraseña 000 o 1234, como se describe en la Ilustración 20-4.

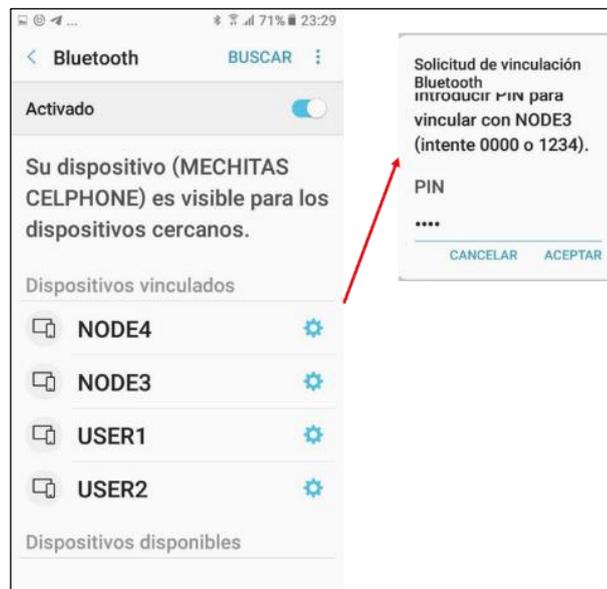


Ilustración 20-4: Vinculación Bluetooth

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

2. Se coloca los datos que identificaran a cada paciente, de preferencia los apellidos, para lo que se activa el botón R, definido en la Ilustración 21-4, y posterior se vuelve a desactivar el botón R para guardar los datos.

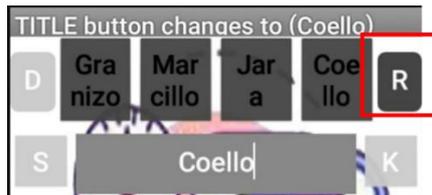


Ilustración 21-4: Identificación de cada dispositivo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Se procede a la designación de cada dispositivo, y switch ubicando en la sección de Bluetooth, y para reiniciar cada dispositivo se encuentra el botón C, se añade los datos personales del paciente, como nombre, apellido, edad, cédula, fecha de ingreso, y cada uno de los bloques se describen en la Ilustración 22-4.

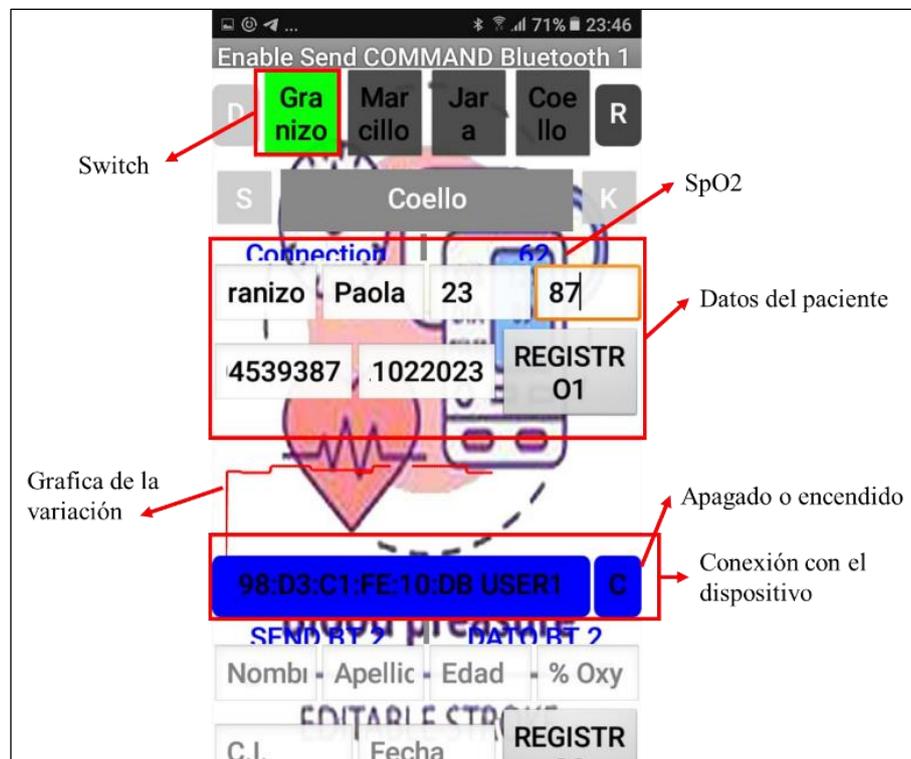


Ilustración 22-4: Conexión con el dispositivo Bluetooth

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

4.1.5. Etapa 4: Diseño de la Página web

La página web se realizó con ayuda de la plataforma Visual Studio Code, el código de la página web se evidencia en el Anexo E, y el resultado final de la página se visualiza en la Ilustración 23-4, con una serie de parámetros que serán necesarios para el registro del nivel de saturación de oxígeno del paciente, y se accede a la página mediante el link:

| ID | NOMBRE | APELLIDO | EDAD | CEDULA | SATURACION | INDICADOR | Modificar | Eliminar |
|------|------------|------------|------|--------------|------------|--------------------|-----------|----------|
| 1420 | "Mercedes" | "Coello" | "81" | "0600766430" | "88" | Hipoxemia moderada | | |
| 1421 | "Juan" | "Marcillo" | "52" | "0602437329" | "90" | Hipoxemia moderada | | |
| 1422 | "Johnny" | "Granizo" | "22" | "064539395" | "92" | Hipoxemia leve | | |
| 1423 | "Monica" | "Monica" | "53" | "061809536" | "92" | Hipoxemia leve | | |

Ilustración 23-4: Diseño de la página web

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Dentro de la configuración de la página web se evidencia diferentes componentes:

- **ID:** se refiere a un identificador único del paciente, se optó de esta manera de ser el caso que existe un paciente con el mismo nombre.
- Nombre y Apellido del paciente.
- Edad del paciente.
- Cédula del paciente.
- El último dato registrado de saturación.
- **Indicador:** según los niveles de saturación de oxígeno del paciente se establece el estado del mismo, los cuales son: estado Normal, Hipoxia leve, Hipoxia moderada, o Hipoxia severa.
- Opciones que permiten modificar, añadir o eliminar datos de los pacientes con la finalidad de facilitar el registro del mismo, desde la página web.

Para el envío de la información a la página web se realiza mediante la aplicación móvil, teniendo en cuenta que debe estar conectado a una red Wi-Fi para que funcione, a través del botón REGISTRO, como se visualiza en la Ilustración 24-4.

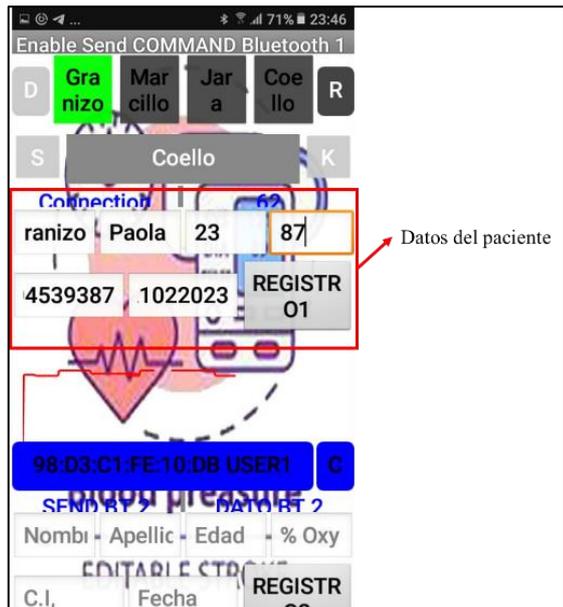


Ilustración 24-4: Envío de datos a la página web

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

4.1.6. *Etapa 5: Diseño del protector plástico para el prototipo*

Teniendo en cuenta las dimensiones de la placa se procede al diseño y elaboración de un protector del prototipo, como en la Ilustración 25-4, para el cual se usará el programa CAD, y una impresora 3D, al igual se realiza el diseño para el montaje del sensor que será colocado en el dedo del paciente.

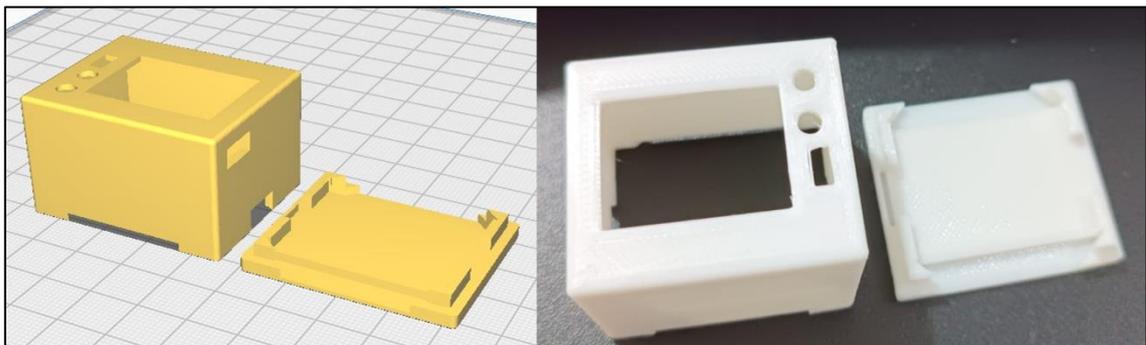


Ilustración 25-4: Diseño del protector del prototipo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Diseño del case protector del prototipo base inferior, lugar en donde se ubicará la batería lipo, las correas, y los puertos para las conexiones del sensor oxímetro, con las dimensiones de la Ilustración 26-4.

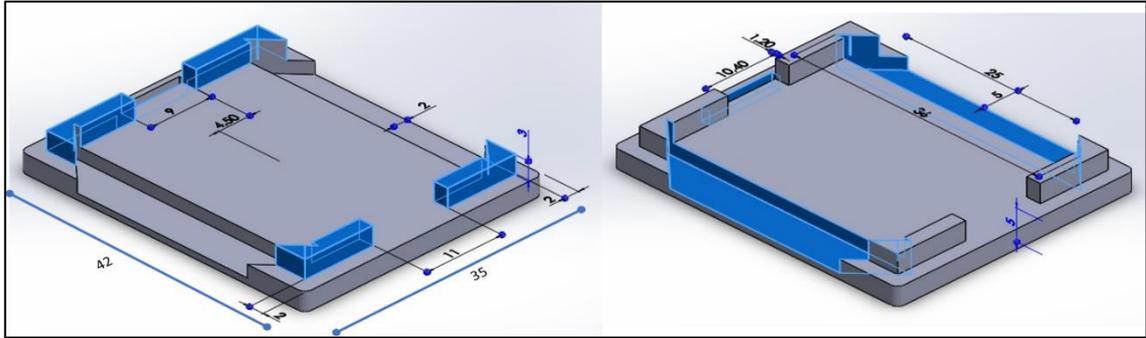


Ilustración 26-4: Diseño del case inferior

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Diseño con las medidas del case protector del prototipo base superior, dichas medidas se definen en la Ilustración 27-4, lugar en donde se ubicará la mayor parte del prototipo, incluye la placa, con el módulo Bluetooth, al igual que el switch deslizante, y los pulsadores, se observa una abertura para el puerto USB, y para la visualización de la pantalla OLED.

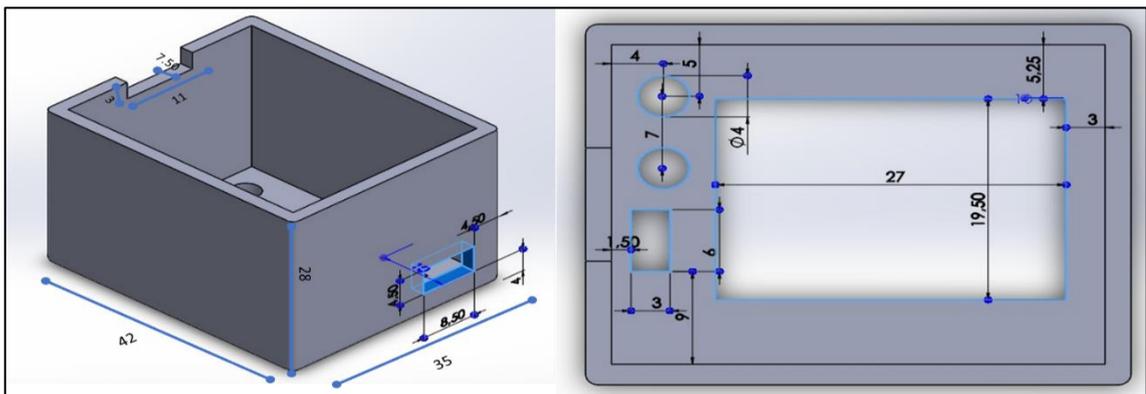


Ilustración 27-4: Diseño del case parte superior, módulo Bluetooth

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

- Diseño del case protector donde se ubicará el sensor oxímetro, con la finalidad de mayor soporte, y evitar que agentes externos como la luz impida una buena medida de la saturación de oxígeno, con las medidas de la Ilustración 28-4.

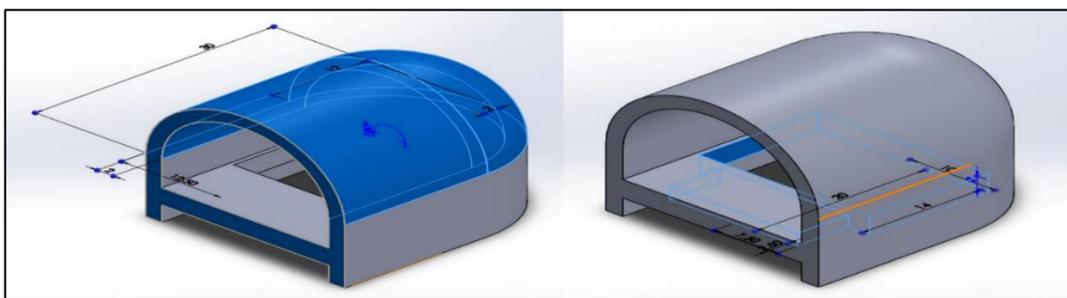


Ilustración 28-4: Case del sensor oxímetro

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

4.1.7. Etapa 6: Montaje del prototipo con las carcasas

Una vez terminada con el diseño y la impresión de la placa, de las carcasas, se procede al montaje del prototipo, en la Ilustración 29-4 se visualiza el resultado final de uno de los dispositivos del prototipo, en la Ilustración 30-4 se visualiza como es la conexión interna del dispositivo, en donde se encuentra la batería lipo, el módulo Bluetooth HC-05 y las respectivas conexiones de la placa, y en la Ilustración 31-4 es el resultado final en relación con el sensor, y su protector, con las conexiones que se conectan al dispositivo.

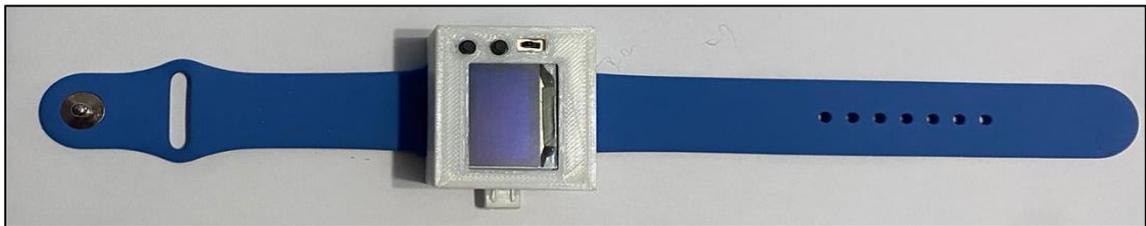


Ilustración 29-4: Montaje final del prototipo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

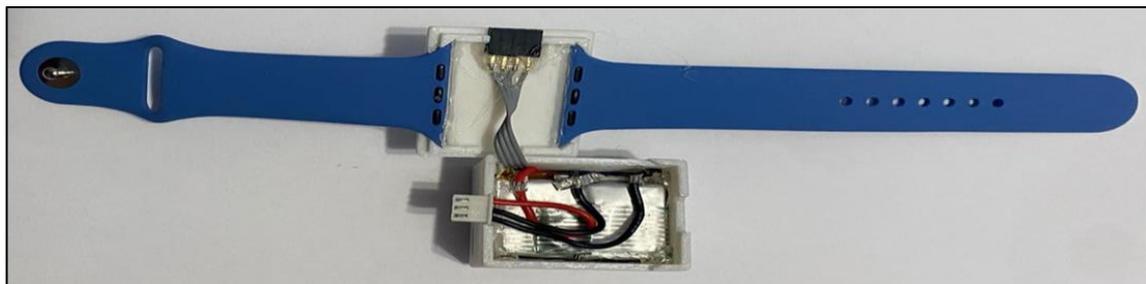


Ilustración 30-4: Montaje del prototipo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

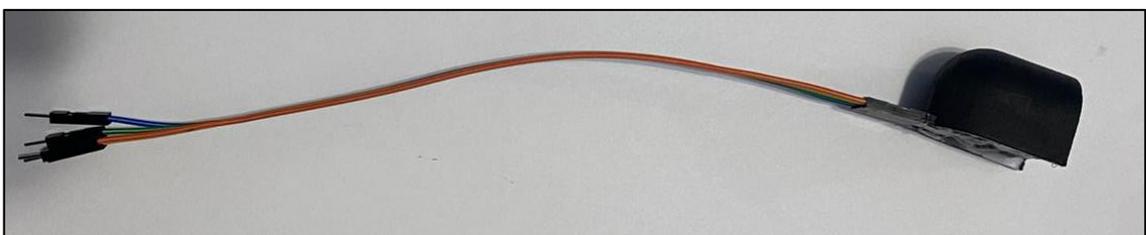


Ilustración 31-4: Case del sensor

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Al ser una red de dispositivos bluetooth, se han establecido para el prototipo, la creación de 4 nodos que serán conectados a los pacientes, y en la Ilustración 32-4 se demuestra estos 4 nodos, con sus respectivos sensores.

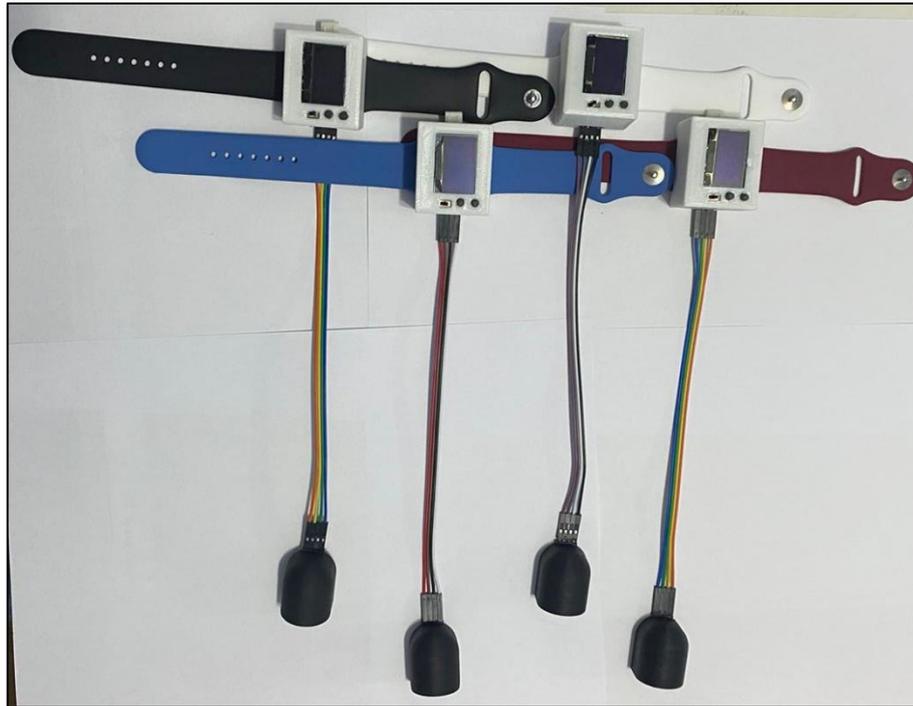


Ilustración 32-4: Case del sensor

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Una vez realizado el ensamblado y montaje del dispositivo se procede a la medición, para ello, se debe de colocar en la muñeca del paciente, y amarrarlo con la correa, y colocar el sensor en el dedo índice, o dedo del medio para la medición de la saturación de oxígeno, tal como se muestra en la Ilustración 33-4.



Ilustración 33-4: Colocación del dispositivo en el paciente

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 34-4 se definen cada uno de los valores que se visualizará en la pantalla LCD Oled.

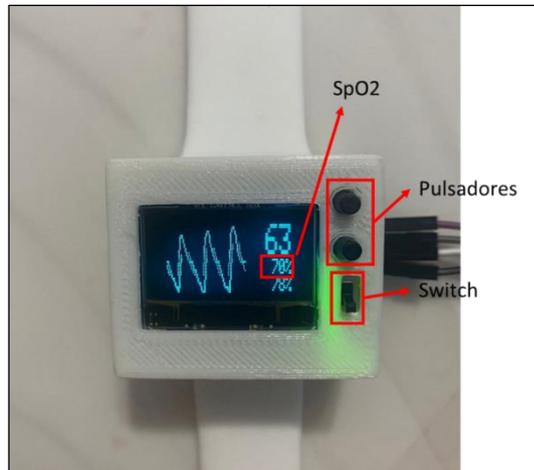


Ilustración 34-4: Visualización de datos del prototipo

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

La función del switch, es proporcionar una fuente de alimentación al dispositivo, mediante una batería lipo de 7.4 V a 250mA, y la función de los pulsadores, son: el pulsador superior permite visualizar los últimos valores de saturación de oxígeno y los latidos del corazón por minuto, como se demuestra en la Ilustración 35-4.



Ilustración 35-4: Función del pulsador superior

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Mientras que el segundo pulsador permite congelar la pantalla, con la finalidad de visualizar la variación que existe, que se visualiza en la gráfica, y el reinicio del dispositivo, como se visualiza en la Ilustración 36-4.



Ilustración 36-4: Funcionalidad del pulsador inferior

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

4.1.8. Etapa 7: Elaboración de un cuestionario para la entrevista al médico

En la última etapa definida en la Ilustración 37-4, es la finalización y validación del prototipo, se procede a la realización de una entrevista a un médico, debido a que es un prototipo médico, que analizará los resultados obtenidos por el prototipo y mediciones realizadas por dos oxímetros de mercado, para ello se elaboró un cuestionario que se encuentra en el ANEXO F: PREGUNTAS PARA LA ENTREVISTA DEL MÉDICO, que consiste en una serie de preguntas específicas sobre la saturación de oxígeno en la sangre, que ayudará a la mejora del prototipo.

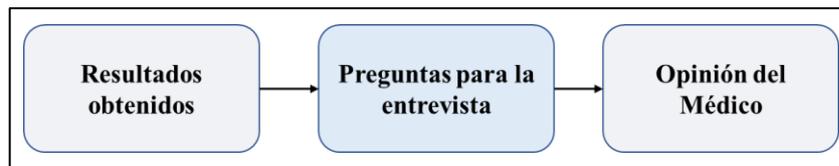


Ilustración 37-4: Diagrama para realización de la entrevista al médico

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

El médico que ayudó con la entrevista se define a continuación en la Ilustración 38-4.



Ilustración 38-4: Dr. Mario Bonifaz

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Datos del médico entrevistado:

- Nombre: Mario Rodolfo Bonifaz Guamán
- Edad: 38 años
- Cédula: 0603982455
- Especialidad: Médico General
- Años de experiencia: 10 años

CAPÍTULO V

5. VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En este Capítulo V se presentan las pruebas realizadas y la recolección de datos, así como los resultados obtenidos de todo el prototipo finalizado con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento y el cumplimiento de los objetivos, y para la evaluación del prototipo se utilizaron los criterios de validación analítica, validación experta, validación observacional y validación experimental.

5.1. Implementación del sistema prototipo

En el análisis de los resultados se procede a la toma de seis mediciones de cada una de las personas, para ellos se procedió en juntar por lo menos tres personas y se realiza la toma de niveles de saturación de oxígeno en dos escenarios diferentes, el primer escenario se caracteriza en que las personas se encuentran en reposo por lo menos 10 min antes, y la segunda etapa se caracteriza por la toma de los niveles de saturación de oxígeno de las mismas personas en movimiento es decir, realizar las mediciones después de una actividad física de 10 min y conectarlos a la vez los dispositivos.

En la Ilustración 1-5 se evidencia como tres personas están colocadas el dispositivo en la muñeca izquierda, al mismo tiempo.



Ilustración 1-5: Mediciones de la saturación de oxígeno

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 2-5 se evidencia la toma de los niveles de saturación de oxígeno con el sensor de oxímetro de mercado.



Ilustración 2-5: Mediciones con el oxímetro 1

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 3-5 se evidencia la toma de los niveles de saturación de oxígeno con el segundo oxímetro de mercado.



Ilustración 3-5: Mediciones con el oxímetro 2

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.2. Prueba del prototipo

Esta fase consiste en presentar los resultados obtenidos de las diferentes etapas que se dividió la construcción del prototipo, como primera instancia tendremos la conexión directa de los sensores oxímetro a la tarjeta de desarrollo arduino y visualizaremos los datos obtenidos, para posterior pasar a la conexión con nuestro servidor que está representado por la aplicación móvil, y finalmente a la conexión con la nube que está representado por la página web en donde se visualizaran los datos obtenidos, y de igual forma analizaremos la latencia que existe en la transmisión de los datos.

5.2.1. Conexión de los sensores

Se realizará las pruebas del funcionamiento correcto de los sensores, realizando algunas pruebas y comparándolas con un oxímetro de mercado con la finalidad de calibrar el sensor, y obtener datos más exactos en relación con los medidos por el oxímetro de mercado, y en la Tabla 1-5 se demuestra los valores obtenidos en seis ocasiones utilizando el sensor que se va a utilizar y el oxímetro de mercado, para verificar la variación entre ambos.

Tabla 1-5: Mediciones de calibración

| MEDICIONES INICIALES | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------|--|
| Número de medición | Sensor Oxímetro | Oxímetro de mercado | |
| 1 | 88% | 92% | |
| 2 | 87% | 93% | |
| 3 | 92% | 95% | |
| 4 | 90% | 93% | |
| 5 | 89% | 91% | |
| 6 | 91% | 94% | |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la Ilustración 4-5 se muestra el oxímetro de mercado que se utilizó para poder comparar las mediciones y realizar la posible calibración del nivel de oxígeno, el cual fue aprobado por el médico antes de realizar las mediciones necesarias.



Ilustración 4-5: Oxímetro de mercado

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.3. Resultados del prototipo

Para la obtención de los resultados del funcionamiento del prototipo consiste en la medición de 4 grupos de personas en relación a las edades considerando dos estados, tanto en reposo y en movimiento, y a la vez se debe de considerar si padece de alguna enfermedad respiratoria que afecte al resultado final.

Los resultados obtenidos por las mediciones del prototipo son enviados a la aplicación móvil por vía Bluetooth, que se visualiza en la Ilustración 5-5.

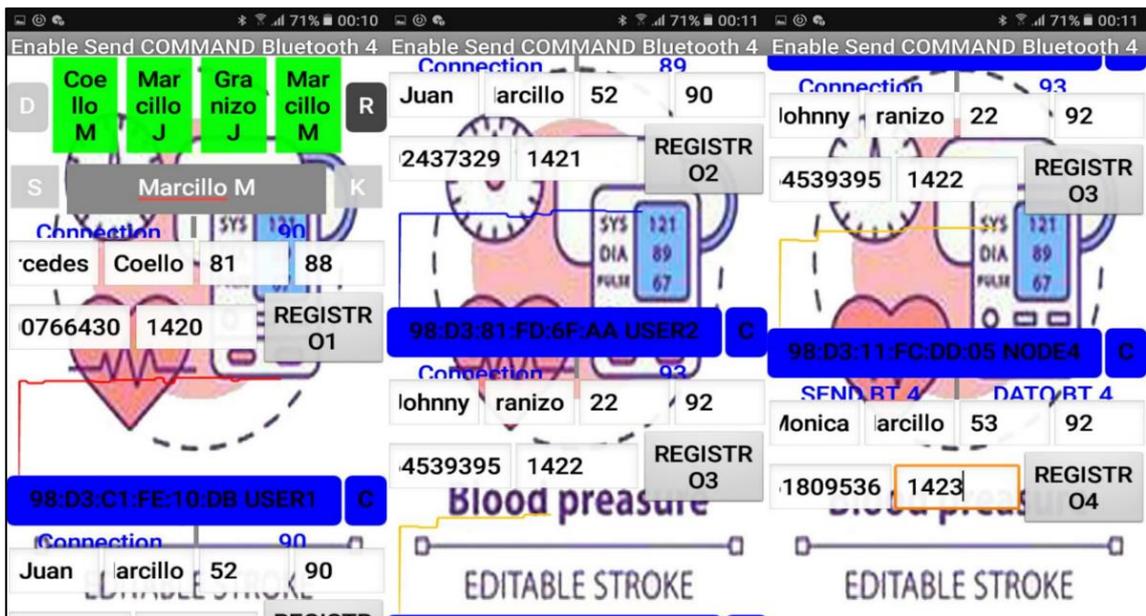


Ilustración 5-1: Registro de los datos de la aplicación móvil

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Mediante Wi-Fi los datos son enviados a la página web como se visualiza en la Ilustración 6-5, mediante un registro, de los datos del paciente, y el último valor del nivel de saturación de oxígeno.

| ID | NOMBRE | APELLIDO | EDAD | CEDULA | SATURACION | INDICADOR | Modificar | Eliminar |
|-----------|-------------|------------|------|--------------|------------|----------------------|-----------|----------|
| 1420 | "Mercedes" | "Coello" | "81" | "0600766430" | "88" | Hipopoxemia moderada | | |
| 1421 | "Juan" | "Marcillo" | "52" | "0602437329" | "90" | Hipopoxemia moderada | | |
| 1422 | "Johnny" | "Granizo" | "22" | "064539395" | "92" | Hipopoxemia leve | | |
| 1423 | "Monica" | "Monica" | "53" | "061809536" | "92" | Hipopoxemia leve | | |
| 10032023 | "mateo " | "granizo" | "12" | "0604966666" | "93" | Hipopoxemia leve | | |
| 100320231 | "daniela " | "marcillo" | "17" | "0604966666" | "94" | Hipopoxemia leve | | |
| 100320232 | "kim " | "marcillo" | "7" | "0604966666" | "95" | Normal | | |
| 100320233 | "guillermo" | "pinguil" | "24" | "0604966666" | "85" | Hipopoxemia severa | | |

Ilustración 6-5: Datos registrados en la página web

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.3.1. Mediciones a menores de edad

Las personas consideradas como menores de edad, fluctúa entre 0-17 años de edad, y en la Tabla 2-5 se evidencia las mediciones realizadas considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 2-5: Mediciones a menores de edad

| MEDICIONES A MENORES DE EDAD | | | | |
|------------------------------|------|--------|------------|---------------------|
| Nombre | Edad | Estado | | Observaciones |
| | | Reposo | Movimiento | |
| Mateo Granizo | 12 | 93% | 91% | Resfriado |
| Daniela Marcillo | 17 | 94% | 92% | |
| María Marcillo | 15 | 94% | 93% | |
| Kim Marcillo | 7 | 95% | 93% | |
| Valentina Cabrera | 5 | 93% | 92% | |
| Fernanda Sánchez | 13 | 91% | 89% | COVID recientemente |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.3.2. Mediciones a mayores de edad (18-40 años)

Las personas consideradas como mayores de edad, fluctúa entre los 18-40 años de edad, y en la Tabla 3-5 se evidencia las mediciones realizadas considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 3-5: Mediciones a mayores de edad (18-40 años)

| MEDICIONES ENTRE 18-40 AÑOS | | | | |
|------------------------------------|-------------|---------------|-------------------|----------------------|
| Nombre | Edad | Estado | | Observaciones |
| | | Reposo | Movimiento | |
| Benito Mendoza | 18 | 90% | 88% | |
| Johnny Granizo | 22 | 88% | 86% | |
| Israel Jara | 27 | 92% | 88% | Sinusitis Covid |
| Guillermo Pinguil | 24 | 89% | 87% | |
| José Chilo | 25 | 87% | 86% | |
| Karina Granizo | 20 | 90% | 88% | |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.3.3. Mediciones a personas entre 41-60 años

El tercer grupo son personas donde la edad fluctúa entre 41-60 años de edad, y en la Tabla 4-5 se evidencia las mediciones realizadas considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 4-5: Mediciones a personas entre 41-60 años

| MEDICIONES ENTRE 41-60 AÑOS | | | | |
|------------------------------------|-------------|---------------|-------------------|----------------------|
| Nombre | Edad | Estado | | Observaciones |
| | | Reposo | Movimiento | |
| Fernanda Ponce | 41 | 93% | 90% | |
| Mónica Marcillo | 53 | 92% | 90% | |
| Johnny Granizo | 54 | 90% | 88% | |
| Lorena Sampedro | 44 | 88% | 86% | Resfriado |
| Edwin Granizo | 45 | 86% | 85% | |
| Juan Marcillo | 52 | 90% | 88% | |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.3.4. Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)

Las personas consideradas de la tercera edad, son personas mayores a los 60 años de edad, y en la Tabla 5-5 se evidencia las mediciones realizadas considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 5-1: Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)

| MEDICIONES A LOS DE TERCERA EDAD (>60) | | | | |
|--|------|--------|------------|---|
| Nombre | Edad | Estado | | Observaciones |
| | | Reposo | Movimiento | |
| Mercedes Coello | 81 | 88% | 82% | Hipertensión Isquemia cardíaca Arritmia Cardíaca Gastritis crónica |
| Solón Granizo | 74 | 89% | 87% | Presión Arterial Tiroides Sangre espesa |
| Hilda Caminos | 78 | 90% | 87% | Presión arterial Artritis |
| Heriberto Cepeda | 86 | 85% | 82% | Hipertensión |
| Segundo Pancho | 81 | 85% | 80% | Hipertensión Secuelas de COVID |
| Marta de Pancho | 78 | 88% | 85% | Secuelas de COVID |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.4. Mediciones con dos marcas de oxímetro del mercado

Una vez obtenida los resultados del prototipo se procede a la obtención de los resultados de dos diferentes marcas de oxímetro del mercado considerando los mismos 4 grupos de personas en relación a las edades y considerando los dos estados, tanto en reposo y en movimiento, y a la vez se debe de considerar si padece de alguna enfermedad respiratoria que afecte al resultado final. En la Ilustración 7-5 se muestran los oxímetros de mercado que fueron utilizados para realizar las mediciones de los niveles de saturación de oxígeno en cada una de las personas que fueron consideradas, y en la Tabla 6-5 se mencionan las diferentes características de los oxímetros utilizados.



Ilustración 7-5: Oxímetros de mercado utilizados en las mediciones

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Tabla 6-5: Características de Oxímetros

| Características de los oxímetros utilizados | | |
|---|--|---|
| Parámetros | Modelo A2 | Modelo LK87 |
| Costo | \$ 35.00 | \$ 6.00 |
| Spo2 | Rango de medición: 70%-99% Precisión: +2% Resolución: 1% | Rango de medición: 0%-100% Precisión: +2% Sensor óptico: luz infrarroja |
| PR | Rango de medición: 30BPM-240BPM Precisión: +1BPM | Rango de medición: 30BPM-250BPM Precisión: +2BPM |
| Fuente | 2 pilas AAA | 2 pilas AAA |
| Temperatura de operación | 5 °C-40°C | - |
| Temperatura de almacenamiento | -10°C-40°C | - |
| Presión del aire | 15%-80% | - |
| Uso previsto | Hospital Doméstico Salud deportiva | Doméstico |
| Pantalla | TFT display | Oled Display |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.4.1. Mediciones a menores de edad

Las personas consideradas como menores de edad, fluctúa entre 0-17 años de edad, y en la Tabla 7-5 se evidencia las mediciones realizadas por los dos diferentes oxímetros de mercado considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 7-5: Mediciones a menores de edad

| MEDICIONES A MENORES DE EDAD | | | | | | |
|-------------------------------------|------|--------------|------------|--------------|------------|---------------|
| Nombre | Edad | Oxímetro N°1 | | Oxímetro N°2 | | Observaciones |
| | | Estado | | Estado | | |
| | | Reposo | Movimiento | Reposo | Movimiento | |
| Mateo Granizo | 12 | 93% | 94% | 95% | 93% | Resfriado |
| Daniela Marcillo | 17 | 93% | 92% | 92% | 92% | |
| María Marcillo | 15 | 92% | 91% | 95% | 91% | |
| Kim Marcillo | 7 | 95% | 92% | 95% | 92% | |
| Valentina Cabrera | 5 | 95% | 93% | 95% | 93% | |
| Fernanda Sánchez | 13 | 95% | 94% | 95% | 94% | COVID |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.4.2. Mediciones a mayores de edad (18-40 años)

Las personas consideradas como mayores de edad, fluctúa entre los 18-40 años de edad, y en la Tabla 8-5 se evidencia las mediciones realizadas por los dos diferentes oxímetros de mercado considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 8-5: Mediciones a mayores de edad (18-40 años)

| MEDICIONES ENTRE 18-40 AÑOS | | | | | | |
|------------------------------------|------|--------------|------------|--------------|------------|--------------------|
| Nombre | Edad | Oxímetro N°1 | | Oxímetro N°2 | | Observaciones |
| | | Estado | | Estado | | |
| | | Reposo | Movimiento | Reposo | Movimiento | |
| Benito Mendoza | 18 | 93% | 93% | 95% | 91% | |
| Johnny Granizo | 22 | 92% | 93% | 96% | 93% | |
| Israel Jara | 27 | 91% | 94% | 93% | 90% | Sinusitis COVID |
| Guillermo Pinguil | 24 | 93% | 91% | 94% | 92% | |
| José Chilo | 25 | 93% | 93% | 91% | 93% | |
| Karina Granizo | 20 | 92% | 91% | 91% | 90% | |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.4.3. Mediciones a personas entre 41-60 años

Las personas consideradas en el tercer grupo de mediciones, fluctúa entre los 41 a 60 años de edad, y en la Tabla 9-5 se evidencia las mediciones realizadas por los dos diferentes oxímetros de mercado considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 9-5: Mediciones a personas entre 41-60 años

| MEDICIONES ENTRE 41-60 AÑOS | | | | | | |
|-----------------------------|------|--------------|------------|--------------|------------|---------------|
| Nombre | Edad | Oxímetro N°1 | | Oxímetro N°2 | | Observaciones |
| | | Estado | | Estado | | |
| | | Reposo | Movimiento | Reposo | Movimiento | |
| Fernanda Ponce | 41 | 89% | 89% | 90% | 89% | |
| Mónica Marcillo | 53 | 90% | 90% | 90% | 90% | |
| Johnny Granizo | 54 | 89% | 83% | 91% | 85% | |
| Lorena Sampedro | 44 | 94% | 95% | 93% | 91% | Resfriado |
| Edwin Granizo | 45 | 91% | 90% | 93% | 92% | |
| Juan Marcillo | 52 | 93% | 92% | 93% | 92% | |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.4.4. Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)

Las personas consideradas de la tercera edad, son personas mayores a los 60 años, y en la Tabla 10-5 se evidencia las mediciones realizadas por los dos diferentes oxímetros de mercado considerando los dos escenarios y observaciones durante las mediciones del nivel de saturación de oxígeno.

Tabla 10-5: Mediciones a personas de la tercera edad (mayores a 60)

| MEDICIONES A LOS DE TERCERA EDAD (>60) | | | | | | |
|--|------|--------------|------------|--------------|------------|---|
| Nombre | Edad | Oxímetro N°1 | | Oxímetro N°2 | | Observaciones |
| | | Estado | | Estado | | |
| | | Reposo | Movimiento | Reposo | Movimiento | |
| Mercedes Coello | 81 | 91% | 93% | 95% | 91% | Hipertensión Isquemia cardiaca Arritmia Cardiaca Gastritis crónica |
| Solón Granizo | 74 | 80% | 81% | 86% | 83% | Presión Arterial Tiroides Sangre espesa |
| Hilda Caminos | 78 | 91% | 89% | 93% | 90% | Presión arterial Artritis |
| Heriberto Cepeda | 86 | 90% | 88% | 92% | 90% | Hipertensión |
| Segundo Pancho | 81 | 88% | 87% | 90% | 88% | Hipertensión Secuelas de COVID |
| Marta de Pancho | 78 | 85% | 85% | 88% | 87% | Secuelas de COVID |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.5. Análisis del prototipo con las marcas de oxímetro de mercado

Una vez obtenida los resultados del prototipo y los resultados de dos diferentes marcas de oxímetro del mercado considerando los mismos 4 grupos de personas en relación a las edades y considerando los dos estados, tanto en reposo y en movimiento, y a la vez se debe de considerar si padece de alguna enfermedad respiratoria que afecte al resultado final, se procede a la comparación de los resultados obtenidos en los tres casos.

En la Tabla 11-5 se realiza una recolección de los datos obtenidos anteriormente, con la finalidad de realizar un análisis comparativo, del prototipo realizado y a los dos oxímetros de mercado.

Tabla 11-5: Análisis comparativo

| COMPARACIÓN | | | | | | | |
|--------------------|-----------|------------|--------------|------------|--------------|------------|---|
| EDAD | Prototipo | | Oxímetro N°1 | | Oxímetro N°2 | | Observaciones |
| | Estado | | Estado | | Estado | | |
| | Reposo | Movimiento | Reposo | Movimiento | Reposo | Movimiento | |
| Menores de edad | 93% | 91% | 93% | 94% | 95% | 93% | Resfriado |
| | 94% | 92% | 93% | 92% | 92% | 92% | |
| | 94% | 93% | 92% | 91% | 95% | 91% | |
| | 95% | 93% | 95% | 92% | 95% | 92% | |
| | 93% | 92% | 95% | 93% | 95% | 93% | |
| | 91% | 89% | 95% | 94% | 95% | 94% | COVID |
| 18-40 años | 90% | 88% | 93% | 93% | 95% | 91% | |
| | 88% | 86% | 92% | 93% | 96% | 93% | |
| | 92% | 88% | 91% | 94% | 93% | 90% | Sinusitis COVID |
| | 89% | 87% | 93% | 91% | 94% | 92% | |
| | 87% | 86% | 93% | 93% | 91% | 93% | |
| | 90% | 88% | 92% | 91% | 91% | 90% | |
| 41-60 años | 93% | 90% | 89% | 89% | 90% | 89% | |
| | 92% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | |
| | 90% | 88% | 89% | 83% | 91% | 85% | |
| | 88% | 86% | 94% | 95% | 93% | 91% | Resfriado |
| | 86% | 85% | 91% | 90% | 93% | 92% | |
| | 90% | 88% | 93% | 92% | 93% | 92% | |
| Tercera edad (>60) | 88% | 82% | 91% | 93% | 95% | 91% | Hipertensión Isquemia cardiaca Arritmia Cardiaca Gastritis crónica |
| | 89% | 87% | 80% | 81% | 86% | 83% | Presión Arterial Tiroides Sangre espesa |
| | 90% | 87% | 91% | 89% | 93% | 90% | Presión arterial Artritis |
| | 85% | 82% | 90% | 88% | 92% | 90% | Hipertensión |
| | 85% | 80% | 88% | 87% | 90% | 88% | Hipertensión Secuelas de COVID |
| | 88% | 85% | 85% | 85% | 88% | 87% | Secuelas de COVID |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.5.1. Cálculo de la varianza de los resultados

El método utilizado para el análisis de cada uno de los escenarios puesto en consideración ha sido, el Método Estadístico de Diseño Completamente Aleatorio, el cual es llamado también como el modelo de análisis de la variancia, siendo este uno de los modelos mas simples y fáciles de interpretar.

Para dicho análisis se requiere de ciertas fórmulas que ayudaran a encontrar en valor de error en relación a los valores obtenidos con el prototipo y el oxímetro 1 y el error en relación a los valores obtenidos del prototipo y el oxímetro 2.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Promedio}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad \text{Varianza}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad \text{Desviación estándar}$$

$$CV = \frac{\sigma}{|\bar{x}|} \quad \text{Coeficiente de varianza}$$

$$RPD = \frac{|valor\ 1 - valor\ 2|}{\frac{valor\ 1 + valor\ 2}{2}} * 100\% \quad \text{Diferencia de porcentaje relativo o de error}$$

Se toma en consideración los valores del prototipo con los valores obtenidos con el oxímetro modelo A2, y con los valores obtenidos con el oxímetro LK87 obteniendo los resultados de la Tabla 12-5, los valores obtenidos se basan en cada uno de los cuatro grupos de estudio (menores de edad, 18-40 años, 40-60 años y tercera edad mayores a 60 años), con los niveles de saturación de oxígeno en los dos eventos, tanto en reposo como en movimiento, primero sacando un promedio de todos los valores del prototipo, los valores con el oxímetro 1 y los valores obtenidos con el oxímetro 2, de manera independiente, unificando los eventos, y de cada uno de ellos se procede a realizar el proceso para poder llegar al valor del error que presentan los resultados, la varianza, desviación estándar, y coeficiente de variación, para proceder con el dato que nos indicara el valor de error en relación a los valores del prototipo y el oxímetro 1 y la diferencia entre los valores del prototipo con los valores obtenidos con el oxímetro 2.

Tabla 12-5: Análisis de la varianza en consideración los valores obtenidos con el prototipo y los oxímetros de mercado

| | | Prototipo | Oxímetro 1 | Oxímetro 2 |
|------------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Menores de edad | Promedio | 92,50% | 93,25% | 93,5% |
| | Varianza | 0,02% | 0,02% | 0,01% |
| | Desviación estándar | 1,44% | 1,27% | 1,14% |
| | Coeficiente de variación | 1,55% | 1,36% | 1,21% |
| | Diferencia | | 0,81% | 1,07% |
| 18-40 años | Promedio | 88,25% | 92,42% | 92,42% |
| | Varianza | 0,02% | 0,01% | 0,03% |
| | Desviación estándar | 1,37% | 1,02% | 1,72% |
| | Coeficiente de variación | 1,54% | 1,10% | 1,86% |
| | Diferencia | | 4,62% | 4,62% |
| 41-60 años | Promedio | 88,83% | 90,42% | 90,75% |
| | Varianza | 0,05% | 0,10% | 0,05% |
| | Desviación estándar | 2,30% | 3,03% | 2,07% |
| | Coeficiente de variación | 2,59% | 3,36% | 2,29% |
| | Diferencia | | 1,77% | 2,14% |
| Tercera edad (>60) | Promedio | 85,67% | 87,33% | 89,42% |
| | Varianza | 0,06% | 0,17% | 0,10% |
| | Desviación estándar | 2,50% | 4,17% | 3,13% |
| | Coeficiente de variación | 2,93% | 4,78% | 3,49% |
| | Diferencia | | 1,95% | 4,30% |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

Simplificando los datos se resumen en la Tabla 13-5, demostrando que el error que produce el prototipo varía entre 0,81% y 4,62%.

Tabla 13-5: Resumen de los valores de error

| | Prototipo-Oxímetro 1 | Prototipo-Oxímetro 2 |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Menores de edad | 0,81% | 1,07% |
| 18-40 años | 4,62% | 4,62% |
| 41-60 años | 1,77% | 2,14% |
| Tercera edad (>60) | 1,95% | 4,30% |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

5.6. Entrevista médica

La entrevista fue realizada el día 27 de febrero del 2023, en el Hospital Básico Jerusalén, al Dr. Mario Bonifaz Guamán, en la Ilustración 8-5 se evidencia la presencia del doctor, a quien se realizó una serie de preguntas y la explicación respectiva del funcionamiento del prototipo, además se presenta una serie de resultados obtenidos.



Ilustración 8-5: Entrevista al Dr.

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

En la entrevista al médico comienza con la explicación de saturación de oxígeno en la sangre, y se define como la capacidad que tiene la sangre en llevar oxígeno al cuerpo, se menciona los diferentes rangos de edades de las personas consideradas, dando a conocer que el nivel de saturación de oxígeno para personas menores de edad (<18) es mayor a 95%, para personas mayores de edad (>18) es un valor mayor a 90%, y para personas consideradas de la tercera edad (>60) varía entre los valores de 88% y 90%, pero cabe recalcar que se debe de considerar que estos rangos pueden variar dependiendo si la persona tiene alguna enfermedad respiratoria, ya que la saturación de oxígeno es en relación al sistema respiratorio, para la toma del nivel de SpO2 es de aproximadamente de 30 segundos hasta que el sensor o el dispositivo se estabilice, al igual como factores externos pueden variar este nivel, como la luminosidad, ubicación del dedo, y esmalte que una persona puede tener en las uñas.

En la segunda sección de la entrevista se relaciona al análisis de los resultados recolectados previamente, tanto con el prototipo y los oxímetros de mercado, mencionando que uno de los oxímetros puede ser utilizado en términos médicos, pero el otro solo puede ser utilizado de manera doméstica por la sensibilidad que tiene el sensor, dando como recomendación realizar las

mediciones a una mayor cantidad de personas para poder obtener una mejor referencia, pero en cuanto al sensor observa que tiene una buena sensibilidad, y que existe una variación de los valores mínimos en cuanto al oxímetro que se utiliza en un centro médico, pero esos valores pueden ser significativos, por lo que se recomienda una mejor calibración del sensor, y la toma de resultados en el dedo corazón o en el dedo índice de la mano izquierda.

En términos generales, el prototipo se considera que es muy innovador e interesante y que el monitoreo remoto es necesario para evitar el contacto directo con las personas, además que dentro de la página web al considerar indicador en colores puede hacer que el médico actúe de manera rápida, y tener herramientas como esta hubiese sido mejor en tiempo de un inicio de la pandemia, o el monitoreo post Covid.

5.7. Análisis económico del prototipo

A continuación se muestra el presupuesto económico de los diferentes componentes que conforman la red del sistema biométrico para la medición de la saturación de oxígeno de los pacientes, comunicado a una aplicación móvil, y enviado a la nube, la que se visualiza en una página web.

Los elementos utilizados fueron adquiridos de Ecuador, de Estados Unidos, y China, los componentes adquiridos en Estados Unidos, son los sensores MAX30101, por ser dispositivos calibrados y precisos, los elementos adquiridos de China, son las placas de desarrollo diseñadas con anterioridad, debido a que fueron personalizadas para que tengan un diseño lo más compacto posible, semejándose a un reloj, y el resto de componentes fueron adquiridos en Ecuador.

En la Tabla 14-5 se presenta un listado de los componentes y costos tanto unitario como el costo total del prototipo, ya que es una red de sensores, se debió realizar un prototipo de 4 dispositivos, el módulo transmisor es el elemento que mayor cantidad de componentes dispone en su diseño, con un costo de cada uno de estos dispositivos con un costo de 86.97 USD, siendo el mayor costo, el desarrollo de la placa, al ser cuatro dispositivos son un total de 346.68 USD y el módulo receptor hace referencia a un dispositivo móvil el cual debe tener un sistema operativo Android, con un costo aproximado de 130 USD, dando un costo total de la implementación del prototipo completo de 476.68 USD.

Tabla 14-5: Análisis económico

| Módulos | Dispositivo | Cantidad | Costo Unitario | Costo Total |
|----------------------------|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Módulo Transmisor | Placa de desarrollo | 4 | 21.50 | 86 |
| | Módulo Bluetooth | 4 | 10.50 | 42 |
| | Pantallas oled (0.96") | 4 | 10 | 40 |
| | Fuente de alimentación (Baterías lipo) | 4 | 9.50 | 38 |
| | Sensor oxímetro MAX30101 | 4 | 19.67 | 78,69 |
| | Switch deslizante | 4 | 0.15 | 0.6 |
| | Pulsadores | 8 | 0.15 | 1.20 |
| | Cables de conexión | 4 | 0.50 | 2.00 |
| | Ensamblaje | 4 | 10 | 40 |
| | Manillas | 4 | 5 | 20 |
| | TOTAL MÓDULO TRANSMISOR | | | 86.97 |
| Módulo Receptor | Dispositivo Móvil | 1 | 130 | 130 |
| | TOTAL MÓDULO RECEPTOR | | | 130 |
| TOTAL DEL PROTOTIPO | | | | 476.68 |

Realizado por: Granizo Marcillo, Paola, 2023

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo VI después de un análisis de los resultados tanto del nivel de saturación de oxígeno del paciente, así como la evaluación económica del mismo, se detallarán las conclusiones y recomendaciones.

6.1. Conclusiones

- Con la investigación realizada se pudo evidenciar que existen diferentes sistemas biométricos ya implementados, pero con tecnología inalámbrica han sido muy pocos, y en el Ecuador existen prototipos para implementarlos, como resultados de un trabajo de titulación.
- Se diseñó un prototipo que permite controlar el nivel de saturación de oxígeno, con la tecnología Bluetooth, que permite la visualización del mismo en una pantalla OLED, en tiempo real y a su vez en una aplicación móvil y página web.
- La interfaz de usuario se diseñó de manera que sea fácil su utilización y amigable con el usuario, en donde se puede hacer la conexión de los cuatro dispositivos a su vez, en la que se puede visualizar el nivel de saturación de oxígeno en la sangre, y la gráfica de la variación del mismo en tiempo real, de igual forma permite el registro de la información personal del paciente, como nombre, apellido, cédula, y edad.
- El uso de la tecnología Bluetooth en la actualidad ha tenido gran apertura en el mercado, pero existe muchas limitaciones, dependiendo de la clase y versiones del mismo, cabe mencionar que si se requiere del uso de la clase y versión más actual, se debe experimentar porque información del mismo es muy escasa, y la compatibilidad con otras tecnologías se debe verificar.
- Para el registro de la información en la base de datos, se diseñó una página web con una interfaz amigable, con la finalidad que permita la visualización de los datos personales del paciente como nombre, apellido, cédula y edad, de igual forma permite modificar y eliminar información del paciente de ser oportuno.

6.2. Recomendaciones

- Para la correcta medición del nivel de saturación de oxígeno se debe de considerar el uso de una toalla quirúrgica o evitar el contacto con la luz solar directa, no tener esmalte o uñas postizas, limpiar la zona con alcohol, mantener estable el dedo y en reposo durante la medición y que este en contacto con el sensor correctamente.
- Para considerar la fuente de alimentación de los dispositivos que conforman el prototipo, se recomienda el uso de baterías lipo, las cuales son recargables y aportan un amperaje adecuado para el correcto funcionamiento del dispositivo.
- Se debe de considerar la estabilización del sensor, antes de tomar una medida, ya que el sensor funciona desde que se prende el dispositivo.
- Para trabajos basados en un sistema parecido, se recomienda modificar la carcasa del sensor, y tenga mejor contacto con la piel.
- Se recomienda considerar el número de dispositivos que se conectaran a la aplicación móvil.

BIBLIOGRAFIA

ALICANTE. "*Gasometría arterial.*" [blog]. [Consulta: 06 de Junio de 2022]. Disponible en: <https://www.utfalicante.com/blog/gasometria-arterial-128.html>.

ATS. "Oximetría de pulso." *American Thoracic Society* [En línea], 2013, (Estados Unidos de América) 184, pp. 34-36. [Consulta: 06 de Junio de 2022]. ISSN 2452-6053. Disponible en: <https://www.thoracic.org/patients/patient-resources/resources/spanish/pulse-oximetry.pdf>.

BAELISH. "*Formas para medir la oxigenación (Parte 1: FiO2, PaO2 y SO2).*" YouTube, [video en línea]. Publicado el 17 de abril del 2020 [Consulta: 06 de mayo 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=XuXjpF2nhY0>

CODE. "*Sublime Text: qué es y para qué sirve.*" [blog] [Consulta: 21 de Enero de 2023]. Disponible en: <https://www.codedonostia.com/sublime-text-que-es-y-para-que-sirve/>.

DELGADO PARRA, G. "*BIOMETRÍA.*" [En línea]. (Trabajo de investigación). Instituto Universitario de Tecnología Ago Industrial, San Cristóbal, Venezuela. s.d. [Consulta: 16 de Mayo de 2022]. Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ce/Articulo_gerson_delgado_congsistel.pdf.

EASYEDA. "*About EasyEDA.*" [blog] [Consulta: 05 de Enero de 2023]. Disponible en: <https://easyeda.com/page/about>.

GARMIN. "*Pulsómetro.*" [blog]. [Consulta: 06 de Junio de 2022.]. Disponible en: <https://garmin.ec/?s=pulsometro>.

GENBETA. "*Sublime Text, un sofisticado editor de código multiplataforma.*" [blog] 2020. [Consulta: 21 de Enero de 2023.]. Disponible en: <https://www.genbeta.com/herramientas/sublime-text-un-sofisticado-editor-de-codigo-multiplataforma>.

GUILCAPI QUISNANCELA, Lisbeth Marcela, & OROZCO VALENCIA, Robert Mauricio. Diseño y construcción de un prototipo de red Inalámbrica para la gestión y facturación de comandas en tiempo real, aplicado en la implementación de bares-restaurantes inteligentes. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba,

Ecuador. 2020. pp. 12-21 [Consulta: 05 de Enero de 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13763/1/98T00273.pdf>.

GUTIERREZ SEGALES, Juan Pablo. Implementación de un prototipo de una red inalámbrica de sensores biomédicos, para la adquisición y almacenamiento de datos, usando cloud computing, para pacientes en casa. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2019. pp. 27-57 [Consulta: 20 de Septiembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/9899/ITgusejp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

HARO GOYES, Pamela. Desarrollo e Implementación de una aplicación móvil para el servicio de pedidos de la empresa “CONFECCIONES ADONAI” desarrollada en App inventor en el periodo 2018. [En línea]. (Tesis de Grado). Instituto Tecnológico Superior Particular San Gabriel, Riobamba, Ecuador, 2018. pp. 25-34. [Consultado: 28 de Diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.sangabrielriobamba.edu.ec/tesis/sistemas/tesis015.pdf>.

INCIBE. *"Tecnologías biométricas aplicadas a la seguridad, una guía de aproximación para el empresario."* [blog] 2016. [Consulta: 01 de Junio de 2022]. Disponible en https://www.incibe.es/sites/default/files/contenidos/guias/doc/guia_tecnologias_biometricas_aplicadas_ciberseguridad_metad.pdf.

LLAMAS, L. *"Pulsímetro y oxímetro con arduino y MAX30102."* [blog] 12 de Abril de 2020. [Consulta: 12 de Noviembre de 2022.]. Disponible en: <https://www.luisllamas.es/pulsimetro-y-oximetro-con-arduino-y-max30102/>.

LOACHAMIN CHANATAXI, Mercy Alexandra & RIBADENEIRA POZO, Verónica Elizabeth. Diseño e implementación de un prototipo multimodal en telemedicina para emergencia utilizando redes wsn y tecnología móvil para transmitir medidas fisiológicas humanas en tiempo real. [En línea]. (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016. pp. 7-29. [Consulta: 16 de Mayo de 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6445/1/98T00132.pdf>.

LOPEZ VILLANUEVA, Ricardo. Diseño de una tarjeta de adquisición de datos basada en Arduino. [En línea]. (Trabajo de Titulación). Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 2021. pp. 27-29. [Consulta: 23 de Diciembre de 2022]. Disponible en:

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/48749/TFG-I-1999.pdf;jsessionid=46B22512F839EBA93B0D44818A2C247A?sequence=1>.

LUDEÑA VELIZ, Fernando Mesías. Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de seguridad basado en biometría para estadios. [En línea]. (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2018. pp. 18-27. [Consulta el: 17 de Mayo de 2022.] Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36298>.

MASIMO SAFETYNET. "*Masimo SafetyNet*". [blog] 2020. [Consulta: 16 de Mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.masimo.es/products/hospital-automation/masimo-safetynet/>.

MAXIM INTEGRATED. "*GUIDELINES FOR SPO2 MEASUREMENT USING THE MAXIM MAX32664 SENSOR HUB*". [blog] 2019. [Consulta: 06 de Junio de 2022]. Disponible en: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/SpO2-Measurement-Maxim-MAX32664-Sensor-Hub.pdf>.

OPEN BOOTCAMP. "*¿Qué es Atom y cómo funciona?*" [blog] 2021. [Consulta: 23 de Enero de 2022]. Disponible en: <https://open-bootcamp.com/aprender-programar/tipos-de-ide-atom>.

PIMORONI. "*Breakout MAX30101: frecuencia cardíaca, oxímetro, sensor de humo.*" [blog] 2018. [Consulta: 17 de Noviembre de 2022.]. Disponible en: <https://shop.pimoroni.com/products/max30101-breakout-heart-rate-oximeter-smoke-sensor?variant=21482065985619>.

PIMORONI. "*MAX30101 Breakout - Heart Rate, Oximeter, Smoke Sensor.*" [blog] 2021. [Consulta: 10 de Junio de 2022.]. Disponible en: <https://shop.pimoroni.com/products/max30101-breakout-heart-rate-oximeter-smoke-sensor?variant=21482065985619>.

POMA CANAZA, Alex Rolando. Implementación de un dispositivo electrónico digital para la detección de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno con interfaz a ordenador y smartphone. [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2018. pp. 15-18. [Consulta: 16 de Mayo de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/18743/PG-2118.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

POPOOLA, Jide & et al. "INVESTIGATION OF THE NEED FOR SPECIFIC PROPAGATION MODEL FOR SPECIFIC ENVIRONMENT BASED ON DIFFERENT TERRAIN CHARACTERISTICS." *IJUM Engineering Journal* [En línea] 2018, (Nigeria), 19(2), pp. 1-15. [Consulta: 12 de Noviembre de 2022]. ISSN 2600-5859. Disponible en: <https://journals.iium.edu.my/ejournal/index.php/iiumej/issue/view/63.2289-7860>.

RUIZ MARIN, Milton, RODRIGUEZ URIBE, Juan Carlos & OLIVARES MORALES, Juan Carlos. "Una mirada a la biometría". *Avances en Sistemas e Informática*. [En línea] 2009, (Colombia), 6(2), pp. 28-38. [Consulta: 12 de Noviembre de 2022]. ISSN 1657-7663.

SILVA BAQUE, Carlos Alexis. Diseño y desarrollo de un prototipo oxímetro para medir la cantidad de oxígeno en la sangre y temperatura corporal de aquellos pacientes que presenten síntomas respiratorios anormales, sospechosos por covid-19, con indicador de alarma por voz bajo platino. [En línea]. (Trabajo de titulación), Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2021. pp. 25-30. [Consulta: 18 de Mayo de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/52331/1/B-CINT-PTG-N.656%20Silva%20Baque%20Carlos%20Alexi.pdf>.

TOLOSA BORJA, César & GIZ BUENO, Álvaro. "Sistemas Biométricos." [En línea] (Trabajo de investigación) s.d. [Consulta: 16 de Mayo de 2022]. Disponible en: https://www.dsi.uclm.es/personal/miguelfgraciani/mikicurri/docencia/Bioinformatica/web_BIO/Documentacion/Trabajos/Biometria/Trabajo%20Biometria.pdf.

TORRES DEL CARMEN, Felipe de Jesús, & et al. "Uso de Tarjeta de desarrollo Raspberry Pi para simulación de sistemas mecatrónicos no lineales." *Sinergia Mecatrónica*. [En línea] 2019. (Morelos), 26, pp. 328-340. [Consulta: 01 de Noviembre de 2022]. ISSN. 978-607. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335150022_Uso_de_Tarjeta_de_Desarrollo_Raspberr_y_Pi_para_Simulacion_de_Sistemas_Mecatronicos_No_Lineales

TORRES ROMERO, Marilu del Cisne. Estudio comparativo del posicionamiento indoor con tecnologías WI-FI y bluetooth para la facultad de informática y electrónica. [En línea] (Trabajo de titulación), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017. pp. 30-43. [Consulta: 1 de Diciembre de 2022]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/7513/1/98T00154.pdf>.

UBACH GRANADOS, Carles. Programando directamente un ESP8266. [En línea] (Trabajo de grado), Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Barcelona, España, 2017. pp. 10-30. [Consulta: 23 de Diciembre de 2022]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/105042/Memoria_TFG_Carles_Ubach.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

VISUAL STUDIO CODE. "*Getting Started.*" [blog] s.f. [Consulta: 12 de Enero de 2021]. Disponible en: <https://code.visualstudio.com/docs>.

WELLUE. "*Seguimiento continuo del nivel de oxígeno y la frecuencia cardíaca.*" [blog] s.d. [Consulta: 06 de Junio de 2022]. Disponible en: <https://es.getwellue.com/p%C3%A1ginas/monitor-de-ox%C3%ADgeno-o2ring>.

ZUMERKORN PIPEK, Leonardo, & et al. "Comparison of SpO2 and heart rate values on Apple Watch and conventional commercial oximeters devices in patients with lung disease." *Scientific reports* [En línea]. (Estados Unidos de América) 2021. [Consulta: 06 de Junio de 2022]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-98453-3>.

ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET MAX30101

[Click here](#) to ask about the production status of specific part numbers.

MAX30101

High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health

General Description

The MAX30101 is an integrated pulse oximetry and heart-rate monitor module. It includes internal LEDs, photodetectors, optical elements, and low-noise electronics with ambient light rejection. The MAX30101 provides a complete system solution to ease the design-in process for mobile and wearable devices.

The MAX30101 operates on a single 1.8V power supply and a separate 5.0V power supply for the internal LEDs. Communication is through a standard I²C-compatible interface. The module can be shut down through software with zero standby current, allowing the power rails to remain powered at all times.

Applications

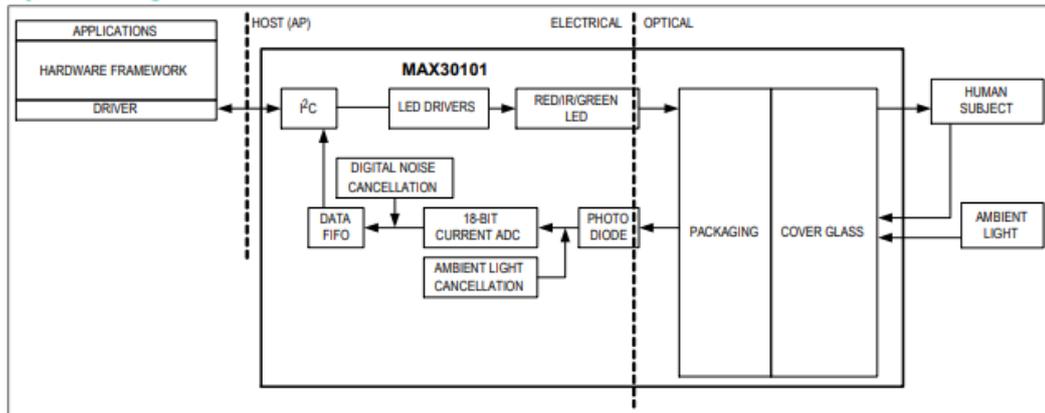
- Wearable Devices
- Fitness Assistant Devices
- Smartphones
- Tablets

Benefits and Features

- Heart-Rate Monitor and Pulse Oximeter Sensor in LED Reflective Solution
- Tiny 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm 14-Pin Optical Module
 - Integrated Cover Glass for Optimal, Robust Performance
- Ultra-Low-Power Operation for Mobile Devices
 - Programmable Sample Rate and LED Current for Power Savings
 - Low-Power Heart-Rate Monitor (< 1mW)
 - Ultra-Low Shutdown Current (0.7µA, typ)
- Fast Data Output Capability
 - High Sample Rates
- Robust Motion Artifact Resilience
 - High SNR
- -40°C to +85°C Operating Temperature Range

Ordering Information appears at end of data sheet.

System Diagram



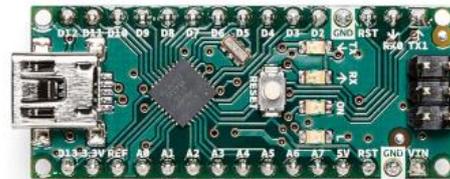
ANEXO B: DATASHEET ARDUINO NANO



Arduino® Nano

Product Reference Manual

SKU: A000005



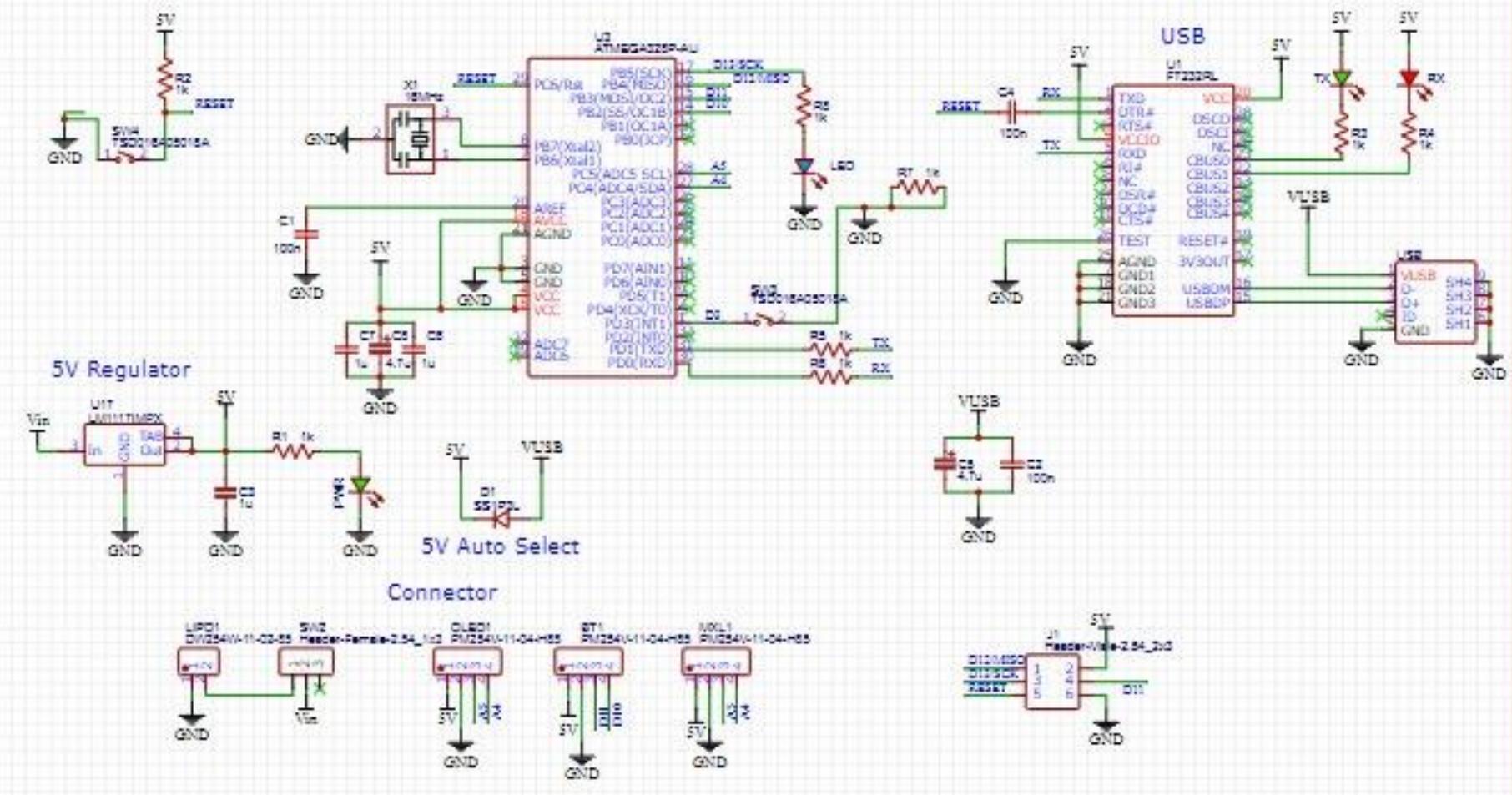
Description

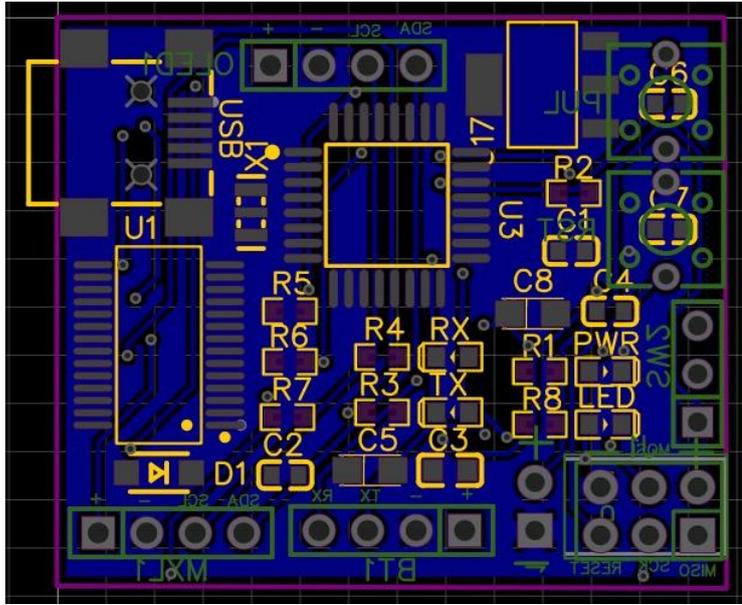
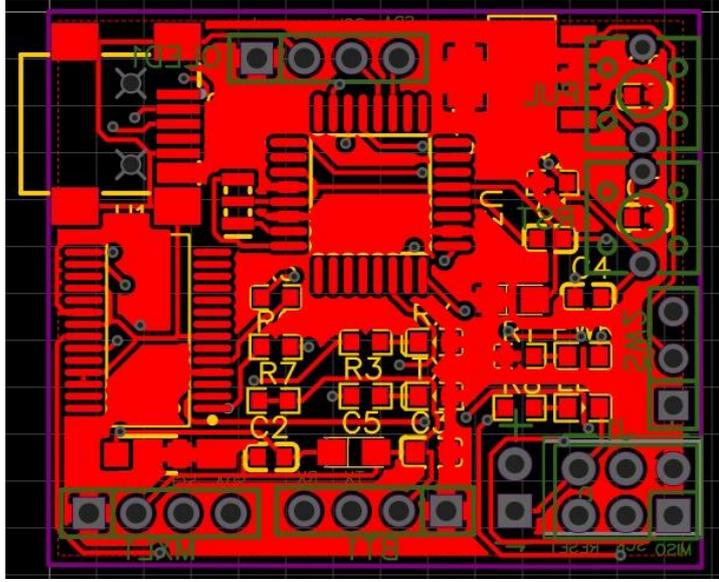
Arduino® Nano is an intelligent development board designed for building faster prototypes with the smallest dimension. Arduino Nano being the oldest member of the Nano family, provides enough interfaces for your breadboard-friendly applications. At the heart of the board is **ATmega328 microcontroller** clocked at a frequency of 16 MHz featuring more or less the same functionalities as the Arduino Duemilanove. The board offers 22 digital input/output pins, 8 analog pins, and a mini-USB port.

Target Areas

Maker, Security, Environmental, Robotics and Control Systems

ANEXO C: VISUALIZACIÓN DE LA PLACA DISEÑADA POR EASYEDA





ANEXO D: CÓDIGO DE LA PLACA

```
//Inclusion de librerias OLED, SENSOR, PULSO IR, Memoria EEPROM, COMUNICACION
SERIAL
#include "ssd1306h.h"
#include "MAX30102.h"
#include "Pulse.h"
#include <avr/pgmspace.h>
#include <EEPROM.h>
#include <avr/sleep.h>
#include <SoftwareSerial.h>

//Pines de conexion del BLUETOOTH para envio de datos
SoftwareSerial mySerial(10, 11);

// Rutinas para borrar y establecer bits
#ifndef cbi
#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
#endif
#ifndef sbi
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))
#endif

//definicion de variables y pines a utilizar
SSD1306 oled;
MAX30102 sensor;
Pulse pulseIR;
Pulse pulseRed;
MAFilter bpm;

#define LED LED_BUILTIN
#define BUTTON 3
#define OPTIONS 7

//Mapeo internos de dits del sensor
```

```
static const uint8_t heart_bits[] PROGMEM = { 0x00, 0x00, 0x38, 0x38, 0x7c, 0x7c, 0xfe, 0xfe,  
0xfe, 0xff,
```

```
0xfe, 0xff, 0xfc, 0x7f, 0xf8, 0x3f, 0xf0, 0x1f, 0xe0, 0x0f,  
0xc0, 0x07, 0x80, 0x03, 0x00, 0x01, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00 };
```

```
//Tabla aproximada de saturacion -45.060*ratioAverage* ratioAverage + 30.354 *ratioAverage  
+ 94.845 ;
```

```
const uint8_t spo2_table[184] PROGMEM =
```

```
{ 95, 95, 95, 96, 96, 96, 97, 97, 97, 97, 97, 98, 98, 98, 98, 98, 99, 99, 99, 99,  
99, 99, 99, 99, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100,  
100,  
100, 100, 100, 100, 99, 99, 99, 99, 99, 99, 99, 99, 99, 98, 98, 98, 98, 98, 98, 97, 97,  
97, 97, 96, 96, 96, 96, 95, 95, 95, 94, 94, 94, 93, 93, 93, 92, 92, 92, 91, 91,  
90, 90, 89, 89, 89, 88, 88, 87, 87, 86, 86, 85, 85, 84, 84, 83, 82, 82, 81, 81,  
80, 80, 79, 78, 78, 77, 76, 76, 75, 74, 74, 73, 72, 72, 71, 70, 69, 69, 68, 67,  
66, 66, 65, 64, 63, 62, 62, 61, 60, 59, 58, 57, 56, 56, 55, 54, 53, 52, 51, 50,  
49, 48, 47, 46, 45, 44, 43, 42, 41, 40, 39, 38, 37, 36, 35, 34, 33, 31, 30, 29,  
28, 27, 26, 25, 23, 22, 21, 20, 19, 17, 16, 15, 14, 12, 11, 10, 9, 7, 6, 5,  
3, 2, 1 } ;
```

```
//Funcion para determinar el voltaje actual del dispositivo
```

```
int getVCC()
```

```
{
```

```
    //lee la referencia interna 1V1 contra VCC
```

```
    #if defined(__AVR_ATmega1284P__)
```

```
        ADMUX = _BV(REFS0) | _BV(MUX4) | _BV(MUX3) | _BV(MUX2) | _BV(MUX1); //
```

```
Para ATmega1284
```

```
    #else
```

```
        ADMUX = _BV(REFS0) | _BV(MUX3) | _BV(MUX2) | _BV(MUX1); // Para ATmega328
```

```
    #endif
```

```
    delay(2); // Espere a que Vref se asiente
```

```
    ADCSRA |= _BV(ADSC); // Convierte
```

```
    while (bit_is_set(ADCSRA, ADSC));
```

```
    uint8_t low = ADCL;
```

```
    unsigned int val = (ADCH << 8) | low;
```

```

//descartar resultado anterior
ADCSRA |= _BV(ADSC); // Convert
while (bit_is_set(ADCSRA, ADSC));
low = ADCL;
val = (ADCH << 8) | low;

return (((long)1024 * 1100) / val)/100;
}

```

```

void print_digit(int x, int y, long val, char c=' ', uint8_t field = 3, const int BIG = 2)
{
uint8_t ff = field;
do {
char ch = (val!=0) ? val%10+'0': c;
oled.drawChar( x+BIG*(ff-1)*6, y, ch, BIG);
val = val/10;
--ff;
}
while (ff>0);
}

```

```

/*
* Graba, escala y muestra PPG Wavefoem (graficas del pulso)
*/
const uint8_t MAXWAVE = 72;

```

```

class Waveform
{
public:
Waveform(void) { wavep = 0;
}
}

```

```

//Funcion de grabacion de datos
void record(int waveval)
{

```

```

waveval = waveval/8;    // escalar en byte
waveval += 128;        //cambiar para que la forma de onda sea completa
waveval = waveval<0? 0 : waveval;
waveform[wavep] = (uint8_t) (waveval>255)?255:waveval;
wavep = (wavep+1) % MAXWAVE;
}

```

//Funcion de escala

```

void scale()
{
    uint8_t maxw = 0;
    uint8_t minw = 255;
    for (int i=0; i<MAXWAVE; i++)
    {
        maxw = waveform[i]>maxw?waveform[i]:maxw;
        minw = waveform[i]<minw?waveform[i]:minw;
    }
    uint8_t scale8 = (maxw-minw)/4 + 1; //escala * 8 para preservar la precisión
    uint8_t index = wavep;
    for (int i=0; i<MAXWAVE; i++)
    {
        disp_wave[i] = 31-((uint16_t)(waveform[index]-minw)*8)/scale8;
        index = (index + 1) % MAXWAVE;
    }
}

```

//Funcion de dibujo

```

void draw(uint8_t X)
{
    for (int i=0; i<MAXWAVE; i++)
    {
        uint8_t y = disp_wave[i];
        oled.drawPixel(X+i, y);
        if (i<MAXWAVE-1)
        {
            uint8_t nexty = disp_wave[i+1];

```

```

    if (nexty>y)
    {
        for (uint8_t iy = y+1; iy<nexty; ++iy)
            oled.drawPixel(X+i, iy);
    }
    else if (nexty<y)
    {
        for (uint8_t iy = nexty+1; iy<y; ++iy)
            oled.drawPixel(X+i, iy);
    }
}
}
}

//Variables finales de la PPG
private:
    uint8_t waveform[MAXWAVE];
    uint8_t disp_wave[MAXWAVE];
    uint8_t wavep = 0;

} wave;

//Variables para determinar parametros de saturacion y pulsaciones
int beatAvg;
int SPO2, SPO2f;
int voltage;
byte OXY;
bool filter_for_graph = false;
bool draw_Red = false;
uint8_t pcflag =0;
uint8_t istate = 0;
uint8_t sleep_counter = 0;

// Funcion del boton para re activacion del funcionamiento
void button(void)

```

```

{
  pcfalg = 1;
}

//Funcion de chequeo presion boton para re activacion
void checkbutton()
{
  if (pcfalg && !digitalRead(BUTTON))
  {
    istrate = (istrate +1) % 4;
    filter_for_graph = istrate & 0x01;
    draw_Red = istrate & 0x02;
    EEPROM.write(OPTIONS, filter_for_graph);
    EEPROM.write(OPTIONS+1, draw_Red);
  }
  pcfalg = 0;
}

//Funcion para suspencion de funcionamiento
void Display_5()
{
  if(pcfalg && !digitalRead(BUTTON))
  {
    draw_oled(5);
    delay(1100);
  }
  pcfalg = 0;
}

void go_sleep()
{
  oled.fill(0);
  oled.off();
  delay(10);
}

```

```

sensor.off();
delay(10);
cbi(ADCSRA, ADEN); // deshabilitar adc
delay(10);
pinMode(0,INPUT);
pinMode(2,INPUT);
set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
sleep_mode(); // Suspencion hasta que presione el botón
// Causa reinicio
setup();
}

```

```
//Funcion para mostrar mensajes en diferentes opciones
```

```

void draw_oled(int msg)
{
oled.firstPage();
do{
switch(msg)
{
//Cuando no detecta el sensor
case 0: oled.drawStr(10,0,F("Device error"),1);
break;
//Instrucciones
case 1: oled.drawStr(13,10,F("UBICAR"),1);
oled.drawStr(10,20,F("DEDO"),1);
oled.drawChar(100,0,voltage/10+'0');
oled.drawChar(106,0,'.');
oled.drawChar(112,0,voltage% 10+'0');
oled.drawChar(118,0,'V');
oled.drawStr(84,14,F("Display"),1);
if (draw_Red)
oled.drawStr(84,24,F("Red"),1);
else
oled.drawStr(84,24,F("IR"),1);
if (filter_for_graph)
oled.drawStr(108,24,F("Avg"),1);
}
}
}

```

```

        else
            oled.drawStr(108,24,F("Raw"),1);
        break;
    case 2: print_digit(86,0,beatAvg);
            wave.draw(8);
            print_digit(98,16,SPO2f,' ',3,1);
            oled.drawChar(116,16,'%');
            print_digit(98,24,SPO2,' ',3,1);
            oled.drawChar(116,24,'%');
            break;
    //Mensaje de bienvenida
    case 3: oled.drawStr(30,9,F(" OXIMETRO "),1);
            oled.drawStr(30,20,F(" DIGITAL "),1);
            oled.drawXBMP(6,8,16,16,heart_bits);
            break;
    //Mensaje de Suspencion
    case 4: oled.drawStr(28,12,F("OFF IN"),1);
            oled.drawChar(76,12,10-sleep_counter/10+'0');
            oled.drawChar(82,12,'s');
            break;
    //Datos grabados al presionar el pulsador
    case 5: oled.drawStr(0,0,F("BMP:"),1);
            print_digit(25,0,beatAvg);
            oled.drawStr(0,15,F("SpO2:"),1);
            print_digit(25,15,SPO2f);
            oled.drawXBMP(106,8,16,16,heart_bits);
            break;
    }
} while (oled.nextPage());
}

```

```

//Declaracion de parametros y forma de pines a usar
void setup(void)
{
    Serial.begin(9600);
    mySerial.begin(9600);
}

```

```

pinMode(LED, OUTPUT);
pinMode(BUTTON, INPUT_PULLUP);
filter_for_graph = EEPROM.read(OPTIONS);
draw_Red = EEPROM.read(OPTIONS+1);
oled.init();
oled.fill(0x00);
draw_oled(3);
delay(3000);
  if (!sensor.begin())
  {
    draw_oled(0);
    while (1);
  }
sensor.setup();
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BUTTON),button, CHANGE);
}

```

```

long lastBeat = 0; //Tiempo del último latido
long displaytime = 0; //Hora de la última actualización de la pantalla
bool led_on = false;

```

```

void loop()
{
  OXY = SPO2;
  sensor.check();
  long now = millis(); //hora de inicio de este ciclo
  if (!sensor.available()) return;
  uint32_t irValue = sensor.getIR();
  uint32_t redValue = sensor.getRed();
  sensor.nextSample();
  Serial.print(SPO2f);
  Serial.print(" ");
  Serial.println(SPO2);
  mySerial.write(SPO2f);
}

```

```

if (mySerial.available())
{
  Serial.write(mySerial.read());
}

if (irValue<5000)
{
  voltage = getVCC();
  checkbutton();
  draw_oled(sleep_counter<=50 ? 1 : 4); // mensaje de dedo no hacia abajo

  delay(200);
  ++sleep_counter;
  if (sleep_counter>100)
  {
    go_sleep();
    sleep_counter = 0;
  }
}
else
{
  sleep_counter = 0;
  // Desactiva la alimentacion
  int16_t IR_signal, Red_signal;
  bool beatRed, beatIR;
  if (!filter_for_graph)
  { //filtro de gráficos
    IR_signal = pulseIR.dc_filter(irValue) ;
    Red_signal = pulseRed.dc_filter(redValue);
    beatRed = pulseRed.isBeat(pulseRed.ma_filter(Red_signal));
    beatIR = pulseIR.isBeat(pulseIR.ma_filter(IR_signal));
  }
  else
  {
    IR_signal = pulseIR.ma_filter(pulseIR.dc_filter(irValue)) ;
    Red_signal = pulseRed.ma_filter(pulseRed.dc_filter(redValue));
  }
}

```

```

    beatRed = pulseRed.isBeat(Red_signal);
    beatIR = pulseIR.isBeat(IR_signal);
}
// invertir la forma de onda para obtener la forma de onda clásica
wave.record(draw_Red ? -Red_signal : -IR_signal );
//comprueba IR para el latido del corazón
if (draw_Red ? beatRed : beatIR){
    long btpm = 60000/(now - lastBeat);
    if (btpm > 0 && btpm < 200) beatAvg = bpm.filter((int16_t)btpm);
    lastBeat = now;
    digitalWrite(LED, HIGH);
    led_on = true;
    // calcular la relación de SpO2
    long numerator = (pulseRed.avgAC() * pulseIR.avgDC())/256;
    long denominator = (pulseRed.avgDC() * pulseIR.avgAC())/256;
    int RX100 = (denominator>0) ? (numerator * 100)/denominator : 999;
    // usando fórmula
    SPO2f = (10400 - RX100*17+50)/100;
    // de la tabla
    if ((RX100>=0) && (RX100<184))
        SPO2 = pgm_read_byte_near(&spo2_table[RX100]);
}
// actualizar la pantalla cada 50 ms si se toca con el dedo hacia abajo
if (now-displaytime>50) {
    displaytime = now;
    wave.scale();
    draw_oled(2);

}
Display_5();

}
// flash led durante 25 ms
if (led_on && (now - lastBeat)>25){
    digitalWrite(LED, LOW);

```

```
    led_on = false;
  }

}
```

ANEXO E: CÓDIGO DE LA PÁGINA WEB

```
public > <> index.html > ...
1  <!DOCTYPE html>
2  <html lang="en">
3  <head>
4  <meta charset="UTF-8" />
5  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge" />
6  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0" />
7  <title>Datos de Saturacion de Oxigeno</title>
8  <link
9  | href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=Source+Sans+Pro:wght@300;400&display=swap"
10 | rel="stylesheet"
11 />
12 <link rel="stylesheet" href="css/bootstrap.min.css" />
13 <link rel="stylesheet" href="css/slick.css" type="text/css" />
14 <link rel="stylesheet" href="css/templatemo-style.css" />
15 <link rel="stylesheet" href="estilos.css" />
16 <link
17 | rel="stylesheet"
18 | href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.6.2/dist/css/bootstrap.min.css"
19 | integrity="sha384-x0o1HfLEh07PJGoPKL1IbcEPTnaed2xPHsD9ESMhqIVd0nLMwNLD69Npy4HI+N"
20 | crossorigin="anonymous"
21 />
22 <script
23 | src="https://kit.fontawesome.com/3ccf914476.js"
24 | crossorigin="anonymous"
25 ></script>
26 <!--
27
28 TemplateMo 560 Astro Motion
29
30 https://templatemo.com/tm-560-astro-motion
31
32 -->
33 </head>
34 <body>
35 <video autoplay muted loop id="bg-video">
```

```
71 | <div class="circle"></div>
72 | </li>
73 | </ul>
74 | </div>
75 | </nav>
76 | </div>
77 | </div>
78 | </div>
79 | </div>
80 | <div class="container-fluid tm-content-container">
81 | <ul class="cd-hero-slider mb-0 py-5">
82 | <li class="px-3" data-page-no="1">
83 | <div class="page-width-1 page-left"></div>
84 | </li>
85 | </ul>
86 | </div>
87 |
88 | <div class="container">
89 | <button
90 | class="btn btn-success"
91 | data-toggle="modal"
92 | data-target="#incluirModal"
93 | >
94 | <i class="fa-solid fa-person-circle-plus"></i> Incluir
95 | </button>
96 | </div>
97 |
98 | <div class="container">
99 | <table class="table">
100 | <thead class="thead-dark">
101 | <tr>
102 | <th scope="col">ID</th>
103 | <th scope="col">NOMBRE</th>
104 | <th scope="col">APELLIDO</th>
105 | <th scope="col">EDAD</th>
```

```

106 <th scope="col">CEDULA</th>
107 <th scope="col">SATURACION</th>
108 <th scope="col" style="text-align: center">Modificar</th>
109 <th scope="col" style="text-align: center">Eliminar</th>
110 </tr>
111 </thead>
112 <tbody id="list-container">
113 | <!-- list -->
114 </tbody>
115 </table>
116 </div>
117
118 <!-- Modal Incluir-->
119 <div
120 | class="modal fade"
121 | id="incluirModal"
122 | tabindex="-1"
123 | aria-labelledby="exampleModalLabel"
124 | aria-hidden="true"
125 >
126 <div class="modal-dialog">
127 <div class="modal-content">
128 <div class="modal-header">
129 | <h5 class="modal-title" id="exampleModalLabel">
130 | Incluir Datos Paciente
131 | </h5>
132 <button
133 | type="button"
134 | class="close"
135 | data-dismiss="modal"
136 | aria-label="Close"
137 >
138 | <span aria-hidden="true">&times;</span>
139 </button>
140 </div>

```

```

141 <form id="create-metric">
142 <div class="modal-body">
143 <input
144 | type="text"
145 | id="prdID"
146 | class="form-control"
147 | placeholder="ID paciente"
148 | autocomplete="off"
149 >
150 <br />
151 <input
152 | type="text"
153 | id="prdNombre"
154 | class="form-control"
155 | placeholder="Nombre"
156 | autocomplete="off"
157 >
158 <br />
159 <input
160 | type="text"
161 | id="prdApellido"
162 | class="form-control"
163 | placeholder="Apellido"
164 | autocomplete="off"
165 >
166 <br />
167 <input
168 | type="text"
169 | id="prdEdad"
170 | class="form-control"
171 | placeholder="Edad"
172 | autocomplete="off"
173 >
174 <br />
175 <input

```

```

36 | <source src="video/gfp-astro-timelapse.mp4" type="video/mp4" />
37 | </video>
38 | <div class="page-container">
39 |   <div class="container text-center">
40 |     <div class="row">
41 |       <div class="col-xs-24">
42 |         <div class="cd-slider-nav">
43 |           <nav class="navbar navbar-expand-lg id="tm-nav">
44 |             <a class="navbar-brand" href="#"
45 |               ><i class="fa-solid fa-wrench"></i> Oximeter Medic</a
46 |           >
47 |             <button
48 |               class="navbar-toggler"
49 |               type="button"
50 |               data-bs-toggle="collapse"
51 |               data-bs-target="#navbar-supported-content"
52 |               aria-controls="navbarSupportedContent"
53 |               aria-expanded="false"
54 |               aria-label="Toggle navigation"
55 |             >
56 |               <span class="navbar-toggler-icon"></span>
57 |             </button>
58 |             <div
59 |               class="collapse navbar-collapse"
60 |               id="navbar-supported-content"
61 |             >
62 |               <ul class="navbar-nav mb-2 mb-lg-0">
63 |                 <li class="nav-item selected">
64 |                   <a
65 |                     class="nav-link"
66 |                     aria-current="page"
67 |                     href="#0"
68 |                     data-no="1"
69 |                   ><i class="fa-solid fa-house-laptop"></i> Bienvenido</a
70 |                 >

```

```

211 |   id="modificarModal"
212 |   tabindex="-1"
213 |   aria-labelledby="modificarModallabel"
214 |   aria-hidden="true"
215 | >
216 |   <div class="modal-dialog">
217 |     <form id="update-metric" class="modal-content">
218 |       <div class="modal-header">
219 |         <h5 class="modal-title" id="modificarModallabel">
220 |           Modificar Datos Paciente
221 |         </h5>
222 |         <button
223 |           type="button"
224 |           class="close"
225 |           data-dismiss="modal"
226 |           aria-label="Close"
227 |         >
228 |           <span aria-hidden="true">&times;</span>
229 |         </button>
230 |       </div>
231 |       <div class="modal-body">
232 |         <input
233 |           type="text"
234 |           id="prdID"
235 |           readonly
236 |           class="form-control"
237 |           placeholder="ID paciente"
238 |           autocomplete="off"
239 |         />
240 |         <br />
241 |         <input
242 |           type="text"
243 |           id="prdNombre"
244 |           class="form-control"
245 |           placeholder="Nombre"

```

```

246 |         autocomplete="off"
247 |     />
248 |     <br />
249 |     <input
250 |         type="text"
251 |         id="prdApellido"
252 |         class="form-control"
253 |         placeholder="Apellido"
254 |         autocomplete="off"
255 |     />
256 |     <br />
257 |     <input
258 |         type="text"
259 |         id="prdEdad"
260 |         class="form-control"
261 |         placeholder="Edad"
262 |         autocomplete="off"
263 |     />
264 |     <br />
265 |     <input
266 |         type="text"
267 |         id="prdCedula"
268 |         class="form-control"
269 |         placeholder="Cedula"
270 |         autocomplete="off"
271 |     />
272 |     <br />
273 |     <input
274 |         type="text"
275 |         id="prdSaturacion"
276 |         class="form-control"
277 |         placeholder="Saturacion"
278 |         autocomplete="off"
279 |     />
280 | </div>

```

```

175 |         <input
176 |             type="text"
177 |             id="prdCedula"
178 |             class="form-control"
179 |             placeholder="Cedula"
180 |             autocomplete="off"
181 |         />
182 |         <br />
183 |         <input
184 |             type="text"
185 |             id="prdSaturacion"
186 |             class="form-control"
187 |             placeholder="Saturacion"
188 |             autocomplete="off"
189 |         />
190 |     </div>
191 |     <div class="modal-footer">
192 |         <button
193 |             type="button"
194 |             class="btn btn-secondary"
195 |             data-dismiss="modal"
196 |         >
197 |             <i class="fa-solid fa-door-open"></i> Cancelar
198 |         </button>
199 |         <button type="submit" class="btn btn-primary">
200 |             <i class="fa-solid fa-cloud-arrow-up"></i> Guardar
201 |         </button>
202 |     </div>
203 | </form>
204 | </div>
205 | </div>
206 | </div>
207 |
208 | <!-- Modal Modificar-->
209 | <div
210 |     class="modal fade"

```

```

316 <!-- Preloader, https://ihatetomatoes.net/create-custom-preloading-screen/ -->
317 <div id="loader-wrapper">
318   <div id="loader"></div>
319   <div class="loader-section section-left"></div>
320   <div class="loader-section section-right"></div>
321 </div>
322 <script src="js/jquery-3.5.1.min.js"></script>
323 <script src="js/bootstrap.min.js"></script>
324 <script src="js/slick.js"></script>
325 <script src="js/templatemo-script.js"></script>
326 <script
327   src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/jquery@3.5.1/dist/jquery.slim.min.js"
328   integrity="sha384-DfXdz2htPH0lsSS55nCTpuj/zy4C+06pamoFV38MBNE+IbbVYUew+OrCXaRkfj"
329   crossorigin="anonymous"
330 ></script>
331 <script
332   src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/popper.js@1.16.1/dist/umd/popper.min.js"
333   integrity="sha384-9/retfGAW83EW2RDu2S0VkaIzap3H66lZ81PoVlFhbGU+6BZp6G7niu735Sk7lN"
334   crossorigin="anonymous"
335 ></script>
336 <script
337   src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.6.2/dist/js/bootstrap.min.js"
338   integrity="sha384-sL10odYS7C7nIqBj1+C7nPvq+FbNU8Dunl/OZv93DB7Ln/53318e/mZXLi/P+"
339   crossorigin="anonymous"
340 ></script>
341 <script src="app.js" type="module"></script>
342 </body>
343 </html>
344
345

```

```

281 <div class="modal-footer">
282   <button
283     type="button"
284     class="btn btn-secondary"
285     data-dismiss="modal"
286   >
287     <i class="fa-solid fa-door-open"></i> Cancelar
288   </button>
289   <button type="submit" class="btn btn-primary">
290     <i class="fa-solid fa-cloud-arrow-up"></i> Guardar
291   </button>
292 </div>
293 </form>
294 </div>
295 </div>
296
297 <div class="container-fluid">
298   <footer class="row mx-auto tm-footer">
299     <div class="col-md-6 px-0">
300       <i class="fa-solid fa-wand-magic-sparkles"></i> Copyright 2021 Astro
301       Motion Company Limited. All rights reserved.
302     </div>
303     <div class="col-md-6 px-0 tm-footer-right">
304       <i class="fa-solid fa-paperclip"></i> Designed by
305       <a
306         rel="sponsored"
307         href="https://templatemo.com"
308         target="_blank"
309         class="tm-link-white"
310       >TemplateMo</a>
311     </div>
312   </footer>
313 </div>
314 </div>
315

```

ANEXO F: PREGUNTAS PARA LA ENTREVISTA DEL MÉDICO

Preguntas para evaluación del prototipo

SISTEMA BIOMÉTRICO PARA LA MEDICION DE SATURACIÓN DE OXÍGENO CON TECNOLOGIA BLUETOOTH

Objetivo: Evaluar y definir los aspectos principales para mejorar el prototipo en relación a los resultados obtenidos

Nombre:

Edad:

Años de experiencia:

1. ¿Cuál es el tiempo óptimo de la toma del nivel de saturación de oxígeno para considerar un valor adecuado?
2. ¿Cuál es la saturación típica para personas menores de edad (<18)?
3. ¿Cuál es la saturación típica para personas entre 18 a 40 años?
4. ¿Cuál es la saturación típica para personas entre 40 a 60 años?
5. ¿Cuál es la saturación típica para personas de la tercera edad (>60)?
6. ¿Qué aspectos externos afectan para una correcta medición?
7. Si una persona padece algún tipo de enfermedad, ¿esta le puede afectar al nivel de saturación de oxígeno?
8. ¿Cuál es la enfermedad que afecta más en la medición correcta de la saturación de oxígeno?
9. Una vez analizadas los datos obtenidos de prototipo considera que los valores obtenidos por el dispositivo son correctos?
10. Cree usted que se podía mejorar para obtener una correcta medición de la saturación de oxígeno
11. Considera que un dispositivo remoto sería de ayuda para el análisis de los niveles de saturación de oxígeno, y permite la visualización del mismo en tiempo real.

ANEXO G: LICENCIA DEL MÉDICO ENTREVISTADO



Secretaría de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

Quito, 27/03/2023

CERTIFICADO DE REGISTRO DE TÍTULO

La Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, certifica que BONIFAZ GUAMAN MARIO RODOLFO, con documento de identificación número 0603982455, registra en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador (SNIESE), la siguiente información:

Nombre: BONIFAZ GUAMAN MARIO RODOLFO
Número de documento de identificación: 0603982455
Nacionalidad: Ecuador
Género: MASCULINO

Título(s) de tercer nivel de grado

| | |
|--------------------------|------------------------------------|
| Número de registro | 1019-15-1330417 |
| Institución de origen | UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO |
| Institución que reconoce | |
| Título | MEDICO GENERAL |
| Tipo | Nacional |
| Fecha de registro | 2015-01-09 |
| Observaciones | |

OBSERVACIÓN:

- Los títulos de tercer nivel de grado ecuatorianos están habilitados para el ingreso a un posgrado.
- Los títulos registrados tanto nacionales como extranjero han sido otorgados por instituciones de educación superior vigentes al momento de la emisión de la titulación.
- El cambio de nivel de formación de educación superior de los títulos técnicos y tecnológicos emitidos por instituciones de educación superior nacionales se ejecutó en cumplimiento a la Disposición Transitoria Octava de la Ley Orgánica Reformatoria a la LOES, expedida el 2 de agosto de 2018.

IMPORTANTE: La información proporcionada en este documento es la que consta en el SNIESE, que se alimenta de la información suministrada por las instituciones del sistema de educación superior, conforme lo disponen los artículos 126 y 129 de la Ley Orgánica de Educación Superior y 56 de su Reglamento. El reconocimiento/registro del título no habilita al ejercicio de las profesiones reguladas por leyes específicas, y de manera especial al ejercicio de las profesiones que pongan en riesgo de modo directo la vida, salud y seguridad ciudadana conforme el artículo 104 de la Ley Orgánica de Educación Superior. Según la Resolución RPC-SO-16-No.256-2016.

En caso de detectar inconsistencias en la información proporcionada de titulaciones nacionales, se recomienda solicitar a la institución de educación superior nacional que emitió el título, la rectificación correspondiente y de ser una titulación extranjera solicitar la rectificación a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación.

Para comprobar la veracidad de la información proporcionada, usted debe acceder a la siguiente dirección:



Sandra Paulina Chuquimarca Cardenas
Directora de Registro de Títulos

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



0603982455

GENERADO: 27/03/2023 11.31 AM

ANEXO H: TOMA DE MEDICIONES DE SATURACIÓN DE OXÍGENO











ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04/ 05 / 2023

| | |
|--|--|
| INFORMACIÓN DE LA AUTORA | |
| Nombres – Apellidos: Paola Alejandra Granizo Marcillo | |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL | |
| Facultad: Informática y Electrónica | |
| Carrera: Telecomunicaciones | |
| Título a optar: Ingeniera en Telecomunicaciones | |
| f. Analista de Biblioteca responsable: |  Ing. Fernanda Arévalo M. |

