



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA**

**Diseño y desarrollo de un dispositivo móvil electrónico para monitoreo y alertas de problemas cardiacos.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR**

Dahyana Anttonela Roca Soriano

**PROFESOR TUTOR**

Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez

**La Libertad – Ecuador**

2019

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: **“Diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico móvil para monitoreo y alerta de problemas cardiacos.”**, elaborado por el estudiante **Roca Soriano Dahyana Anttonela**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La libertad, 18 de octubre del 2019



---

**Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez, MSc.**

## **DEDICATORIA**

A mis padres quienes han sido mi guía incondicional y me han apoyado en cada uno de los procesos de mi crecimiento personal y profesional, de manera especial a mi mamá Marcia quien ha sido mi ejemplo de perseverancia y superación, a mis abuelos quienes son mi pilar de vida, a mis hermanos Michael, Daniel, Kennia y Nailyn; por ser mi motivo de superación y me impulsan a continuar con mis propósitos por un porvenir fructífero, comparto con ustedes la satisfacción de culminar un ciclo, el de ser estudiante de ingeniería en electrónica y telecomunicaciones.

Los más grandes logros toman su tiempo, nunca te des por vencido por más difícil que sea el trayecto a la cima.

La historia parte de aquí.

**Dahyana Roca Soriano**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por su bondad al darme salud para alcanzar mis objetivos propuestos, por brindarme la fortaleza necesaria para sobrellevar las situaciones complejas que se han presentado a lo largo de este trayecto, permitiéndome culminar este importante ciclo en mi vida, a mi familia quienes han sido mi principal apoyo a lo largo del camino. A mis amigos, compañeros y cada una de las personas que han formado parte de este ciclo.

Un agradecimiento especial a mi tutor de tesis por la paciencia y apoyo para el desarrollo del proyecto, quien fue guía e impartió sus conocimientos con el propósito de culminar con éxito el proyecto planteado. A los docentes quienes me han brindado su apoyo, tiempo, amistad y sobre todo sus valiosos conocimientos a lo largo de esta carrera profesional.

“El hombre nunca sabe de lo que es capaz hasta que lo intenta”.

(Charles Dickens)

**Dahyana Roca Soriano**

**TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ing. Freddy Rolando Villao Santos, MSc.  
**Decano de Facultad de  
Sistemas y Telecomunicaciones**



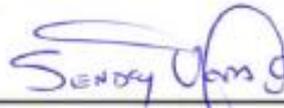
---

Ing. Washington Torres Guin, MSc.  
**Director de Carrera de  
Electrónica y Telecomunicaciones**



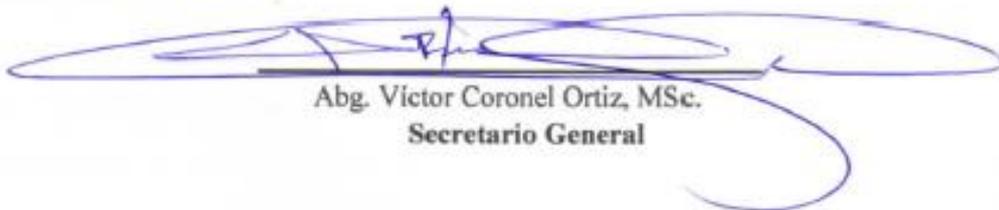
---

Ing. Luis Chuquimarca Jiménez, MSc.  
**Profesor Tutor**



---

Ing. Sendey Vera González, MSc.  
**Tutor de Área**



---

Abg. Víctor Coronel Ortiz, MSc.  
**Secretario General**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**  
**CARRERA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“Diseño y desarrollo de un dispositivo electrónico móvil para monitoreo y alerta de problemas cardiacos.”**

**Autor: Dahyana Anttonela Roca Soriano**

**Tutor: Luis Chuquimarca Jiménez**

**RESUMEN**

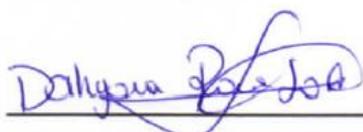
Considerando que el desarrollo tecnológico con respecto a la elaboración de dispositivos capaces de realizar un monitoreo de signos vitales está en constante evolución, surge la iniciativa de desarrollar un dispositivo electrónico móvil para monitoreo y alerta de problemas cardiacos, debido a que en la actualidad es de gran utilidad para la atención médica moderna. El sistema desarrollado ofrece un monitoreo continuo de las pulsaciones cardiacas de la persona, mediante el desarrollo de algoritmos propios del lenguaje para el microcontrolador Atmega32u4 basado en lenguaje C++, más la conexión del módulo de comunicación para Arduino GSM/ GPRS/GPS, se obtiene el posicionamiento global a través de la red GPS con la finalidad de localizar al usuario, además de lograr la conexión a red celular que permite el envío de mensajes de texto al número de contacto configurado en el dispositivo en caso de presentarse una anomalía en las pulsaciones cardiacas; inclusive establece una conexión a internet con el objetivo de almacenar los datos dentro de una plataforma web. Al término de esta investigación se concluye que este proyecto permite monitorear señales de pulso cardiaco con un sistema de alertas por mensajería, el cual contiene los datos de las pulsaciones y la ubicación de la persona para obtener asistencia médica inmediata.

## **ABSTRACT**

Considering that technological development with respect to the development of devices capable of monitoring vital signs is constantly evolving, the initiative arises to develop a mobile electronic device for monitoring and warning of cardiac problems, because it is currently of Great utility for modern medical care. The developed system offers continuous monitoring of the person's heartbeat, through the development of language algorithms for the Atmega32u4 microcontroller based on C ++ language, plus the connection of the communication module for Arduino GSM / GPRS / GPS, you get the global positioning through the GPS network in order to locate the user, in addition to achieving the cellular network connection that allows text messages to be sent to the contact number configured on the device in case of an abnormality in the heart rate ; It even establishes an internet connection with the objective of storing data within a web platform. At the end of this investigation, it is concluded that this project allows monitoring heart rate signals with a messaging alert system, which contains the pulsation data and the location of the person for immediate medical assistance.

## **DECLARACIÓN**

El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



---

**Dahyana Anttonela Roca Soriano**

## ÍNDICE GENERAL

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>III</b>
<b>TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>IV</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VI</b>
<b>DECLARACIÓN</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2. Descripción de la propuesta tecnológica</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3. Objetivos</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3.1. Objetivo general</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4. Resultados esperados</b> .....	<b>6</b>
<b>1.5. Justificación</b> .....	<b>6</b>
<b>1.6. Metodología de la investigación</b> .....	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1. Marco contextual</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2. Marco conceptual</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.1. Monitoreo de enfermedades cardiovasculares</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.1.1. Sistema circulatorio</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.1.2. Oxigenación de la sangre</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.1.3. Pulso cardíaco</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2.1.4. Enfermedades cardiovasculares</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2.2. Adquisición de datos</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.3. Microcontroladores</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.4. Sensores</b> .....	<b>28</b>

2.2.5.	Redes GSM Y GPRS.....	28
2.2.6.	Protocolos de comunicación TCP .....	31
2.2.7.	Sistema de posicionamiento global .....	31
2.2.8.	Adquisición de señales móviles .....	32
2.2.9.	Protocolo de comunicación I2C .....	32
2.2.10.	Baterías.....	33
2.2.11.	Regulación de tensión.....	34
2.2.12.	Interfaz gráfica .....	35
2.2.13.	Sistemas de filtrado electrónico.....	35
2.2.14.	Internet de las cosas .....	36
2.3.	Marco teórico .....	38
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>40</b>
3.1.	Componentes de la propuesta .....	40
3.1.1.	Componentes lógicos.....	40
3.1.1.1.	IDE Arduino.....	40
3.1.1.2.	SketchUp.....	41
3.1.1.3.	EasyEDA.....	41
3.1.1.4.	Fritzing.....	42
3.1.1.5.	ThingSpeak Plataforma IOT .....	43
3.1.2.	Componentes físicos.....	44
3.1.2.1.	Microcontrolador Atmel .....	44
3.1.2.2.	Oxímetro de pulsos cardiacos .....	46
3.1.2.3.	Componentes de la etapa de filtrado del sensor.....	49
3.1.2.4.	Componentes de la etapa de amplificación del sensor .....	51
3.1.2.5.	Módulo GSM/GPRS/GPS .....	52
3.1.2.6.	Pantalla .....	60
3.1.2.7.	Sistema de alimentación .....	61
3.2.	Diseño del proyecto. ....	63
3.2.1.	Conexión de microcontrolador, sensor y pantalla. ....	65
3.2.2.	Conexión de microcontrolador y módulo de comunicación SIM808.66	
3.2.3.	Algoritmos del sistema.....	68
3.2.4.	Diseño Esquemático .....	69
3.2.5.	Sistema de alimentación y carga del dispositivo del proyecto ..	70

3.2.6.	Parámetros de configuración del dispositivo.....	71
3.3.	Resultados .....	74
3.3.1.	Comparación de valores adquiridos del proyecto desarrollado versus tensiómetro digital. ....	74
3.3.2.	Voltaje de alimentación regulado .....	76
3.3.3.	Consumo de energía .....	77
3.3.4.	Mensajes de alertas .....	78
3.3.5.	Pruebas de envío de datos a la plataforma IoT .....	79
3.3.5.1.	Consumo de datos móviles .....	81
3.3.5.2.	Pruebas de envío de datos a ThingSpeak .....	82
3.3.5.3.	Cobertura del sector para las pruebas.....	84
3.3.6.	Diseño físico del dispositivo .....	85
	CONCLUSIONES.....	88
	RECOMENDACIONES.....	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	90
	ANEXOS .....	94

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Prevalencia de enfermedades cardiovasculares en el medio. ....	8
<b>Figura 2:</b> Género propenso a padecer enfermedades cardiacas. ....	9
<b>Figura 3:</b> Tiempo estimado para asistencia médica a personas que padecen infartos.....	10
<b>Figura 4:</b> Conocimiento de dispositivos que monitoreen pulsaciones cardiacas. ....	11
<b>Figura 5:</b> Utilidad los dispositivos de pulsos cardiacos.....	12
<b>Figura 6:</b> Los dispositivos de pulsaciones cardiacas ayudaran a prevenir muertes en caso de presentar alteraciones cardiacas. ....	12
<b>Figura 7:</b> Información de dispositivos actuales de monitoreo de signos vitales..	13
<b>Figura 8:</b> Frecuencia de monitoreo de pulsaciones cardiacas.....	14
<b>Figura 9:</b> Promedio de pulsos cardiacos en estado de reposo.....	15
<b>Figura 10:</b> Información de factores que afectan las pulsaciones cardiacas y la importancia de su control. ....	16
<b>Figura 11:</b> Importancia de monitoreo constante de bpm en personas con problemas cardiacos. ....	17
<b>Figura 12:</b> Beneficio de monitoreo de pulsos cardiacos.....	17
<b>Figura 13:</b> Representación esquemática de los potenciales de acción registrados en diversos tejidos cardíacos [7]. ....	20
<b>Figura 14:</b> Diagrama de circulación sanguínea [8]. ....	22
<b>Figura 15:</b> Diagrama de bloque del sistema de adquisición de datos. ....	25
<b>Figura 16:</b> Diagrama de bloques del Microcontrolador.....	26
<b>Figura 17:</b> Conexión GPRS a través de Internet [18]. ....	30
<b>Figura 18:</b> Sistema GLONAA, distribución de satélites [21]. ....	31
<b>Figura 19:</b> Diagrama de proceso de adquisición de datos. ....	32
<b>Figura 20:</b> Comunicación a través de protocolo I2C [22]. ....	33
<b>Figura 21:</b> Circuito regulador de voltaje sencillo. ....	34
<b>Figura 22:</b> Infraestructura de comunicación IoT. ....	37
<b>Figura 23:</b> Screenshot de Arduino IDE Versión 1.8.9.....	40
<b>Figura 24:</b> Entorno SketchUp. ....	41
<b>Figura 25:</b> Software EasyEDA. ....	42
<b>Figura 26:</b> Entorno del software Fritzing.....	42
<b>Figura 27:</b> Plataforma ThingSpeak. ....	43
<b>Figura 28:</b> Ejemplo de envío de datos a la Plataforma ThingSpeak [37]. ....	44
<b>Figura 29:</b> Diagrama Esquemático Funcional [38]. ....	48
<b>Figura 30:</b> Sensor de oxímetro de pulso [38]. ....	49
<b>Figura 31:</b> Convertidor y filtrado de corriente de bajo ruido [39]. ....	50
<b>Figura 32:</b> Amplificador de transimpedancia [39]. ....	51
<b>Figura 33:</b> Modulo Sim808.....	53
<b>Figura 34:</b> Respuesta de comandos AT en el monitor serial. ....	54
<b>Figura 35:</b> Conexión microcontrolador ATmega32u4 y módulo de comunicación Sim808. ....	54
<b>Figura 36:</b> Trama de datos, formato GNSS. ....	56
<b>Figura 37:</b> Antena GSM.....	59

<b>Figura 38:</b> Antena GPS.....	59
<b>Figura 39:</b> Pantalla OLED – Arduino.....	61
<b>Figura 40:</b> Circuito elevador de voltaje DC - DC [46]. ....	62
<b>Figura 41:</b> Diseño del circuito electrónico del proyecto.....	64
<b>Figura 42:</b> Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos.....	65
<b>Figura 43:</b> Conexión entre el sensor MAX30100, el microcontrolador ATmega32u4, la Pantalla OLED y el Push botón.....	66
<b>Figura 44:</b> Diagrama de bloques del sistema de comunicación.....	66
<b>Figura 45:</b> Conexión entre microcontrolador ATmega32u4 que contiene el algoritmo para el sistema de adquisición de datos con el segundo microcontrolador ATmega32u4 que contiene el sistema de comunicación. ....	67
<b>Figura 46:</b> Diagrama de flujo del sistema de adquisición de datos. ....	68
<b>Figura 47:</b> Diagrama de flujo del sistema de comunicación.....	69
<b>Figura 48:</b> Diseño esquemático del dispositivo realizado en EasyEDA.....	70
<b>Figura 49:</b> Sistema de carga de batería que alimenta el sistema.....	71
<b>Figura 50:</b> Configuración de parámetros a través de mensajes de textos. ....	72
<b>Figura 51:</b> Resistencia Pull Up. ....	73
<b>Figura 52:</b> Valores de bpm tomados con el dispositivo desarrollado comparados con un tensiómetro digital “Scian” .....	75
<b>Figura 53:</b> Cálculo de error de valores de bpm tomados entre el dispositivo desarrollado comparado con un tensiómetro digital “Scian” .....	75
<b>Figura 54:</b> Valores de componentes del circuito integrado. ....	76
<b>Figura 55:</b> Mensaje de alerta con cada uno de los parámetros establecidos.....	78
<b>Figura 56:</b> Visualización de ubicación de la persona en Google Maps.....	79
<b>Figura 57:</b> Monitoreo de envío de datos a través del puerto Serial .....	79
<b>Figura 58:</b> Visualización de información en la plataforma ThingSpeak. ....	80
<b>Figura 59:</b> Visualización de datos bpm y SpO2por minutos en la plataforma ThingSpeak. ....	80
<b>Figura 60:</b> Visualización de datos bpm y SpO2 por horas en la plataforma ThingSpeak. ....	81
<b>Figura 61:</b> Cobertura operadora Movistar. ....	84
<b>Figura 62:</b> Cobertura operadora Claro .....	84
<b>Figura 63:</b> Diseño 3D del dispositivo. ....	85
<b>Figura 64:</b> Diseño PCB del sensor MAX30100, pantalla y microcontrolador. ...	85
<b>Figura 65:</b> Diseño PCB del módulo de comunicación y microcontrolador con sistema de alertas y envío a la plataforma web .....	86
<b>Figura 66:</b> Pruebas del dispositivo.....	86
<b>Figura 67:</b> Diseño físico del dispositivo .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Prevalencia de enfermedades cardiovasculares en el medio. ....	8
<b>Tabla 2:</b> Género propenso a padecer enfermedades cardíacas.....	9
<b>Tabla 3:</b> Tiempo estimado para asistencia médica a personas que padecen infartos .....	10
<b>Tabla 4:</b> Conocimiento de dispositivos que monitoreen pulsaciones cardíacas. .	11
<b>Tabla 5:</b> Utilidad los dispositivos de pulsos cardíacos .....	11
<b>Tabla 6:</b> Los dispositivos de pulsaciones cardíacas ayudaran a prevenir muertes en caso de presentar alteraciones cardíacas. ....	12
<b>Tabla 7:</b> Información de dispositivos actuales de monitoreo de signos vitales. ..	13
<b>Tabla 8:</b> Frecuencia de monitoreo de pulsaciones cardíacas. ....	14
<b>Tabla 9:</b> Promedio de pulsos cardíacos en estado de reposo .....	15
<b>Tabla 10:</b> Información de factores que afectan las pulsaciones cardíacas y la importancia de su control. ....	15
<b>Tabla 11:</b> Importancia de monitoreo constante de bpm en personas con problemas cardíacos.....	16
<b>Tabla 12:</b> Beneficio de monitoreo de pulsos cardíacos.....	17
<b>Tabla 13:</b> Valores de frecuencia cardíaca para Hombres en estado de reposo [10]. .....	23
<b>Tabla 14:</b> Valores de frecuencia cardíaca para Mujeres en estado de reposo [10]. .....	24
<b>Tabla 15:</b> Microcontroladores Atmel [13]. ....	27
<b>Tabla 16:</b> Frecuencias móviles reguladas [15]......	29
<b>Tabla 17:</b> Frecuencias móviles reguladas en países sudamericanos [17]. ....	29
<b>Tabla 18:</b> Tabla comparativa de velocidades de transmisión de datos [19].....	30
<b>Tabla 19:</b> Tipos de filtros activos y definiciones [26].....	36
<b>Tabla 20:</b> Comparación de Tarjetas Atmega Arduino. ....	45
<b>Tabla 21:</b> Características técnicas del Arduino ProMicro. ....	46
<b>Tabla 22:</b> Comparación de sensores de oximetría. ....	47
<b>Tabla 23:</b> Datos de Sim808 [40]. ....	53
<b>Tabla 24:</b> Módulo Sim808 con características y ventajas [40]. ....	55
<b>Tabla 25:</b> APN de Operadores móviles en Ecuador. ....	56
<b>Tabla 26:</b> Trama de datos GPS, parámetros [40].....	57
<b>Tabla 27:</b> Características técnicas y de funcionamiento de la antena GSM [42].	58
<b>Tabla 28:</b> Tamaños de tarjeta SIM. ....	59
<b>Tabla 29:</b> Tipos y características de baterías [45].....	61
<b>Tabla 30:</b> Parámetros configurados en el dispositivo. ....	72
<b>Tabla 31:</b> Valores de bpm tomados con el dispositivo desarrollado comparado con un tensiómetro digital “Scian”. ....	74
<b>Tabla 32:</b> Consumo de corriente de los elementos electrónicos seleccionados para el desarrollo del dispositivo en funcionamiento.....	77
<b>Tabla 33:</b> Consumo de datos enviados a la plataforma.....	81
<b>Tabla 34:</b> Valores enviados a la plataforma web en intervalos de tiempo.....	82
<b>Tabla 35:</b> Intervalos de tiempos de la muestra.....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Diseño electrónico del oxímetro de pulsos MAX30100.....	94
<b>Anexo 2:</b> Consumo de datos móviles en 1 hora. ....	95
<b>Anexo 3:</b> Pruebas del dispositivo, datos visualizados a través de la pantalla.....	95
<b>Anexo 4:</b> Consumo de corriente del dispositivo y de voltaje suministrado del....	96
<b>Anexo 5:</b> Comandos AT utilizados .....	96
<b>Anexo 6:</b> Configuración del dispositivo y la plataforma ThingSpeak .....	97
<b>Anexo 7:</b> Código Microcontrolador .....	98
<b>Anexo 8:</b> Diseño en placas PCB.....	101
<b>Anexo 9:</b> Diseño 3D del dispositivo.....	102
<b>Anexo 10:</b> Características del dispositivo.....	104
<b>Anexo 11:</b> Presupuesto .....	105

## INTRODUCCIÓN

La monitorización remota como una aplicación de la telemedicina es ampliamente considerada como parte inevitable en el futuro de la práctica moderna de la medicina, actualmente el campo de la electrónica y telecomunicaciones desempeña un papel fundamental, el avance tecnológico referente a los dispositivos electrónicos enfocados a las necesidades del ser humano en el ámbito de la salud, la comunicación entre los usuarios móviles se ha convertido cada vez más popular debido a los avances en la informática y las tecnologías inalámbricas.

El presente proyecto se basa en el desarrollo de un dispositivo electrónico con monitoreo y alerta de pulsaciones cardiacas adquiridas en las personas, de tal manera logre ser de gran utilidad y contribuya a una atención médica inmediata cuando se presenten anomalías en las pulsaciones cardiacas, mediante el envío de alertas emergentes a través de *Short Message Service* (SMS), además de almacenar la información de las pulsaciones cardiacas en una plataforma web *Internet of Things* (IOT).

En el Capítulo I de la propuesta se abarca generalidades con respecto a las necesidades que dieron cabida al desarrollo de tema planteado, así también la justificación, aplicando un sistema de encuestas tanto a personas de criterio general como a profesionales en el área de salud, lo cual permitió identificar y sustentar las necesidades y la viabilidad del proyecto.

En el Capítulo II está dedicado al análisis de trabajos investigativos relacionados con el monitoreo de signos vitales por medio de dispositivos electrónicos. Además de la fundamentación teórica como: análisis de características de elementos electrónicos necesarios para el desarrollo del proyecto, sistema de adquisición de datos, protocolos de comunicación los cuales permiten la conectividad de los dispositivos electrónicos, además el identificar los diferentes tipos de dispositivos de almacenamiento de energía. Dicha fundamentación teórica es de gran utilidad para el desarrollo del proyecto de titulación para el cumplimiento de los objetivos planteados.

En el Capítulo III se analizan y se detallan las fases del desarrollo del proyecto propuesto, utilizadas en la elaboración del dispositivo detector de pulsos cardiacos, desde la selección de componentes físicos y lógicos. Además, el desarrollo de algoritmos de programación que permiten la adquisición de datos del sensor, el sistema de comunicación a través de comandos AT, configuración del Apikey de la plataforma web y la configuración de dos números de contactos en el dispositivo para el envío de alertas, incluyendo el almacenamiento de los datos en la plataforma web. El análisis y desarrollo del sistema de alimentación y el diseño de la estructura donde se ubica todos los dispositivos electrónicos. Además, se indican pruebas realizadas del funcionamiento y se adquieren los resultados de la operatividad y efectividad.

## **CAPÍTULO I**

### **GENERALIDADES DEL PROYECTO**

#### **1.1. Antecedentes**

En el año 2015 se registró la muerte de 17.7 millones de personas a nivel mundial, considerando que las enfermedades cardiovasculares (ECV), son una de las principales causas de muerte de las personas, lo cual representa una cantidad aproximada de 7.4 millones de personas que mueren a causa de las ECV representando un 37% de la población a nivel mundial que fallece a causa de esta razón [1]. En el Ecuador de acuerdo con los datos recolectados INEC, en el año 2014 se presentaron 4430 muertes por enfermedades isquémicas del corazón (falta de oxígeno en el músculo cardíaco), por insuficiencia cardíaca llegaron a 1316 fallecidos, las arritmias cardíacas (ritmo cardíaco anormal) sumaron un total de 168 muertes y por paro cardíaco 106 fallecidos [2].

Los problemas de salud por enfermedades cardiovasculares de las personas se deben a factores que influyen como la obesidad, inactividad física o consumo nocivo de alcohol, generalmente las personas con un alto riesgo o que padecen de ECV poseen hipertensión arterial, diabetes, la hiperlipidemia entre otras enfermedades confirmadas [1].

Generalmente las personas con enfermedades cardiovasculares crónicas son personas mayores a 40 años, por lo que desde esta edad se debe iniciar a controlar con mayor frecuencia las pulsaciones cardíacas, dando lugar a una mayor demanda de dispositivos electrónicos móviles de control que sean de fácil acceso y manipulación del usuario, además de llevar un registro de los datos adquiridos y posterior analizarlos con los especialistas del área médica [3].

## 1.2. Descripción de la propuesta tecnológica

La propuesta tecnológica tiene como enfoque principal el diseño de un dispositivo electrónico móvil para monitoreo y alerta de problemas cardiacos, mediante un oxímetro de pulsos que transfiere la información para ser procesada mediante un sistema de control, el cual condiciona y ejecuta las acciones del dispositivo. El módulo de comunicación que se conecta a la red *Global System for Mobile Communications* (GSM) para emitir un mensaje de texto de alerta al contacto registrado en el dispositivo en caso de presentarse un problema cardiaco, con la información de los *beats per minute* (bpm), además de la ubicación de la persona utilizando la red *Global Positioning System* (GPS); la red *General Packet Radio Service* (GPRS) realiza el envío de la información emitida por el sensor a la plataforma ThingSpeak.

Para el desarrollo del dispositivo electrónico móvil detector de pulsos cardiaco se realiza el algoritmo de programación en la plataforma Arduino, utilizando librerías propias para el sensor de pulsos cardiacos MAX30100 y para la comunicación con la tarjeta SIM808. Con respecto a la adquisición de los datos emitidos por el sensor, el fabricante establece en la librería el filtrado de la señal, de tal manera permite garantizar la calidad de las mediciones.

Con respecto al sistema de comunicación de la SIM808, que viene incorporado la funcionalidad de conectarse a la red GPRS, GSM y GPS, realiza el envío del mensaje de alerta a dos números configurados y guardados en la *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM) del microcontrolador, el cual procesa los datos de bpm de la persona. Adicionalmente, accionando el pulsador se observa los valores de bpm y saturación de oxígeno en la sangre (SpO<sub>2</sub>) a través de la pantalla incorporada en el dispositivo. Para el envío de mensajes de alertas se procede cuando los bpm se encuentren fuera del rango de valores nominales entre 60 y 100 bpm, además el mensaje contiene la ubicación dada por la red GPS [4]. Además, a través de la plataforma Web Iot se almacena la trama de datos que contiene datos bpm y SpO<sub>2</sub>, la cual facilita una excelente visualización de la información a través de una interfaz gráfica.

Finalmente, se realizará el análisis y selección de los dispositivos electrónicos de bajo consumo, de tal manera que estos elementos permitan un ahorro de batería del sistema, se considerará el tiempo de duración de batería en el circuito el tiempo de carga y descarga, finalmente se realizará el diseño de la estructura física del dispositivo electrónico móvil detector de pulsos cardiacos, de esta manera se brindará confortabilidad para la persona que esté utilizando el dispositivo.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar un dispositivo electrónico móvil para monitoreo y alerta de problemas cardiacos utilizando microcontroladores y un sensor de pulsos, emitiendo un mensaje de texto de alerta al número del contacto registrado, con la información de los bpm y la ubicación GPS.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Analizar las características de los dispositivos electrónicos del proyecto considerando el consumo de energía de los mismos, de tal manera que se controle el tiempo de duración de batería en el dispositivo electrónico móvil detector de pulsos cardiacos.
- ✓ Sintetizar el funcionamiento de circuito electrónico del sensor de pulsos, permitiendo al microcontrolador adquirir los datos de manera estable.
- ✓ Desarrollar un sistema que permita establecer la comunicación utilizando la red GSM/GPRS, para emitir un mensaje de texto de alerta con la información de los bpm y la ubicación GPS, además el envío de datos a la plataforma ThingSpeak.
- ✓ Realizar el diseño estructural del dispositivo electrónico con un modelo adaptivo al cuerpo humano, considerando tamaño y comodidad para el usuario.
- ✓ Realizar pruebas experimentales para evaluar los resultados del proyecto desarrollado.

#### **1.4. Resultados esperados**

- ✓ Instalación de elementos electrónicos para el desarrollo del dispositivo, de tal manera que facilite la adquisición de los datos mediante el sensor de pulsos cardiaco.
- ✓ Adquirir los datos de manera estable, utilizando diversas configuraciones tanto en programación como diseño de circuitos electrónicos.
- ✓ Desarrollar un algoritmo de programación que permita la comunicación entre el microcontrolador, módulo GSM/GPRS/GPS y el dispositivo electrónico móvil detector de pulsos cardiacos.
- ✓ Implementar una configuración electrónica para la duración de la batería en el dispositivo electrónico móvil detector de pulsos cardiacos y posterior a la descarga de la batería se pueda recargar con normalidad.
- ✓ Realizar el diseño del dispositivo electrónico de tal manera que tenga un ambiente confortable con el usuario.

#### **1.5. Justificación**

Considerando que en la actualidad uno de los mayores problemas de causa de muerte son las enfermedades cardiovasculares, una de ellas son las arritmias cardiacas y de acuerdo al INEC en el año 2014 se presentaron 168 muertes a causa de la misma, es por ello que se plantea el desarrollo de un dispositivo de monitoreo y alerta de pulsos cardiacos.

Es fundamental preservar la vida de las personas, ya que en situaciones en donde una persona que padece un infarto agudo de miocardio, el intervalo tiempo juega un papel fundamental, debido a que el tiempo que transcurre es fundamental para su supervivencia [5], considerando que las personas que padecen de enfermedades cardiovasculares en muchos casos son personas mayores a 40 años dependiendo del género, en el año 2016 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) mediante encuestas realizadas a 2231 personas entre 18 y 69 años determino que el 30% de la población adulta entre 40 y 69 años son propensos a padecer alguna enfermedad asociada con el mal funcionamiento del sistema cardiaco, es por ello que se

considera que este grupo de personas tienden a estar solas en sus domicilios, mediante el desarrollo de un sistema que se encargue de monitorear constantemente las pulsaciones cardíacas y a su vez emita una alerta en caso de presentarse una emergencia debido a las alteraciones cardíacas de problemas cardíacos, se pretende que la persona tenga asistencia médica en el menor tiempo posible en caso de padecer un infarto.

## **1.6. Metodología de la investigación**

En el transcurso del desarrollo del proyecto se emplearon los siguientes tipos de investigación:

Investigación aplicada, considerando que el objetivo principal es la solución a un problema práctico a través del diseño e implementación del proyecto, obteniendo datos comparativos y resultados reales.

Investigación bibliográfica, se recurrió a fuentes como libros, artículos, fichas técnicas de esta manera se realizó la explicación científica del proyecto de investigación.

Investigación experimental, para el desarrollo del proyecto fue necesario realizar pruebas operacionales de los dispositivos electrónicos a utilizar, con el propósito de realizar la selección de cada uno de los elementos electrónicos que permitieron la implementación del proyecto.

Además, se recurrió al uso de la metodología de investigación analítica, acudiendo a la herramienta técnica de encuestas, las cuales fueron realizada a través de una plataforma virtual, de tal manera que permita recopilar la información contribuyendo de forma óptima para el desarrollo del proyecto. Las encuestas se realizaron a médicos cardiólogos y a personas que padecen de enfermedades cardíacas o familiares, con el propósito de obtener a través de los resultados de las preguntas de la encuesta un análisis que sustente la factibilidad del proyecto.

Para ello se tomó una muestra de 86 cardiólogos a nivel nacional, por lo cual durante 15 días se recopiló las direcciones de correos electrónicos de 40 profesionales y posterior a aquello se realizó el envío del enlace del sitio web de las preguntas a realizar en la encuesta, se obtuvo un total de 16 encuestas atendidas por cardiólogos,

por lo que se logra entender que por diversos factores los demás cardiólogos no lograron cumplir con el requerimiento, de la misma forma se contactó con una persona que padece de un trastorno epiléptico y de un problema cardiaco, la cual poseen un grupo de personas con afecciones similares, de la misma forma familiares de personas con problemas cardiacos, las cuales colaboraron con la contestación de las preguntas que contenía la encuesta en el sitio web, por lo que se obtuvo un total de 27 personas que atendieron el requerimiento.

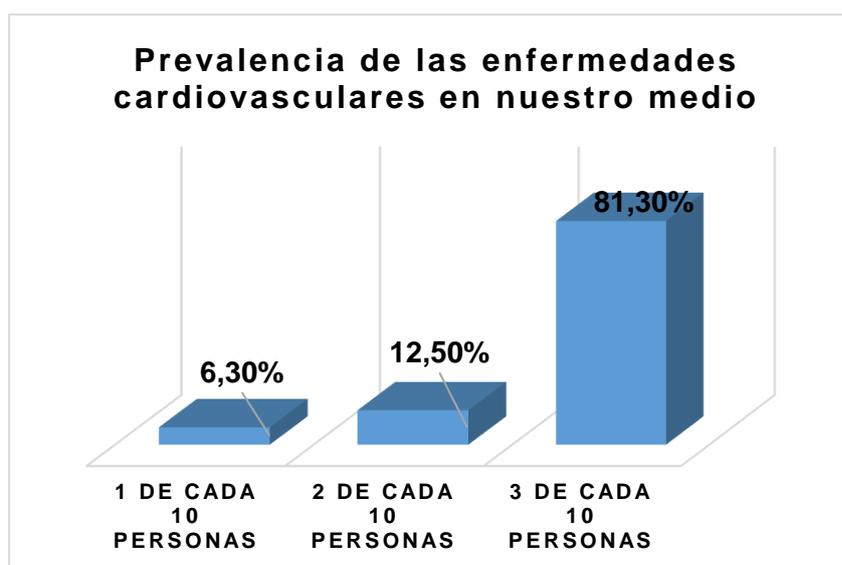
Como se mencionó las encuestas se realizan a médicos cardiólogos y a personas que padecen problemas cardiacos y familiares, análisis que se muestran a continuación:

**Análisis de encuestas realizadas a médicos cardiólogos.**

**1. ¿Cuál es la prevalencia de las enfermedades cardiovasculares en nuestro medio?**

	<b>CANTIDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>1 de cada 10 personas</b>	1	6.3 %
<b>2 de cada 10 personas</b>	2	12.5 %
<b>3 de cada 10 personas</b>	13	81.3 %
<b>TOTAL</b>	16	100%

**Tabla 1:** Prevalencia de enfermedades cardiovasculares en el medio.



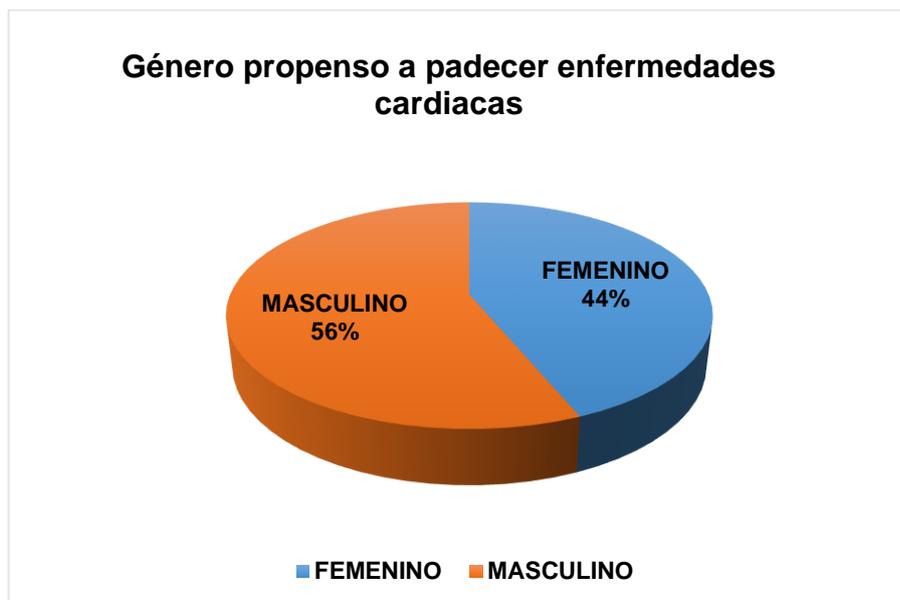
**Figura 1:** Prevalencia de enfermedades cardiovasculares en el medio.

La prevalencia de las enfermedades cardiovasculares en el medio, de acuerdo a los profesionales encuestados se determina que el 81.3% correspondiente a que, de cada 10 personas, 3 o más poseen enfermedades cardiovasculares, por lo que se deduce que gran cantidad de pacientes sufren el riesgo de padecer esta enfermedad (ver **Tabla 1** y **Figura 1**).

**2. ¿Cuál de los dos géneros son los más propensos a padecer enfermedades cardiacas?**

GÉNERO	CANTIDAD	PORCENTAJE
FEMENINO	7	43,8%
MASCULINO	9	56,3%
TOTAL	16	100%

**Tabla 2:** Género propenso a padecer enfermedades cardiacas.



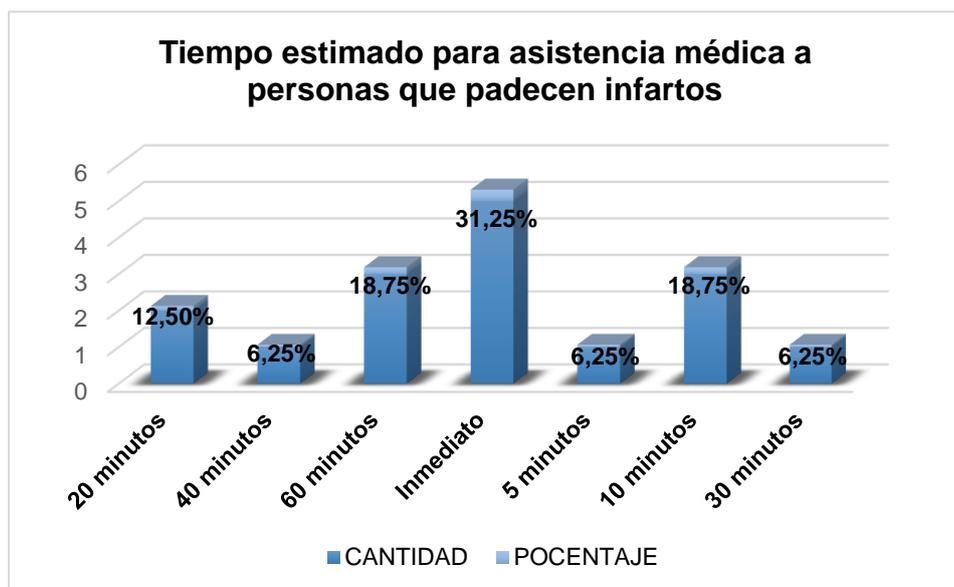
**Figura 2:** Género propenso a padecer enfermedades cardiacas.

De acuerdo al resultado de las encuestas realizadas a los médicos en su desempeño profesional, se determina que el género masculino es más propenso a padecer de enfermedades cardiovasculares con el 56%, mientras que el 44% corresponde al género femenino (ver **Tabla 2** y **Figura 2**).

3. ¿Cuál es el tiempo estimado en que se puede dar asistencia médica a una persona en caso de presentar un infarto por alteraciones cardiacas?

TIEMPO	CANTIDAD	POCENTAJE
20 minutos	2	12,50%
40 minutos	1	6,25%
60 minutos	3	18,75%
Inmediato	5	31,25%
5 minutos	1	6,25%
10 minutos	3	18,75%
30 minutos	1	6,25%
TOTAL	16	100%

**Tabla 3:** Tiempo estimado para asistencia médica a personas que padecen infartos



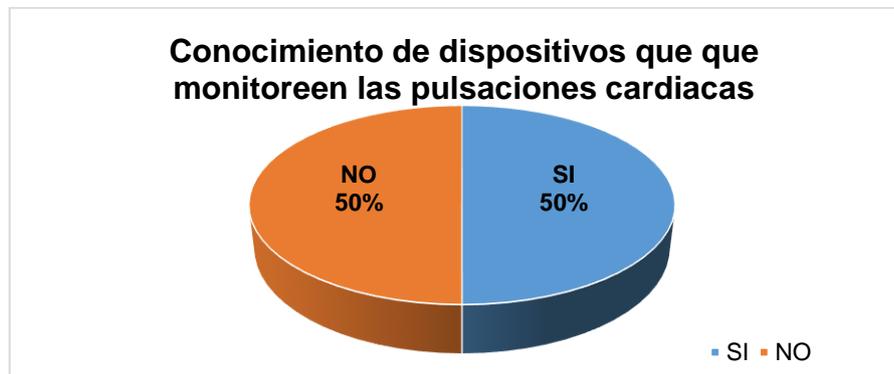
**Figura 3:** Tiempo estimado para asistencia médica a personas que padecen infartos.

Considerando que el enfoque del proyecto se realiza para preservar la vida del ser humano, mediante las encuestas realizadas a los médicos en desempeño profesional determina que el 31,25% se debe dar asistencia médica inmediata, el 18,75% entre 10 a 60 minutos, el 12,50% 20 minutos, mientras que el 6,25% determina que se debe dar asistencia médica entre 10-40 minutos, por lo que se concluye que la asistencia debe ser inmediata (ver **Tabla 3** y **Figura 3**).

4. **Conoce Ud. dispositivos móviles que se encarguen de un monitoreo continuo de pulsaciones cardiacas en las personas con un sistema de alerta en caso de presentar emergencia por alteraciones de las mismas.**

GÉNERO	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	8	50%
NO	8	50%
TOTAL	16	100%

**Tabla 4:** Conocimiento de dispositivos que monitoreen pulsaciones cardiacas.



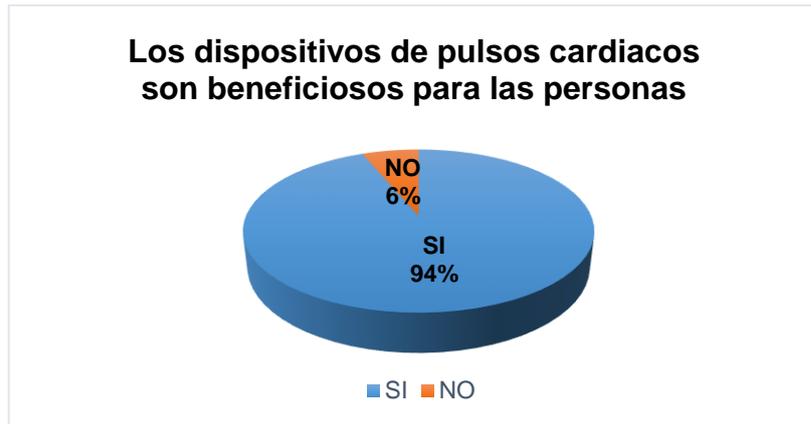
**Figura 4:** Conocimiento de dispositivos que monitoreen pulsaciones cardiacas

De acuerdo a los médicos encuestados el 50% conoce dispositivos móviles que se encarguen de un monitoreo continuo de pulsaciones cardiacas en las personas con un sistema de alerta en caso de presentar emergencia, mientras que el 50% restante no conoce dispositivos que se encarguen de este sistema, por lo que se debe realizar un modelo de publicidad para dar a conocer los dispositivos de monitoreo cardiaco móviles (ver **Tabla 4** y **Figura 4**).

5. **Considera que el desarrollo de dispositivos móviles de pulsos cardiacos de bajo costo beneficiaría a las personas con problemas de alteraciones cardiacas.**

	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	15	94%
NO	1	6%
TOTAL	16	100%

**Tabla 5:** Utilidad los dispositivos de pulsos cardiacos



**Figura 5:** Utilidad los dispositivos de pulsos cardiacos

El 94% de médicos encuestados considera que el desarrollo de dispositivos móviles de pulsos cardiacos de bajo costo beneficiaría a las personas con problemas de alteraciones cardiacas (ver **Tabla 5** y **Figura 5**).

6. **¿Considera que el desarrollo de este tipo de dispositivos ayuda a obtener un monitoreo de las alteraciones cardiacas de tal manera prevenir muertes dando una asistencia médica inmediata a las personas que padecen problemas cardiacos?**

	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	16	100%
NO	0	0%
TOTAL	16	100%

**Tabla 6:** Los dispositivos de pulsaciones cardiacas ayudaran a prevenir muertes en caso de presentar alteraciones cardiacas.



**Figura 6:** Los dispositivos de pulsaciones cardiacas ayudaran a prevenir muertes en caso de presentar alteraciones cardiacas.

El 100% de médicos encuestados considera que el desarrollo de este tipo de dispositivos ayuda a obtener un monitoreo de las alteraciones cardiacas de tal manera prevenir muertes dando una asistencia médica inmediata a las personas que padecen problemas cardiacos (ver **Tabla 6** y **Figura 6**).

El desarrollo del dispositivo de monitoreo de pulsaciones cardiacas es muy importante según los criterios vertidos por los profesionales en el área de la salud, por lo que se da la relevancia a la implementación del proyecto, debido a los resultados de las encuestas realizadas.

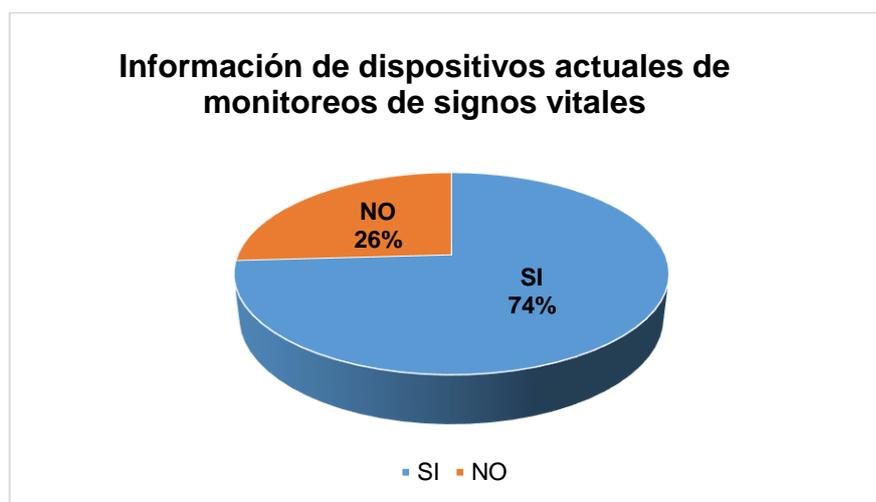
**Análisis de encuestas realizadas a personas con problemas cardiacos y familiares.**

La población encuestada correspondió a un 52% al género masculino y a un 48% género femenino.

**1. ¿Conoce Ud. los dispositivos inteligentes actuales, con la funcionalidad del monitoreo de información referente a los signos vitales?**

	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	20	74,1 %
NO	7	25,9 %
TOTAL	27	100 %

**Tabla 7:** Información de dispositivos actuales de monitoreo de signos vitales.



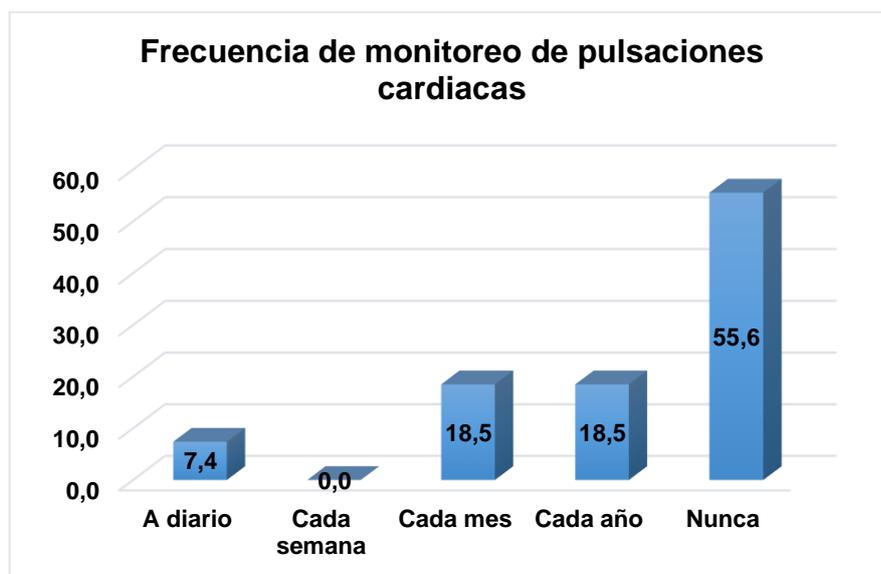
**Figura 7:** Información de dispositivos actuales de monitoreo de signos vitales.

De acuerdo al resultado de la encuesta realizada a un grupo de personas se determina que el 74% conoce dispositivos actuales inteligentes, con la funcionalidad del monitoreo de signos vitales (ver **Tabla 7** y **Figura 7**).

**2. ¿Con qué frecuencia Ud. lleva un control de sus pulsaciones cardiacas?**

FRECUENCIA DE MONITOREO	CANTIDAD	PORCENTAJE
A diario	2	7,4 %
Cada semana	0	0,0 %
Cada mes	5	18,5 %
Cada año	5	18,5 %
Nunca	15	55,6 %
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>100 %</b>

**Tabla 8:** Frecuencia de monitoreo de pulsaciones cardiacas.



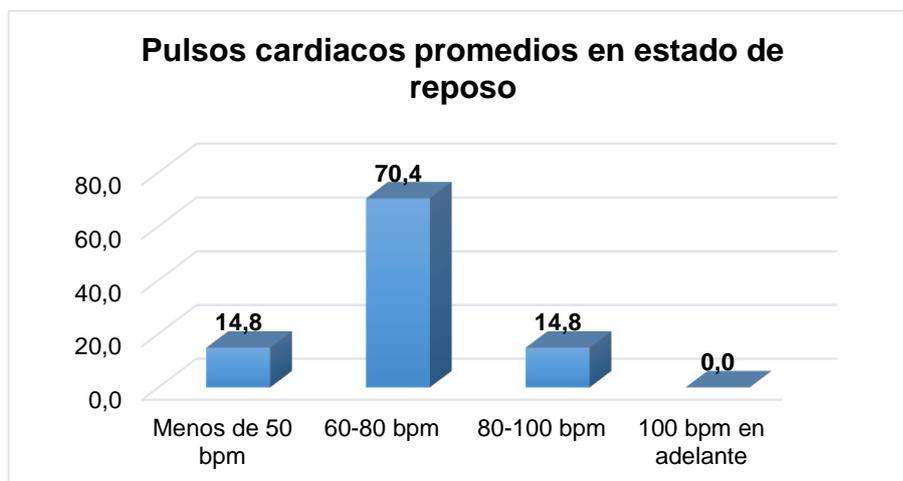
**Figura 8:** Frecuencia de monitoreo de pulsaciones cardiacas.

Considerando que es fundamental el monitoreo de las pulsaciones cardiacas, de acuerdo al resultado arrojado por la encuesta realizada anteriormente, se determina que el 55,6% nunca realiza un monitoreo de sus pulsaciones cardiacas, por lo que es necesario el desarrollo de dispositivos que realicen un monitoreo de pulsaciones cardiacas de fácil manipulación (ver **Tabla 8** y **Figura 8**).

**3. ¿Cuál es su pulso cardiaco promedio en estado de reposo?**

PROMEDIO DE PULSOS	CANTIDAD	PORCENTAJE
Menos de 50 bpm	4	14,8 %
60-80 bpm	19	70,4 %
80-100 bpm	4	14,8 %
100 bpm en adelante	0	0,0 %
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>100 %</b>

**Tabla 9:** Promedio de pulsos cardiacos en estado de reposo



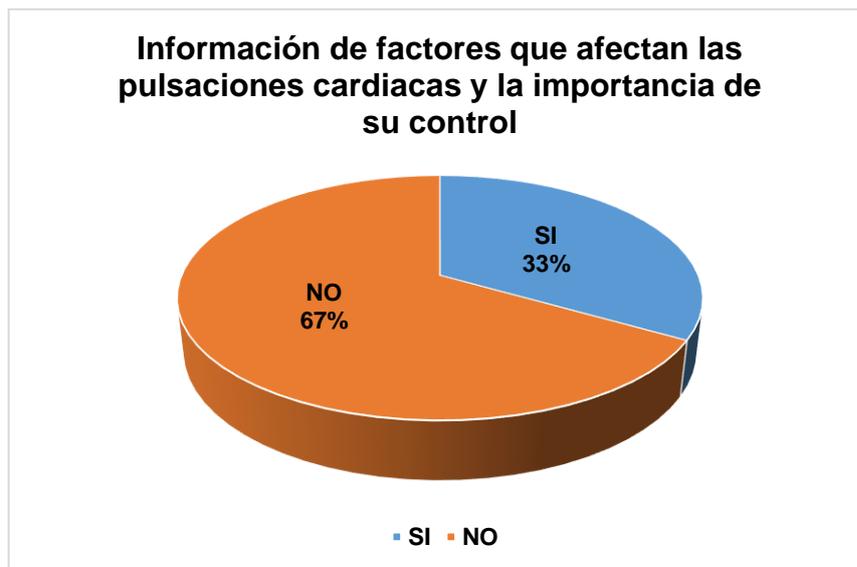
**Figura 9:** Promedio de pulsos cardiacos en estado de reposo.

El pulso cardiaco promedio de la población encuestada está en el rango de 60 a 80 bpm representado por el 70,4%, dando el justificativo que las pulsaciones normales están desde 60 a 100 bpm (ver **Tabla 9** y **Figura 9**).

**4. ¿Ha obtenido información referente a los factores que pueden producir alteraciones de las pulsaciones cardiacas (bpm) en los seres humanos, al igual de la importancia de llevar un control?**

	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	9	33,3%
NO	18	66,7%
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>100%</b>

**Tabla 10:** Información de factores que afectan las pulsaciones cardiacas y la importancia de su control.



**Figura 10:** Información de factores que afectan las pulsaciones cardiacas y la importancia de su control.

De acuerdo a las personas encuestadas el 67% ha obtenido información referente a los factores que pueden producir alteraciones de las pulsaciones cardiacas (bpm) en los seres humanos, al igual de la importancia de llevar un control y el 33% no ha obtenido información referente, por lo que se debe llevar modelo de publicidad sobre los factores que afectan al sistema cardiovascular, de tal manera prevenir problemas cardiacos (ver **Tabla 10** y **Figura 10**).

**5. ¿Considera Ud. que es importante el monitoreo constante de bpm en las personas que padecen alteraciones de frecuencia cardiaca?**

	<b>CANTIDAD</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>SI</b>	25	92,6%
<b>NO</b>	2	7,4%
<b>TOTAL</b>	27	100%

**Tabla 11:** Importancia de monitoreo constante de bpm en personas con problemas cardiacos.



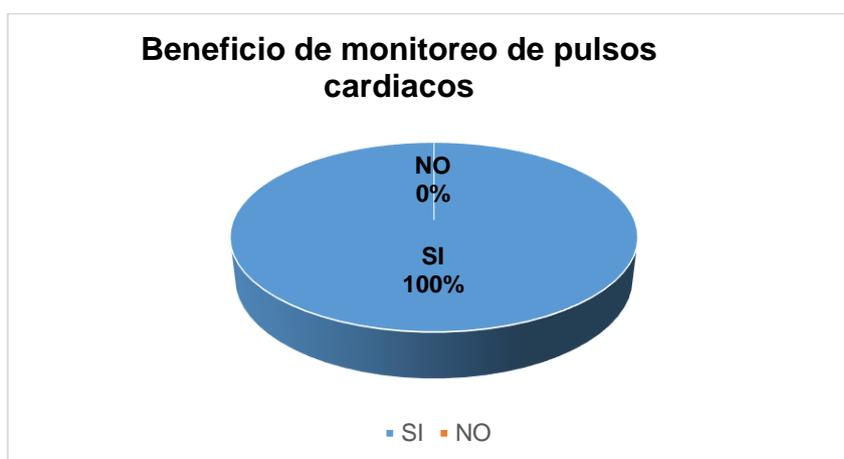
**Figura 11:** Importancia de monitoreo constante de bpm en personas con problemas cardiacos.

De acuerdo a las personas encuestadas el 93% considera que es de total importancia el monitoreo constante de bpm en las personas con problemas cardiacos (ver **Tabla 11** y **Figura 11**).

6. **¿Considera que es de total beneficio el uso de dispositivos móviles que en caso de emergencia por problemas cardiacos se de asistencia médica inmediata?**

	CANTIDAD	PORCENTAJE
SI	27	100,0%
NO	0	0,0%
<b>TOTAL</b>	27	100%

**Tabla 12:** Beneficio de monitoreo de pulsos cardiacos.



**Figura 12:** Beneficio de monitoreo de pulsos cardiacos.

El 100% de la población encuestada determina que es de total beneficio el uso de dispositivos móviles que en caso de emergencia por problemas cardiacos se de asistencia médica inmediata (ver **Tabla 12** y **Figura 12**).

Con el resultado obtenido de las encuestas realizadas tanto a personas comunes y a profesionales, se concluye que el desarrollo de dispositivo de monitoreo de pulsos cardiacos y alerta bajo anomalías cardiacas, sería de gran ayuda y utilidad, además de tener una gran acogida por la facilidad de manipulación del dispositivo, de esta manera las personas logren tener un buen seguimiento de sus pulsaciones cardiacas.

## CAPÍTULO II

### 2.1. Marco contextual

El presente proyecto se basa en el desarrollo de un dispositivo móvil que monitorea los pulsos cardiacos, por lo cual se enfoca en el área de la telemedicina, por lo que se considera el resultado de las encuestas realizadas en una plataforma virtual a médicos cardiólogos, lo cual indican que la implementación de dispositivos que monitoreen pulsaciones cardiacas es de gran beneficio y a su vez facilita el monitoreo de sus pacientes con problemas de arritmias cardiacas. Además, las personas con problemas cardiacos y familiares a quienes se realizó las encuestas, consideraron que es necesario la utilización de un dispositivo que permita monitorear sus pulsaciones cardiacas de manera remota, adjuntado un servicio de emisión de alerta a personas cercanas en caso de presentar una alteración de sus pulsaciones.

El elemento principal es el microcontrolador Atmega32u4, además el sensor de pulsos, que es un dispositivo electrónico *plug-and-play* (PnP - enchufar, conectar y usar), el cual se conecta directamente con el microcontrolador, el desarrollo del algoritmo de programación en conjunto con la librería propia del sensor es fundamental para captar la señal de pulsos cardiacos en las personas, además que es necesario la revisión de fundamentos teóricos con características cardiovasculares para el desarrollo del proyecto, ya que el objetivo fundamental es alertar a un pariente cercano en caso de presentarse una alteración cardiaca en la persona; al igual que ha sido necesaria la recopilación de información que ayudan a cumplir con los objetivos planteados en la propuesta tecnológica.

## 2.2. Marco conceptual

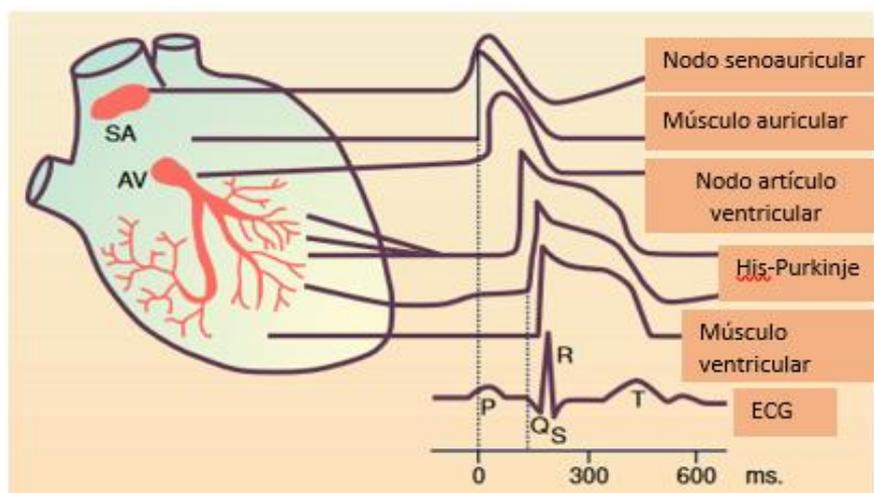
En esta sección se elabora una revisión bibliográfica de los conceptos generales que son fundamentales como: monitoreo de enfermedades cardiovasculares, microcontroladores, sensores, adquisición de datos, almacenamiento de energía, entre otros temas relevantes para el desarrollo de la propuesta.

### 2.2.1. Monitoreo de enfermedades cardiovasculares

Es necesario recopilar información teórica sobre los temas fundamentales para el desarrollo del proyecto como: sistema circulatorio, oxigenación de la sangre, pulso cardíaco y enfermedades cardiovasculares, los cuales se detallan a continuación.

#### 2.2.1.1. Sistema circulatorio

El corazón es el órgano principal del aparato circulatorio, el cual funciona como una bomba impulsando la sangre mediante arterias de tal manera que se distribuya por todo el cuerpo, es del tamaño de un puño, es hueco y tiene forma de pera, expulsa una cierta cantidad de sangre en cada latido, a través de la arteria más gruesa (aorta) de esta manera la sangre circula y llega a todo el organismo [6]. Como es de conocimiento el corazón es un órgano (miocardio) que para su funcionamiento necesita oxígeno y nutrientes (ver **Figura 13**).



**Figura 13:** Representación esquemática de los potenciales de acción registrados en diversos tejidos cardíacos [7].

### **Activación eléctrica cardíaca**

En condiciones normales, el impulso cardíaco se genera en el nodo del seno auricular, sin estímulos externos y de forma rítmica. Los potenciales de acción generados en el nodo del seno se difunden a todas las células auriculares completándose la excitación auricular en un periodo de tiempo alrededor de 40ms. De este modo, el impulso cardíaco alcanza el nodo auriculoventricular (AV). Aquí la conducción se demora lo suficiente (100ms) como para admitir que la contracción de las aurículas despidan la sangre a los ventrículos antes de que éstos se contraigan. A partir del nodo AV, la onda despolarizante penetra en los ventrículos recorriendo el tejido especializado de conducción, el cual, está formado por el haz de His (es un fragmento de un análisis electrofisiológico), que se bifurca en las denominadas ramas del haz de His, las cuales se ramifican originando las fibras de Purkinje; además, son una de las estructuras que conducen a gran velocidad este impulso eléctrico al resto de las células musculares del ventrículo [7].

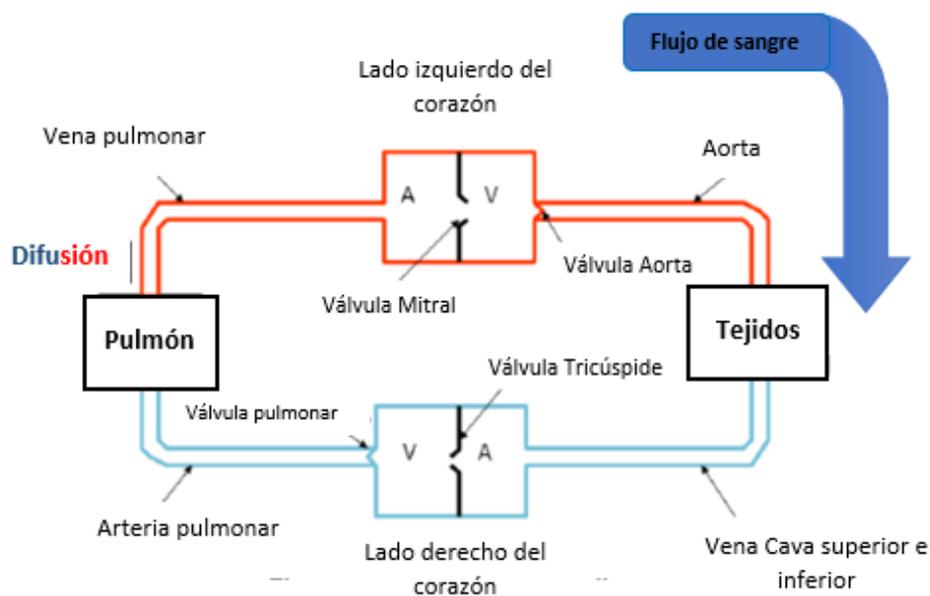
Por último, señalar que en situaciones normales la única conexión eléctrica entre aurículas y ventrículos es el nodo AV. De hecho, la presencia de conexiones adicionales que unen eléctricamente aurículas y ventrículos es una de los principios de aparición de arritmias cardíacas [7].

#### **2.2.1.2.Oxigenación de la sangre**

Las células del cuerpo necesitan oxígeno para realizar la respiración aeróbica, la cual es una de las formas clave en que una célula gana energía útil, energía que es liberada en la respiración, se utiliza para sintetizar el trifosfato de adenosina (ATP) que se almacenará. La energía almacenada en ATP puede luego utilizarse para impulsar procesos que requieren energía, incluida la biosíntesis, la locomoción o el transporte de moléculas a través de las membranas celulares [8].

El transporte de oxígeno se realiza a través del sistema circulatorio. La sangre desoxigenada entra en el corazón donde se bombea a los pulmones para ser oxigenada. En el proceso de oxigenación, la sangre pasa a través de los alvéolos pulmonares donde ocurre el intercambio de gases (difusión). El dióxido de carbono ( $CO_2$ ) se libera y la sangre se oxigena, luego la sangre se devuelve a la aorta [8].

Los glóbulos rojos de la sangre contienen una proteína llamada hemoglobina. Cuando el oxígeno reacciona con esta proteína, se une a ella y genera oxihemoglobina ( $HbO_2$ ). Los glóbulos rojos con hemoglobina oxigenada circulan en la sangre por todo el cuerpo, irrigando los tejidos. Cuando la sangre entra en contacto con una célula, la hemoglobina de los glóbulos rojos libera oxígeno y se convierte en desoxihemoglobina ( $Hb$  hemoglobina desoxigenada). En este punto, la sangre sin oxígeno regresa a la aurícula derecha del corazón para repetir el proceso [8]. El siguiente diagrama muestra el proceso de circulación sanguínea (ver **Figura 14**).



**Figura 14:** Diagrama de circulación sanguínea [8].

### 2.2.1.3. Pulso cardiaco

El pulso cardiaco es el número de latidos cardíacos por minutos, se da debido a la expansión de las arterias que se genera por la circulación de sangre bombeada por el corazón, principalmente en las áreas del cuerpo donde las arterias son próximas o cercanas a la piel como: cuello, muñecas incluso hasta en la sien. Hay varias formas de medir el pulso cardiaco: medir manualmente con los dos dedos índice y medio cuando se palpa la arteria carótida, femoral o la braquial, en este caso se debe ser cauteloso debido a que no existe una superficie sólida como para lograr detectar

el pulso cardiaco. De tal manera hay puntos de pulsos comunes que se mencionarán a continuación [9]:

- Pulso radial, se encuentra en los brazos y el sitio más cercano al pulgar a lado de la muñeca (arteria radial).
- Pulso cubital, ubicado en la parte más próxima al meñique en el sitio de la muñeca (arteria ulnar).
- Pulso carotídeo, este pulso lo localizamos en el cuello a través de la arteria carótida, esta debe palpase con cuidado, ya que la estimulación de sus barorreceptores con una palpación vigorosa puede llegar a provocar una bradicardia severa, incluso puede parar el corazón, debido a la fragilidad de algunas personas.
- Pulso femoral, ubicado en el muslo (arteria femoral).

Es fundamental que el corazón bombee la sangre por todos los órganos del cuerpo para un correcto funcionamiento, para ellos también debe de existir una determinada presión arterial y una frecuencia determinada.

Debido a la importancia de este proceso el corazón necesita un gran consumo de energía en cada latido, considerando que la frecuencia cardiaca normal o en reposo es de 60 a 100 latidos por minutos, pero este puede variar en el día o por la noche dependiendo de diversos estímulos que se presentan. Hay que considerar que las mediciones de las pulsaciones cardiacas ayudan a diagnosticar enfermedad cardiacas o cardiovasculares y posterior a aquello llevar un monitoreo de acuerdo a condiciones médicas [4]. A continuación, se presenta una tabla con rangos de frecuencias cardiacas en las personas dependiendo de su género y edad (ver **Tabla 13** y **Tabla 14**).

<b>Edad</b>	<b>F.C. Mala</b>	<b>F.C. Normal</b>	<b>F.C. Buena</b>	<b>F.C. Muy buena</b>
<b>20 – 29</b>	86 o más	70 – 84	62 – 68	60 o menos
<b>30 – 39</b>	86 o más	72 – 84	64 – 70	62 o menos
<b>40 – 49</b>	90 o más	74 – 88	66 – 72	64 o menos
<b>50 – 59</b>	90 o más	74 – 88	68 – 74	66 o menos
<b>60 o más</b>	94 o más	76 – 90	70 – 76	68 o menos

**Tabla 13:** Valores de frecuencia cardiaca para Hombres en estado de reposo [10].

<b>Edad</b>	<b>F.C. Mala</b>	<b>F.C. Normal</b>	<b>F.C. Buena</b>	<b>F.C. Muy buena</b>
<b>20 – 29</b>	96 o más	78 – 94	72 – 76	70 o menos
<b>30 – 39</b>	98 o más	80 – 96	72 – 78	70 o menos
<b>40 – 49</b>	100 o más	80 – 98	74 – 78	72 o menos
<b>50 – 59</b>	104 o más	84 – 102	76 – 82	74 o menos
<b>60 o más</b>	108 o más	88 – 106	78 – 88	78 o menos

**Tabla 14:** Valores de frecuencia cardiaca para Mujeres en estado de reposo [10].

#### **2.2.1.4. Enfermedades cardiovasculares**

Enfermedad cardiovascular (ECV) se refiere a problemas del corazón y los vasos sanguíneos, a manera de enfermedades de las arterias coronarias, dificultades con el ritmo cardiaco (arritmias) y defectos cardiacos congénitos [11].

##### **Arritmia.**

Una arritmia puede provocar daños y ser una señal de posibles problemas cardiacos que deben ser atendidos de manera inmediata para prevalecer la salud en una persona. El corazón trabaja como una bomba permitiendo la circulación de la sangre a todos los órganos del cuerpo, cuando se genera un trastorno en el pulso o frecuencia cardiaca el corazón late demasiado rápido a esto se considera taquicardia, cuando late lento se conoce como bradicardia, estos efectos son lo que se les llama arritmias cardiacas [6].

##### ➤ Bradicardia

La bradicardia se genera cuando la frecuencia cardiaca es baja, considerando que las pulsaciones normales del corazón están entre 60 y 100 veces por minutos, pero en caso de presentarse este problema los pulsos cardiacos están por debajo de los 60 bpm [10].

##### ➤ Taquicardia

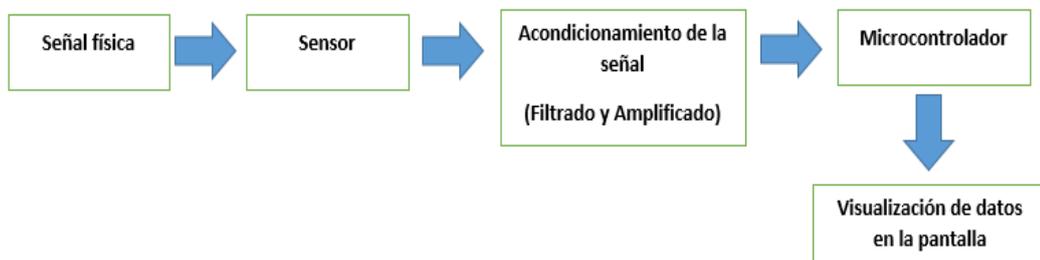
La taquicardia se genera cuando la frecuencia cardiaca es muy alta a las pulsaciones normales, considerando que las pulsaciones normales del corazón están entre 60 y 100 veces por minutos, pero en caso de presentarse este problema los pulsos

cardiacos están por encima de los 100 bpm en una persona que esté en estado de reposo [10].

### 2.2.2. Adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos es la medición o generación de señales físicas en tiempo real. Previamente que un sistema basado en computadora pueda medir una señal física, debe utilizar un sensor o transductor para convertir la señal física en una señal eléctrica, como voltaje o corriente [12] (ver **Figura 15**).

Para la elaboración del dispositivo del proyecto en mención de monitoreo y alerta de pulsos cardiacos, se debe considerar varios factores como son: el proceso de amplificación de la señal, filtrado de la señal. Para ello hay que definir varios conceptos sobre dispositivos electrónicos que forman parte de las etapas de elaboración del dispositivo de monitoreo y alerta de pulsos cardiacos.

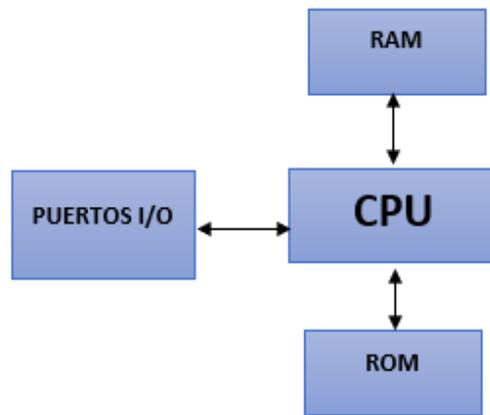


**Figura 15:** Diagrama de bloque del sistema de adquisición de datos.

### 2.2.3. Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene una escala de integración muy grande *Very Large Scale Integration* (VLSI), en su interior contiene una unidad central de procesamiento *Central Processing Unit* (CPU), además de unidades de memorias, fuentes de interrupción entre otros recursos, que son necesarios para el desarrollo de aplicaciones cumpliendo de esta manera con un propósito específico [12].

Se puede deducir que un microcontrolador es una microcomputadora encapsulada en un circuito integrado, posee un propósito fundamental que es de leer y ejecutar programas (ver **Figura 16**).



**Figura 16:** Diagrama de bloques del Microcontrolador.

Los dispositivos de última generación son diseñados e implementados con microcontroladores cada vez más avanzados en sus especificaciones técnicas, de tal manera que aumentan sus ventajas, priorizan tamaños y costos, mejora su confiabilidad y una disminución de consumo. Para el funcionamiento de los microcontroladores requieren un conjunto de instrucciones, de esta manera puede cumplir con la función que se le está asignando. Para programar el microcontrolador se necesita de compiladores o softwares de programación facilitando la comunicación *Person to Machine* (P2M) [12].

Existe una gama de clasificación de Microcontroladores ya sea según sus especificaciones eléctricas, la capacidad de memoria, periféricos, puertos de entrada y salida, enfocados en una aplicación dada, es necesario considerar los requerimientos del sistema, para la selección de un microcontrolador adecuado, a continuación, una lista de los desarrolladores de microcontroladores más comunes a nivel comercial [13]:

- Atmel
- Freescale (antes Motorola)
- Holtek
- Intel
- National Semiconductor
- Microchip
- NXP Semiconductors (antes Philips)

- Renesas (antes Hitachi, Mitsubishi y NEC)
- STMicroelectronics
- Texas Instruments
- Zilog

### Microcontroladores Atmel

El núcleo *Automatic Voltage Regulator* (AVR) son una familia de microcontroladores *Reduced Instruction Set Computer* (RISC) de Atmel, combina un completo conjunto de instrucciones con 32 registros de trabajo de propósito general, están conectados directamente a la *Arithmetic Logic Unit* (ALU) [12]. Pocos dispositivos de la familia Atmel son dispositivos reprogramables (ver **Tabla 15**). Se enfatiza la operación totalmente estática de 0 a 24 MHz. La operación de baja frecuencia es muy importante cuando el consumo de energía se debe mantener al mínimo, por ejemplo, en el caso de los dispositivos de batería de 20 pines. Sin embargo, la velocidad de ejecución también se reduce a bajas frecuencias, además, los períodos de temporización también dependen de la frecuencia [13].

Dispositivos	Memoria de datos en chip	Memoria de programa en chip (flash)	No. de temporizadores / contadores de 16 bits	E / S digitales	E / S serie dúplex completo	Número de pines en (PDIP)	Comparadores analógicos de precisión en chip
AT89C51	128	4K	2	32	1	40	Ninguna
AT89C52	256	8K	3	32	1	40	Ninguna
AT89C55WD	256	20K	3	32	1	40	Ninguna
AT89C1051	64	1K	2	15	1	20	1
AT89C2051	128	2K	2	15	1	20	1
AT89C4051	128	4K	2	15	1	20	1
AT89LV52	256	8K	3	32	1	40	Ninguna

**Tabla 15:** Microcontroladores Atmel [13].

Los modos de apagado e IDLE pueden usarse para mantener el consumo de energía a un nivel mínimo, inclusive se puede seleccionar un dispositivo con operación de bajo voltaje, típicamente en el rango de 2.7 a 6V. Los dispositivos Atmel

89C1051/2051 admiten esta operación de bajo voltaje. Para Atmel 89C4051 en funcionamiento, este rango es de 3 a 6V [13].

#### **2.2.4. Sensores**

La definición de sensor está ligada directamente con el concepto de transductores, debido a que un sensor utilizará un transductor. Un transductor es un dispositivo capaz de transformar una lectura de un fenómeno físico en una señal eléctrica, con la consideración que un transductor cambia el dominio de la variable, en cambio el sensor emite una salida que será utilizada como una señal de entrada a un sistema o procesamiento de la información [14].

Un sensor es un dispositivo que transforma una propiedad física en una señal eléctrica medible como: tensión, corriente, el cambio en los valores de resistencia o condensador, etc. El sistema de adquisición de datos posee la capacidad de medir los diversos fenómenos a través de los transductores que son aquellos que convierten las señales de los cambios físicos mensurables en la adquisición de datos por hardware. La adaptación de señales es necesario si desde el transductor la señal no es apropiada para la *data acquisition* (DAQ) hardware que se esté utilizando. Actualmente los sensores entregan señales eléctricas a la salida, puede ser tanto analógicas o digitales, dependiendo del tipo de dominio físico [14].

#### **2.2.5. Redes GSM Y GPRS**

Las redes móviles permiten el envío y recepción simultaneo de datos, llamadas, SMS, hacia dispositivos finales como teléfonos celulares o módulos GSM.

##### **Red GSM**

La red GSM es un sistema de conmutación de circuitos, diseñado originalmente para voz, al transcurrir el tiempo se adjuntaron otros servicios de datos como: mensajes cortos, servicios de entrega de hasta 160 caracteres y servicios de datos GSM permitiendo una tasa de transferencia de 9.6kpbs. Además, las bandas de frecuencias específicas para la telefonía móvil a nivel global (ver **Tabla 16**).

SISTEMA	BANDA	FRECUENCIA		ASIGNACIÓN DE CANAL
		Subida (MHz)	Bajada (MHz)	
<b>T-GSM-380</b>	380	380.2-389.8	390.2-399.8	dinámica
<b>T-GSM-410</b>	410	410.2-419.2	420,2-429.2	dinámica
<b>GSM-450</b>	450	450.4-457.6	460.4-467.6	259-293
<b>GSM-480</b>	480	478.8-486.0	488.8-496.0	306-340
<b>GSM-710</b>	710	698.0-716.0	728.0-746.0	dinámica
<b>GSM-750</b>	750	747.0-762.0	777.0-792.0	438-511
<b>T-GSM-810</b>	810	806.0-821.0	851.0-866.0	dinámica
<b>GSM-850</b>	850	824.0-849.0	869.0-894.0	128-251
<b>P-GSM-900</b>	900	890.2-914.8	935.2-959.8	1-124
<b>E-GSM-900</b>	900	880.0-914.8	925.0-959.8	975-1023, 0-124
<b>R-GSM-900</b>	900	876.0-914.8	921.0-959.8	955-1023,0-124
<b>T-GSM-900</b>	900	870.4-876.0	915.4-921.0	dinámica
<b>DCS-1800</b>	1800	1710.2-1784.8	1805.2-1879.8	512-885
<b>PCS-1900</b>	1900	1850.0-1910.0	1930.0-1990.0	512-810

**Tabla 16:** Frecuencias móviles reguladas [15].

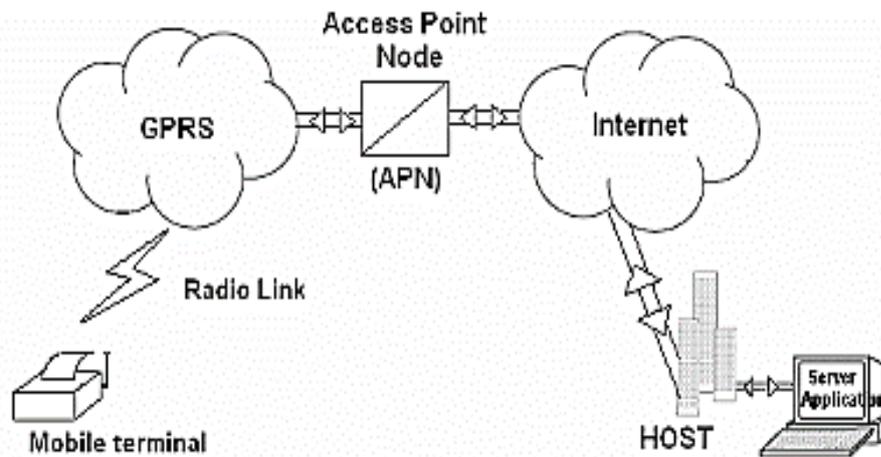
Para algunos países Latinoamericanos, se han asignado las frecuencias en las bandas de 900 MHz y 1800 MHz para GSM, reguladas por la *International Telecommunication Union* (ITU) (ver **Tabla 17**). Los problemas de compatibilidad de frecuencia se pueden evitar mediante el uso de dispositivos multibanda (tri-band o, especialmente, quad-band) [16].

País	Frecuencia
<b>Argentina</b>	GSM-850 y 1900MHz.
<b>Bolivia</b>	GSM-850,9001800y
<b>Chile.</b>	GSM-850 y 1900MHz.
<b>Colombia.</b>	GSM850 y 1900
<b>Ecuador</b>	GSM-850,1900MHz.
<b>Perú</b>	GSM850-1900MHz.
<b>Venezuela</b>	GSM850,900,1800,1900,2100MHz.
<b>Paraguay</b>	GSM850-1900
<b>Uruguay</b>	GSM850,900,1800,1900MHz.

**Tabla 17:** Frecuencias móviles reguladas en países sudamericanos [17].

## Red GPRS

La red GPRS es otra forma de transmisión de datos en GSM, además de SMS y servicios de transmisión de voz con la modalidad *Circuit Switched Data* (CSD). Los datos enviados a través de un terminal conectado a GPRS (un teléfono o un módem) se envían como paquetes de datos hacia el Internet. La tecnología GPRS es una conexión "siempre activa" que permite transmitir y recibir datos a alta velocidad (ver **Tabla 18** y **Figura 17**) [18].



**Figura 17:** Conexión GPRS a través de Internet [18].

Tecnología	Velocidad Máxima	Estándar
<b>GPRS</b>	54Kbps	2.5G
<b>EDGE</b>	220Kbps	2.5G
<b>UMTS</b>	384Kbps	3G
<b>HSDPA</b>	7.2Mbps	3G
<b>HSDPA+</b>	42Mbps	3G
<b>LTE</b>	100Mbps	4G

**Tabla 18:** Tabla comparativa de velocidades de transmisión de datos [19].

La ventaja de la conexión GPRS es la mayor velocidad de transmisión de datos que la CSD y la conexión permanente a la red. El costo depende de la cantidad de datos enviados y no del tiempo de conexión.

### 2.2.6. Protocolos de comunicación TCP

*Transmission Control Protocol* (TCP) es un protocolo confiable de extremo a extremo orientado a la conexión, diseñado para encajar en una jerarquía de protocolos en capas que admiten aplicaciones de múltiples redes. El TCP proporciona una comunicación confiable entre pares de procesos utilizando módulos host conectados a las distintas redes de comunicación interconectadas. Se debe indicar el alto nivel de fiabilidad de los protocolos de comunicación bajo la capa TCP [20].

De esta manera el protocolo utilizado en este trabajo es el de TCP/IP debido a que las plataformas IOT trabajan con este protocolo fiable para el control de datos que los usuarios tienden a subir a una plataforma.

### 2.2.7. Sistema de posicionamiento global

GPS es sistema de radionavegación implementado por los Estados Unidos que facilita el servicio de localización, navegación y cronometría para los usuarios a nivel mundial. Está formado por un conjunto de satélites que orbitan a 20200km sobre la superficie de la Tierra [21]. Inicialmente el sistema GPS fue diseñado con propósitos militares, pero de manera inmediata se visibilizó su aplicación en el mundo civil (ver **Figura 18**).



**Figura 18:** Sistema GLONASS, distribución de satélites [21].

Funciona mediante satélites que se encuentran orbitando el planeta, incluyendo las antenas receptoras de las señales del GPS que están ubicadas en los equipos de

posicionamiento, que proporcionan las coordenadas tridimensionales como son latitud, longitud y altitud, también la hora local precisa.

### 2.2.8. Adquisición de señales móviles

Para la adquisición de datos de un módulo de comunicación GSM/GPS, se realiza a través de las antenas que permiten establecer un sistema de transmisión mediante comandos AT, los cuales proporciona la recepción de información para ser procesada por el microcontrolador (ver **Figura 19**). Tanto la antena GSM como la antena GPS, que incluye el módulo de comunicación proporcionan la recepción de las señales inalámbricas de red móvil y satelitales, respectivamente.



**Figura 19:** Diagrama de proceso de adquisición de datos.

### 2.2.9. Protocolo de comunicación I2C

Es un tipo de comunicación utilizada entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos electrónicos. La comunicación *Inter-Integrated Circuit* (I2C) requiere de dos líneas de señal y un punto común, este tipo de comunicación es en serie y sincrónica, una de las señales marca el pulso de reloj y la otra señal es utilizada para intercambiar datos [22] (ver **Figura 20**).

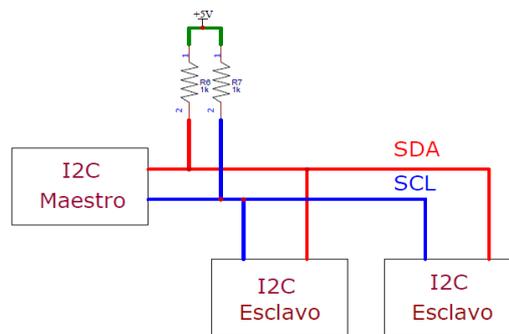
Características relevantes del protocolo de comunicación I2C [22]:

- ✓ Solo se requieren dos bus de líneas.
- ✓ No hay requisitos estrictos de velocidad de transmisión como, por ejemplo, con RS232, el maestro genera un reloj de bus.
- ✓ Existen relaciones simples maestro/esclavo entre todos los componentes.

- ✓ Cada dispositivo conectado al bus es direccionable por software mediante una dirección única.
- ✓ I2C es un verdadero bus multimaestro que proporciona arbitraje y detección de colisión.

Descripción de los puertos del protocolo I2C [22]:

- *System Data* (SDA) en esta línea se transmiten los datos entre los dispositivos.
- *System Clock* (SCL) en esta línea están los pulsos del reloj que se encargan de sincronizar el sistema.
- *Ground* (GND) es el punto común de la interconexión entre los dispositivos que han sido conectados en el bus.



**Figura 20:** Comunicación a través de protocolo I2C [22].

### 2.2.10. Baterías

Las baterías contienen una carga definida dependiendo de su composición, la cual se mide en *ampere-hour* (Ah), por lo cual la batería suministra un amperio de corriente en una hora de uso. Considerando que si la capacitancia es mayor, la batería puede almacenar más corriente en su interior [23].

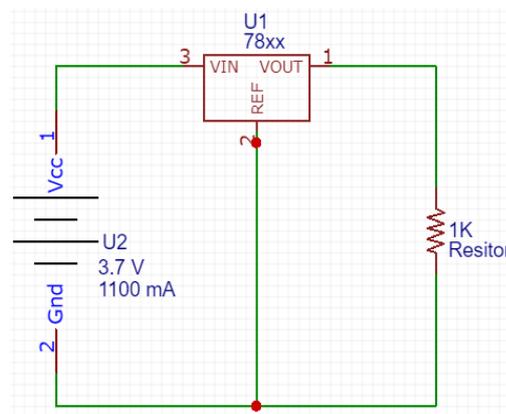
Cada celda de una batería almacena energía eléctrica como energía química en dos electrodos, un reductor (ánodo) y un oxidante (cátodo), separados por un electrolito que transfiere el componente iónico de la reacción química dentro de la celda y fuerza el componente electrónico fuera del Batería [23], para ello hay una clasificación de celdas:

- Primarias: Son celdas que una vez utilizadas no regresan a su estado original.
- Secundarias: Son celdas que almacenan energía eléctrica, por la propiedad de restaurar su composición química original, de esta manera se las puede utilizar varias veces antes de agotarse completamente.

### 2.2.11. Regulación de tensión

La gran parte de dispositivos electrónicos necesitan voltajes continuos para su funcionamiento. El uso de baterías es una opción favorable con el inconveniente que el voltaje de operación es limitado, en algunos casos el voltaje que se tiene en una fuente de alimentación, no es el adecuado para el funcionamiento del dispositivo electrónico que se esté empleando; en otras situaciones el uso incorrecto del nivel de tensión en la alimentación de ciertos circuitos electrónicos, puede ocasionar graves problemas en el mismo, para ello se realizan diferentes diseños de reguladores de tensión en circuitos integrados [24].

Actualmente existen variedades de IC reguladores, tanto fijos como ajustables, son de fácil uso, bajo costo y versátiles. La serie más conocida son los reguladores integrados 78XX y 79XX que son usados para tensiones negativas, estos CI suelen ser similares a transistores de potencia por lo cual necesitan de un disipador de calor, debido a que este tipo de integrados producen grandes disipaciones de potencias lo cual provoca pérdida de la energía que no se está utilizando en forma de calor (ver **Figura 21**).



**Figura 21:** Circuito regulador de voltaje sencillo.

### 2.2.12. Interfaz gráfica

El proceso de visualización de información se refiere a la forma en que se proporcionan al usuario controles para manipulación de información, atributos, parámetros. La visualización de información son procesos dinámicos que permite al usuario obtener el control virtual de información, actualmente incluye un amplio listado de pantallas de visualización [25].

Los usuarios interactúan con las visualizaciones rigiéndose a lo que se puede observar e interpretar, esto conlleva a que se desarrollen dispositivos con representación gráfica de información, optando por un desarrollo de algoritmos que permitan tener una visualización efectiva y eficaz [25].

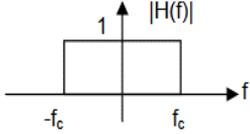
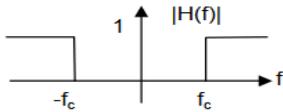
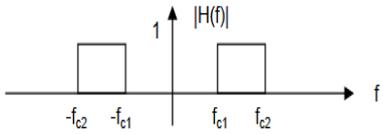
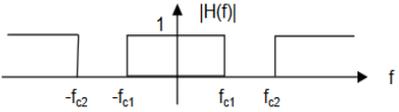
### 2.2.13. Sistemas de filtrado electrónico

Se define Filtro electrónico como un dispositivo que logra modificar de cierta forma excluye una determinada o varias frecuencias de una señal eléctrica, logrando cambiar tanto su amplitud como su fase. Algunos autores denominan que los filtros empleados para los dispositivos selectores de frecuencia, es decir, aquellos que “dejan pasar” las señales presentes en ciertas bandas de frecuencia y “bloquean” las señales de otras bandas [26].

Los filtros electrónicos se clasificación por su naturaleza en:

- Filtros lineales y filtros no lineales
- Filtros analógicos y filtros digitales
- Filtros continuos y filtros discretos
- Filtros pasivos y filtros activos

Los filtros ideales son selectores de frecuencia que permiten el paso sin distorsión de las componentes espectrales comprendidas en la o las bandas de paso, anulando completamente las componentes ubicadas fuera de ellas [26], los filtros ideales se clasifican de la siguiente manera (ver **Tabla 19**).

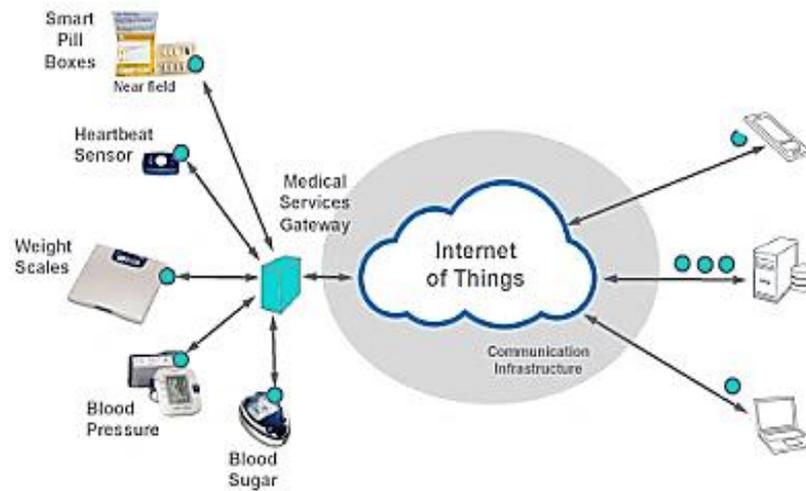
Tipos	Definición	Figura
<b>Paso bajo</b>	Permite el paso de las frecuencias menores que cierta frecuencia, denominada frecuencia de corte (o frecuencia superior de corte) y bloquea las mayores.	
<b>Paso alto</b>	Permite el paso de las frecuencias mayores que cierta frecuencia, también denominada frecuencia de corte (o frecuencia inferior de corte), y bloquea las menores.	
<b>Paso banda</b>	Permite el paso de las frecuencias comprendidas entre dos frecuencias, denominadas frecuencia inferior de corte y frecuencia superior de corte, bloqueando las restantes.	
<b>Rechazabanda</b>	Bloquea las frecuencias comprendidas entre dos frecuencias de corte, dejando pasar las restantes	

**Tabla 19:** Tipos de filtros activos y definiciones [26].

#### 2.2.14. Internet de las cosas

Actualmente se ha incrementa el uso de las plataformas IOT, y por ende su uso se aplica en diferentes formas en el ámbito cotidiano, empleando dispositivos que permitan la adquisición de datos en tiempo real, para ello, se considera que los dispositivos funcionen de forma correcta, además de considerar nuevas actualizaciones tecnológicas [27].

IoT es un término en el área de la innovación y tecnología, para ello surgen las diversas plataformas IoT que se encuentran actualmente como por ejemplo: ThingSpeak, Ubidots, etc., son herramientas que permiten el intercambio de mensajes entre los componentes de un sistema IoT, con el fin de generar un ambiente de conexión que permita realizar una gestión asequible, además de un fácil análisis y visualización de datos [27]. Es por ello que las plataformas web IoT son consideradas como el crecimiento a nuevas fuentes tecnológicas (ver **Figura 22**).



**Figura 22:** Infraestructura de comunicación IoT.

### 2.3. Marco teórico

Una de las causas de muertes en la población se dan por enfermedades cardiovasculares, como se ha mencionado en las secciones anteriores existe un porcentaje considerable de personas que fallecen a causa de este tipo de afecciones, es por ello que a nivel mundial se han realizado diversos trabajos de investigación, los cuales han proporcionado información base para el desarrollo del tema propuesto, para ello se mencionará dichos temas con una breve descripción.

En Barcelona, España en el año 2016 el proyecto de titulación: **Diseño, desarrollo de un prototipo para adquirir el electrocardiograma de la onda de pulso**, el objetivo del proyecto es la adquisición del pulso cardiaco a través de fotoplestimografía y la señal del electrocardiograma, datos que son adquiridos mediante electrodos, obteniendo un monitoreo de ritmo cardiaco y señal del electrocardiograma (ECG), las señales son visualizadas por un sistema monitor empleado con estándar RS232 el cual contiene una comunicación serie asíncrona Tx (transmisión), Rx (recepción) y GND [28].

En el siguiente trabajo de titulación: Monitoreo remoto de signos corporales y transmisión de datos y alertas a una aplicación instalada en un Smartphone (Bogotá-2018), consiste en la implementación de sensores e-Health (sensores biomédicos, que permiten adquirir datos de signos vitales corporales en el ser humano) datos de bpm, SpO2, flujo de aire, temperatura corporal, ECG, glucómetro, presión arterial, la respuesta galvánica de la piel, además, contiene un sistema de posicionamiento global que determina la posición del paciente. La información adquirida por los sensores es enviada a la aplicación móvil desarrollado, desde el Smartphone se realiza el envío de los datos adquiridos a la plataforma IOT Ubidots y se emite la alerta a directamente a los médicos del hospital los cuales tienen la información que se emite y recibe constantemente en la plataforma IOT [29].

En el siguiente trabajo de titulación: Diseño e implementación de un módulo didáctico para la medición del ritmo cardíaco mediante la técnica de pulsometría (Latacunga-2015), fue desarrollado de tal manera que adquiere los datos emitidos por el sensor, esta información transita por la etapa de filtrado y de ganancia para

ser reconstruida, luego de este proceso los datos son procesados a través del microcontrolador de Arduino, la transmisión de los datos se realiza mediante el módulo Xbee hacia el computador donde se realizará la visualización de los datos emitidos a través de la interfaz gráfica desarrollada en el entorno LabView [30].

Actualmente hay dispositivos que tienen como característica principal el monitoreo de datos biomédicos entre otras funciones, mediante la tienda online lifestyle y 100plus se encuentra información de un smartwatch con nombre iBeat Heart Watch, que se encarga de monitorear continuamente el ritmo cardíaco y circulación para detectar cualquier situación que parezca insegura y verifica si la persona se encuentra en buen estado. Analiza los datos en tiempo real para buscar posibles emergencias potencialmente mortales, en caso de presentar alguna emergencia, el dispositivo notifica a su equipo de despacho (policía, bomberos, paramédicos o incluso a un contacto de familiar), para que se le envíe la ayuda adecuada con la ubicación exacta. Además, posee un botón de emergencia que se puede presionar en cualquier momento para obtener ayuda [31] [32].

## CAPÍTULO III

### 3.1. Componentes de la propuesta

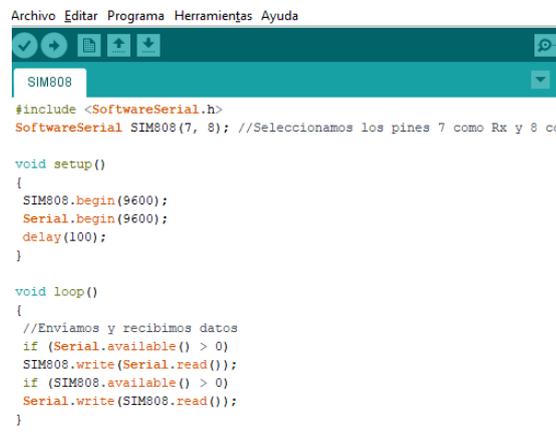
Al concluir con la recopilación de información necesaria para el desarrollo del proyecto, se procede a la comparativa y selección de los componentes del dispositivo detector de pulsos cardiacos, para ello en esta sección se detalla los componentes lógicos y físicos utilizados para la implementación.

#### 3.1.1. Componentes lógicos

Para el desarrollo de la propuesta, se mencionan los softwares utilizados en el desarrollo del prototipo al igual que las características y uso.

##### 3.1.1.1. IDE Arduino

El entorno IDE de Arduino, es un software de código abierto que facilita escribir un código y cargarlo en la tarjeta Arduino que se esté utilizando. Es ejecutado en Windows, Mac OS X y Linux, el entorno está desarrollado en lenguaje de programación en Java y se basa en procesamiento y otro software de código abierto [33]. Además, permite enviar y recibir información o una trama de datos fácilmente a través del puerto serial mediante una interfaz propia del software Arduino denominada Monitor Serial, (ver **Figura 23**).



```
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
SIM808
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial SIM808(7, 8); //Seleccionamos los pines 7 como Rx y 8 como Tx

void setup()
{
  SIM808.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
  delay(100);
}

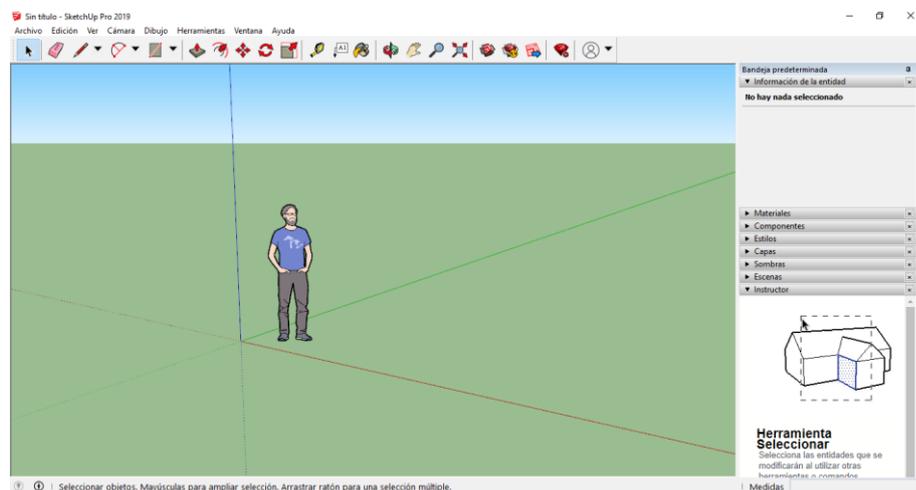
void loop()
{
  //Enviamos y recibimos datos
  if (Serial.available() > 0)
    SIM808.write(Serial.read());
  if (SIM808.available() > 0)
    Serial.write(SIM808.read());
}
```

**Figura 23:** Screenshot de Arduino IDE Versión 1.8.9.

A través del IDE de Arduino se programó el microcontrolador ATMEL32u4 de tal forma que se comunice con el módulo SIM808, además de desarrollar el algoritmo de programación incorporando los elementos que se seleccionaron para la implementación del proyecto.

### 3.1.1.2. SketchUp

SketchUp es un software enfocado a diseños *three dimensional* (3D), basado en capas, fue desarrollado por la empresa *Last Software*, la cual fue adquirida por Google. Su principal característica es realizar diseños en 3D, con una interfaz amigable que torna un ambiente de trabajo más fácil y sencillo [34] (ver **Figura 24**).



**Figura 24:** Entorno SketchUp.

A través del software SketchUp se realizó el diseño tridimensional del dispositivo detector de pulsos cardiacos, considerando las características necesarias, tanto, en dimensiones y comodidad para el usuario.

### 3.1.1.3. EasyEDA

EasyEDA es una herramienta en línea sencilla y potente enfocada al diseño en *Printed Circuit Board* (PCB), que permite diseñar proyectos electrónicos, esta es una herramienta de diseño que contiene un catálogo de componentes electrónicos (ver **Figura 25**) [35]. A través de esta herramienta, se realizó el diseño PCB con las conexiones de cada uno de los componentes electrónicos utilizados en el desarrollo del proyecto.

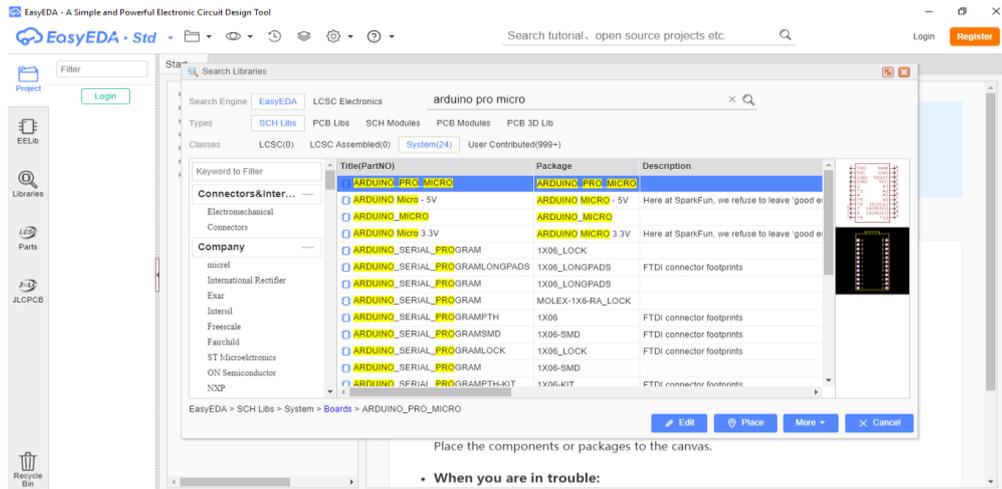


Figura 25: Software EasyEDA.

### 3.1.1.4.Fritzing

Fritzing es una iniciativa de código abierto para desarrollar software *Computer Aided Design* (CAD) para el diseño de hardware electrónico, fue desarrollado en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Potsdam. Ofrece una herramienta de software, un sitio web comunitario y servicios en Arduino [36] (ver Figura 26).

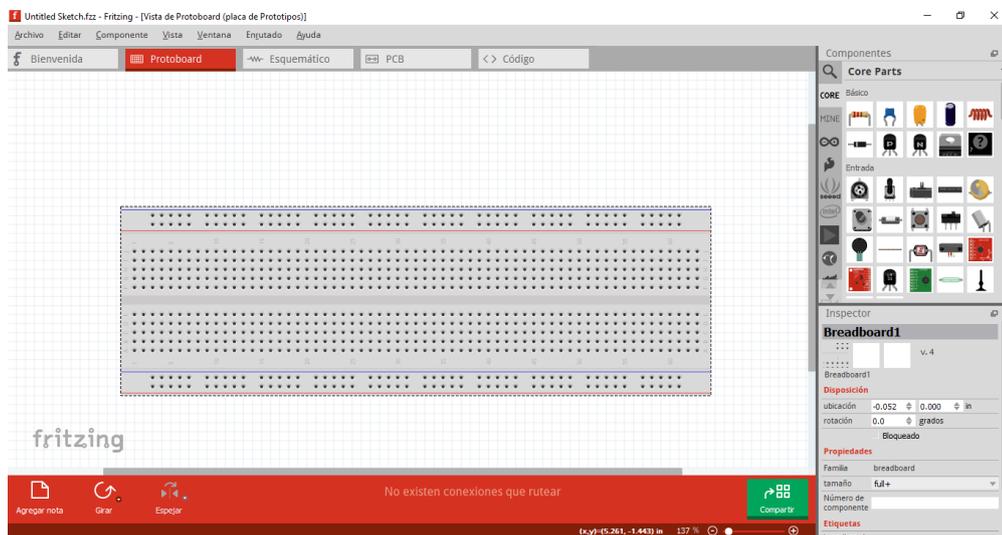
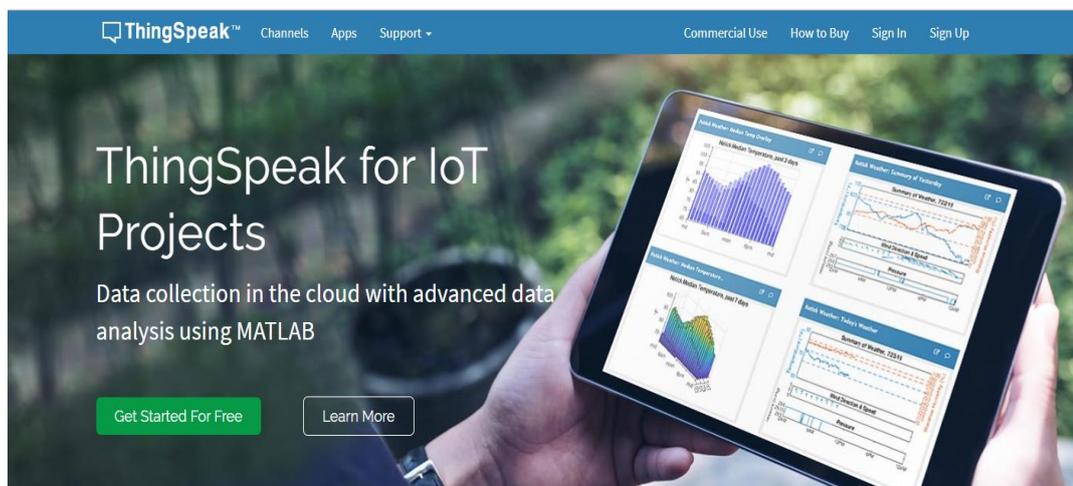


Figura 26: Entorno del software Fritzing.

Se utilizó la plataforma Fritzing para el realizar el diseño del diagrama de conexiones de tal manera que se defina de forma general los procesos planteados en el desarrollo de la propuesta tecnológica.

### 3.1.1.5. ThingSpeak Plataforma IOT

ThingSpeak es un servicio de plataforma de análisis de IoT de MathWorks, los creadores de MATLAB y Simulink. Permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos proporcionados por los dispositivos o equipos electrónicos en tiempo real en la plataforma [37]. ThingSpeak acelera el desarrollo de los sistemas de IoT, principalmente aquellos que requieren análisis de información, además permite crear sistemas de IoT sin configurar servidores o desarrollar software web (ver **Figura 27**).



**Figura 27:** Plataforma ThingSpeak.

ThingSpeak permite el envío de datos o información a la nube, dicha información se almacena en un canal privado o público, cuando los datos se almacenan en un canal público permiten compartir información con otros usuarios; al almacenarse la información en un canal privado se puede visualizar y analizar, para obtener una nueva información con la finalidad de interactuar con otros dispositivos o servicios web (ver **Figura 28**).

Se utiliza la plataforma ThingSpeak debido a que los datos de bpm y SpO2 emitidos por el sensor son almacenados en la plataforma, se seleccionó esta plataforma debido a que proporciona aplicaciones que permiten visualizar los datos en tiempo real mediante una interfaz gráfica. Actualmente ThingSpeak es una de las plataformas más utilizada debido a la cantidad de datos que permite almacenar (3,000,000 envío/anuales) y analizar en el momento que se requiera, en

comparación con otras plataformas que tienen un envío anual de información mucho menor [37].



**Figura 28:** Ejemplo de envío de datos a la Plataforma ThingSpeak [37].

### 3.1.2. Componentes físicos

En esta sección se detallarán la comparación de los diferentes componentes físicos como microcontrolador, sensor, módulos de comunicación, pantalla, sistema de alimentación que han sido utilizados en el desarrollo de la propuesta con sus respectivas características.

#### 3.1.2.1. Microcontrolador Atmel

Atmel posee múltiples microcontroladores con características diferentes, para el desarrollo del proyecto, se realizó el proceso comparativo de las siguientes tarjetas Atmega Arduino, tomando en cuenta la accesibilidad, parámetros técnicos y el soporte que brinden a las mejores prestaciones para el proyecto (ver **Tabla 20**).

<b>Controlador</b>			
	<b>Arduino ProMicro</b>	<b>Arduino ProMini</b>	<b>Arduino nano</b>
<b>Parámetros técnicos</b>			
<b>Microcontrolador</b>	Atmega 32u4	Atmega 328P	Atmega168 Atmega328P
<b>Voltaje de operación</b>	5V	5V	5V
<b>Voltaje de alimentación</b>	7V- 12V	7V - 12V	7V - 12V
<b>Frecuencia de operación</b>	16MHz	16MHz	16MHz
<b>Pines de entrada o salida digital</b>	12	14	14
<b>Pines de entradas analógicas</b>	4	8	8
<b>Pines PWM</b>	5	6	6
<b>Corriente de pines entrada y salida</b>	40mA	40mA	40mA
<b>EEPROM</b>	1KByte	1KByte	1Kbyte
<b>SRAM</b>	2.5KByte	2KByte	2Kbyte
<b>Memoria Flash</b>	32KByte	32KByte	32KByte
<b>Velocidad de reloj</b>	16MHz	16MHz	16MHz
<b>Comunicaciones</b>	SPI/I2C/UART	SPI/I2C/UART	SPI/I2C/UART
<b>Dimensiones</b>	32.02 mm x 17.78 mm	30.0 mm x 18.0 mm	18.5 mm × 43.2 mm
<b>Interfaz de programación</b>	Micro USB	Tarjeta FTDI232	Mini USB
<b>Sócalo de batería</b>	No	No	No

**Tabla 20:** Comparación de Tarjetas Atmega Arduino.

El microcontrolador a utilizar es el ATmega32u4, el algoritmo de programación para este microcontrolador está basada en lenguaje C++, de tal manera que se comunica con los periféricos tanto de entradas como de salida. Se seleccionó la tarjeta Arduino ProMicro para llevar a cabo el desarrollo del dispositivo debido a su tamaño y las características que posee este elemento (ver **Tabla 21**).

<b>Características</b>	
<b>Memoria de programa (ROM)</b>	32KB Flash (4kB son ocupados por el bootloader)
<b>Memoria RAM</b>	2.5KByte SRAM
<b>Memoria ROM de datos</b>	1KByte EEPROM
<b>Frecuencia de reloj</b>	16Mhz
<b>Voltaje fuente externa recomendada</b>	7V a 12VDC
<b>Voltaje máximo en cualquier entrada / salida</b>	5.5VDC (o negativo: -0.5 V DC)
<b>Corriente máxima absoluta en cualquier salida</b>	40mA
<b>Corriente máxima total del microcontrolador</b>	200mA (La suma de la corriente de todas las salidas en cualquier momento no debe superar este valor)
<b>Tamaño aprox.</b>	1.78cm x 3.2cm
<b>Pines analógicos</b>	9 pueden actuar como analógicos
<b>Pines digitales</b>	5 como canales PWM

**Tabla 21:** Características técnicas del Arduino ProMicro.

La tarjeta Arduino ProMicro posee diversas maneras de comunicarse con una computadora, Arduino o con otros microcontroladores. El ATmega32u4 proporciona comunicación UART TTL (5V), a través de los pines seriales 0 (Tx) y 1 (Rx). Mediante esta configuración se realizó la comunicación entre la tarjeta Arduino ProMicro con el sensor de oxímetro de pulsos, además se utiliza una segunda tarjeta Arduino ProMicro, la cual contiene la programación necesaria para la comunicación con el módulo de comunicación SIM808, de tal manera que se cumpla con los objetivos planteados para el desarrollo del dispositivo.

### **3.1.2.2. Oxímetro de pulsos cardiacos**

Para conocer la definición del sensor implementado en el proyecto debemos conocer que un oxímetro de pulso es básicamente un dispositivo que puede medir

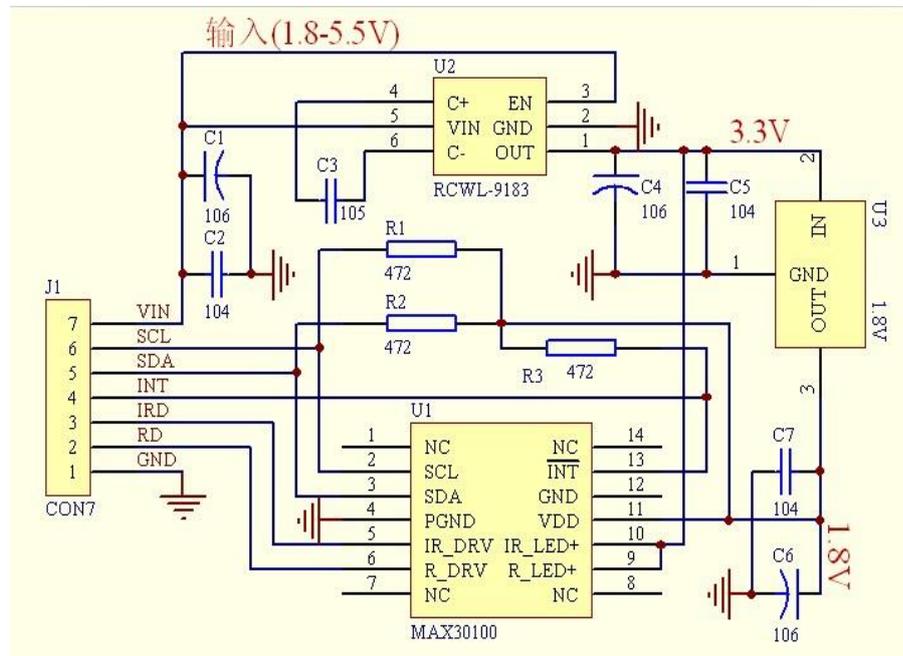
los pulsos cardiacos y la saturación de oxígeno en la sangre. Para la medición de oximetría se requiere un dispositivo que permita el monitoreo en tiempo real que sea compatible con el microcontrolador, para ello se realiza un análisis comparativo con los diversos oxímetros de pulsos cardiacos (ver **Tabla 22**).

<b>Sensor de Pulsioximetría</b>			
<b>Parámetros técnicos</b>	<b>MAX30102</b>	<b>MAX30100</b>	<b>Keyestudio FR-4</b>
			
<b>Accesibilidad</b>	Determinadas zonas geográficas	Determinadas zonas geográficas	Determinadas zonas geográficas
<b>Métodos de adquisición</b>	Oximetría de Pulso	Oximetría de Pulso	Frecuencia de pulso
<b>Dispositivo interno</b>	Maxim Integrate MAX30102	Maxim Integrate MAX30100	FR-4
<b>Dimensiones</b>	12.7 x 12.7mm	23.5 x 19mm	33 x 25mm
<b>Voltaje de Operación</b>	3.1 – 5.25 V	3.1 – 5.25 V	5V
<b>Consumo energético</b>	600microAmperios	600microAmperios	20mA
<b>Temperatura de Operación</b>	-40°C a 85°C	-40°C a 85°C	-30°C a 70°C

**Tabla 22:** Comparación de sensores de oximetría.

El sensor MAX30100 es una solución completa del sistema de sensores de pulsioximetría y ritmo cardíaco diseñada para los exigentes requisitos de los dispositivos portátiles. El MAX30100 proporciona un tamaño de solución total muy pequeño sin sacrificar el rendimiento óptico o eléctrico [38]. Se necesitan componentes externos mínimos de hardware para la integración en un dispositivo portátil. Es totalmente configurable a través de registros de software, y los datos de salida digital se almacenan en un *First-In, First-Out* (FIFO) dentro del dispositivo.

FIFO permite que el MAX30100 se conecte a un microcontrolador en un bus compartido, donde los datos no se leen de forma continua desde los registros del dispositivo (ver **Figura 29**) [38].



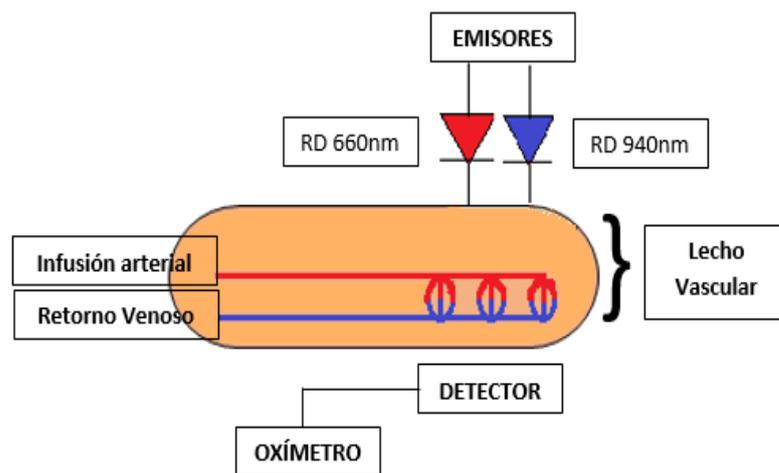
**Figura 29:** Diagrama Esquemático Funcional [38].

Para la adquisición de los datos emitidos por el sensor MAX30100 que consta de dos LED que emiten luz, uno en espectro rojo (650nm) y el otro en infrarrojo (950nm). Una vez que ambos inciden en el tejido delgado, según los niveles de absorción se medirá la cantidad de oxigenación y los bpm, considerando su funcionalidad, para medición de la frecuencia cardíaca se aprovecha los cambios en la absorción de luz asociados con el flujo sanguíneo y la desoxigenación de la hemoglobina. El enfoque más simple, la fotopleletismografía, aprovecha los cambios en la absorción de luz en la piel debido al aumento incremental en el volumen sanguíneo local causado por la breve expansión de los vasos sanguíneos locales a medida que cada latido del corazón empuja la sangre a través de ellos [38].

En contraste, los dispositivos diseñados para ser usados en una muñeca o colocados contra la frente de un paciente dependen de la reflectancia de la luz roja e IR. En estos dispositivos, los LED y el fotodiodo están en el mismo lado del dispositivo para contactar con la piel. Los dispositivos wearables de reflectancia ofrecen más

flexibilidad para el usuario porque pueden colocarse contra cualquier área de piel suficientemente plana. Sin embargo, para el fabricante, este enfoque requiere un posicionamiento cuidadoso de los LED y el fotodiodo entre sí para optimizar la recepción de la luz roja e IR a medida que cada longitud de onda se refleja en el flujo sanguíneo que pasa por debajo de la superficie de la piel [39].

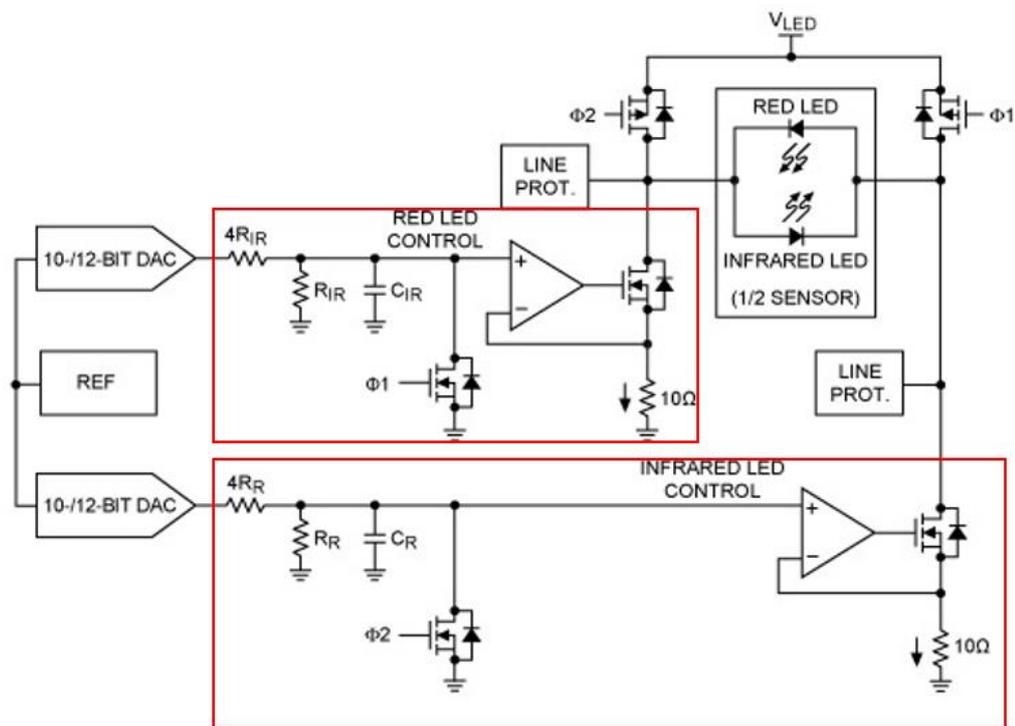
El tejido de nuestro cuerpo absorbe diferentes cantidades de luz dependiendo del nivel de oxigenación de la sangre. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la característica no es lineal, de manera alterna se enciende uno, se toma la medida y luego se apaga. Esto se repite para el otro espectro. Básicamente, ambos no se miden simultáneamente (ver **Figura 30**).



**Figura 30:** Sensor de oxímetro de pulso [38].

### 3.1.2.3. Componentes de la etapa de filtrado del sensor

Para sintetizar el funcionamiento del sistema de filtrado que contiene el sensor de pulsos utilizado para el desarrollo del proyecto se considera que la oximetría de pulso, aprovecha la absorción de luz diferencial que se encuentra en la hemoglobina en sus estados oxigenado y desoxigenado. Un diseño típico de oxímetro de pulso utiliza controladores de corriente separados de bajo ruido para administrar los LED rojos e IR de conducción actuales, cambiando cada uno alternativamente a un ciclo de trabajo y frecuencia específicos de la aplicación (ver **Figura 31**).



**Figura 31:** Convertidor y filtrado de corriente de bajo ruido [39].

Para controlar cada LED, los fabricantes del sensor utilizan subcircuitos de controlador de corriente separados, de los cuales comprenden un *digital to analogue converter* (DAC) para el control de corriente, una etapa de filtro para la reducción de ruido y un amplificador operacional en la configuración de detección. A su vez, la salida de cada subcircuito del controlador de LED se conmuta al LED asociado en la frecuencia y ciclo de trabajo seleccionados [39].

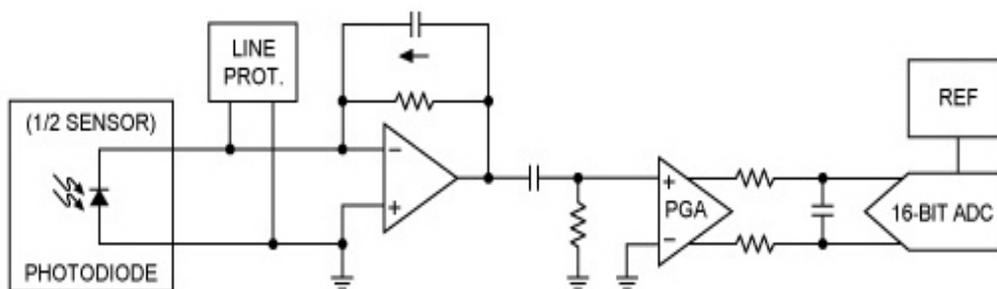
Las variaciones de este diseño general vienen con sus propias compensaciones. Por ejemplo, puede reducir la complejidad usando un solo DAC, pero posiblemente a costa de ruido adicional. Un mayor ruido generado en el lado de salida puede erosionar la *signal-to-noise ratio* (SNR) en el lado de entrada, degradando el rendimiento general. Para este tipo de biosensores como el MAX30100, un ruido más bajo en la señal facilita un tiempo más rápido para informar los resultados. Por lo tanto, un dispositivo con una SNR más alta mejora la experiencia del usuario al acortar el tiempo para informar sobre los signos vitales humanos al tiempo que aumenta la precisión de los resultados [38], la relación señal ruido está dada por la siguiente ecuación (1):

$$SNR = \frac{\text{Potencia de señal}}{\text{Ruido de señal}} \quad (1)$$

### 3.1.2.4. Componentes de la etapa de amplificación del sensor

El oxímetro de pulso mide la luz roja e IR utilizando dos enfoques generales. Un enfoque realiza la medición principalmente en el dominio analógico, utilizando un *analog to digital converter* (ADC) dedicado para cada longitud de onda, o un único ADC de alta resolución sincronizado con los controladores LED para medir los resultados en cada longitud de onda. Alternativamente, puede realizar mediciones principalmente en el dominio digital. Este enfoque simplifica el diseño de hardware, con el compromiso de ser un aumento modesto en la complejidad del software. En el corazón de cualquiera de los enfoques, un *transimpedance amplifier* (TIA) convierte la corriente de salida del fotodiodo en voltaje para su medición por el ADC [39].

Los oxímetros de pulso detectan la luz transmitida o reflejada utilizando un único fotodiodo y una cadena de señal asociada que comprende un amplificador de transimpedancia, un filtro, un *programmable gain amplifier* (PGA) y ADC (ver **Figura 32**) [39].



**Figura 32:** Amplificador de transimpedancia [39].

Para ayudar a maximizar la SNR en este entorno, el TIA en sí necesita exhibir una corriente de entrada y ruido muy bajos. Normalmente se usa un filtro de paso alto para eliminar el componente de fuente ambiental de la señal. Finalmente, un amplificador de ganancia programable está configurado para usar el rango dinámico completo del ADC para una resolución de conversión de señal óptima [39]. Sin embargo, solo necesita agregar algunos componentes externos para implementar un

subsistema de oxímetro de pulso capaz de proporcionar datos de frecuencia cardíaca a un microcontrolador [38], se visualiza el esquema del diseño (ver **Anexo 1**).

Además, con un diseño cuidadoso de la salida de LED y los circuitos de entrada de fotodiodo, los diseños de oxímetro de pulso requieren una colocación mecánica adecuada de los dispositivos LED en relación con el fotodiodo. Sin embargo, los oxímetros de pulso miden la salida de luz utilizando dos configuraciones físicas diferentes [39].

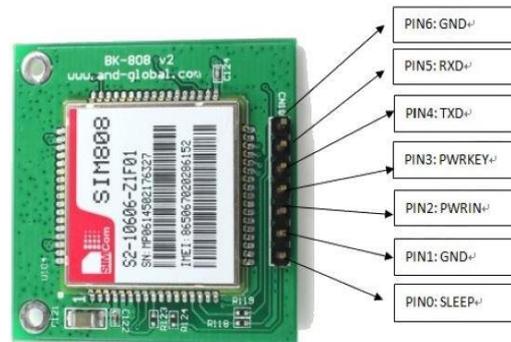
Considerando cada una de las características mencionadas del oxímetro de pulsos cardíacos MAX30100, se concluye en la selección de este dispositivo electrónico debido a que es un dispositivo de bajo consumo de corriente aun estando en funcionamiento, además de contener componentes integrados para el proceso de filtrado y amplificado de la señal, configuraciones que permiten obtener mejor precisión de valores adquiridos por el sensor.

#### **3.1.2.5. Módulo GSM/GPRS/GPS**

El módulo SIM808 es un módulo completo de banda cuádruple GSM/GPRS que combina la tecnología GPS para la navegación por satélite. El diseño compacto integra GPRS y GPS en un paquete *Surface-Mount Technology* (SMT) que ahorra significativamente tiempo y costos de tal manera que los clientes desarrollen aplicaciones habilitadas que permitan rastrear sin dificultades en diferentes ubicaciones y en cualquier instante con cobertura de señal [40].

Es un módulo con dos funciones principales, es compatible con GSM/GPRS de cuatro bandas. Combina la tecnología GPS para obtener la posición en latitud y longitud. Su diseño incorpora un modo de consumo de baja energía y puede conectarse con sistemas de energía a base de baterías de litio. El módulo SIM808 se configura mediante comandos AT y una interfaz de comunicación serial, el SIM808 utilizado en este proyecto puede funcionar con un voltaje de 5V–10V, pero es recomendable utilizarlo con 5V de acuerdo al dato que proporciona el fabricante. Una vez alimentado el módulo, conectando las antenas GSM y GPS además de la tarjeta SIM correctamente, el LED parpadea lentamente, el cual indica que el

módulo está registrado en la red, de esta manera se puede realizar cualquiera de las configuraciones que permite este módulo de comunicación. El SIM808 se encuentra disponible en diversos tamaños, pero por la necesidad del diseño del dispositivo en mención se recurrió a la selección de este modelo de SIM808 (ver **Figura 33**).



**Figura 33:** Modulo Sim808.

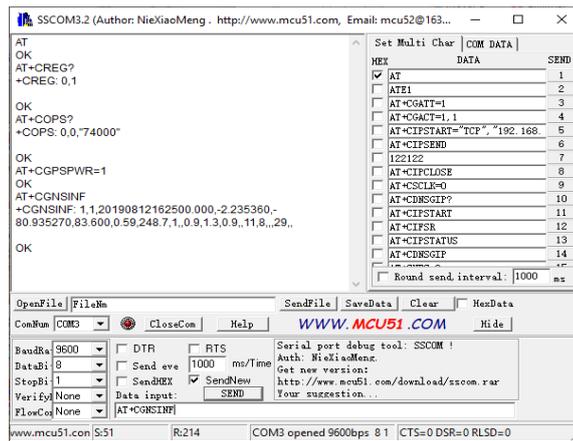
Para ello, se tiene la siguiente las especificaciones sobre los pines del módulo Sim808 (ver **Tabla 23**).

Nombre de Pin	Número de Pin	Marcar en PCB	Descripción	Comentario
<b>SLEEP</b>	0	S	Módulo de control en modo de suspensión	Connect with DTR via R124
<b>GND</b>	1,6	G	GND	
<b>PWRIN</b>	2	V	La fuente de alimentación	5V-10V
<b>PWRKEY</b>	3	K	Power down	En corto con GND vía R104 por defecto
<b>TXD</b>	4	T	Transmitir dato	TTL Series data Output
<b>RXD</b>	5	R	Recibir dato	TTL Series data Input

**Tabla 23:** Datos de Sim808 [40].

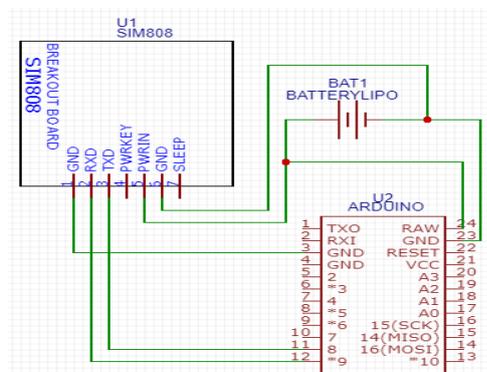
Los comandos AT están diseñados de acuerdo con el documento V.25 del *International Telecommunication Union* (ITU-T), son comandos que se ejecutan directamente en el módulo GSM y son responsables de controlar la interacción entre el módulo GSM y la torre celular, así como algunas funciones del teléfono, como el almacenamiento de números telefónicos, la lectura de SMS y la marcación de números telefónicos para llamadas [41].

Hay un conjunto de comandos AT que son comunes en todos los modelos de tarjetas de comunicación y son requeridos por el estándar GSM. Además, hay algunos comandos AT que son específicos para ciertos módulos. Los comandos AT son muy simples de usar, por ejemplo, para verificar si el dispositivo está registrado en la red, el comando es "+ CREG", se observa la aplicación de los comandos necesitados para el desarrollo del proyecto (ver **Figura 34**).



**Figura 34:** Respuesta de comandos AT en el monitor serial.

Para una correcta conexión con los microcontroladores poseen puntos en común, el módulo Sim808 posee pines Rx, Tx y Gnd, la comunicación entre el módulo y el microcontrolador es a través de los comandos AT, para el proyecto los pines Tx y Rx del puerto serial corresponden a Rx es el pin 8 del Arduino y Tx es el pin 9 del Arduino. La configuración que se la realiza a mediante la librería de Software Serial propia de Arduino, a continuación, en el siguiente grafico se lograra observar su conexión (ver **Figura 35**).



**Figura 35:** Conexión microcontrolador ATmega32u4 y módulo de comunicación Sim808.

Para el desarrollo de la propuesta se realizó a la selección del módulo de comunicación de acuerdo a las características y ventajas que posee (ver **Tabla 24**).

<b>Características</b>	<b>Ventaja</b>
Bandas telefónicas 850/900/1800 / 1900MHz	Permite obtener conexión para trabajar en las frecuencias reguladas en las operadoras del país.
37*37mm de dimensiones	El tamaño reducido.
Consumo de energía bajo	Posee un menor consumo de energía comparado con las otras tarjetas SIM808 que posee el fabricante.
Configuración a través de comandos AT	A través del estándar AT, el microcontrolador realiza la recepción y transmisión de mensajes.
Alimentación de 5 a 10 V.	El módulo contiene un regulador MIC29302 realiza control del voltaje necesario para el funcionamiento del módulo.
Conector IPEX (u.FI) para antenas GPS y GSM/GPRS	Estos conectores permiten facilitar las conexiones de las antenas de forma sencilla.
Compatibilidad con bluetooth 3.0	En caso de requerir utilizar el bluetooth, este módulo permite conectar la antena.
Sistema <i>Global Navigation Satellite System</i> (GNSS), con sensibilidad de -165 dBm y de exactitud < 2.5m	Los satélites permiten obtener posicionamiento y localización en los diversos sitios del globo terrestre.
GPRS velocidad de transmisión de 9.6 kbps	El módulo la velocidad de transmisión, la cual es suficiente para el envío de información a la plataforma.
Protocolo TCP / UDP	El módulo soporta los dos protocolos de comunicación.

**Tabla 24:** Módulo Sim808 con características y ventajas [40].

### **Nombre del Punto de Acceso**

Un *Access Point Name* (APN) es un punto de acceso para la red GPRS, cumple al convenio de *Domain Name System* (DNS), el cual al resolverlo proporciona una dirección IP pública o privada dependiendo el tipo de red externa a la que un APN permita tener acceso. En la telefonía móvil los operadores móviles de cada país proveen el APN para cada usuario encargándose de controlar el tráfico de datos. Actualmente en Ecuador hay tres operadores móviles físicos y un virtual, cada uno contiene una puerta de enlace (ver **Tabla 25**).

MARCA	OPERADOR	BANDAS (MHz)	APN
<b>Movistar</b>	Otecel S.A	GSM 850 / GSM 1900 / UMTS 850 / UMTS 1900 / LTE 1900	Internet.movistar.com.ec
<b>Claro</b>	CONECCEL S.A.	GSM 850 / UMTS 850 / UMTS 1900 / LTE 1700	Internet.claro.com.ec
<b>CNT</b>	Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP)	GSM 850 / UMTS 1900 / LTE 1700	Internet.cnt.net.ec
<b>Tuenti</b>	Otecel S.A.	GSM 850 / GSM 1900 / UMTS 850 / UMTS 1900 / LTE 1900	Internet.tuenti.ec

**Tabla 25:** APN de Operadores móviles en Ecuador.

### Sistema de localización del Sim808 por GNSS

Generalmente al obtener la trama de datos de coordenadas de georreferenciación, algunos de los dispositivos son normados por la *National Marine Electronics Association* (NMEA) aplicando el protocolo NMEA0183, el cual envía 8 diferentes tramas de datos con información específica, inicia con los caracteres de \$GPRMC, de tal forma que permite descomponer los datos de localización necesarios, permitiendo procesar la trama de datos emitida por el módulo a través de comandos AT, se está desperdiciando recursos como la memoria y tiempo del microcontrolador, debido a que el microcontrolador para procesar una información, adquiere los datos de forma serial y de esta manera poder identificar la trama.

Para obtener la ubicación GPS se define los parámetros necesarios que ayudan a cumplir con el objetivo de localización del dispositivo los cuales son longitud y latitud. Por lo cual, se utilizó el protocolo GNSS, debido a que presenta ventajas al momento de obtener los datos de la trama, evitando una conversión de valores debido a que el protocolo NMEA0183 presenta datos en formato grados (ver **Figura 36**).

```
AT+CGNSINF
+CGNSINF: 1,1,20190724203545.000,-2.233900,-80.880543,58.300,0.02,233.2,1,,1.2,2.1,1.7,,6,6,,44,,
OK
```

**Figura 36:** Trama de datos, formato GNSS.

De acuerdo al fabricante cada parámetro contiene una información específica y está separado por una coma, en la siguiente tabla se indican los parámetros con sus características:

#	Valor	Parámetros	Unidad	Rango	Tamaño de vector
1	1	ON-OFF GPS	--	0-1	1
2	1	Estado del arreglo	--	0-1	1
3	20190724 203545000	Fecha y hora en horario UTC	yyyyM Mddhh mmss.ss	yyyy: [1980,2039]MM : [1,12]dd: [1,31]hh: [0,23]mm: [0,59]ss.sss:[0.000, 60.999]	18
4	-2.233.900	Latitud	±dd.ddd ddd	[-90.000000, 90.000000]	10
5	-80.880.543	Longitud	±ddd.dd dddd	[-180.000000, 180.000000]	11
6	58.300	Altura sobre nivel del mar	metros	--	8
7	0.02	Velocidad sobre el suelo	Km/	[0,999.99]	6
8	233.2	Curso sobre el suelo	grados	[0,360.00]	6
9	1	Modo del arreglo	--	0,1,2	1
10	Reservado				0
11	1.2	HDOP	--	[0,99.9]	4
12	2.1	PDOP	--	[0,99.9]	4
13	1.7	VDOP	--	[0,99.9]	4
14	Reservado2				0
15	6	Satélites en Visión GPS	--	[0,99]	2
16	6	Satélites en uso GNSS	--	[0,99]	2
17	0	Satélites en Visión GLONASS	--	[0,99]	2
18	Reservado3				0
19	44	C/N0 max	dBHz	[0,55]	2
20	Reservado4	HPA	Metros	[0,9999.9]	6
21	0	VPA	Metros	[0,9999.9]	6

**Tabla 26:** Trama de datos GPS, parámetros [40]

De esta forma se adquiere la trama de datos del GPS, de tal manera que se procesan en función de los requerimientos necesarios para el desarrollo del proyecto, además, el módulo Sim808 utiliza antenas como son: Antena Slim Tipo Sticker GSM/Celular Quad-Band – 3 dBi y Antena Pasiva GPS uFL – 15mm x 15mm – 1 dBi Ganancia.

### **Antena Slim Tipo Sticker GSM.**

Esta es una antena para celular delgada, con un grosor de tan sólo 1 mm, esta antena GSM es bastante delgada, compacta y sensible, con una ganancia de 3dBi. Tiene un conector uFL diminuto en el extremo, para el módulo SIM808 o cualquier otro dispositivo de RF que utilice las bandas 850/900/1800/1900/2100, o dispositivo móvil GSM/GPRS (ver **Figura 37**) [42]. Además, en la siguiente tabla se indica las características que posee la Antena Slim:

<b>PROPIEDADES ELECTRICAS</b>	
Frecuencia	GSM
Impedancia	50 ohm Nominal
V.S.W.R.	3.0: 1 Max
Pérdida de retorno	-6dB Max
Radiación	Omni-direccional
Ganancia (Pico)	3dBi
Pérdida de cable	2.4dB/m Max
Polarización	Lineal, Vertical
Poder admitido	2W
Conector	Mini Conector
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>	
Material de la antena	FPCB
Tipo de cable	O.D. 1.13mm // 35mm
Temperatura de operación	-10 ~ +60°C
Temperatura de almacenamiento.	-10 ~ +70°C

**Tabla 27:** Características técnicas y de funcionamiento de la antena GSM [42].



**Figura 37:** Antena GSM.

### Antena Pasiva GPS.

Esta es una antena pasiva de solo 15mm x 15mm x 6.8mm, con un cable de 50mm de largo uFL, con una ganancia aproximadamente de 1dBi [43] (ver **Figura 38**).



**Figura 38:** Antena GPS.

### Tarjeta SIM

Para el cumplimiento del desarrollo del proyecto y el correcto funcionamiento del módulo SIM808, es necesario el uso de la tarjeta *Subscriber Identity Module* (SIM), debido a que la tecnología móvil o red GSM/GPRS, la cual necesita de una tarjeta SIM y de la correcta conexión con la operadora. Es elaborada con material plástico y de diversos tamaños, posee un chip de núcleo, la cual incluye la información del registro del operador inalámbrico, brinda servicios de datos, SMS, voz, video o MMS al usuario, actualmente existen diversos tamaños de tarjetas sim como se puede observar algunas características (ver **Tabla 28**).

Tarjeta SIM	Largo	Ancho	Grosor	Estándar
NormalSIM	85,60	53,98	0,76	ISO/IEC 7810:2003, ID-1
MiniSIM	25,00	15,00	0,76	ISO/IEC 7810:2003, ID-000
MicroSIM	15,00	12,00	0,76	ETSI TS 102 221 V9.0.0, Mini-UICC
NanoSIM	12,30	8,80	0,67	ETSI TS 102 221 V11.0.0

**Tabla 28:** Tamaños de tarjeta SIM.

El módulo de comunicación SIM808 utilizado para el desarrollo de la propuesta, requiere de la MicroSIM debido al tamaño dado por el fabricante. Además, se seleccionó este tipo de módulos de comunicación de acuerdo al tamaño que posee y el consumo de corriente, características que permite el cumplimiento de uno de los objetivos del proyecto planteado

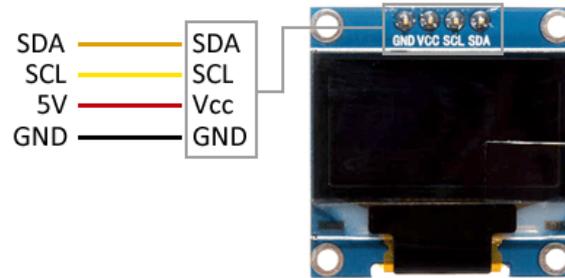
### 3.1.2.6. Pantalla

Para la visualización de la información de los pulsos cardiacos se recurre al uso de pantallas *Organic Light-Emitting Diode* (OLED), debido que es un tipo de LED elaborado de un compuesto orgánico, este emite una luz al recibir una descarga eléctrica, está compuesta por cientos de diodos que permiten mostrar textos o imágenes monocromáticas. Además, incorporan un chip SSD1306 o SSD1780, el cual puede programarse fácilmente utilizando un microcontrolador, su consumo de energía es bajo (normalmente 15 mA- 3.3V) [44].

El SSD1306 es un controlador *Complimentary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) que tiene la funcionalidad de controlar la visualización gráfica del panel OLED tipo cátodo común, con una matriz de puntos de diodos emisores de luz orgánicos/polímeros. El SSD1306 es sistema embebido que controla el contraste, la *Random Access Memory* (RAM) de la pantalla y el oscilador, lo que reduce la cantidad de componentes externos y el consumo de energía. Tiene un control de brillo de 256 pasos (ver **Figura 39**). Los datos o comandos se envían desde la tarjeta Atmega ProMicro a través de la interfaz paralela compatible con la serie 6800/8000 que contiene ocho pines de datos seleccionables para el protocolo I2C. La pantalla OLED posee las siguientes características [44]:

- Panel de matriz de puntos de 128 x 64.
- Fuente de alimentación o VDD = 1.65V a 3.3V para lógica IC o VCC = 7V a 15V para manejo de panel.
- Para visualización matricial el voltaje de salida máximo de conducción OLED es a 15V, con una fuente de corriente máxima por segmento de 100uA y para el control de brillo una variación de corriente de 15mA.
- Búfer de pantalla SRAM de 128 x 64 bits incorporado.

- Amplio rango de temperatura de funcionamiento:  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$



**Figura 39:** Pantalla OLED – Arduino.

De acuerdo a las características analizadas como el tamaño, consumo de corriente bajo entre otras características que presenta se seleccionó este tipo de pantalla para realizar la visualización de los valores de pulsaciones cardiacas de la persona.

### 3.1.2.7. Sistema de alimentación

Los tipos de baterías a considerar se indican en la siguiente Tabla con algunas de sus características:

<b>Tipos</b>	<b>Característica</b>
<b>Baterías alcalinas</b>	Usan hidróxido de electrolito, zinc y dióxido de magnesio que originan una reacción química para producir energía. Estas baterías son estables pero poseen vida útil corta.
<b>Baterías de ácido-plomo</b>	Estas baterías son recargables debido a que poseen dos electrodos de plomo, comúnmente se las utilizan en vehículos y motocicletas.
<b>Baterías de níquel</b>	Este tipo de baterías son de bajo costo, pero pésimo rendimiento. Existe una clasificación de baterías de níquel: Níquel hierro, cadmio, hidruro.
<b>Baterías de iones de litio (Li-ON)</b>	Son más utilizadas en la electrónica por su tamaño reducido por ejemplo: dispositivos electrónicos móviles, etc.
<b>Baterías de polímero de litio (LiPo)</b>	Este tipo de baterías presenta una mejor densidad de energía y mejor tasa de descarga.

**Tabla 29:** Tipos y características de baterías [45].

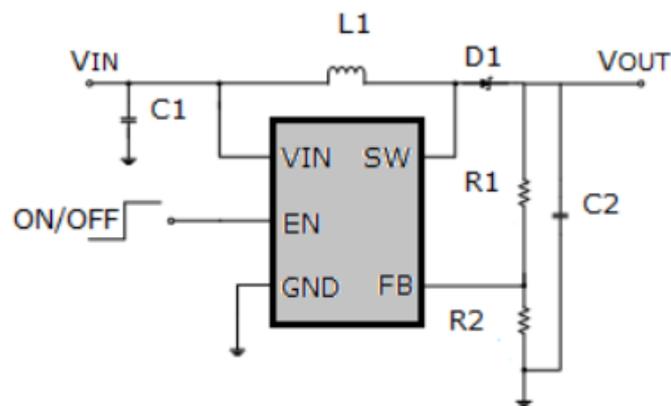
Para el sistema de alimentación del proyecto se selecciona el uso de una batería de litio (LiPo) de 3.7V recargable, por su potencia y tamaño.

## Modulo amplificador de voltaje

El módulo amplificador de voltaje Step Up MT3608, es un regulador de tipo conmutado elevador DC-DC, con una frecuencia constante destinado a aplicaciones pequeñas de baja potencia. El arranque suave interno produce una pequeña corriente de entrada y prolonga la vida útil de la batería, además presenta un cambio automático al modo de modulación de frecuencia de pulso con cargas ligeras. El MT3608 incluye bloqueo por bajo voltaje, limitación de corriente y protección contra sobrecarga térmica para evitar daños en caso de sobrecarga de salida [46].

Las principales características son:

- Voltaje de entrada: 2V a 24V DC
- Voltaje de salida: 5V a 28V DC
- V. Salida ajustable (Regulable por trimmer)
- Corriente de salida: máx. 2A (usar disipador para corrientes mayores a 1.2A)
- Potencia de salida: 6W
- Eficiencia de conversión: 93% máx.
- Frecuencia de Trabajo: 1.2MHz



**Figura 40:** Circuito elevador de voltaje DC - DC [46].

## Configuración del voltaje de salida

De acuerdo al fabricante de este elevador de voltaje DC-DC, la referencia interna VREF es 0.6V (Típico). El voltaje de salida se divide por un divisor de resistencia, R1 y R2 al pin 5, donde el voltaje de salida viene dado por la ecuación (2) [46]:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (2)$$

Los valores recomendados del inductor son de 4.7 a 22microHenris. El tamaño pequeño y la mejor eficiencia son las principales preocupaciones para los dispositivos portátiles, como el MT3608 utilizado para teléfonos móviles. El inductor debe tener baja pérdida de núcleo a 1.2MHz para una mejor eficiencia. Para evitar la saturación del inductor, se debe considerar la clasificación de corriente [46].

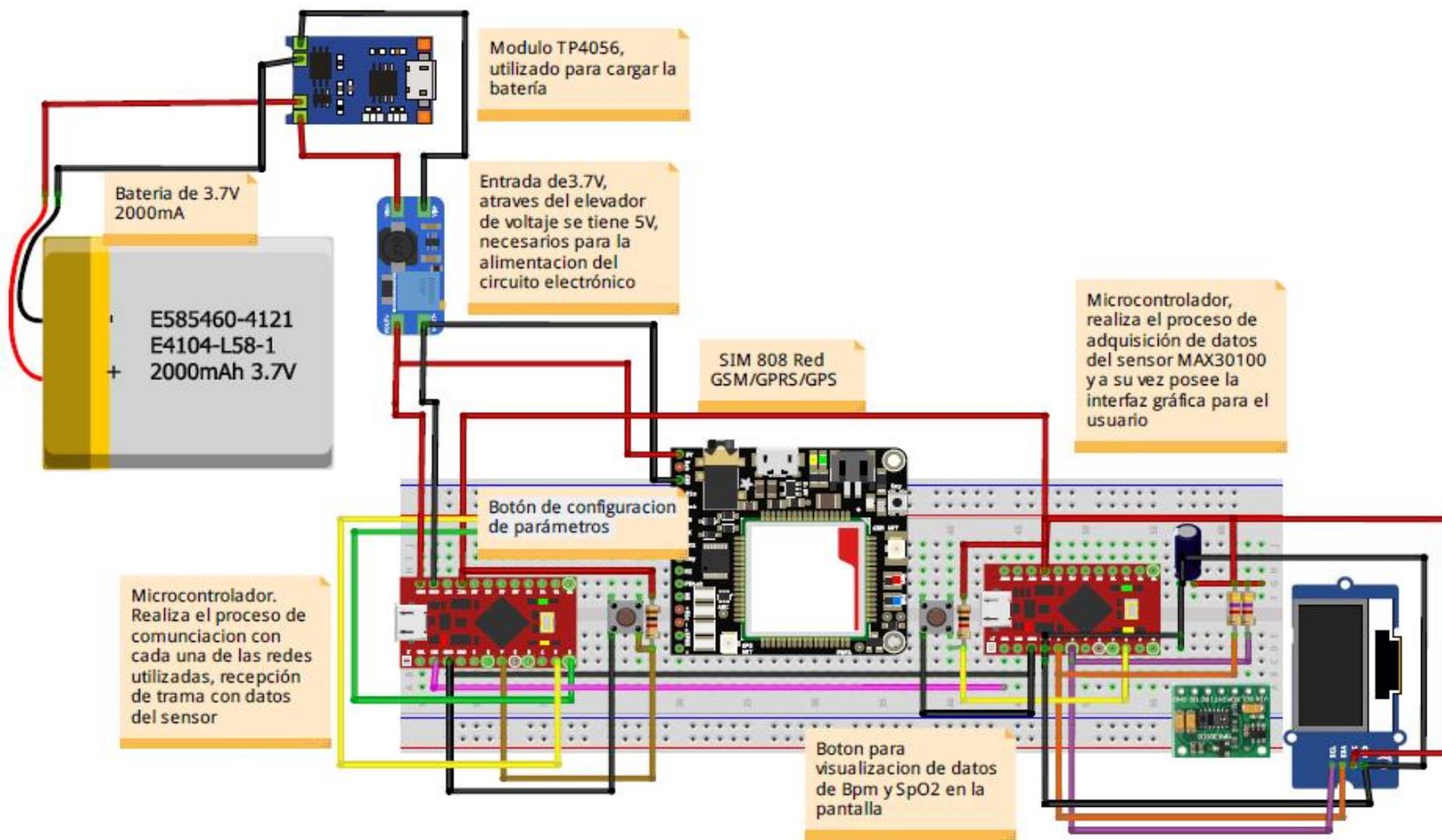
Se recomiendan condensadores cerámicos de entrada y salida de 22microfaradio para aplicaciones MT3608. Para un mejor filtrado de voltaje, se recomiendan condensadores cerámicos con baja resistencia. Los tipos de condensadores X5R y X7R son adecuados debido a sus amplios rangos de voltaje y temperatura [46].

El diodo Schottky es una opción para MT3608 debido a su baja caída de voltaje directo y su rápida recuperación inversa, con su uso se obtiene una mejor eficiencia. La rectificación de alta velocidad también es una buena característica del diodo Schottky para alta frecuencia de conmutación.

### **3.2. Diseño del proyecto.**

Una vez seleccionado los componentes electrónicos que han sido utilizados para el desarrollo del dispositivo detector de pulsos cardiacos, los cuales facilitaron con el cumplimiento de los requerimientos del proyecto. El diseño del proyecto se fundamenta por los procesos realizados para su desarrollo, se plantea la utilización de dos microcontroladores ATmega32u4, el primero establece la conexión para el sistema de adquisición de datos que consiste entre el microcontrolador ATmega32u4, sensor y pantalla para visualización de información de datos emitidos por el sensor, además la conexión del segundo microcontrolador ATmega32u4 y módulo de comunicación, constituyendo el sistema de comunicación (ver **Figura 41**).

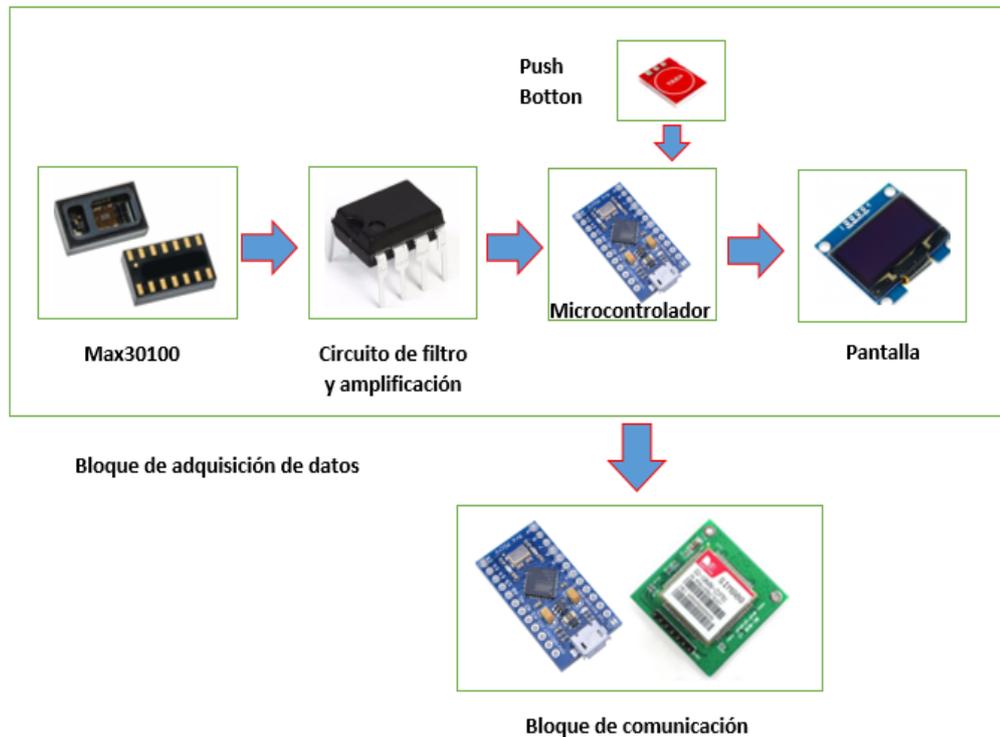
Además, en esta sección se establece el desarrollo del algoritmo del sistema, diseños esquemáticos entre otros temas que están detallados en esta sección.



**Figura 41:** Diseño del circuito electrónico del proyecto.

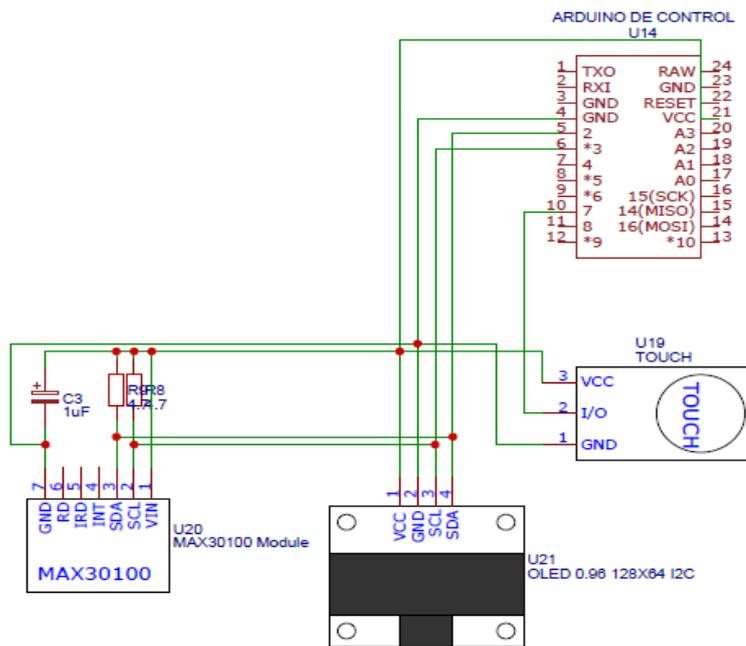
### 3.2.1. Conexión de microcontrolador, sensor y pantalla.

Para comprender el funcionamiento entre el sensor y el microcontrolador se tiene el siguiente diagrama en conjunto con la conexión física de los elementos utilizando protocolo de comunicación I2C (ver **Figura 42**).



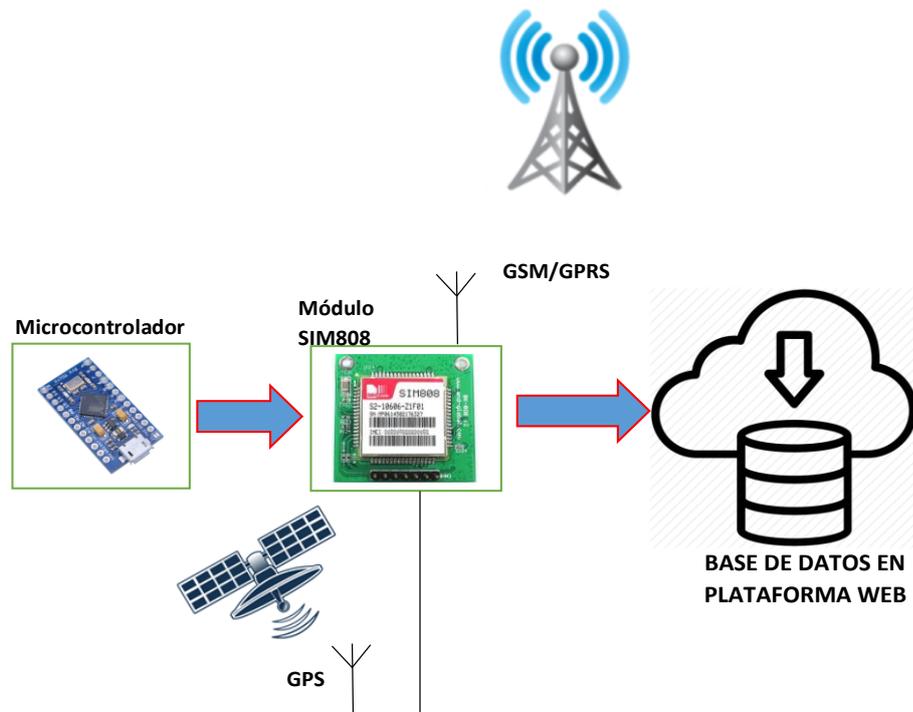
**Figura 42:** Diagrama de bloques del sistema de adquisición de datos.

La adquisición de datos se realiza de forma constante mediante las librerías propias del MAX30100, a través del algoritmo de la librería que contiene los parámetros de los filtros y los amplificadores, de tal manera se puede obtener el dato del sensor y este sea procesado por el microcontrolador ATmega32u4 que contiene el algoritmo de programación necesario para el sistema (ver **Figura 43**), adicionalmente se realice el envío de la trama de datos al microcontrolador que contiene el sistema de comunicación y alerta.



**Figura 43:** Conexión entre el sensor MAX30100, el microcontrolador ATmega32u4, la Pantalla OLED y el Push botón.

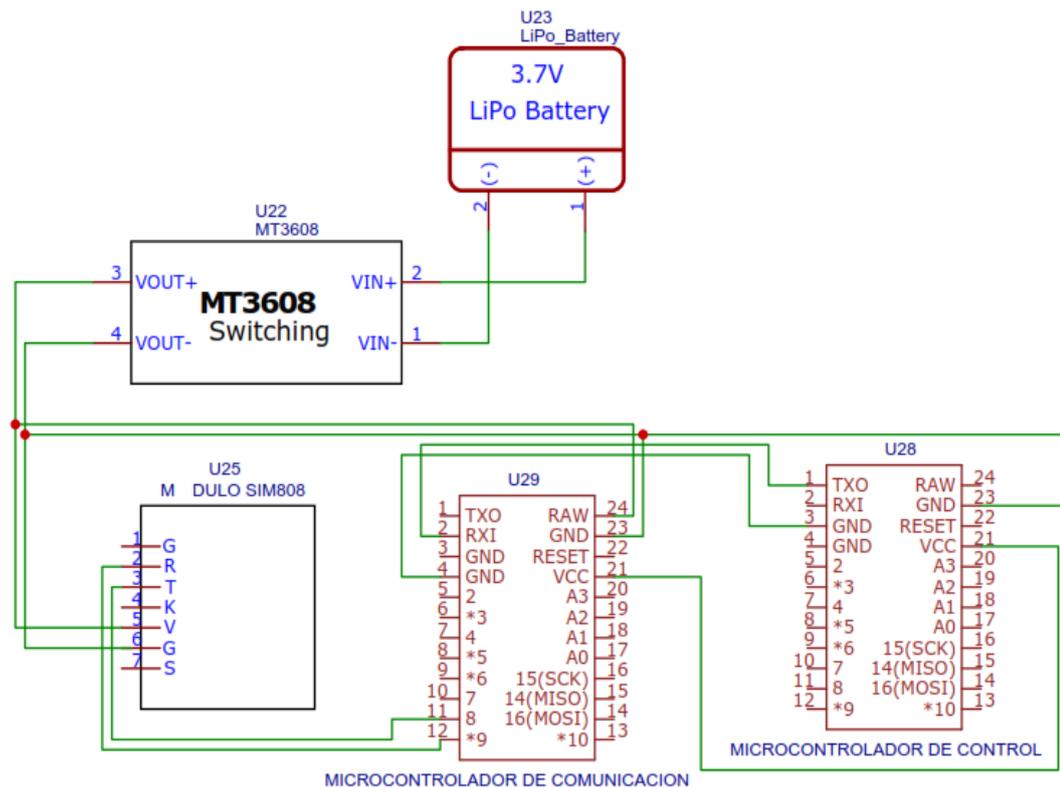
### 3.2.2. Conexión de microcontrolador y módulo de comunicación SIM808.



**Figura 44:** Diagrama de bloques del sistema de comunicación.

Una vez receptada la trama de datos del sensor en el segundo microcontrolador ATmega32u4 que contiene el algoritmo de comunicación y ejecuta el sistema de alerta en caso de ser requerida, posterior aquello se realiza la asignación de datos en las variables para realizar el envío a la plataforma IoT.

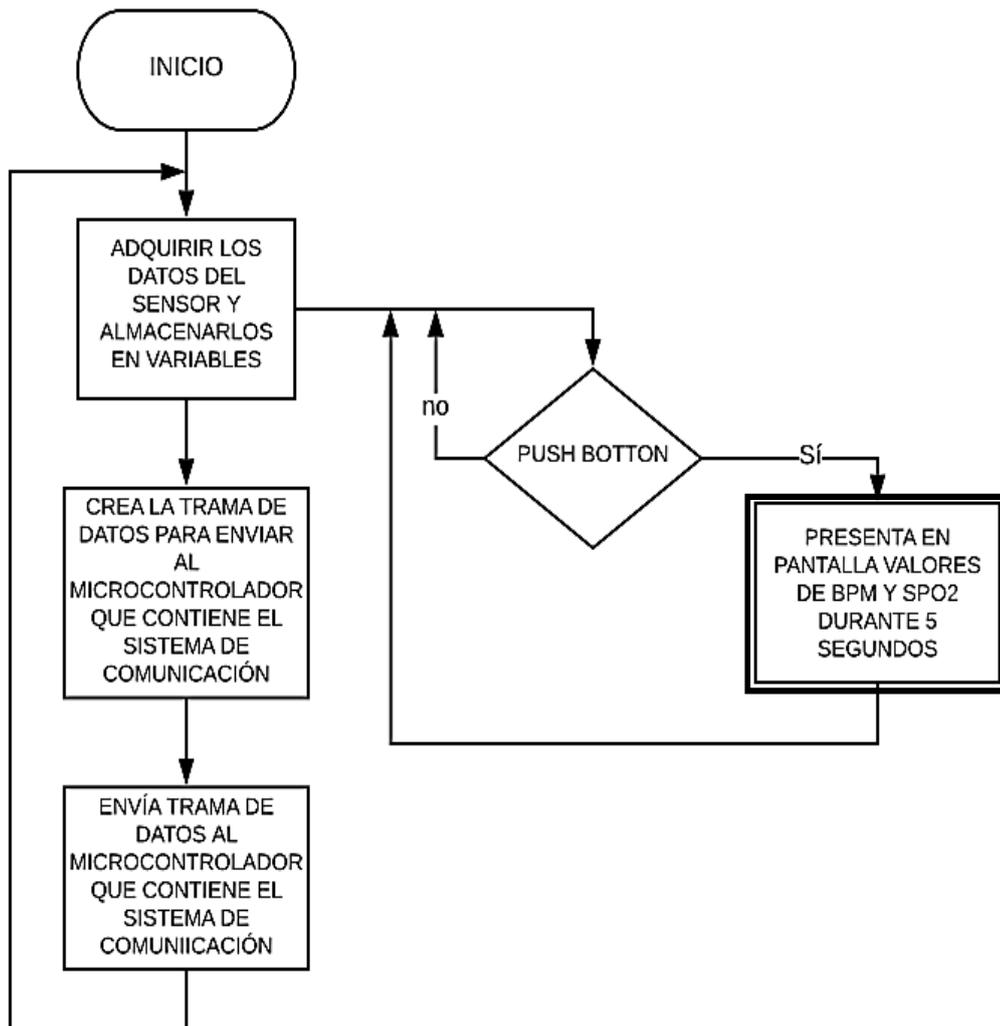
Para la conexión entre el sistema de adquisición de datos y el sistema de comunicación, considerando los puertos de comunicación para la transmisión/recepción de datos predeterminados, son los pines ocho y nueve entre el módulo SIM808 y el segundo microcontrolador ATmega32u4, mientras que los puertos de comunicación para realizar el envío de la trama de datos recibidos por el sensor, son los puertos de transmisión/recepción por defecto del microcontrolador (ver **Figura 45**).



**Figura 45:** Conexión entre microcontrolador ATmega32u4 que contiene el algoritmo para el sistema de adquisición de datos con el segundo microcontrolador ATmega32u4 que contiene el sistema de comunicación.

### 3.2.3. Algoritmos del sistema

Para comprender el funcionamiento del dispositivo se detallan en los diagramas de flujo, que contienen y explican de forma general los procesos inmersos para el cumplimiento de los objetivos de la propuesta tecnológica (ver **Figura 46** y **Figura 47**).



**Figura 46:** Diagrama de flujo del sistema de adquisición de datos.

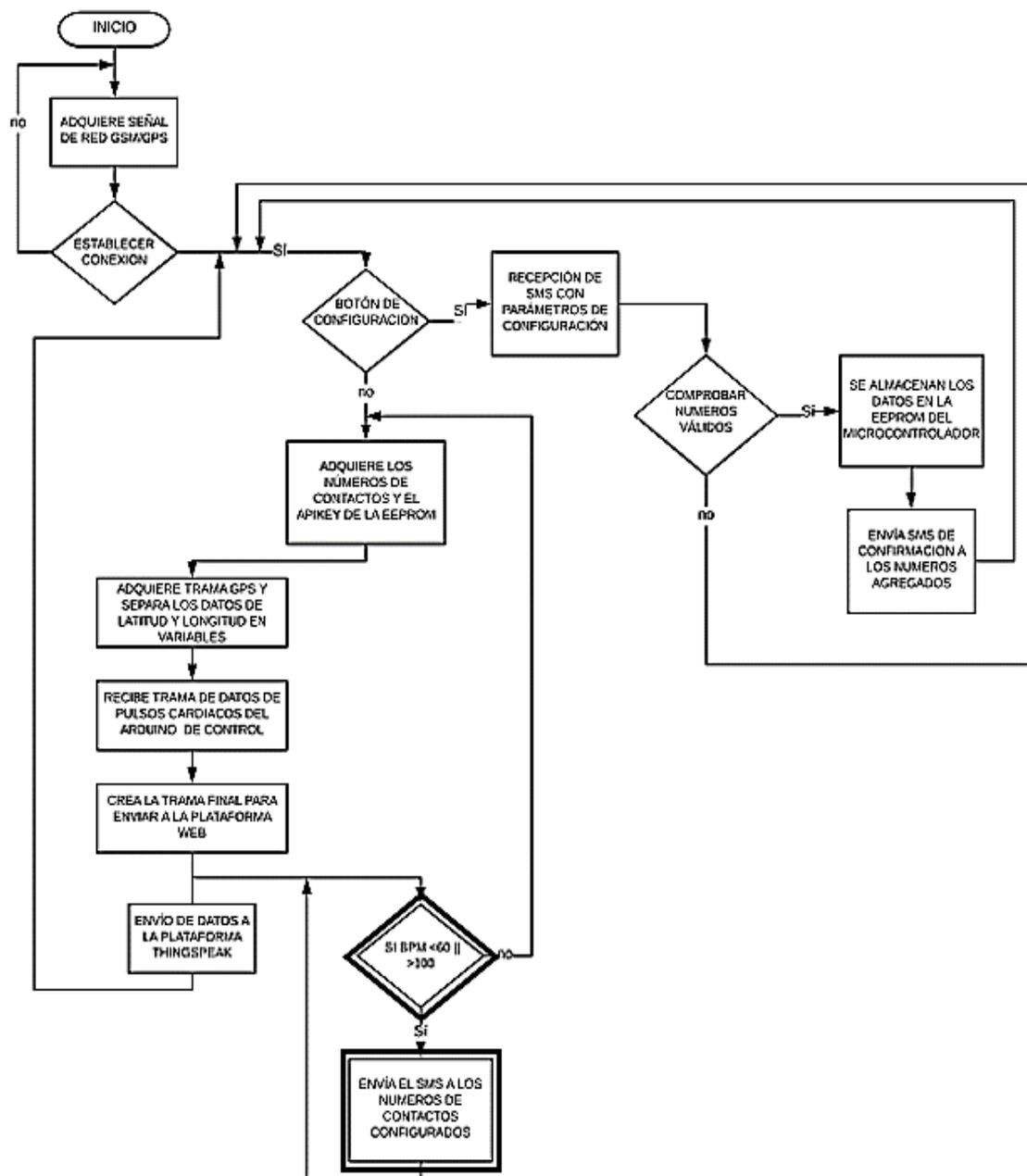


Figura 47: Diagrama de flujo del sistema de comunicación.

### 3.2.4. Diseño Esquemático

En el siguiente esquema circuital se indica las conexiones entre los dispositivos:

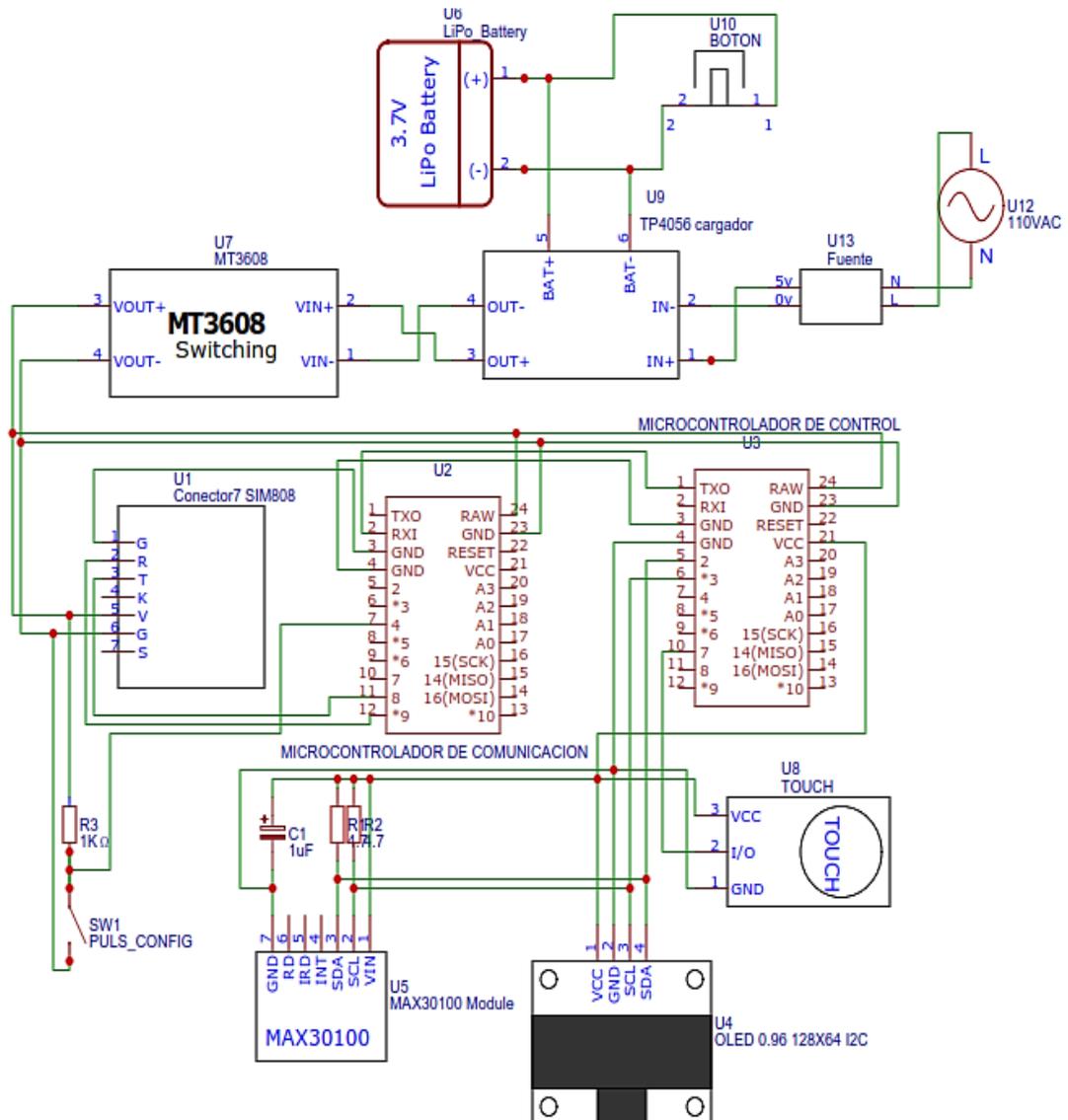
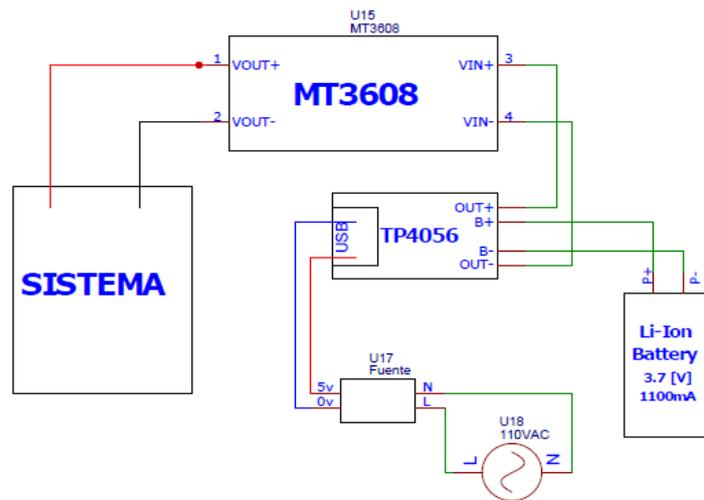


Figura 48: Diseño esquemático del dispositivo realizado en EasyEDA.

### 3.2.5. Sistema de alimentación y carga del dispositivo del proyecto

El sistema de carga está compuesto con el elevador de tensión, el cual aumentara el voltaje, debido al voltaje mínimo para el funcionamiento del módulo SIM808 que es de 5 a 10V. Además, esta fuente de voltaje también alimenta a los demás componentes electrónicos, considerando que la batería con la que estamos alimentando el circuito proporciona 3.7V – 1800mA por ello la utilidad de un elevador de voltaje (ver Figura 49).



**Figura 49:** Sistema de carga de batería que alimenta el sistema.

Para cargar la batería se utiliza el módulo TP4650, es un cargador lineal completo de corriente constante y voltaje constante para baterías de iones de litio de celda única. Su paquete de componentes electrónicos externos hace que el TP4056 sea ideal para aplicaciones portátiles. Además, puede funcionar con USB y adaptador de pared. No se requiere diodo de bloqueo debido a la arquitectura interna de PMOSFET y tiene un circuito de corriente de carga negativo [47].

La retroalimentación térmica regula la corriente de carga para limitar la temperatura determinada durante la operación de alta potencia o altas temperaturas. El voltaje de carga se fija en 4.2V y la corriente de carga se puede programar externamente con una sola resistencia. El TP4056 finaliza automáticamente el ciclo de carga cuando la corriente de carga cae a un décimo del valor programado después de alcanzar el voltaje de flotación final. Además, posee otras características como: monitor de corriente, bloqueo por bajo voltaje, recarga automática y dos pines de estado para indicar la terminación de la carga y la presencia de un voltaje de entrada [47].

### 3.2.6. Parámetros de configuración del dispositivo

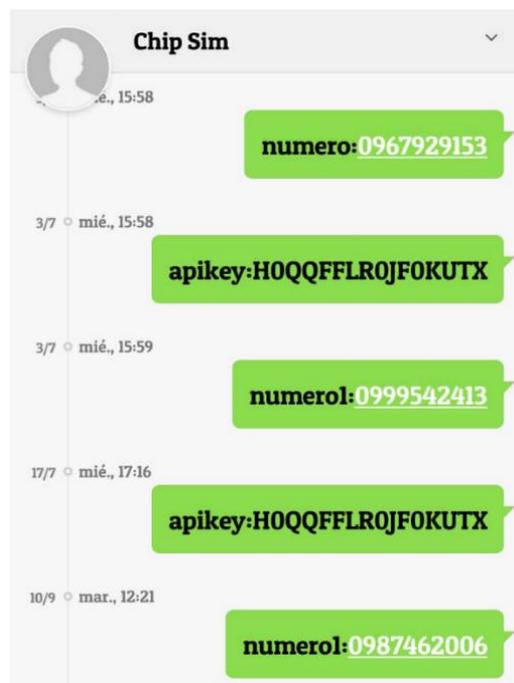
Como se ha detallado en las secciones anteriores a los diversos dispositivos electrónicos que se utiliza en el desarrollo de la propuesta, se deben configurar con

diferentes condiciones iniciales, las cuales fueron necesarias para el cumplimiento de los objetivos.

### Configuración de parámetros de comunicación:

Se debe configurar el Apikey emitido por la plataforma de IoT cuando se accede a crear una cuenta de usuario, de tal forma que este código es utilizado para recepción de datos.

Para la configuración de los números de contacto establecidos se debe pulsador el botón y este ingresará en modo “configuración”, durante un tiempo de 30seg, mediante el envío de SMS al número telefónico de la SIM que se esté utilizando en el módulo de comunicación SIM808 (ver **Tabla 30**, **Figura 50**):



**Figura 50:** Configuración de parámetros a través de mensajes de textos.

<b>numero: #</b>	Establece el primero número del contacto.
<b>apikey: #</b>	Establece el número de Apikey del usuario.
<b>numero1: #</b>	Establece el segundo número del contacto.

**Tabla 30:** Parámetros configurados en el dispositivo.

## Almacenamiento

La información ingresada mediante mensajes de textos se guarda en la memoria EEPROM del microcontrolador principal, con la ayuda de la librería propia de la plataforma Arduino donde se realizó el algoritmo de comunicación, la cual se establece a través de las siguientes líneas de código:

```
for (int i = 0; i <= 10; i++) {EEPROM.write(i, num[i]);}

for (int i = 11; i <= 27; i++) {EEPROM.write(i, apk[i-11]);}

for (int i = 28; i <= 38; i++) {EEPROM.write(i, num1[i-28]);}
```

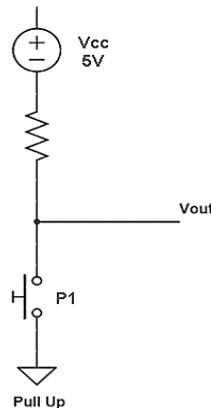
De esta forma al momento de encender el dispositivo si contiene la información almacenada en la memoria, no habría necesidad de volver a configurar dicha información, en caso de querer cambiar uno de los datos, se recurre al botón de configuración. Para la adquisición de los parámetros almacenados en la EEPROM se realiza mediante las siguientes líneas de código de programación:

```
for (int i = 0; i <= 10; i++) {num[i] = EEPROM.read(i);}

for (int i = 11; i <= 27; i++) {apk[i-11] = EEPROM.read(i);}

for (int i = 0; i <= 28; i++) {num1[i-28] = EEPROM.read(i);}
```

El dispositivo cuenta con el botón de configuración de contactos, por lo que se utiliza la resistencia Pull Up, de tal forma no se presente rebotes (ver **Figura 51**).



**Figura 51:** Resistencia Pull Up.

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Comparación de valores adquiridos del proyecto desarrollado versus tensiómetro digital.

Para obtener los resultados se ha tomado muestras con el dispositivo implementado y un tensiómetro digital “Scian” (ver **Tabla 31**). Para este proceso se ha utilizado fórmulas de la teoría del cálculo de errores, tomado de Conceptos Básicos Cálculo de Errores [48], para determinar la funcionabilidad y el beneficio del prototipo en comparación a productos del mercado como lo es el tensiómetro digital, estableciendo su error absoluto y relativo aplicando las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.

Bpm		Error	
Valores tomados con el dispositivo (bpm)	Valores tomados con tensiómetro (bpm)	Error Absoluto (bpm)	Error Relativo (%)
84	81	3	3,704
57	55	2	3,636
82	80	2	2,500
87	85	2	2,353
85	83	2	2,410
73	71	2	2,817
94	94	0	0,000
81	81	0	0,000
83	82	1	1,220
71	71	0	0,000
85	84	1	1,190
84	84	0	0,000
76	75	1	1,333
79	79	0	0,000
82	81	1	1,235
86	85	1	1,176
		<b>Ea Promedio</b>	<b>Er Promedio</b>
		1,1%	1,5%

**Tabla 31:** Valores de bpm tomados con el dispositivo desarrollado comparado con un tensiómetro digital “Scian”.

$$Ea = |Vr - Vp| \quad (3)$$

$$Er = \left| \frac{Ea}{Vr} \right| * 100\% \quad (4)$$

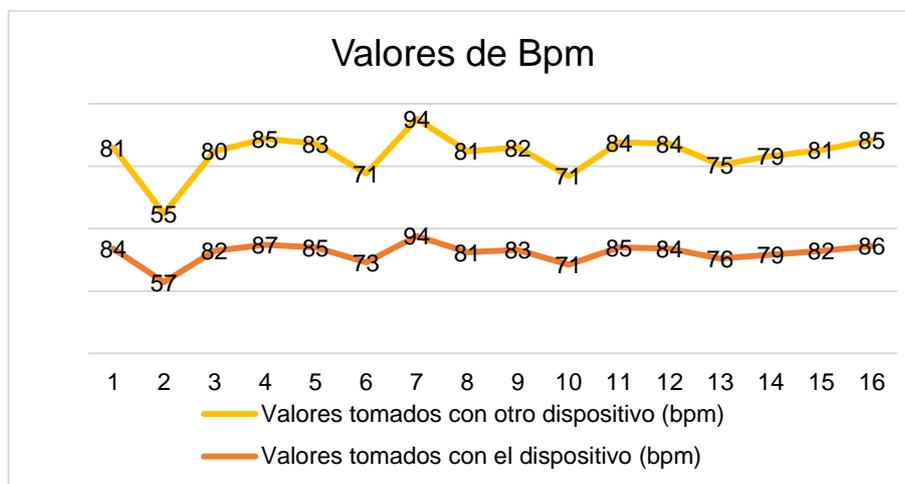
Donde:

**Ea:** Error absoluto

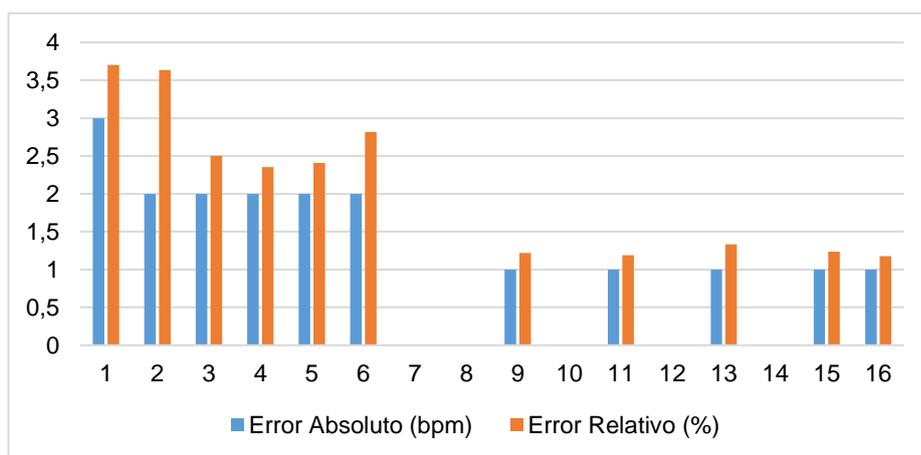
**Er:** Error relativo

**Vr:** Valor medido con un dispositivo comercial.

**Vp:** Valor medido con el dispositivo desarrollado.



**Figura 52:** Valores de bpm tomados con el dispositivo desarrollado comparados con un tensiómetro digital “Scian”

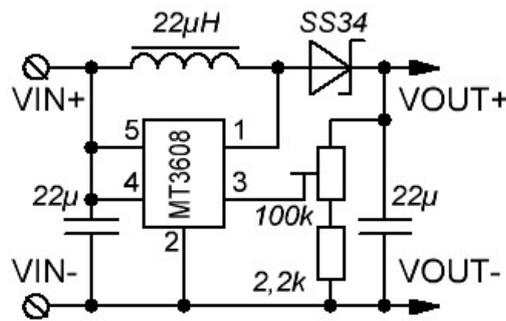


**Figura 53:** Cálculo de error de valores de bpm tomados entre el dispositivo desarrollado comparado con un tensiómetro digital “Scian”.

Para los datos de bpm, después del análisis de los valores obtenidos en varias pruebas cada 80 segundos, se determinó que los datos son similares a los resultados de tensiómetro digital “Scian”, por lo que el prototipo tiene un 98.5% de confiabilidad, estableciendo un error absoluto promedio de 1,1%.

### 3.3.2. Voltaje de alimentación regulado

El voltaje de ruptura inversa del diodo debe ser mayor que el voltaje de salida. Para obtener una salida de voltaje de 5V, el cual es el necesario para la alimentación del módulo de comunicación y el resto del circuito electrónico, de acuerdo al diseño del fabricante del amplificador de voltaje se debe regular el valor de R2, considerando que este es una resistencia variable, mediante la ecuación (2) se realiza el análisis, donde se tiene (ver **Figura 54**).



**Figura 54:** Valores de componentes del circuito integrado.

Datos:

$$V_{OUT} = 5V$$

$$V_{ref} = 3.7V$$

$$R_1 = 100K\Omega$$

$$R_2 = 2.2K\Omega$$

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

$$\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 = \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{R_1}{\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1}$$

$$R_2 = \frac{2.2k\Omega}{\frac{5V}{3.7V} - 1}$$

$$R_2 = 6.26 K\Omega$$

Para determinar el porcentaje en el que debe estar la resistencia, mediante una regla de tres obtener el valor del porcentaje de la resistencia variable.

$$\frac{100 \text{ KOhm}}{100\%} = \frac{6.26 \text{ KOhm}}{x\%} \qquad x\% = \frac{100 \% * 6.26 \text{ KOhm}}{100 \text{ KOhm}}$$

$$x\% = 6.26\%$$

### 3.3.3. Consumo de energía

Como se ha mencionado a lo largo del desarrollo del dispositivo detector de pulsos cardiacos, alertas y envío a una plataforma web IoT, el dispositivo esta alimentado con una batería LiPo que suministra un voltaje de 3.7V - 4.2V cuando posee una carga completa, con un amperaje de 1800mA. Por lo cual el dispositivo consume un corriente menor a la suministrada y de esta manera se provee el tiempo de uso del dispositivo.

De acuerdo al análisis de consumo de corriente, considerando que uno de los requerimientos fundamentales del sistema se debe a que los elementos utilizados en el desarrollo del proyecto deben ser de bajo consumo, se obtiene el consumo de corriente de los elementos seleccionados (ver **Tabla 32**).

Elementos	Consumo de corriente [mA]
<b>Microcontroladores</b>	80 mA
<b>Sensor de pulsos cardiacos</b>	60microA
<b>Pantalla OLED</b>	15mA
<b>Sensor touch</b>	5mA
<b>SIM808</b>	100mA
<b>Demás componentes utilizados</b>	15mA
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>215.06 mA</b>

**Tabla 32:** Consumo de corriente de los elementos electrónicos seleccionados para el desarrollo del dispositivo en funcionamiento.

Utilizando el multímetro se obtiene el consumo de corriente del dispositivo de 180mA (ver **Anexo 4**), además, se realizaron mediciones cuando se tiende a presionar pulsador y visualizar los valores de bpm en pantalla, para ello el consumo de corriente medido a través del multímetro es de 200mA es decir el consumo de la

pantalla por cinco segundos es de 20mA., tomando en consideración que el sensor y el módulo de comunicación están en funcionamiento constantemente. De esta manera se realiza los siguientes cálculos de la ecuación (5) para determinar el tiempo de duración de la batería.

$$t = \frac{\text{carga de la batería}}{I_{\text{consumida}}} \quad (5)$$

$$t = \frac{1800\text{mAh}}{200\text{mA}} \approx 9 \text{ HORAS DE FUNCIONAMIENTO}$$

De acuerdo a los cálculos realizados se determina que el dispositivo tiene aproximadamente nueve horas de funcionalidad.

### 3.3.4. Mensajes de alertas

De acuerdo al desarrollo del proyecto uno de los objetivos planteados hace referencia a un sistema de alertas que se emiten a través de mensajes de texto a dos números registrados en el dispositivo, cuando el valor de bpm varia fuera del rango nominal, los cuales están entre 60 y 100bpm.

El mensaje de alerta contiene el valor de bpm, SpO2 y un *Uniform Resource Locator* (URL) que contiene la ubicación de la persona de tal manera que al abrir el link se obtenga la dirección exacta a través de Google Maps, con el propósito que la persona tenga asistencia médica con mayor rapidez (ver **Figura 55** y **Figura 56**).



**Figura 55:** Mensaje de alerta con cada uno de los parámetros establecidos.



**Figura 56:** Visualización de ubicación de la persona en Google Maps.

### 3.3.5. Pruebas de envío de datos a la plataforma IoT

Como se ha considerado los datos emitidos por el sensor de pulsos cardiacos son enviados a una plataforma de servicios de análisis IoT, son almacenamiento en un canal privado para poder visualizarlos y en casos recurrentes analizarlos. Las pruebas de envío se han ejecutado a medida que se ha desarrollado la propuesta con un resultado exitoso. Se puede constatar a través de una imagen que contiene el envío de datos a través del puerto serial en la plataforma Arduino, además de la información adquirida en tiempo real en la plataforma ThingSpeak. (ver **Figura 57** y **Figura 58**).

```

75,*,94
Esperando datos validos...
Envio Thingspeak
AT+CREG?
+CREG: 0,1
AT+CGATT=1
OK
AT+CSTT="internet.movistar.com.ec"
OK
AT+CIICR
OK
A
AT+CIPSTART="TCP","api.thingspeak.com", "80"
OK

CONNECT OK

AT+CIPSEND
> GET /update?api_key=H0QQFFLR0JF0KUTX&field1=-2.208452&field2=-80.962685&field3=75&field4=94
GET /update?api_key=H0QQFFLR0JF0KUTX&field1=-2.208452&field2=-80.962685&field3=75&field4=94
□

SEND OK
490

```

**Figura 57:** Monitoreo de envío de datos a través del puerto Serial

```

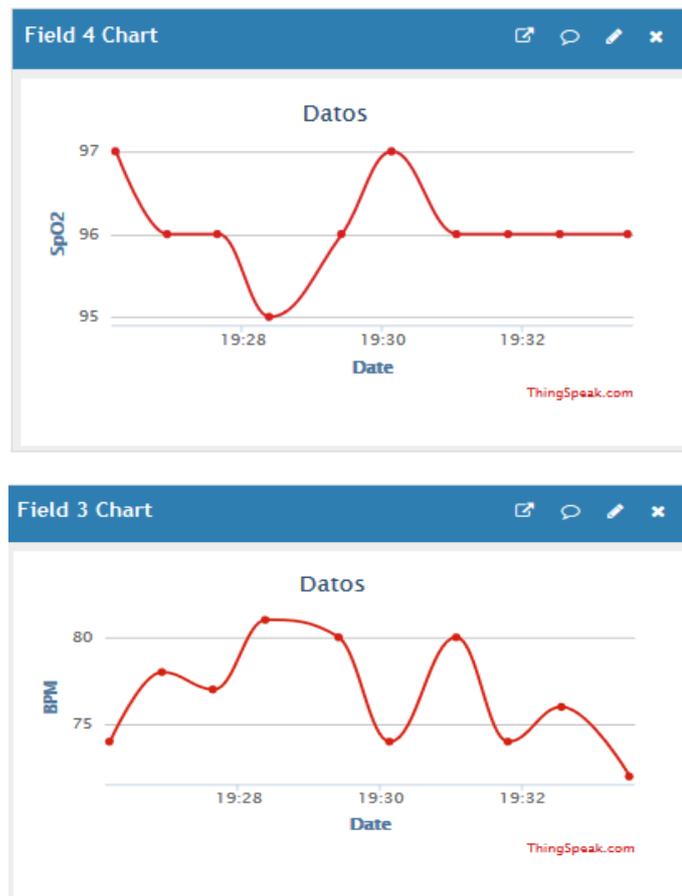
▼ 95:
  created_at: "2019-09-10T14:08:44-05:00"
  entry_id: 489
  field1: "-2.208452"
  field2: "-80.962687"
  field3: "57"
  field4: "95"

▼ 96:
  created_at: "2019-09-10T14:10:31-05:00"
  entry_id: 490
  field1: "-2.208452"
  field2: "-80.962685"
  field3: "75"
  field4: "94"

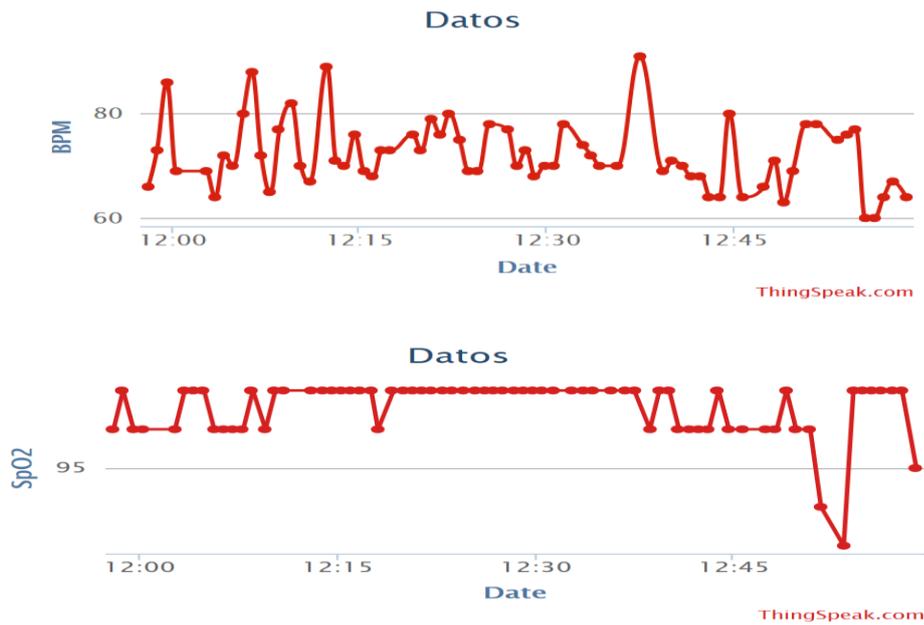
```

**Figura 58:** Visualización de información en la plataforma ThingSpeak.

De tal manera que la información receptada en la plataforma ThingSpeak, puede ser manipulada y lograr una mejor visualización ya sea por minutos horas o días, (ver **Figura 59** y **Figura 60**).



**Figura 59:** Visualización de datos bpm y SpO2 por minutos en la plataforma ThingSpeak.



**Figura 60:** Visualización de datos bpm y SpO2 por horas en la plataforma ThingSpeak.

### 3.3.5.1. Consumo de datos móviles

El consumo de datos móviles utilizados por el dispositivo detector de pulsos cardiacos es fundamental, debido a que se logra tener una cantidad aproximada de datos necesarios para el funcionamiento mensual, para aquello se recurrió al uso de la aplicación de la operadora Movistar, mediante la aplicación en Android permite realizar el monitoreo de la cantidad de datos consumido de la línea móvil.

De acuerdo a la aplicación de Android para verificar el consumo de datos móviles, se obtuvo que 123,70KBytes de datos son consumidos en una hora (ver **Anexo 2**), a través de la conversión se tiene que en una hora se consume 0.1237MBytes, para ello se determina que el consumo diario es el siguiente:

$$\text{Consumo diario} = 0.1237 \text{ MBytes} * 24 \text{ HORAS} = 2.9688 \text{ MBytes/día}$$

Período de tiempo	Cantidad de tramas	Megabytes consumidos
1 día	1728	2.97
1 mes	51840	89.06

**Tabla 33:** Consumo de datos enviados a la plataforma.

### 3.3.5.2.Pruebas de envío de datos a ThingSpeak

Para realizar consultas específicas en la plataforma web ThingSpeak se debe seguir un formato de dirección determinada:

```
https://api.thingspeak.com/channels/784757/feeds.json?timezone=America%2FLima&start=2019-09-16%2010:25:00&2019-09-16%2010:45:00.
```

- “784757”, este código corresponde al canal que fue creado por el usuario.
- Se define un periodo de tiempo, a través de los datos “2019-09-16%2010:25:00&2019-09-16%2010:45:00.”, respetando el formato de fecha AAAA-MM-DD seguido del carácter codificado “%20”, el formato de hora HH:MM:SS.

Para determinar el tiempo promedio de envío se realiza una tabla con una muestra de 10 datos enviados a la plataforma IoT, con un intervalo de tiempo de 48 segundos, de tal forma que se logre realizar un análisis de envío de información (ver **Tabla 34**).

	Número de registro	Hora de envío	Hora del siguiente envío	Tiempo transcurrido
1	494	19:26:11	19:26:55	0:00:44
2	495	19:26:55	19:27:39	0:00:44
3	496	19:27:39	19:28:23	0:00:44
4	497	19:28:23	19:29:25	0:01:02
5	498	19:29:25	19:30:08	0:00:43
6	499	19:30:08	19:31:04	0:00:56
7	500	19:31:04	19:31:48	0:00:44
8	501	19:31:48	19:32:33	0:00:45
9	502	19:32:33	19:33:31	0:00:58
10	503	19:33:31	19:34:15	0:00:44

**Tabla 34:** Valores enviados a la plataforma web en intervalos de tiempo.

Se realiza el análisis del tiempo promedio de envío de datos sobre el tiempo transcurrido (ver **Tabla 35**).

<b>ANÁLISIS</b>	
Intervalo de la muestra	0:08:04
Cantidad de datos de la muestra	10
Intervalo de datos adquiridos	0:00:48

**Tabla 35:** Intervalos de tiempos de la muestra.

Como se ha demostrado los datos enviados a la plataforma web se realizan cada 48 segundos, de esta manera se realiza un cálculo estimado de envíos por horas haciendo referencia que el funcionamiento del dispositivo es de aproximadamente nueve horas de funcionamiento, el cálculo se realiza considerando una hora de funcionamiento, para determinar la cantidad de datos que deben enviarse en una hora debemos conocer que una hora tiene 3600 segundos.

$$\frac{3600 \text{ segundos}}{48 \text{ segundos}} = 75 \text{ envíos}$$

A través de este cálculo obtiene que en una hora se realizaron 75 datos enviados a la plataforma ThingSpeak, entonces se tienen una cantidad de 900 datos enviados en 12 horas, por lo que en un día se realiza un envío de 1800 datos.

Lo cual se encuentra un porcentaje de operatividad de una hora, como se observa a través del siguiente cálculo.

$$\frac{100\%}{75} = \frac{x\%}{73}$$

$$x = \frac{100 * 73 * \%}{75 * \%} = 96\%$$

$$x = 96\%$$

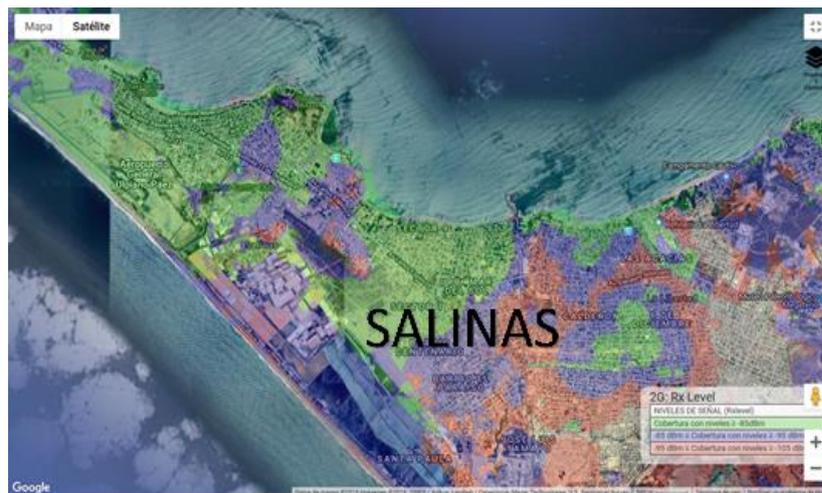
De acuerdo a los resultados estadísticos, se entiende que por cada 100 datos enviados hay cuatro datos que fallan o se pierden, en este caso puede ser aceptable, debido a diversos factores que inciden en la calidad de la señal que receipta el dispositivo.

Mediante el análisis tanto operativo como efectivo realizado, se concluye que:

- El dispositivo realiza un envío de datos cada 48 segundos como intervalo de tiempo.
- Estableciendo un periodo de una hora de envío de datos del dispositivo a la plataforma web se obtuvo un 96% como porcentaje de operatividad.
- Es considerable la efectividad del dispositivo debido a las grandes cantidades de datos que están enviando, sabiendo que la conexión TCP puede estar influenciada por diversos factores.

### 3.3.5.3. Cobertura del sector para las pruebas.

Se realizó el análisis de coberturas de dos operadoras de red móvil en el cantón de Salinas, las cuales son Claro y Movistar, con el 96% de confiabilidad de envío de datos la plataforma ThingSpeak (ver **Figura 61** y **Figura 62**).



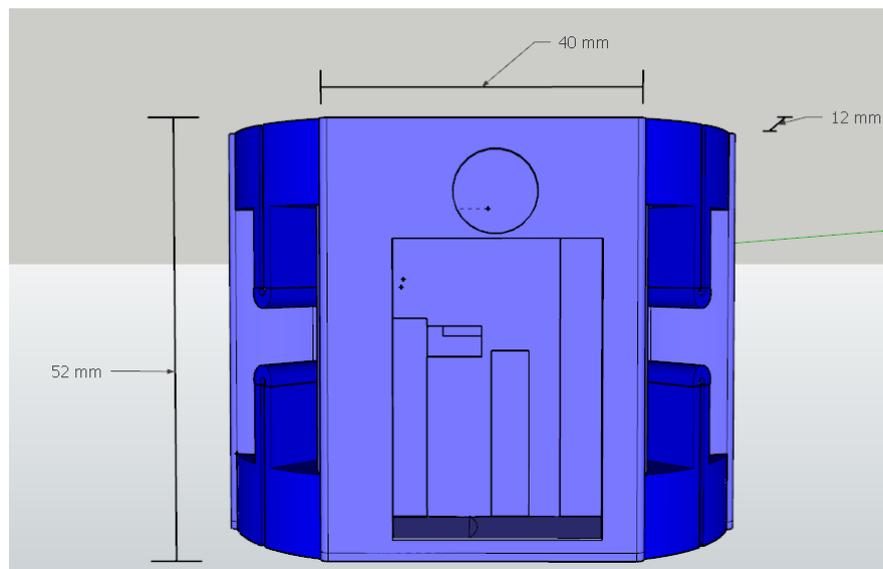
**Figura 61:** Cobertura operadora Movistar.



**Figura 62:** Cobertura operadora Claro

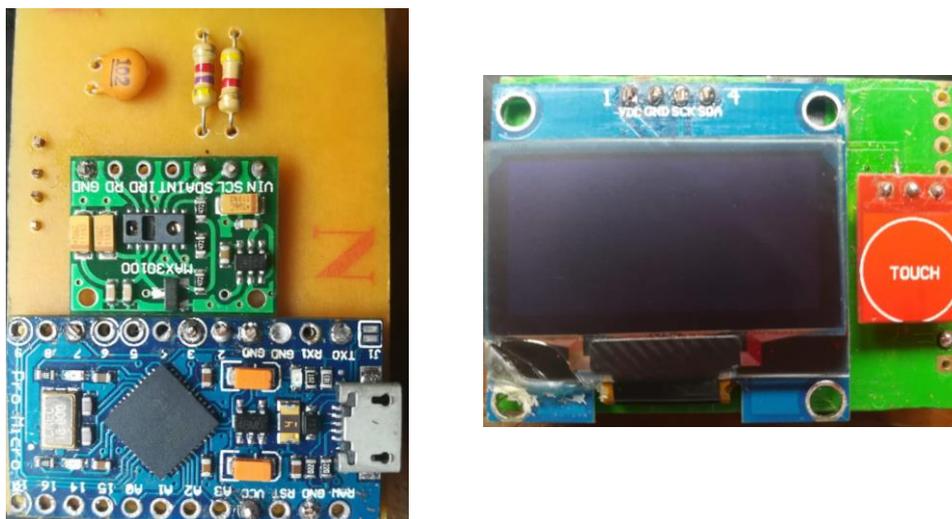
### 3.3.6. Diseño físico del dispositivo

El diseño físico de dispositivo consta de cuatro partes que se intercomunican entre sí, para el cumplimiento de los objetivos del dispositivo, posee dimensiones de 40mm x 52mm x 12mm (ver **Figura 63**), para el diseño de cada división (ver **Anexo 9**). Considerando que el diseño del dispositivo fue impreso en material *polylactic acid* (PLA), de tal manera que sea confortable para el usuario.

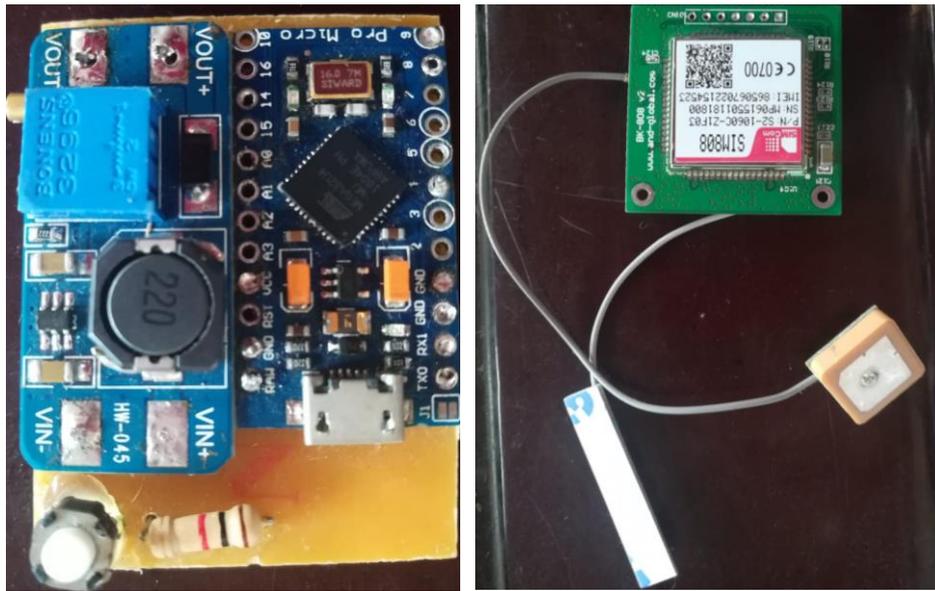


**Figura 63:** Diseño 3D del dispositivo.

Para procedió a la realización del diseño de placas PCB de los componentes que se utilizan en el dispositivo (ver **Anexo 8**).



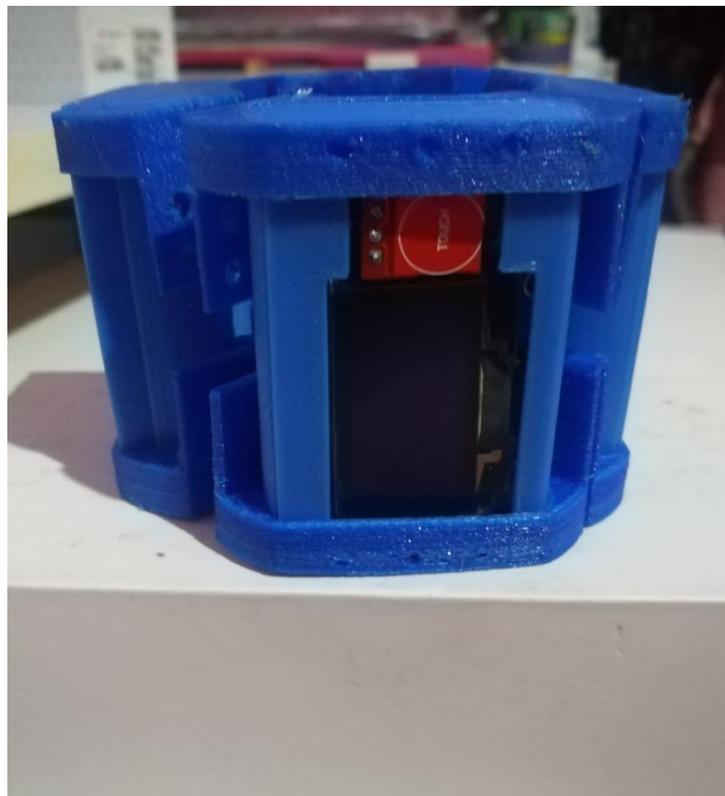
**Figura 64:** Diseño PCB del sensor MAX30100, pantalla y microcontrolador.



**Figura 65:** Diseño PCB del módulo de comunicación y microcontrolador con sistema de alertas y envío a la plataforma web



**Figura 66:** Pruebas del dispositivo



**Figura 67:** Diseño físico del dispositivo

## CONCLUSIONES

- Al realizar el análisis de los elementos electrónicos utilizados en el proyecto se tiene un consumo de corriente de 200mAh, valor obtenido tanto teóricamente como en la práctica, por lo que se alimentó con una batería de 1800mAh, de tal forma se pudo determinar que el dispositivo se mantenga encendido aproximadamente nueve horas.
- El sensor MAX30100 contiene una configuración integrada de sistema de filtrado electrónico y un sistema amplificado de la señal, configuraciones que permiten obtener el dato de bpm adquirido por el sensor con mayor precisión. De acuerdo a los valores tomados entre el dispositivo desarrollado y un tensiómetro digital “Scian”, en periodos de 80 segundos, se determina que un 1,1% de error promedio lo cual determina el 96% de confiabilidad de los valores de bpm.
- En las pruebas realizadas durante una hora de funcionamiento del dispositivo se realizaron 75 envíos de trama de datos a la plataforma web cada 48 segundos, determinando una efectividad del 96% de operatividad y un consumo de datos de 0.12 MB por hora, haciendo un cálculo en un periodo de 24 horas de funcionamiento se determina el 2.97MB de consumo de datos móviles, demostrando que el sistema de comunicación desarrollado realiza el envío de datos a la plataforma ThingSpeak.
- En caso de presentarse una alerta emergente por las alteraciones de las pulsaciones cardiacas se realiza el envío de información de bpm y localización de la persona, a través de SMS a los números de contactos configurados en la memoria interna del dispositivo.
- Se realizó el diseño del dispositivo en el software SketchUp en 3D, y fue impresa en material PLA, de tal manera que es comfortable para el usuario y con las dimensiones de 40mm x 52mm x 12mm.

## RECOMENDACIONES

- Para trabajos futuro se recomienda realizar un análisis de nuevos componentes electrónicos como: agregar sensores que determinen información de signos vitales, menor consumo de corriente, reducción de tamaño u otras consideraciones que sean necesarias.
- Se debe considerar el lugar en donde se utilice el dispositivo, debido para la adquisición de red de las operadoras móviles puede verse afectada por diversos factores en el entorno donde se utiliza el dispositivo, además se hace referencia que el módulo de comunicación posee una telefonía móvil 2G.
- Considerar las indicaciones para la configuración de dispositivo como en el ingreso de los números que serán configurados para emergencia como el Apikey que emite y el manejo correcto de la plataforma ThingSpeak, se recomienda el uso de un paquete de datos mínimo de 100 Mb de cualquier operadora que preste servicios en el país, con la observación que garantice una buena cobertura en el área, de tal manera que permita garantizar el envío de información a la plataforma ThingSpeak de forma correcta. Además, se recomienda que para un correcto funcionamiento el dispositivo se encienda cuando haya sido colocado en la muñeca.
- Se podría realizar mayores indagaciones con el propósito de implementar un sistema de llamadas con datos codificados en comandos de voz para el sistema de alertas.
- De acuerdo al diseño físico del dispositivo, en trabajos futuros podría recurrir a la utilización de otro tipo de material, de tal forma que brinde una mayor comodidad para el usuario.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud, «Organización Mundial de la Salud,» 17 Mayo 2017. [En línea]. Available: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)). [Último acceso: 17 Agosto 2019].
- [2] J. Usiña, «Instituto Nacional de Estadísticas y Censo,» 2014. [En línea]. Available: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/Nacimientos\\_Defunciones/Publicaciones/Anuario\\_Nacimientos\\_y\\_Defunciones\\_2014.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Nacimientos_Defunciones/Publicaciones/Anuario_Nacimientos_y_Defunciones_2014.pdf). [Último acceso: 12 Marzo 2019].
- [3] J. M. Martínez Casas y J. Medina García, «¿SON ÚTILES LOS DISPOSITIVOS Y APLICACIONES INTELIGENTES PARA LA GESTIÓN DE LA SALUD? COMENTARIO CRÍTICO,» *Enfermería en Cardiología*, vol. 2.0, nº 65, pp. 33-37, 2015.
- [4] Fundación Española del Corazón, «Fundación Española del Corazón,» Septiembre 2018. [En línea]. Available: [webfec.com/frecuenciacardiaca](http://webfec.com/frecuenciacardiaca). [Último acceso: 12 Agosto 2019].
- [5] Fundación Española del Corazón, «Fundación Española del Corazón,» [En línea]. Available: <https://fundaciondelcorazon.com/prensa/notas-de-prensa/1651-tiempo-factor-clave-de-supervivencia-sufrir-infarto-agudo-de-miocardio.html>. [Último acceso: 12 Agosto 2019].
- [6] A. López Farré y C. Macaya Miguel, Libro de la Salud Cardiovascular, España: Editorial Nerea, S. A., 2009.
- [7] J. A. Lozano, «Arritmias cardíacas y su tratamiento,» *OFFARM*, pp. 96-104, Diciembre 2001.
- [8] S. López, «Pulse Oximeter Fundamentals and Design,» *Freescale Semiconductor, Inc.*, vol. 2, nº AN4327, 2012.
- [9] R. Llanio Navarro y G. Perdomo González, Propedéutica Clínica y Semiología Médica, La Habana: Ciencias Médicas, 2003.
- [10] P. E. Velázquez Elizonso y L. J. Villagrán Valencia, «Repositorio Instituto Politécnico Nacional,» 30 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20455/I.C.E.%2012-16%20-%2019-CD28.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 14 Agosto 2019].
- [11] Ó. Velázquez Monroy, F. Barinagarrementería Aldatz, A. Rubio Guerra, J. Verdejo y M. Á. Méndez Bello, «Morbilidad y mortalidad de la enfermedad isquémica del corazón y cerebrovascular en México,» *Medigraphic Artemisa*, vol. 77, nº 1, pp. 31-39, 2007.
- [12] F. S. Espinoza, LOS MICROCONTROLADORES AVR DE ATMEL, México: Reina Ortiz Escamilla, 2012.

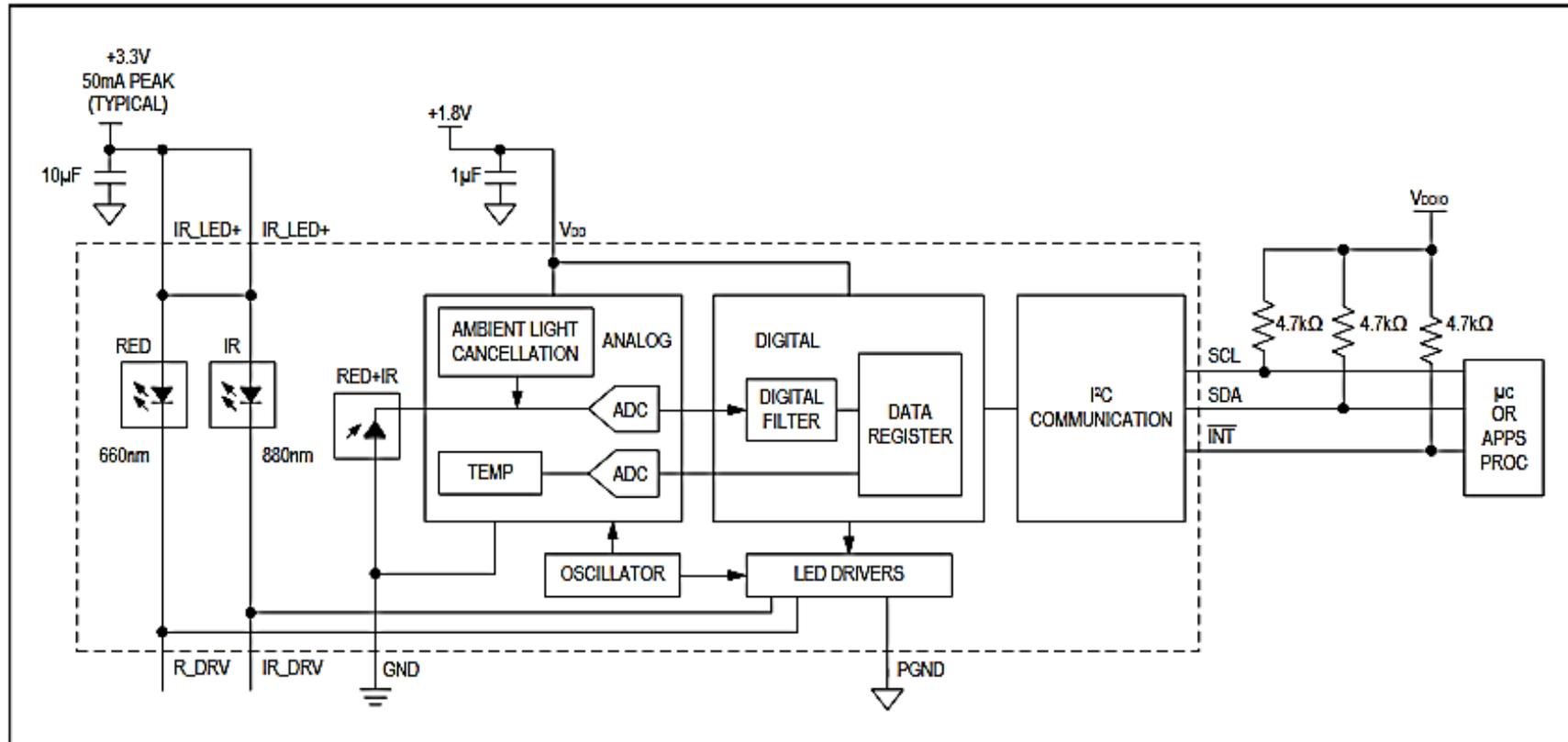
- [13] A. V. Deshmukh, *Microcontrollers: Theory and Application*, New Delhi: McGraw-Hill Companies, 2007.
- [14] L. Corona Ramirez, G. Abarca Jimene y J. Mares Cedeño, *Sensores y actuadores. Aplicaciones ocn Arduino*, Mexico: Patria S.A., 2014.
- [15] ETSI, «Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) Radio transmission and reception (3GPP TS 45.005 version 10.0.0 Release 10),» Abril 2011. [En línea]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/145000\\_145099/145005/10.00.00\\_60/ts\\_145005v100000p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/145000_145099/145005/10.00.00_60/ts_145005v100000p.pdf). [Último acceso: 1 Septiembre 2019].
- [16] N. Velasco Martos, «Repositorio Universidad de Sevilla,» Noviembre 2005. [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/direccion/PFC%252F>. [Último acceso: 20 Agosto 2019].
- [17] GSM Association, «GSMA,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2016/11/spec\\_best\\_practice\\_SPA.pdf](https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2016/11/spec_best_practice_SPA.pdf). [Último acceso: Septiembre 2019].
- [18] I. Lita, I. Bogdan Cioc y D. Alexandru Visan, «A New Approach of Automobile Localization System Using GPS and GSM/GPRS Transmission,» *IEEE*, nº 9708251 , pp. 1-5, 29 Mayo 2006.
- [19] J. Jiménez Montilla y J. Ochovo Pavón, «Repositorio Universidad Politécnica de Madrid,» Septiembre 2017. [En línea]. Available: [http://oa.upm.es/49728/1/PFC\\_JESUS\\_JIMENEZ\\_MOTILLA\\_JAIME\\_OCHOVO\\_PAVON.pdf](http://oa.upm.es/49728/1/PFC_JESUS_JIMENEZ_MOTILLA_JAIME_OCHOVO_PAVON.pdf). [Último acceso: 14 Octubre 2019].
- [20] S. Al-Fedaghi, «Diagrammatization of the Transmission Control Protocol,» *Kuwait University. Computer Engineering Department*, pp. 1-10, 2015.
- [21] Información oficial del Gobierno de los Estados Unidos relativa al Sistema de Posicionamiento Global y temas afines, «Sistema de Posicionamiento Global,» NOAA, 2016. [En línea]. Available: <https://www.gps.gov/spanish.php>. [Último acceso: 23 Septiembre 2019].
- [22] E. J. Carletti, «Comunicación - Bus I2C. Descripción y funcionamiento,» *Electrónica*, 2007.
- [23] M. RAHMAN, «Repositorio Facultad de Ciencias Universidad de Tecnología Malasia,» Septiembre 2006. [En línea]. Available: <http://eprints.utm.my/id/eprint/2324/1/MohdMokhlesurRahmanMFS2006.pdf>. [Último acceso: 4 Octubre 2019].

- [24] J. I. Huircan, «Reguladores de Voltaje,» *Universidad de La Frontera*, pp. 1-16, 3 Diciembre 2012.
- [25] C. Olmeda Gomez, «Visualización de Información,» *Universidad Carlos III de Madrid*, Mayo-Junio 2014.
- [26] F. Miyara, «Universidad Nacional de Rosario. Escuela de Ingeniería Electrónica,» Abri 2004. [En línea]. Available: <http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/filtros-t.pdf>. [Último acceso: 8 Septiembre 2019].
- [27] J. J. Monotas Campos y N. Martinez Marin, «Institucion Universitaria Politecnico Grancolombiano. Facultad de Ingenieria y Ciencias Basicas,» 2018. [En línea]. Available: [http://190.131.241.186/bitstream/handle/10823/1215/Documento\\_Trabajo\\_Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://190.131.241.186/bitstream/handle/10823/1215/Documento_Trabajo_Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 14 Agosto 2019].
- [28] A. Barea Cañizares, *Diseño, desarrollo y test de un prototipo de pulsera para adquirir el electrocardiograma y la onda de pulso*, Barcelona, 2016.
- [29] O. Sarmiento Gómez y J. E. Rubio Cristiano, *Monitoreo remoto de signos corporales y transmisión de datos y alertas a una aplicación instalada en un smartphone*, Bogotá, 2018.
- [30] G. P. Andrade Tirado, «Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para la Medición del Ritmo Cardíaco mediante la Técnica de Pulsometría.,» *Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército*, pp. 1-4, 2015.
- [31] C. Álvarez, «LifeStyle.fit,» 25 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://lifestyle.fit/equipamiento/wearables/ibeat-reloj-inteligente-detecta-infartos>. [Último acceso: 4 Agosto 2019].
- [32] 100plus, «100plus,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.100plus.com/team/>. [Último acceso: 5 Agosto 2019].
- [33] Arduino, «Arduino,» Arduino, 20 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Education>. [Último acceso: 19 Agosto 2019].
- [34] P. Hippolyte, «Técnicas de modelado 3d en SketchUp, para el manejo de modelos urbanos complejos dentro de Google Earth,» *Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Central de Venezuela*, 2011.
- [35] EasyEDA, «EasyEDA,» [En línea]. Available: <https://easyeda.com/page/about>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].
- [36] Fritzing, «Fritzing,» Electronic Mode Easy, [En línea]. Available: <https://fritzing.org/home/>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].

- [37] The MathWorks, Inc., «ThingSpeak,» The MathWorks, Inc., 2019. [En línea]. Available: <https://thingspeak.com/>. [Último acceso: 24 Agosto 2019].
- [38] Maxim Integrated, «Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health,» Maxim Integrated Products, Inc, 2014.
- [39] Digi-Key's, «Adding Heart-Rate Monitoring Functionality to Fitness Gear,» 16 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/en/articles/techzone/2016/nov/adding-heart-rate-monitoring-functionality-to-fitness-gear>. [Último acceso: 7 Agosto 2019].
- [40] SIMCom a company of SIM Tech, «SIM808 Hardware Design V1.00,» Smarth Machine Smart Decision, Sanghai. China, 2014.
- [41] SIMCom a compsnry of SIM Tech, «SIM808 Series\_AT Command Manual\_V1.09,» Smart Machine Smart Decision, Shanghai. China, 2015.
- [42] General Condition of Service, «RF Antenna,» General Condition of Service, Ciudad de Chang'an, ciudad de Dongguan, 2014.
- [43] San Jose Technology, Inc., «GPS Antenna Module,» Taiwan, 2012.
- [44] Solomon Systech, «SSD13006 .128 x 64 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller,» Solomon Systech Limited, China, 2008.
- [45] M. E. Raffino, «Fuentes de alimentacion,» 16 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://concepto.de/bateria/>. [Último acceso: 8 Agosto 2019].
- [46] Arosemi Technology Co.,Ltda, «MT3608 High Efficiency 1.2MHz 2A Step Up Converter,» Xi' an Arosemi Technology Co.,Ltd, China, 2016.
- [47] Microchip. NanJing Top Power ASIC Corp., «TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8,» Microchip Co., Ltd., China, 2018.
- [48] E. Arriaga D. y V. Peralta A., «Academia,» Diciembre 2008. [En línea]. Available: [https://www.academia.edu/33282262/TEXTO\\_No\\_2\\_ERROR\\_ABSOLUTO\\_ERROR\\_RELATIVO](https://www.academia.edu/33282262/TEXTO_No_2_ERROR_ABSOLUTO_ERROR_RELATIVO). [Último acceso: 14 Septiembre 2019].

## ANEXOS

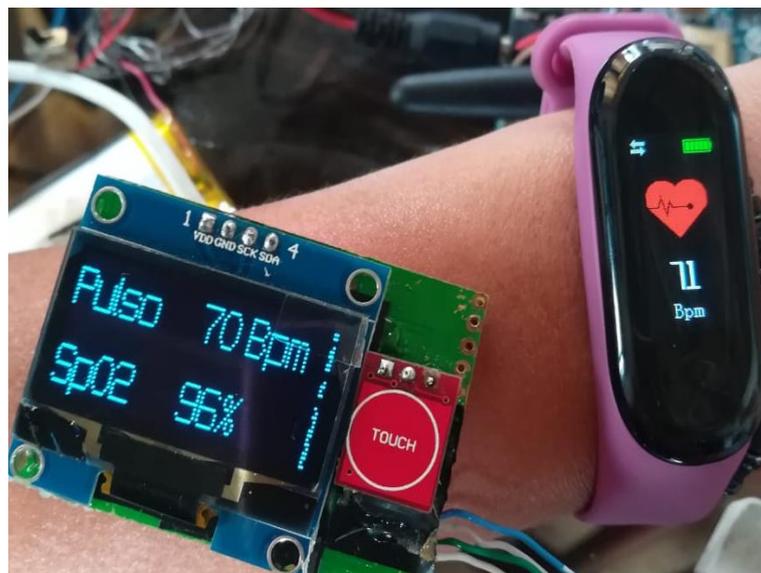
### Anexo 1: Diseño electrónico del oxímetro de pulsos MAX30100.



**Anexo 2:** Consumo de datos móviles en 1 hora.



**Anexo 3:** Pruebas del dispositivo, datos visualizados a través de la pantalla



**Anexo 4:** Consumo de corriente del dispositivo y de voltaje suministrado del



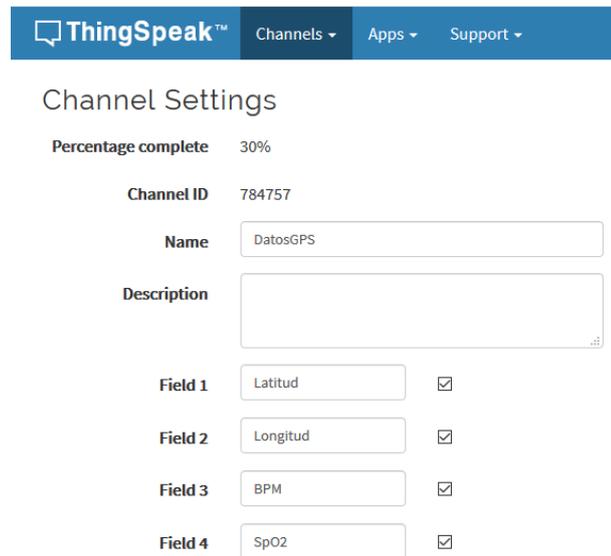
Consumo de corriente del dispositivo. Voltaje suministrado en el dispositivo.

**Anexo 5:** Comandos AT utilizados

Comando	Descripción
AT	Comprueba la conexión a la red
AT+CGNSPWR=1	Enciende el GPS
AT+CGNSINF	Consulta la trama del GPS
AT+CREG?	Verifica estado de señal si la respuesta es +CREG: 0,1 significa que está registrado en la Red
AT+COPS?	Muestra el código del operador registrado
AT+CMGF=1	Activa el modo SMS de texto
AT+CNMI=2,2,0,0,0	Activa la lectura y presentación en el puerto serial
AT+CGATT=1	Iniciamos la conexión GPRS
AT+CSTT=<APN>	Permite configurar el APN de la red
AT+CIICR	Activa los datos inalámbricos
AT+CIFSR	Muestra la <u>ip</u> obtenida, si no se obtiene muestra Error
AT+CIPSTART	Establece una conexión TCP o UDP
AT+CIPSPRT=1	Establece un indicador '>' al enviar datos
AT+CIPSEND	Prepara al módulo para recibir la trama de envío
AT+CIPSHUT	Cierra el contexto y las conexiones
AT+CMGS=<NUMERO>	Establece el número que se le va a enviar un mensaje de texto, seguido le enviar un indicador '>' para que escriba el texto no mayor a 160 caracteres.

## Anexo 6: Configuración del dispositivo y la plataforma ThingSpeak

La información recolectada por el dispositivo será almacenada y visualizada por la plataforma web para ello se recomienda crear la cuenta de ThingSpeak que es la plataforma utilizada y configurar el canal a utilizar de la siguiente manera:



ThingSpeak™ Channels Apps Support

### Channel Settings

Percentage complete 30%

Channel ID 784757

Name DatosGPS

Description

Field 1 Latitud

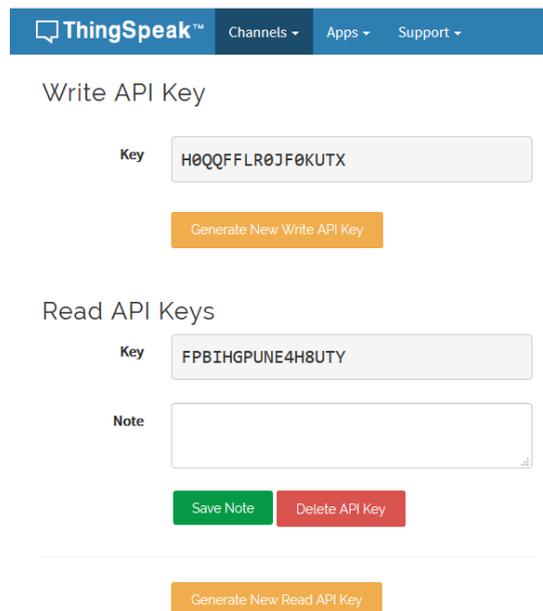
Field 2 Longitud

Field 3 BPM

Field 4 SpO2

Configuración de campos del canal de ThingSpeak.

El Api\_Key del canal se localiza en:



ThingSpeak™ Channels Apps Support

### Write API Key

Key H0QQFFLR0JF0KUTX

Generate New Write API Key

### Read API Keys

Key FPBIHGPUNE4H8UTY

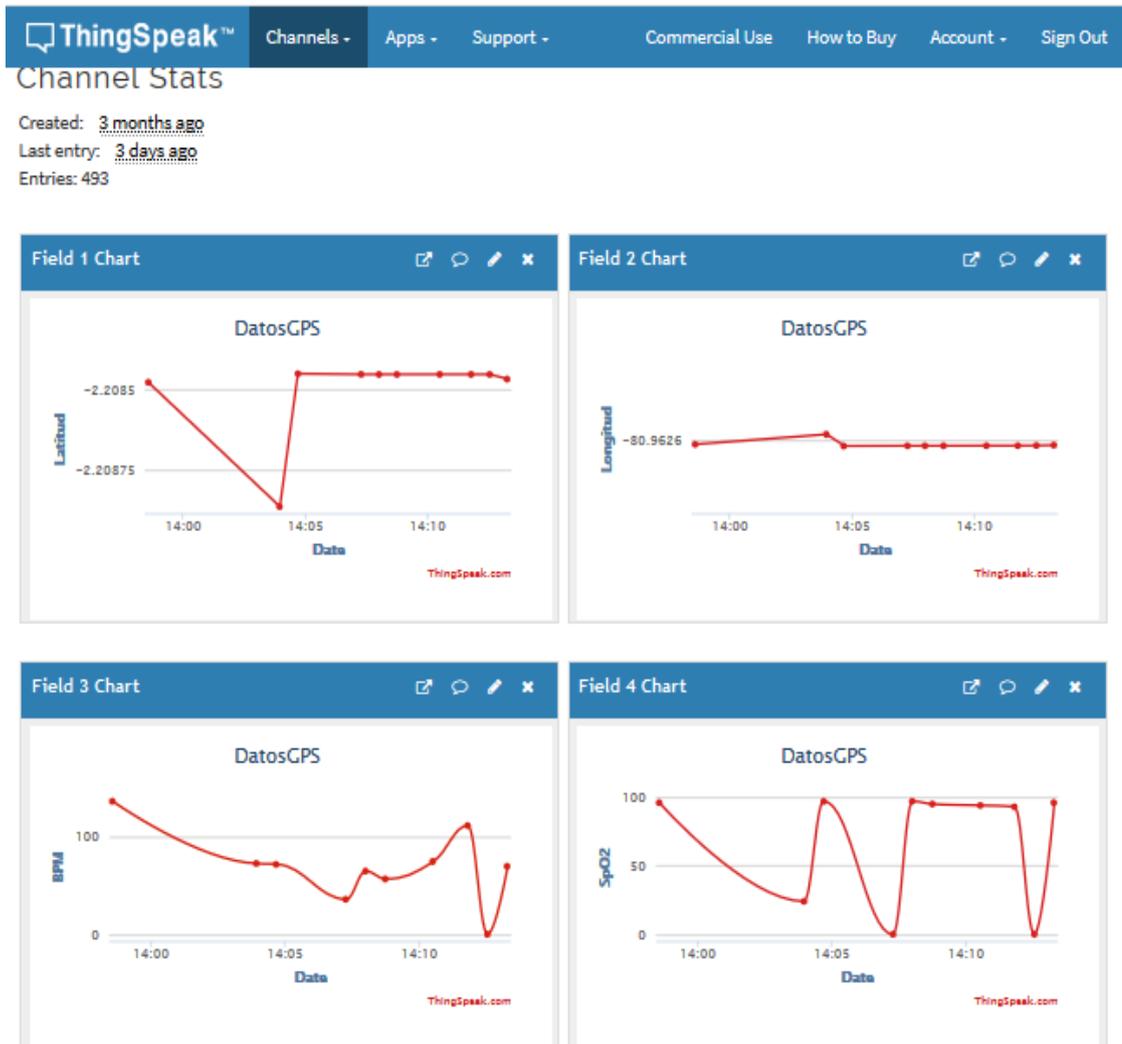
Note

Save Note Delete API Key

Generate New Read API Key

Serie de Key de lectura y de escritura del canal.

La serie de Api\_Key de lectura es configurada en el dispositivo a través de mensajes de texto cuando este en modo de configuración, además también se configuran los números de contactos a los cuales se enviará el mensaje de emergencia. Para realizar monitoreo puede crear gadgets en la interfaz principal de la plataforma ThingSpeak siguiente manera.



Dashboard (tablero) principal de la plataforma ThingSpeak.

### Anexo 7: Código Microcontrolador

En el siguiente algoritmo se realizó la comunicación entre el sensor, pantalla OLED y microcontrolador, una vez adquiridos los datos estos son enviados en una trama de datos al microcontrolador donde se encuentra la configuración de comunicación.

## Código de Sensor-Microcontrolador

```
#include <Wire.h>
#include
"MAX30100_PulseOximeter.h"
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <U8g2lib.h>
PulseOximeter pox;
U8G2_SSD1306_128X32_UNIVISION
_F_HW_I2C u8g2(U8G2_R0);
boolean flanco=false;
int pulsador=7, bpm,SpO2;//almacena
el estado anterior del boton
unsigned long t2, t_actual,
t_final,t_presentacion=5000;
unsigned long tiempo_Tx;
char trama[40];

void setup()
{ Serial.begin(115200);
Serial1.begin(115200);
delay(1000);
u8g2.begin();
pox.begin();
pinMode(pulsador,INPUT );
//declaramos el pin 7 como entrada
tiempo_Tx=millis();
}

void loop()
{ pox.update();
sensor();
//Transmision de datos
if((millis()-tiempo_Tx)>1000){
snprintf(trama,sizeof(trama),"%d,%d",b
pm,SpO2); //creamos la trama en el
buffer
Serial1.println(trama);
Serial.println(trama);
tiempo_Tx=millis();
}
//-----
//Boton de visualizacion en pantalla del
dato Bpm

if (flanco == true and
digitalRead(pulsador)==HIGH){
t_actual=millis();
t_final=t_actual+t_presentacion;
display_values();
flanco=false;}

if(millis())>=t_final and flanco==true){
u8g2.clearDisplay();
u8g2.sendBuffer();

if (flanco==false and
digitalRead(pulsador)==LOW){ flanco=t
rue;}
}
//-----

void sensor(){
uint32_t t1;
if((unsigned long)(millis()-t1)>= 1000){
t1=millis();
bpm=pox.getHeartRate();
SpO2=pox.getSpO2();
}
}
void display_values()
{
u8g2.clearBuffer();

u8g2.setFont(u8g2_font_smart_patrol_n
bp_tf);
u8g2.setCursor(2,12);
u8g2.print("Pulso ");
u8g2.setCursor(65,12);
u8g2.print(bpm);
u8g2.print(" Bpm");
u8g2.setCursor(2,30);
u8g2.print("SpO2 ");
u8g2.setCursor(65,30);
u8g2.print(SpO2);
u8g2.print("%");
u8g2.sendBuffer();
}
```

## Extracto de código de microcontrolador y módulo de comunicación

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <EEPROM.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>
SoftwareSerial A9G(8,9);

int respuesta;
char num[11],num1[11],apk[17];
char
trama[100],cFecha[15],cLon[11],cLat[10];
unsigned long tactual=0;
unsigned long tesp=2000;
String cadena,strFecha, strLat, strLon;
//boton de configuracion
int pulsador=0; //almacena el estado del
botón
int estado=0; //0=led apagado, 1=led
encendido
int pulsadorAnt=0; //almacena el estado
anterior del boton
//-----
unsigned long t1 ,t2= 0;
int bpm, SpO2;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial1.begin(115200);
  A9G.begin(9600);
  delay(1000);
  power_on();
  iniciar();
  pinMode(4, INPUT); //declaramos el pin
4 como entrada

//configuracion en la memoria EEPROM
for (int i = 0 ; i <= 10 ; i++)
{
  num[i] = EEPROM.read(i);
}
Serial.println(num);
for (int i = 11 ; i <= 27 ; i++)
{
  apk[i-11] = EEPROM.read(i);
}
Serial.println(apk);
for (int i = 28 ; i <= 38 ; i++)
{
  num1[i-28] = EEPROM.read(i);
}

  Serial.println(num1);
}

//-----
void loop()
{
  //-----Pulsador
  pulsador = digitalRead(4); //lee si el botón
está pulsado

  if((pulsador==LOW)&&(pulsadorAnt==LO
W)){ //si el boton es pulsado y antes no lo
estaba. pulsador==HIGH para el touch
  estado=1-estado;
}

  pulsadorAnt=pulsador; //actualiza el
nuevo estado del boton
  if(estado==1) { //si el estado es 1
    Serial.println("Configuracion");
    recibir_sms();
  }
  //-----

  gps();
  recibir_dato();
  enviar_nube();
  enviar_alerta();
}

//envio de datos
void enviar_nube(){
  if((unsigned long)(millis()-t1)>= 30000){
    if(cLat[0] == '-'){
      Serial.println("Envio Thingspeak");
      enviargps();
      t1 = millis();
    }
  }
}

//envio de sms por alerta
void enviar_alerta(){
  if (bpm<60 || bpm>100){
    if((unsigned long)(millis()-t2)>= 40000){
      if(cLat[0] == '-'){
        Serial.println("Enviando mensaje
num1");
        enviar_sms1();
        delay(1000);
        Serial.println("Enviando mensaje
num2");
        enviar_sms2();
        t2 = millis();
      }
    }
  }
}

void recibir_dato(){
  while (Serial1.available() > 0)
  {
    unsigned long ingreso;
    ingreso = Serial1.read();
    cadena += (char)ingreso;
  }
}
```

```

if (ingreso == '\n')
{
  cadena.toCharArray(trama, 100);
  cadena = "";
  //Serial.println(trama);
  char *a = trama; char *str; int cont =0;
  int fecha;
  while ((str = strtok_r(a, ",", &a)) !=
NULL)
  {
    cont=cont+1;
    if (cont == 1){
      strFecha= str;
    }
  }

void enviargps(){
char
dato[180];//key[16]="H0QQFFLR0JF0KUT
X";;
snprintf(dato,sizeof(dato),"GET
/update?api_key=%s&field1=%s&field2=%
s&field3=%d&field4=%d",apk,cLat,cLon,b
pm,SpO2); //creamos la trama en el buffer
//Serial.println(dato);
//Serial.println(sizeof(dato));
if (enviarAT("AT+CREG?", "+CREG: 0,1",
1000) == 1) //Comprueba la conexion a la red
{
  enviarAT("AT+CGATT=1\r", "OK",
1000); //Iniciamos la conexión GPRS

enviarAT("AT+CSTT=\"internet.movistar.c
om.ec\"\n", "OK", 3000); //Definimos el
APN, usuario y clave a utilizar
  enviarAT("AT+CIICR", "OK", 3000);
//Activamos el perfil de datos inalámbrico
  enviarAT("AT+CIFSR\r\n", "", 3000);
//Activamos el perfil de datos inalámbrico

enviarAT("AT+CIPSTART=\"TCP\", \"api.t
hingspeak.com\", \"80\", \"CONNECT OK",
5000);

if(cont == 2){
  strLat = str;
  break;
}
}
bpm=strFecha.toInt();
SpO2=strLat.toInt();
Serial.print(bpm);
Serial.print(",*");
Serial.println(SpO2);

}
}
}

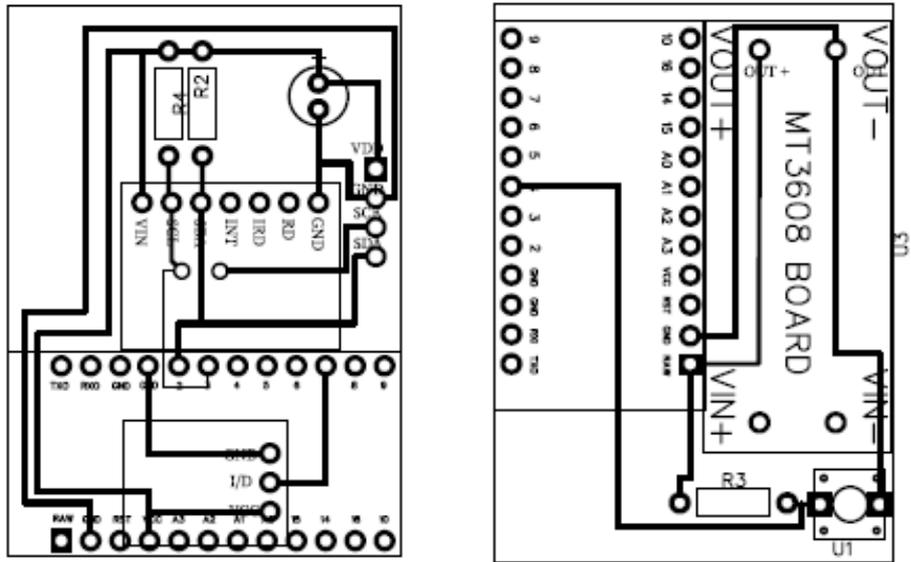
A9G.println("AT+CIPSEND\n");
leerserial(3000);
A9G.println(dato);
Serial.println(dato);
A9G.println((char)26);//envia la trama
leerserial(5000);
A9G.println();
A9G.println("AT+CIPCLOSE");//Cierra la
conexonn(Desactiva el GPRS)
leerserial(1000);
A9G.println("AT+CIPSHUT");//Cierra la
conexonn(Desactiva el GPRS)
leerserial(1000);
}
}

Void leerserial(unsigned long
duracion)//Muestra los datos que va
entregando el sim808
{unsigned long empieza = millis();
  while(millis() - empieza < duracion)
  {
    while(A9G.available())
    {Serial.write(A9G.read());}
  }
}
}

```

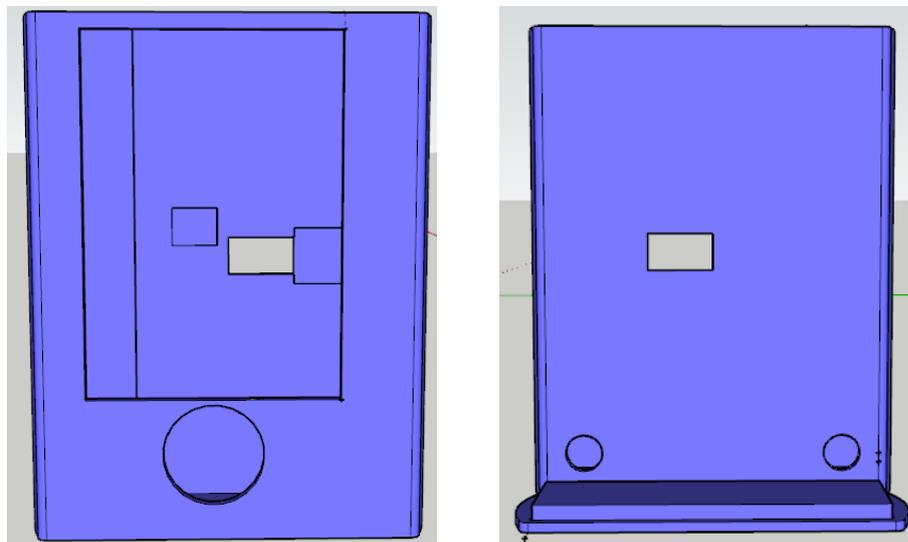
## Anexo 8: Diseño en placas PCB.

Se realizó el diseño de la placa electrónica en la plataforma EasyEDA de tal manera que facilite las conexiones de forma directa con cada uno de los componentes utilizados.

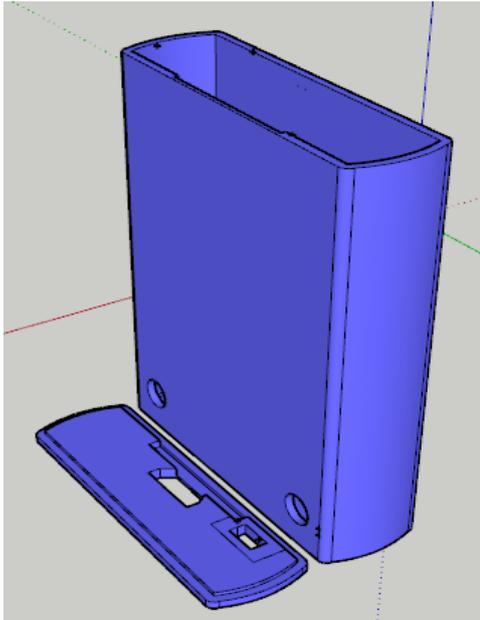


Diseño PCB entre el sensor, el microcontrolador y demás componentes.

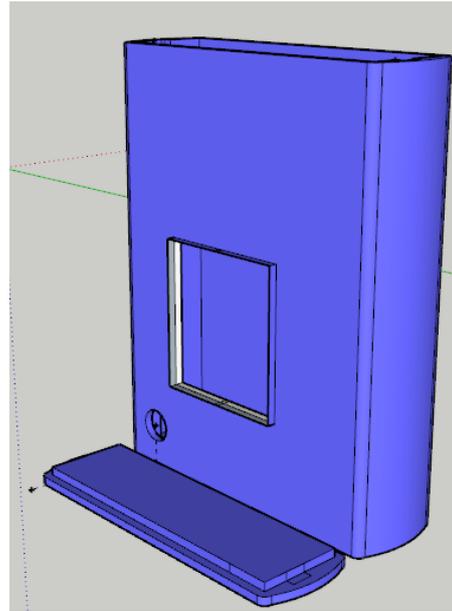
#### Anexo 9: Diseño 3D del dispositivo



Diseño de ubicación de pantalla, sensor y microcontrolador



Diseño para sistema alimentación



Diseño para el módulo SIM808



Sistema de adquisición de datos,  
visualización de datos en pantalla



Microcontrolador que  
contiene sistema de comunicación



Módulo de comunicación SIM808 y antenas GSM/GPRS/GPS.



Sistema de alimentación y carga

**Anexo 10:** Características del dispositivo

Dimensiones	40*52*12mm controlador
Tensión de funcionamiento	5V
Consumo de corriente	200mAh
Tiempo de autonomía	≈ 6 horas
Compatibilidad operadoras	Claro-Cnt-Movistar-Tuenti
Consumo MB al mes	89.06 Mb
Tiempo de muestreo	48 segundos
Tiempo señal GSM	<10 segundos
Tiempo señal GPRS	<90 segundos
Precisión GPS	<2.65 metros
Tiempo configuración	2 minutos
Método de configuración	SMS
Protocolo de comunicación	TCP

## Anexo 11: Presupuesto

<b>Costo de Hardware:</b>		
<b>Herramienta</b>	<b>Costo</b>	<b>Precio Final</b>
<b>2 tarjetas Arduino ProMicro</b>	\$15	\$30
<b>1 módulos SIM808 mini</b>	\$35	\$35
<b>1 oxímetro de pulsos MAX30100</b>	\$15	\$15
<b>1 módulo amplificador de voltaje DC-DC</b>	\$5	\$5
<b>1 batería lipo 3.7V 1800 mA</b>	\$20	\$20
<b>1 módulo TP4056</b>	\$5	\$5
<b>1 pulsador touch</b>	\$5	\$5
<b>Elementos varios</b>	\$5	\$5
<b>Costo de diseño e impresión 3D</b>	\$50	\$50
<b>TOTAL</b>		<b>\$170</b>