

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE  
COMUNICACIÓN**



**TEMA:**

“SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO REMOTO Y ALERTA PARA PACIENTES QUE SUFREN DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL MEDIANTE ALGORITMOS DE APRENDIZAJE DE MÁQUINA”.

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA  
EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**AUTOR:**

DENIS XAVIER MEJÍA RUIZ

**DIRECTOR:**

MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA

**Ibarra- Ecuador**

**2024**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

#### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CEDULA DE IDENTIDAD:	1004012249		
APELLIDOS Y NOMBRES:	MEJÍA RUIZ DENIS XAVIER		
DIRECCION	IBARRA -LA PRIMAVERA		
E-MAIL	<a href="mailto:dxmejia@utn.edu.ec">dxmejia@utn.edu.ec</a>		
TELEFONO FIJO	_____	TELEFONO MOVIL	0961871116
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	"SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO REMOTO Y ALERTA PARA PACIENTES QUE SUFREN DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL MEDIANTE ALGORITMOS DE APRENDIZAJE DE MÁQUINA".		
AUTOR:	DENIS XAVIER MEJÍA RUIZ		
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	01/02/2024		
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN		
ASESOR /DIRECTOR:	MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA		

## CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros

Ibarra, a los 01 del mes de febrero del 2024

EL AUTOR



Denis Xavier Mejia Ruiz  
1004012249

**UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD EN INGENIERA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN**

MSc. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA, DIRECTOR DEL  
PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación denominado: "SISTEMA ELECTRÓNICO DE MONITOREO REMOTO Y ALERTA PARA PACIENTES QUE SUFREN DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL MEDIANTE ALGORITMOS DE APRENDIZAJE DE MÁQUINA", certifico que el presente trabajo fue desarrollado por DENIS XAVIER MEJÍA RUIZ, bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



.....  
**MSc. Carlos Alberto Vásquez Ayala**

CC: 1002424982

## DEDICATORIA

*Esta dedicatoria está dirigida principalmente a mis padres Francisca Ruiz y Arturo Mejía, por su amor incondicional y su apoyo constante en cada paso de mi vida, gracias a su constante sacrificio me han ayudado alcanzar mi meta.*

*A toda mi familia en especial a mis hermanos, hermanas por siempre apoyarme y ayudarme en cada paso que he dado en todo este tiempo.*

*A mis amigos que han contribuido a mi desarrollo personal y profesional, y a todas las personas que he tenido el privilegio de conocer en mi viaje de vida, cuya integridad y conocimientos me han proporcionado lecciones valiosas de mis fallos y me han acompañado en este trayecto, permitiéndome evolucionar diariamente como persona.*

*DENIS XAVIER MEJÍA RUIZ*

## AGRADECIMIENTO

*Quiero expresar mi profunda gratitud a mi madre Francisca Ruiz, quien estuvo al pendiente de cada paso en este trayecto universitario, con su apoyo, consejos y regaños me han permitido mejorar como persona y cumplir mis objetivos.*

*A mi padre Arturo Mejía, quien me enseñó que siempre hay que ser perseverante, disciplinado y dar lo mejor en cada decisión, de esta manera poder cumplir con los objetivos propuestos.*

*A mis hermanos y hermanas que siempre estuvieron para mí en todo momento, de una u otra manera con su apoyo incondicional sembrando valores de unidad, perseverancia y respeto.*

*No puedo olvidar a Margarita Luna, Indyra Larco, Marilyn Valladares, Ricardo Ávila quienes han sido un gran apoyo con sus palabras de aliento y enseñanzas valiosas las cuales me ayudaron a superar las dificultades que enfrenté en el todo el trayecto de mi carrera como al final de esta.*

## RESUMEN

Esta investigación se centra en la hipertensión arterial, sus etapas y las enfermedades asociadas, el objetivo es implementar la Arquitectura IOT para monitorear a los pacientes y generar datos estadísticos, ayudando a evitar complicaciones médicas, se utilizarán repositorios digitales para obtener las bases teóricas necesarias.

El diseño del sistema se basará en el Modelo Iterativo y la Arquitectura IOT, utilizando software libre. Se aplicará el método de mediciones múltiples o Auto medición de la presión arterial (AMPA), junto con la tecnología 802.15.6 redes WBAN, un tensiómetro digital con Bluetooth transmitirá los datos al módulo ESP32 en el sistema embebido, que también estará conectado al módulo 4G para la transmisión de la información.

Los datos adquiridos se enviarán a la plataforma de IOT mediante el protocolo MQTT y se almacenarán en una base de datos, se utilizará un algoritmo de decisión supervisada para analizar los datos, que luego se visualizarán en un entorno web para organizar la historia clínica del paciente. Se enviarán alertas por SMS al personal médico a través de redes 4G/LTE para un mejor control.

Se implementará un algoritmo de aprendizaje supervisado para extraer datos sobre la hipertensión arterial, permitiendo al sistema electrónico organizar y gestionar la información recibida del tensiómetro. Aunque no se puede establecer el margen de error esperado del algoritmo, se espera que su funcionalidad sea confiable.

Para validar el funcionamiento del software y hardware, se realizarán pruebas a un paciente con hipertensión arterial. Esto ayudará a minimizar los errores de efecto de bata blanca (EBB) y contribuirá al diagnóstico precoz de los pacientes hipertensos.

## **ABSTRACT**

This research focuses on high blood pressure, its stages, and the associated diseases. The goal is to implement the IOT Architecture to monitor patients and generate statistical data, helping to avoid medical complications. Digital repositories will be used to obtain the necessary theoretical bases.

The design of the system will be based on the iterative model and the IOT architecture, using free software. The method of multiple measurements or Auto measurement of blood pressure (AMPA) will be applied, along with the 802.15.6 WBAN network technology. A digital blood pressure monitor with Bluetooth will transmit the data to the ESP32 module in the embedded system, which will also be connected to the 4G module for the transmission of information.

The acquired data will be sent to the IOT platform through the MQTT protocol and stored in a database. A supervised decision algorithm will be used to analyze the data, which will then be visualized in a web environment to organize the patient's medical history. SMS alerts will be sent to medical personnel through 4G/LTE networks for better control.

A supervised learning algorithm will be implemented to extract data on high blood pressure, allowing the electronic system to organize and manage the information received from the blood pressure monitor. Although the expected margin of error of the algorithm cannot be established, its functionality is expected to be reliable.

To validate the operation of the software and hardware, tests will be carried out on a patient with high blood pressure. This will help minimize white coat effect (BBB) errors and will contribute to the early diagnosis of hypertensive patients.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CONSTANCIAS.....	3
CERTIFICACIÓN.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
RESUMEN.....	7
<b>1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
1.1. Problema.....	17
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1. Objetivo General. ....	19
1.2.2. Objetivos específicos. ....	19
1.3. Alcance.....	20
1.4. Justificación.....	22
<b>2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>24</b>
2.1. Hipertensión arterial.....	24
2.1.1. Valores de referencia. ....	25
2.1.2. Medición. ....	25
2.1.3. Semiología. ....	27
2.1.4. El valor de presión arterial. ....	27
2.1.5. Enfermedades derivadas. ....	27
2.2. Internet de las cosas.....	31
2.2.1. Arquitectura (IOT). ....	32
2.2.2. Requerimientos de la Arquitectura IOT. ....	34
2.2.2.2. Interacción entre objetos conectados. ....	34
2.2.3. Funciones de las capas (IOT). ....	36
2.2.4. Arquitectura de 3 Capas. ....	37
2.2.4.1. Capa de Percepción.....	38

2.2.4.2. Capa de Red.....	38
2.2.4.3. Capa de Aplicación.....	38
2.2.5. Arquitectura de 5 capas. ....	38
2.2.5.1. Capa de percepción o de objetos. ....	39
2.2.5.2. Capa de red o de abstracción. ....	39
2.2.5.3. Capa de procesado (middleware layer). ....	40
2.2.5.4. Capa de aplicación.....	40
2.2.5.5. Capa de negocio.....	40
2.3. Plataformas de servicio IOT.....	40
2.3.1. AWS (Amazon Web Services).....	41
2.3.2. Azure IoT Hub. ....	42
2.3.3. Oracle Internet of Things Cloud Service. ....	43
2.3.4. Watson IoT. ....	44
2.4. Sistemas embebidos.....	45
2.4.1. Microcontrolador. ....	45
2.4.2. Tensiómetros. ....	46
2.5. Modulo SIM.....	48
2.6. Tipos de sensores.....	48
2.6.1. Sensor EMG. ....	48
2.6.2. Sensor GSR. ....	49
2.6.3. Sensor de ritmo cardíaco. ....	50
2.6.4. Sensor de huella digital. ....	51
2.6.5. Aplicaciones. ....	52
2.6.5.1. Telemedicina. ....	52
2.7. Redes de comunicación inalámbricas.....	53
2.7.1. Clasificación de las redes inalámbricas. ....	53
2.7.2. Redes inalámbricas de área personal (WPAN). ....	54
2.7.3. Redes inalámbricas de área local (WLAN). ....	55
2.7.4. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN). ....	55
2.7.5. Redes inalámbricas de área amplia (WWAN). ....	56

2.7.6. WSN. ....	56
2.7.7. WIFI. ....	57
2.7.8. Redes WBAN. ....	58
2.7.8.1. Estructura de esta red. ....	58
2.7.8.2. Botones de sensor. ....	58
2.7.8.3. Comunicación. ....	58
2.7.8.4. Almacenamiento. ....	58
2.7.8.5. Aplicaciones médicas. ....	59

### **3.CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE PRESIÓN ARTERIAL**

3.1. Modelo Iterativo. ....	60
3.2. Situación Actual. ....	60
3.1.1. Análisis de resultados. ....	62
3.3. Introducción al desarrollo del proyecto. ....	64
3.3.1. Propósito del sistema. ....	64
3.3.2. Ámbito del Sistema. ....	65
3.3.3. Características de los beneficiarios. ....	66
3.4. Descripción General del Proyecto. ....	66
3.4.1. Etapa DAQ. ....	67
3.4.2. Etapa de comunicaciones de embebidos. ....	67
3.4.3. Etapa IOT. ....	68
3.5. Requerimientos. ....	70
3.5.1. Construcción de Atributos de los requerimientos. ....	70
3.5.2. Nomenclatura utilizada para los requerimientos. ....	70
3.6. Requerimientos de Stakeholders. ....	71
3.7. Requerimientos del Sistema. ....	73
3.8. Requerimientos de Arquitectura. ....	75

	12
3.9. Requerimientos de Aprendizaje Automático.....	77
3.10. Primera Iteración.....	78
3.10.1. Análisis.....	78
3.10.2. Componentes de comunicación.....	83
3.10.3. Diseño.....	85
3.10.4. Implementación.....	86
3.11. Segunda Iteración.....	86
3.11.1. Análisis.....	87
3.11.2. Operación del Módulo 4G.....	89
3.11.3. Envío de datos MQTT.....	90
3.11.4. Diseño.....	91
3.11.5. Implementación.....	92
3.12. Tercera Iteración.....	92
3.12.1. Análisis.....	92
3.12.2. Componente Presentación.....	93
3.12.3. Componente de Persistencia.....	93
3.12.4. Componente Procesamiento de Datos.....	94
3.12.5. Diseño.....	94
3.12.6. Implementación.....	95
<b>4. CAPITULO IV: REQUERIMIENTOS Y PRUEBAS</b>	<b>97</b>
4.1. Análisis del Algoritmo.....	97
4.2. Pruebas 1era Iteración.....	97
4.2.1. Pruebas de Comunicación.....	97
4.2.2. Pruebas Electrónicas.....	98
4.3. Pruebas 2da Iteración.....	98
4.4. Pruebas 3ra Iteración.....	99
4.4.1. Matriz de confusión y sus métricas.....	102
4.4.2. Calculo de la matriz de confusión.....	102
4.5. Hoja de Ruta.....	105

4.5.1. Arquitectura.....	105
4.5.2. Sistema.....	107
4.5.3. Stakeholders.....	109
4.6. Casos Críticos de mediciones.....	110
4.7. Consulta de datos.....	112
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>113</b>
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.....	119
Encuesta.....	119
ENTREVISTA 1.....	124
Tiempo estimado de la entrevista.....	124
ENTREVISTA 2.....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías de niveles de presión sanguínea en adultos (Edades mayores o iguales a 18 años) por niveles de presión sanguínea (mmHg).....	24
Tabla 2: Tabla de Situación actual.....	61
Tabla 3: Nomenclatura a utilizar para los requerimientos del sistema .....	71
Tabla 4: Listado de Stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de la presión arterial.71	
Tabla 5: Requerimientos de Stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de la presión alta.....	72
Tabla 6: Tabla de Requerimientos del Sistema.....	73
Tabla 7: Requerimientos de arquitectura para el diseño del sistema de monitoreo de la presión arterial. ....	76
Tabla 8: Requerimientos de Machine Learning para el diseño del sistema.....	78
Tabla 9: Tabla de características de selección de tensiómetros .....	79
Tabla 10: Tabla de selección de dispositivo para toma de datos .....	79
Tabla 11. Tabla de características del módulo 4G.....	87
Tabla 12. Tabla de selección del módulo 4G.....	88
Tabla 13: Selección de Clientes MQTT.....	93
Tabla 14: Rúbrica de Arquitectura.....	106
Tabla 15: Rúbrica de Requerimientos del Sistema .....	107
Tabla 16: Rubrica de Validación de Requerimiento Operacionales.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Toma de medidas de presión arterial con tensiómetro análogo. ....	26
Figura 2: Insuficiencia cardiaca sufrida en el corazón. ....	28
Figura 3: Visualización de endurecimiento de los vasos sanguíneos. ....	30
Figura 4: Trastorno en la zona ocular por las restricciones del flujo sanguíneo. ....	31
Figura 5: Interpretación grafica sobre el internet de las cosas.....	32
Figura 6: Ejemplo de Arquitectura IoT. ....	33
Figura 7: Arquitectura IOT de 3 y 5 capas. ....	37
Figura 8: Arquitectura de 3 capas de IoT. ....	37
Figura 9: Elementos de la arquitectura de 5 capas de un Iot. ....	39
Figura 10: Mecanismo de trabajo de AWS IoT.....	41
Figura 11: Mecanismo de seguridad en Azure IoT. ....	42
Figura 12: Plataforma de Oracle IoT Cloud. ....	43
Figura 13: Plataforma principal de Watson IoT. ....	44
Figura 14: Composición electrónica de una tarjeta microcontroladora. ....	45
Figura 15: Equipamiento necesario para un tensiómetro análogo. ....	47
Figura 16: Tensiómetro digital para muñeca. ....	47
Figura 17: Arquitectura del sensor EMG.....	49
Figura 18: Infraestructura original del sensor GSR. ....	50
Figura 19: Arquitectura del sensor de ritmo cardiaco eléctrico.....	51
Figura 20: Arquitectura del sensor de huella digital.....	52
Figura 21: Clasificación de las redes inalámbricas.....	54
Figura 22: Esquema de una WLAN para el hogar.....	55
Figura 23: Implementación de una red inalámbrica WMAX. ....	56
Figura 24: Diagrama esquemático del sistema de monitoreo inalámbrico. ....	57
Figura 25: Estructura general para la red WBAN.....	59
Figura 26: Diagrama de bloques general .....	67
Figura 28: Dispositivo de Presión Arterial B02r .....	80
Figura 29: Dispositivo de Presión Arterial B02r desarmado .....	80
Figura 30: Chip T24C16A .....	81

Figura 31: Esquema electrónico del dispositivo .....	81
Figura 32: Flujograma del proceso de adquisición de datos de parte del tensiómetro de Presión Arterial B02r .....	82
Figura 33: Esquema electrónico de pruebas de comunicación I2C .....	84
Figura 34: Esquema electrónico general para la toma de datos automatizada .....	85
Figura 35: Diagrama de bloque de la Etapa DAQ .....	86
Figura 36: Intervención en el chip T24C16 .....	86
Figura 37: Módulo SIM7600X .....	89
Figura 38: Módulo 4G con el chip de telefonía móvil.....	90
Figura 39: Diagrama de Bloques en etapa comunicaciones embebidos .....	91
Figura 40: Conexiones con el módulo 4G .....	92
Figura 41: Diagrama de Bloques del sistema online .....	94
Figura 42: Pagina Web.....	95
Figura 43: Base de datos en Firebase.....	96
Figura 44: Desarrollo Web en Heroku.....	96
Figura 45: Prueba de comunicación COM7 del arduino .....	97
Figura 46: COM11 del esp32 recibiendo los datos del arduino.....	98
Figura 47: Bróker MQTT recibiendo los datos.....	99
Figura 48: payload {"presionS": 140, "presionD":80} .....	100
Figura 49: afirmación por consola MQTT .....	100
Figura 50: Verificación de datos en Firebase .....	101
Figura 51: Pagina web .....	101
Figura 52: Alertas en Pagina Web .....	111

## 1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El primer capítulo de este proyecto detalla el problema a investigar, los objetivos a cumplir, el alcance y finalmente la justificación del por qué se va a desarrollar este proyecto en beneficio del paciente donde se implementará el sistema.

### 1.1. Problema

La hipertensión arterial es un desorden en el que los vasos sanguíneos tienen una tensión permanentemente alta por lo que esto causa daños en los mimos, por tal razón esta enfermedad se relaciona con la insuficiencia cardiaca, cerebrovascular, la enfermedad coronaria, la enfermedad vascular periférica y la insuficiencia renal, como consecuencia es el principal factor de riesgo para sufrir una enfermedad cardiovascular; cabe recalcar que cada año ocurren 1.6 millones de muertes por enfermedades cardiovasculares en la región de las Américas de las cuales aproximadamente medio millón son personas que rodean los 70 años, lo cual se considera una muerte prematura y evitable, entre las que se encuentran aproximadamente la mitad de las causadas por los ataques cardíacos y cerebrales (*OMS / Hipertensión, 2023*).

Es importante destacar que el sector salud se ha distinguido por su constante innovación, por lo tanto esta ha ido de la mano con los avances y tendencias tecnológicas globales buscando así convertir la atención médica, mejorar la calidad de vida de los pacientes; al mismo tiempo ayudar a los profesionales de la salud a entregar terapias y medicación más eficientes, el objetivo principal de tratar la hipertensión es reducir el riesgo cardiovascular global en particular de enfermedades cerebrovascular, isquémica del corazón y renal (*Organización., 2020*).

Actualmente el personal de salud cuenta con diferentes métodos para medir la presión, esto se lo realiza usando varios instrumentos en distintos puntos del cuerpo, sin embargo Las pautas actuales aconsejan el empleo extensivo de MAPA y AMPA para identificar la hipertensión de bata

blanca (HBB), la hipertensión enmascarada (HTM), la hipertensión resistente y otras situaciones de relevancia clínica.(Osmar & Boivin, n.d.), por estas razones el método más aplicado es MAPA (Monitoreo ambulatorio de presión arterial), el cual ha llegado a convertirse en una técnica de gran interés en la práctica clínica no solo por el gran número de publicaciones que la avalan, sino porque ha demostrado en ellas una mayor certeza de las cifras que entrega y el pronóstico que conlleva.

Cabe destacar que la persona atendida debe acudir al centro médico para la colocación del aparato Holter; en atención a lo expuesto se da a conocer diferentes sistemas implementados en el mercado como lo es: Holter De Presión Arterial No Invasiva Abmp50, Holter De Presión Arterial, Tensiómetros Omron Hem-6052/6300 Monitor muñequera (MercadoLibre, 2020), se puede señalar que en el mercado también existen varios aparatos con diferentes valores económicos pero uno de los problemas que contienen es que los datos del registro obtenido tendrán que ser llevados a una casa de salud para ser valorados por un especialista en el contexto de la actividad cotidiana registrada por el paciente.

Dicho esto, es muy importante la implementación de un sistema que a más de proveer un medio de diagnóstico utilice la combinación de sistemas embebidos juntamente con la transmisión segura de datos por Internet y redes 4G/LTE, realizando su procesamiento en la nube, la programación de la aplicación, el análisis matemático para su implementación y su posterior ejecución del algoritmo de Machine Learning (ML) que califique de acuerdo con las cualidades o características, el objetivo de este proyecto es implementar un tensiómetro digital dotado de comunicación Bluetooth y tecnología 802.15.6 Redes WBAN, se conecta en la plataforma de IOT de modo similar genere una alerta al dispositivo Android por medio de redes 4G/LTE, el cual dispone de una interfaz que permite organizar y gestionar los datos recibidos del tensiómetro, este sistema permite al personal médico como al paciente estar siempre en contacto con los datos y así

poder llevar un estudio clínico más detallado los cuales son cruciales para tomar las acciones necesarias para atenuar los efectos negativos de la Hipertensión Arterial, es necesario aclarar que este sistema no tiene el objetivo de suplir el criterio de un especialista sino más bien que se convierta en un soporte para este.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Plantear un sistema electrónico de control y monitoreo de hipertensión arterial mediante el uso de un algoritmo de decisión supervisada para contribuir con el diagnóstico precoz de pacientes hipertensos.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- Realizar una revisión de literatura para determinar las bases teóricas correspondientes de los criterios y niveles de hipertensión arterial, igualmente de los dispositivos a utilizar, e identificar los protocolos de comunicación que poseen los dispositivos tecnológicos para su monitoreo.
- Definir los requerimientos software y hardware del sistema de medición de la presión arterial, con base a los principios de manejo de pacientes Hipertensos, correcta posición, módulos a utilizar, tecnologías aplicables y los requerimientos en la ejecución a la metodología de modelo iterativo.
- Definir el algoritmo de decisión supervisada que mejor se ajuste a los requerimientos del sistema haciendo uso de una matriz de confusión.
- Realizar pruebas de funcionamiento tanto de software como hardware para comprobar el funcionamiento del sistema.

### **1.3. Alcance**

En la presente investigación se abordará conceptos sobre hipertensión arterial, las etapas o niveles de esta, además dar a conocer las diferencias de los valores de una presión arterial normal; elevada e hipertensión etapa 1 o 2, así mismo las diferentes enfermedades que pueden padecer las personas que sufren de esta afección, se puede señalar que este estudio no garantiza que la persona que padezca de esta enfermedad se pueda sanar la función de este estudio es implementar la Arquitectura IOT a fin de monitorear al paciente, con la finalidad de evitar complicaciones medicas a corto y largo plazo logrando generar datos estadísticos. Para obtener las bases teóricas necesarias se hará uso de los repositorios digitales que contengan artículos e investigaciones relacionadas a la temática y sean de aporte productivo al desarrollo del sistema propuesto.

Para la parte del diseño del sistema se lo realizará en base al modelo iterativo, se optará por la Arquitectura IOT por lo cual se hará uso de software libre, de modo similar se aplicara el método de mediciones múltiples o la Auto medición de la presión arterial (AMPA), en conjunto con los requerimientos que debe seguir el paciente para obtener una lectura precisa, de igual manera se hace uso de la tecnología 802.15.6 redes WBAN, mediante un tensiómetro digital dotado de comunicación Bluetooth el cual transmite los datos adquiridos al módulo ESP32 que estará conectado en el sistema embebido, en este también se encontrara conectado el módulo 4G , por ello se empleara la red 4G/LTE para la transmisión de la información.

Los datos adquiridos por el sistema embebido del módulo ESP32 pasaran a la plataforma de IOT por medio del protocolo MQTT, esta información adquirida se estará almacenando en una base de datos donde una vez recolectada se hará uso del algoritmo de decisión supervisada para el análisis de los mismos, para su posterior visualización se dispondrá de un entorno web el cual

permitirá organizar la historia clínica del paciente, de la misma forma para un mejor control se genera una alerta mediante mensajes SMS al personal médico tratante por medio de redes 4G/LTE.

Mediante las señales obtenidas se realizará la fase de la implementación del algoritmo de aprendizaje supervisado que será previamente elegido y que se apegue a las necesidades de funcionamiento del proyecto que permitirá la extracción de datos sobre la hipertensión arterial, con lo cual el sistema electrónico será capaz de organizar y gestionar la información recibida del tensiómetro en la base de datos capaz de detectar problemas relacionados con la presión arterial sistólica y diastólica, no es posible establecer el margen de error que se espera obtener del algoritmo implementado debido a que es la primera vez que se ejecutará en este campo de acción, sin embargo, se espera que la confiabilidad o certeza de la funcionalidad del algoritmo sea la mayor.

Para validar el funcionamiento de software y hardware, se realizarán pruebas a un paciente con hipertensión arterial para tener referencia de la medición del sistema y la correcta funcionalidad en la toma y análisis de datos, así minimizar los errores de efecto de bata blanca (EBB) y contribuir con el diagnóstico precoz de paciente hipertensos, de igual manera cabe recalcar que se realizará un dispositivo adicional para evitar contratiempos que puedan suscitar.

#### **1.4. Justificación**

A nivel mundial, la presión arterial elevada es el factor de riesgo modificable más importante para evitar la enfermedad cardiovascular y retrasar la enfermedad renal crónica (ERC) terminal, pese a conocer sobre las formas de prevenir y tratar la hipertensión la incidencia y prevalencia global de hipertensión arterial y sus complicaciones cardiovasculares no se reducen, en parte por deficiencias en la prevención, el diagnóstico y el control del trastorno (Ecuador),. (2019), esta afección no puede considerarse aislada por su evolución natural incrementa de manera considerable el riesgo de lesión a diferentes órganos, así como la invalidez y las cifras de muerte.

La hipertensión arterial, que es el mayor factor de riesgo para las enfermedades cardiovasculares, es la causa principal de fallecimientos en Ecuador. Según la encuesta STEPS, se cree que al menos el 20% de los ecuatorianos mayores de 19 años sufren de hipertensión arterial (Organización Panamericana de Salud, 2021). Según (Regino-Ruenes et al., 2021) afirma “ Que se estima que más de la mitad de las personas con hipertensión no son conscientes de su condición, lo que provoca un retraso en el inicio del tratamiento y aumenta el riesgo de complicaciones y efectos adversos, debido a esto se debe proponer el uso de la tecnología IOT como soporte en el área de salud dado que permite monitorizar a los pacientes y tener un control de la historia clínica en tiempo real, además del intercambio de datos favorece que se les pueda atender a distancia, facilitando o mejorando algunos procesos que se han llevado a cabo de forma tradicional.

El desarrollo del presente trabajo de grado se pretende contribuir a lo establecido en el objetivo 5 del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 Toda una Vida, que trata de impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, en el cual la ciudadanía destaca que para lograr los objetivos de incrementar la productividad, agregar valor, innovar y ser más competitivo, se requiere investigación e

innovación para la producción, transferencia tecnológica; vinculación del sector educativo y académico con los procesos de desarrollo; pertinencia productiva y laboral de la oferta académica, junto con la profesionalización de la población; mecanismos de protección de propiedad intelectual y de la inversión en mecanización, industrialización e infraestructura productiva (Senplades, 2017).

El fortalecimiento de los sistemas de salud puede ayudar hacer frente a los problemas relacionados con el control de la hipertensión arterial al abordar los diversos obstáculos que impiden un control eficaz y sostenido de la hipertensión, este tipo de obstáculos surge cuando el paciente tiene limitaciones en el acceso al sistema de atención de salud, en especial a los medicamentos o no cumple el tratamiento médico, los obstáculos para acceder al tratamiento pueden deberse a muchos factores, como la ausencia de un sistema eficaz de seguro médico, la imposibilidad de que un mismo profesional de la salud atienda al paciente de manera regular, las dificultades de transporte para asistir a las consultas médicas u otros problemas logísticos (Patel, P., Ordoñez, P., Dipette, D., Escobar, M. C., Hassell, T., Wyss, F., Hennis, A., Asma, S., & Angell, 2016), asimismo muchos pacientes de sexo masculino tienden a evitar la atención médica por lo que resulta difícil llegar a ellos en centros médicos, estas diferencias entre hombres y mujeres en cuanto a la búsqueda de atención médica deben ser abordadas para mejorar los resultados de salud (Thompson, A. E., Anisimowicz, Y., Miedema, B., Hogg, W., Wodchis, W. P. & K, 2016).

Con base en lo mencionado, se propone un sistema para tratar de manera autónoma el control de la hipertensión arterial, usando un sistema embebido que permita monitorear la presión arterial y de igual manera el sistema genere una alerta cuando estos valores aumenten, para que se convierta en un aporte para el especialista para la valoración médica del paciente hipertensión.

## 2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

En el capítulo hace referencia a la información obtenida a través de las diferentes investigaciones realizadas a través de los años, destacando el mejor contenido para así entender hacia donde se quiere llevar la investigación con información detallada.

### 2.1. Hipertensión arterial

Como definición la hipertensión arterial es un trastorno donde los vasos sanguíneos presentan una tensión elevada. La sangre se dirige desde el corazón hacia todo el cuerpo mediante vasos sanguíneos, con cada latido bombea el flujo de sangre y la tensión arterial se produce cuando la fuerza con la que transporta la sangre es muy elevada y empuja las paredes de los vasos con gran intensidad. Cuando más alta sea la tensión, más dificultad presenta el corazón para bombear. Es así como esta tensión en las arterias provoca que el corazón aumente su ritmo para que pueda bombear sangre, alteración que al final afecta el funcionamiento de órganos como el riñón, cerebro y corazón (OMS, 2021). En la Tabla 1 se presentarán los niveles de presión sanguínea.

*Tabla 1: Categorías de niveles de presión sanguínea en adultos (Edades mayores o iguales a 18 años) por niveles de presión sanguínea (mmHg).*

Categoría	Sistólica	Diastólica
Hipotensión	<90	<60
Normal	91 a 119	61 a 79
Elevada	120 a 129	<80
Presión sanguínea alta		
Etapa 1	130 – 139	80 - 89
Etapa 2	140 – 179	90 a 119
Crisis hipertensiva	>180	>120

*Nota: Los datos se obtuvieron a adaptados de (McDermott, 2018).*

### **2.1.1. Valores de referencia.**

La presión sanguínea se mide tanto cuando el corazón se contrae, llamado sístole, que se define como el punto de tensión más alto contra la pared arterial cuando los ventrículos se contraen y empujan la sangre a través de las arterias, como también en el momento en que el corazón se relaja denominado presión diastólica, que es el punto de tensión más bajo sobre la pared arterial cuando el corazón se encuentra en reposo entre latidos. (Dugdale, 2021). Se mide en milímetros de mercurio (mmHg) la presión arterial y se indica por medio de una fracción. la presión sistólica se ubica en el numerador; la presión diastólica en el denominador y su diferencia se denomina presión de pulso.

Las lecturas de la presión arterial generalmente se dan como dos números, El número superior se denomina presión arterial sistólica, el número inferior se llama presión arterial diastólica (Dugdale, 2021). Donde el valor óptimo de presión arterial debe ser 120/80 mmHg, 120 corresponde la presión sistólica y 80 la diastólica. Además, se cambiaron la definición de presión arterial alta o hipertensión para la mayoría de las personas. Ahora la presión arterial alta generalmente se define como 130 o más para el primer número, u 80 o más para el segundo número (anteriormente los números eran 140/90). Sin embargo, existen consideraciones importantes para los adultos mayores a la hora de decidir si comenzar un tratamiento para la presión arterial alta, inclusive otras condiciones de salud y la condición física general. Si su presión arterial es superior a 130/80, el médico evaluará su salud para determinar qué tratamiento es necesario para balancear los riesgos y beneficios en su situación particular (National Institute on Aging, 2018).

### **2.1.2. Medición.**

La monitorización y detección de la tensión arterial alta (hipertensión) se realiza mediante un esfigmomanómetro o un tensiómetro que puede ser digital o análogo adaptándose al cuerpo del

paciente. El dispositivo mide la presión arterial indirecta en milímetros de mercurio (mmHg) durante el ciclo cardíaco, a través de un sistema de válvula y mango, en dónde primero se coloca un brazal envolviendo las dos terceras partes del brazo sobre la muñeca o el codo del paciente.

El brazo debe estar apoyado sobre una superficie plana, luego la manija de la válvula se llenará con aire que creará un punto de presión máxima en los vasos sanguíneos (el punto de presión máxima no es siempre el mismo) la respuesta de presión denominada sístole correspondiente a la contracción del corazón en dónde bombea sangre, cuando este punto de máxima presión termina se relaja hasta un punto llamado relajación o diástole en el cual el corazón se llena de sangre (LUKÉN, 2018). Un claro ejemplo de la toma de medición de la presión arterial se manifiesta en la Figura 1.

*Figura 1: Toma de medidas de presión arterial con tensiómetro análogo.*



*Nota.* Identificación de la medida de la presión arterial que realiza el medico a su paciente, ubicando el tensiómetro en el brazo derecho, obtenida de (Vicente, 2018).

### **2.1.3. Semiología.**

La mayor parte de casos de hipertensión son asintomáticos. En otros casos pueden presentar síntomas como dolor de cabeza, hemorragia nasal, problemas respiratorios, mareos, dolor torácico. La OMS clasifica la hipertensión arterial según:

### **2.1.4. El valor de presión arterial.**

Se puede decir que la tensión arterial ideal es de 119/79 mm/Hg, para saber el valor de la presión arterial normal, destaca que muchos influyen en los valores de presión arterial de cada persona, como el sexo, la edad, los hábitos, la alimentación, etc. y otras variables del momento en que se toma la tensión como el esfuerzo, la digestión, las emociones, los excitantes, el sueño, entre otros factores (Vicente, 2023).

### **2.1.5. Enfermedades derivadas.**

Como se ha mencionado la presión arterial alta o hipertensión, es un trastorno cardiovascular que se desarrolla cuando hay dificultades en el transporte del flujo sanguíneo. Conforme se va generando este problema, el corazón tiene que aumentar sus esfuerzos para bombear la sangre a través de espacios más reducidos, lo cual hace que la presión se incremente.

Algunos, han mencionado a este problema como la “asesina silenciosa”. Y es que, aunque al principio no genera daños mayores, con el paso del tiempo causa cambios en otros sistemas del cuerpo y puede derivar en graves enfermedades. Teniendo en cuenta que muchos lo desconocen, a continuación, se detalla 7 complicaciones que se pueden presentar cuando no se instaura un tratamiento oportuno (Ramos Rojas, 2022).

#### **2.1.5.1. Ataque al corazón.**

El ataque al corazón es una de las patologías más graves que se relacionan con la presión arterial alta descontrolada. Esta condición, que puede llegar a ser mortal, se produce porque las

arterias se endurecen y se estrechan, lo que afecta al transporte del flujo sanguíneo (Ramos Rojas, 2022).

#### **2.1.5.2. Accidente cerebrovascular.**

Pueden ocurrir cuando el flujo de sangre tiene dificultades para llegar al cerebro. Dado que la presión afecta de forma directa a la circulación de la sangre hacia este órgano principal, los pacientes con hipertensión tienen muchas más probabilidades de desarrollar esta patología (Ramos Rojas, 2022).

#### **2.1.5.3. Insuficiencia cardíaca.**

Está relacionada con el sobreesfuerzo que tiene que hacer el corazón para bombear la sangre a través de arterias duras y estrechas. Esta condición es una de las causas principales de muerte entre hipertensión arterial, ya que afecta directamente el músculo cardíaco, como se aprecia en la Figura 2 (Ramos Rojas, 2022).

*Figura 2: Insuficiencia cardíaca sufrida en el corazón.*



*Nota.* Descripción en imagen sobre la insuficiencia cardíaca que podría sufrir en la parte torácica del corazón obtenida de (Ramos Rojas, 2022).

Entre sus síntomas cabe destacar:

- Dificultades para respirar.
- Inflamación de las extremidades.
- Distensión abdominal.
- Problemas para dormir.
- Incontinencia urinaria.
- Fatiga o sensación de debilidad.

#### **2.1.5.4. Diabetes.**

Los descontrolados en los niveles de azúcar en sangre pueden:

- Afectar al flujo sanguíneo y a la salud arterial.
- Interrumpir el paso correcto de la sangre hacia el corazón.

A menudo, la diabetes se agrava en los pacientes con hipertensión porque se afecta el metabolismo, la función del páncreas y los riñones (Ramos Rojas, 2022).

#### **2.1.5.5. Aterosclerosis.**

La aterosclerosis es una condición que surge por muchas causas, entre ellas una presión arterial alta no controlada. Esto conlleva al endurecimiento de las arterias, lo cual puede ocasionar bloqueos y trastornos peligrosos vistos en la Figura 3 y que se puede mencionar como la enfermedad arterial coronaria (Ramos Rojas, 2022).

*Figura 3: Visualización de endurecimiento de los vasos sanguíneos.*



*Nota.* Descripción grafica de como las paredes de los vasos sanguíneos se van atrofiando, produciendo la obstrucción del flujo sanguíneo obtenido de (Ramos Rojas, 2022).

#### **2.1.5.6. Enfermedades en los riñones.**

La hipertensión afecta de forma directa a sus funciones, restringiendo el flujo sanguíneo que le permite trabajar en óptimas condiciones. Con el paso del tiempo se genera un fuerte deterioro en la salud renal, sobre todo porque se reduce la oxigenación y el paso de nutrientes hacia estos órganos. Además, las arterias ubicadas en sus alrededores pueden estrecharse, limitando su capacidad para eliminar los desechos y generando insuficiencias y daños irreversibles (Ramos Rojas, 2022).

#### **2.1.5.7. Enfermedades en los ojos.**

Aunque parece que no está relacionado, las restricciones en el flujo sanguíneo a cualquiera de las partes del cuerpo pueden conducir a daños en los vasos de la retina. Se suelen desarrollar enfermedades visuales de forma gradual. Estas comienzan con síntomas comunes como la inflamación, la visión borrosa o la pérdida de agudeza (Ramos Rojas, 2022), como se representa los inicios de la enfermedad en la Figura 4.

*Figura 4: Trastorno en la zona ocular por las restricciones del flujo sanguíneo.*



*Nota.* Descripción sobre el dolor que puede causar la obstrucción de los vasos sanguíneos en el rostro obtenida de (Ramos Rojas, 2022).

Las revisiones médicas regulares son fundamentales para detectar de forma oportuna las irregularidades en la presión arterial. Una vez detectadas existen fármacos específicos para este tipo de consecuencias de la hipertensión, así que es importante detectarlas.

## **2.2. Internet de las cosas**

El Internet de las Cosas (IOT) es un proceso que facilita la conexión de objetos físicos cotidianos a Internet. Esto abarca desde objetos domésticos comunes como bombillas, hasta dispositivos médicos utilizados en el cuidado de la salud; incluye también accesorios personales inteligentes y sistemas integrados en ciudades inteligentes (Redhat.com, 2023).

Con un 60% de la población mundial conectada a Internet, vivimos en la era de la interconexión, y es raro ver personas que no tengan como mínimo un smartphone o Internet en su hogar. Tanto es así, que se ha creado una tendencia llamada “el Internet de las cosas” (Rodrigo, 2021), como se mira en la Figura 5 la conexión inalámbrica que tienen los elementos en un mismo sitio.

*Figura 5: Interpretación gráfica sobre el internet de las cosas.*



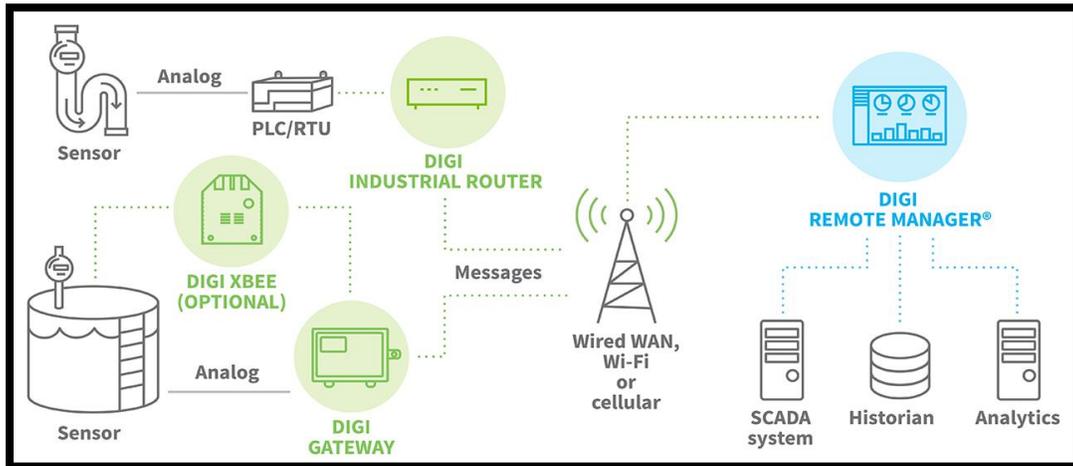
*Nota.* Visualización de la conectividad sobre todos los sistemas inteligentes que pueden acoplarse al IOT obtenido de (Rodrigo, 2021).

El Internet de los Cosas (IOT), es un concepto que ha venido evolucionando desde una simple interconexión digita de objetos cotidianos a través de Internet, a una interrelación inteligente de objetos, personas y/o procesos, logrando así sistemas que soportados por otras tecnologías tengan la capacidad de interactuar automáticamente con otros sistemas y de tomar decisiones sin la intervención humana (Redhat.com, 2023).

### **2.2.1. Arquitectura (IOT).**

El paradigma IOT es tan amplio y cubre tantos aspectos que no existe una visión unificada acerca de cuál debería ser su modelo arquitectónico, o si existe un modelo que sea el más adecuado. En la Figura 6 podemos observar un ejemplo de un sistema (IOT) (Jahnke, 2020).

Figura 6: Ejemplo de Arquitectura IOT.



*Nota.* Descripción técnica de la conectividad en tiempo real para la obtención de datos de una planta con tecnología IOT obtenida de (Jahnke, 2020).

La arquitectura del sistema IOT suele describirse como un proceso de cuatro etapas en el que los datos fluyen desde los sensores conectados a las "cosas" a través de una red y, finalmente, a un centro de datos corporativo o a la nube para su procesamiento, análisis y almacenamiento. En Internet de las cosas, una "cosa" puede ser una máquina, un edificio o incluso una persona. Los procesos de la arquitectura de la IO también envían datos en la otra dirección en forma de instrucciones o comandos que indican a un actuador o a otro dispositivo conectado físicamente que realice alguna acción para controlar un proceso físico. Un actuador puede hacer algo tan sencillo como encender una luz o tan importante como detener una línea de montaje si se detecta un fallo inminente (Jahnke, 2020).

El éxito del IOT depende en gran medida de una Arquitectura que permita que sea una tecnología dinámica y segura. De hecho, el gran inconveniente que existe es la idea conceptual del IOT y cómo aplicarlo a nuestra vida diaria. Es importante tener presente un significado común para el Internet de las Cosas. Según el IBSG (Internet Business Solution Group) de Cisco,

el IOT es simplemente el momento en el que hay más cosas u objetos conectados a Internet que personas (Jahnke, 2020).

## **2.2.2. Requerimientos de la Arquitectura IOT.**

Hay que cumplir diversos requerimientos para que la tecnología sea aceptable, con permisos de distribución entre los elementos que puedan interactuar entre ellos para intercambiar datos, además de ser eficientes y, sobre todo, de seguridad.

### **2.2.2.1. Tecnología distribuida.**

El fundamento del Internet de las Cosas (IOT) radica en la capacidad de dispersar objetos y dispositivos conectados a través de nuestro entorno. Esto significa que la información recopilada puede originarse en diversos lugares y, a su vez, ser procesada por diferentes máquinas o servidores. (Luis del Valle Hernández, 2023).

### **2.2.2.2. Interacción entre objetos conectados.**

Uno de los principales desafíos que enfrentamos es la estandarización de los protocolos de comunicación. Cada fabricante tiende a implementar su propia tecnología, lo que a menudo resulta en una falta de comunicación entre los dispositivos. En el Internet de las Cosas (IOT), es esencial que cualquier objeto pueda intercambiar datos de manera bidireccional. Es necesario que estos dispositivos puedan interactuar entre sí (Luis del Valle Hernández, 2023).

### **2.2.2.3. Eficiencia energética.**

Si se requieren dispositivos conectados autónomos, estos deben tener la mayor autonomía posible. No es viable depender de la recarga de sus baterías con frecuencia, como ocurre con los teléfonos móviles. Este aspecto puede ser mejorado de varias formas, como el desarrollo de

baterías de mayor duración y la optimización de la eficiencia de los dispositivos. (Luis del Valle Hernández, 2023).

#### ***2.2.2.4. Seguridad.***

La seguridad en el Internet de las Cosas (IOT) es un aspecto que debe considerarse desde el inicio. No solo nuestros datos están en riesgo, sino también nuestra seguridad física. Imagina que la cerradura de tu casa se maneja electrónicamente y puedes abrirla con un móvil. Si alguien piratea el sistema, podrían entrar en tu casa. Indudablemente, la seguridad es el pilar de toda tecnología, pero en realidad no se puede construir una arquitectura completamente segura. No existe una seguridad informática 100% garantizada, pero hay formas de dificultar la tarea a los posibles infractores del sistema.” (Luis del Valle Hernández, 2023).

#### ***2.2.2.5. Dispositivos Conectados.***

Dentro de este bloque se encuentran los componentes necesarios para conectar el mundo físico con el virtual, como los sensores y actuadores. Además, existen muchos componentes disponibles para el prototipado y la creación de dispositivos IOT (Luis del Valle Hernández, 2023).

#### ***2.2.2.6. Puntos de Acceso.***

Los puntos de acceso son dispositivos que permiten conectar objetos, dispositivos o cosas a Internet. Su objetivo principal es establecer una conexión entre los periféricos y la nube, y también permitir la conectividad entre ellos. Es importante que esta conexión sea segura, robusta y tolerante a fallos para garantizar la recopilación de información de los dispositivos y su gestión eficiente. (Luis del Valle Hernández, 2023).

#### ***2.2.2.7. Procesamiento de datos.***

Para gestionar y presentar información, es necesario contar con aplicaciones que sean fáciles de usar para las personas. No importa si son aplicaciones nativas o web. Gracias al uso de APIs y servicios web, cualquier tipo de aplicación puede conectarse a los datos y mostrarlos a los usuarios. Además, estas aplicaciones pueden ajustar los parámetros para que los sistemas se comporten de una manera específica (Luis del Valle Hernández, 2023).

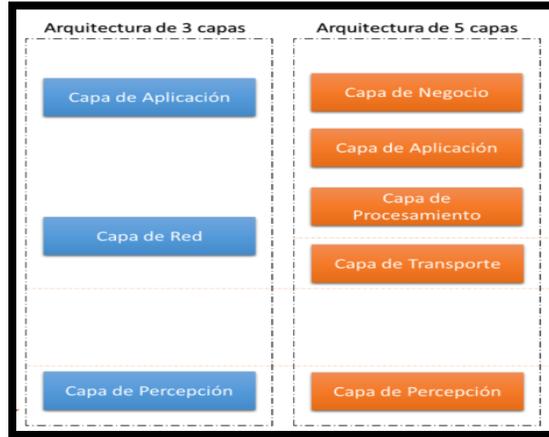
#### ***2.2.2.8. Aplicaciones.***

Para poder manejar y visualizar la información, necesitamos de aplicaciones que sean amigables para el ser humano. Da lo mismo si son nativas o web. Gracias al uso de APIs y servicios web, cualquier tipo de aplicación se podrá conectar a los datos y mostrarlos a los usuarios. Y no solo vamos a visualizar los datos. Estas aplicaciones podrán modificar los parámetros para que los sistemas se comporten de manera determinada (Luis del Valle Hernández, 2023)

#### **2.2.3. Funciones de las capas (IOT).**

Es importante saber que en la arquitectura de IoT, no existe una única definición universalmente adoptada. Diferentes propuestas han surgido durante su desarrollo. Pese al gran número de soluciones propuestas es posible generar un marco general para entender las principales capas que conforman IOT (García, 2020). En la Figura 7 se muestra las diferencias de componentes entre la arquitectura de 3 capas con la de 5 capas.

Figura 7: Arquitectura IOT de 3 y 5 capas.

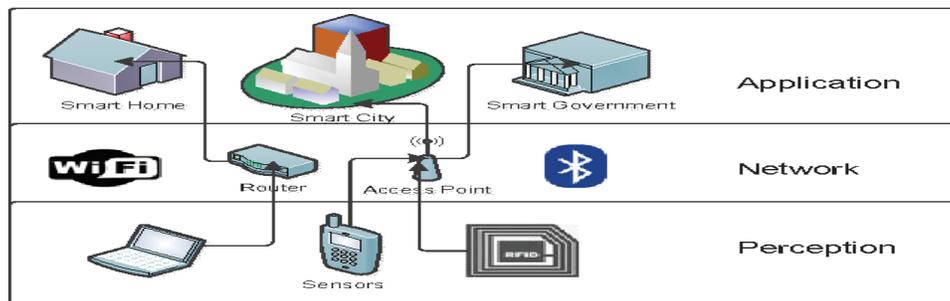


Nota. En la figura podemos observar 2 de las arquitecturas de capas más relevantes, obtenida de (García, 2020).

#### 2.2.4. Arquitectura de 3 Capas.

Posiblemente la más simple de todas las Arquitecturas y una de las primeras en ser utilizada. Se caracteriza por su enfoque técnico y centralizado de cómo pueden organizarse los elementos en una red IOT (García, 2020). En la Figura 8 se muestra la conexión básica que podría tener una arquitectura de 3 capas.

Figura 8: Arquitectura de 3 capas de IOT.



Nota. Se visualiza la aplicación de cada una de las capas con los diferentes elementos que realizan la Tecnología IOT, obtenido de (AUTOMATIC, 2018).

#### **2.2.4.1. Capa de Percepción.**

Es la capa sensorial de IOT donde “las cosas” (“The Things”) identifican sus alrededores, recaban información del mundo físico e interactúan con él. Esta capa la componen cámaras, GPS, Sensores, terminales, RFID tags y actuadores que convierten la información en señales eléctricas más fáciles de transmitir para su posterior análisis (García, 2020).

#### **2.2.4.2. Capa de Red.**

La Capa de Red en la Arquitectura de IOT, se encarga de conectar dispositivos a otras “cosas inteligentes”, dispositivos de red o servidores. Además, dispone de las herramientas necesarias para transmitir datos entre dispositivos (o servidores y dispositivos de red), y también para realizar cierto grado de procesamiento de estos (Ciberseguridad.com, 2023).

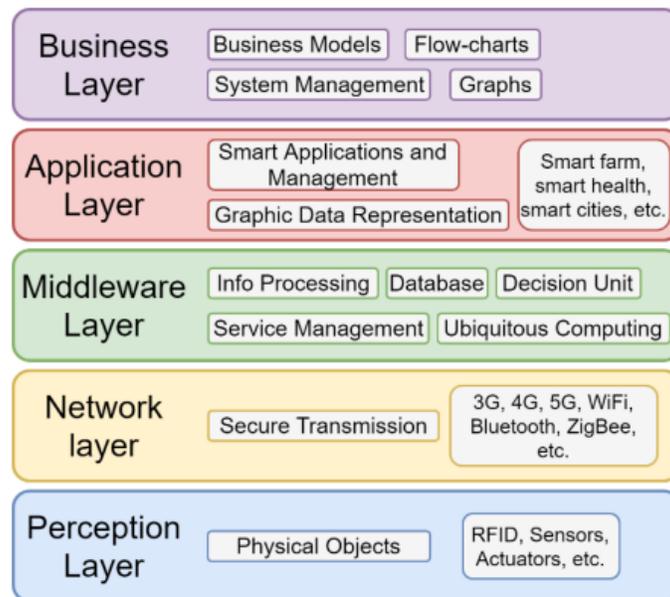
#### **2.2.4.3. Capa de Aplicación.**

Es en la que se enmarcan las aplicaciones del usuario. Desde las aplicaciones domésticas sobre uso de recursos (agua, gas, electricidad), hasta las aplicaciones logísticas para las empresas, que optimicen los recursos y el tiempo de procesado. Cualquier aplicación, doméstica o industrial, que haga uso de dispositivos conectados (IOT) se incluye en esta capa (Ciberseguridad.com, 2023)

#### **2.2.5. Arquitectura de 5 capas.**

Esta arquitectura profundiza y describe de una mejor forma los componentes de IOT entendiendo que su concepto va más allá de Internet y las redes de telecomunicaciones. Este modelo se construye a partir de la arquitectura de 3 capas y se agregan capacidades de procesamiento en la nube o en un servidor centralizado, las capas de aplicación y de Percepción tienen el mismo funcionamiento que en la arquitectura de 3 capas (García, 2020). En la Figura 9 se aprecia los objetos que se pueden conectar en esta arquitectura en cada una de sus capas.

Figura 9: Elementos de la arquitectura de 5 capas de un IOT.



*Nota.* Estructura de la capa de 5 elementos de una IOT con los elementos que se podría ocupar para realizar la conexión entre los mismos obtenido de (Ortiz Monet, 2019).

### 2.2.5.1. Capa de percepción o de objetos.

estas capas son los componentes físicos de la arquitectura de IOT que actúan como un puente entre el mundo digital y el mundo real. La capa de percepción, que es una de las capas de la arquitectura de IOT, se encarga de convertir las señales analógicas en señales digitales y viceversa. Estos dispositivos vienen en diferentes formas y tamaños (Ciberseguridad.com, 2023)

### 2.2.5.2. Capa de red o de abstracción.

En estas arquitecturas, la capa de transporte se encarga de transferir los datos recogidos por los sensores desde la capa de percepción hasta la capa de procesado y viceversa través de redes (NB-IOT, LoRa, LAN, Bluetooth, RFID, NFC, entre otros (Ciberseguridad.com, 2023)

#### **2.2.5.3. Capa de procesado (middleware layer).**

En esta capa se almacenan y analizan los datos que llegan de la capa de transporte. Puede gestionar y proporcionar diferentes servicios a las capas inferiores. En esta capa se emplean tecnologías como bases de datos, Cloud Computing y módulos de procesamiento de Big Data (Ciberseguridad.com, 2023).

#### **2.2.5.4. Capa de aplicación.**

Esta capa es la responsable de dar los servicios de cada tipo de aplicación a los usuarios. Como se ha mencionado antes, entre los tipos de aplicaciones en las que se puede implementar IoT podemos encontrar hogares, agricultura, ciudades inteligentes (Ciberseguridad.com, 2023).

#### **2.2.5.5. Capa de negocio.**

Esta capa gestiona todo el sistema IOT, incluyendo aplicaciones, modelos de negocio, ganancias y privacidad de los usuarios. Al gestionarse las actividades, los servicios y los resultados, esta capa ofrece la posibilidad de llevar a cabo optimizaciones y mejoras en el sistema IOT. Por ello la mayoría de los fabricantes hacen uso de la arquitectura que incluye esta capa (Ciberseguridad.com, 2023).

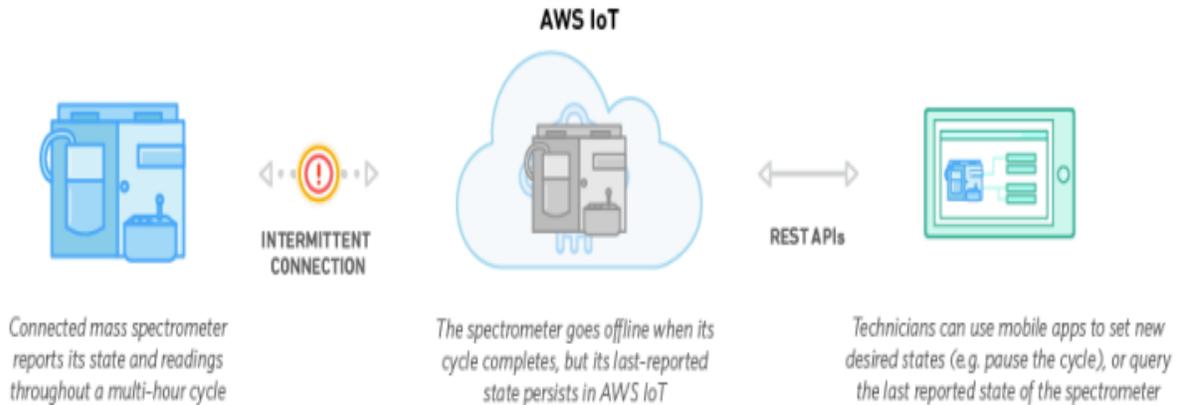
### **2.3. Plataformas de servicio IOT.**

Una plataforma IOT debe de permitir recoger los datos enviados desde los diferentes dispositivos conectados. Por otra parte, debe de facilitar la creación de aplicaciones, tanto móviles como para otros dispositivos, que visualicen de manera clara los datos recibidos de los dispositivos IOT conectados a la plataforma, además de los datos sobre los que se ha trabajado (Ciberseguridad.com, 2023).

### 2.3.1. AWS (Amazon Web Services).

WS proporciona servicios y soluciones de IoT para conectar y administrar una gran cantidad de dispositivos. Además, AWS IOT recopila, almacena y analiza datos de IoT de cargas de trabajo industriales, de consumo, comerciales y automotrices. Esta plataforma permite que dispositivos tales como sensores, accionadores y dispositivos incrustados se conecten mediante HTTPS, WebSockets o MQTT. También incluye un mecanismo de comunicación bidireccional seguro y de baja latencia llamado “Gateway para dispositivos” todos estos elementos descritos en la Figura 10. con menos de una décima parte de la superficie de ejecución. AWS combina la inteligencia artificial (IA), el machine Learning (ML) y el IoT para hacer que los dispositivos sean más inteligentes (AWS IoT, 2023).

*Figura 10: Mecanismo de trabajo de AWS IoT.*

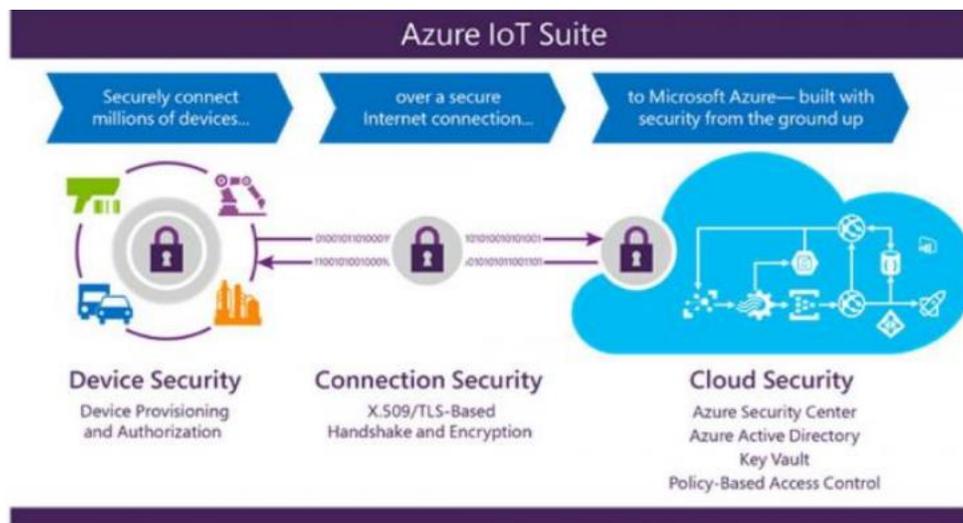


*Nota.* Visualización de los componentes de la plataforma AWS, obtenido de (AWS IoT, 2023)

### 2.3.2. Azure IoT Hub.

Azure IoT Hub es una plataforma de IoT alojada en la nube que permite conectar y administrar una gran cantidad de dispositivos. Además, esta plataforma ofrece servicios y soluciones de IoT para conectar y administrar dispositivos, y también recopila, almacena y analiza datos de IoT de cargas de trabajo industriales, de consumo, comerciales y automotrices (Azure IoT Hub, 2024). En la Figura 11 se describe la plataforma principal de Azure IoT.

Figura 11: Mecanismo de seguridad en Azure IoT.



*Nota.* Componentes de la plataforma Azure donde se ofrece seguridad en todos sus componentes, obtenido de (Azure IoT Hub, 2024).

Es una plataforma que permite administrar la comunicación bidireccional, fiable y segura entre dispositivos IoT y un back-end de soluciones, tales como:

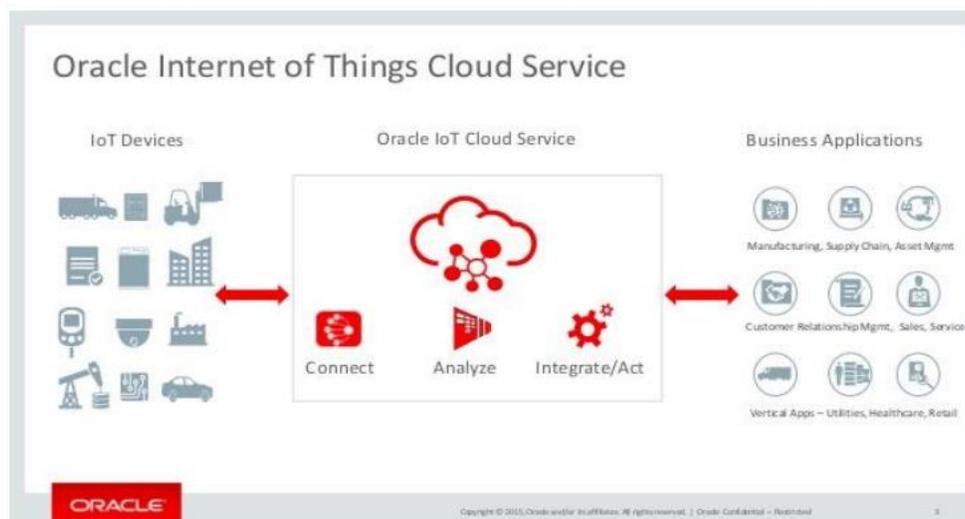
- IoT Hub (centro de comunicación con los dispositivos).
- Stream Analytics (servicio que permite analizar y hacer un procesamiento inicial de los datos).

- Event Hub (servicio para configurar y lanzar eventos que desencadenen acciones).
- Web Apps (se encarga de la parte visual o de una API de acceso).
- Bases de Datos (para almacenar datos procesados).
- Blobs de Almacenamiento (para almacenar los datos en crudo).

### 2.3.3. Oracle Internet of Things Cloud Service.

Es una plataforma que proporciona la posibilidad de conectar dispositivos en tiempo real a la nube y de analizar e integrar los datos recibidos con otras aplicaciones. El servicio se presenta como una plataforma como servicio (PaaS). La plataforma de Oracle vista en la Figura 12 no tiene en cuenta el tipo de dispositivo, ya que estos se virtualizan en Oracle IoT Cloud Service al exponer el dispositivo como un conjunto de servicios, los cuales estarán siempre disponibles para la aplicación descendente. Esto evita que el desarrollador tenga que preocuparse acerca de la conectividad o la disponibilidad del dispositivo (Azure IoT Hub, 2024).

Figura 12: Plataforma de Oracle IoT Cloud.

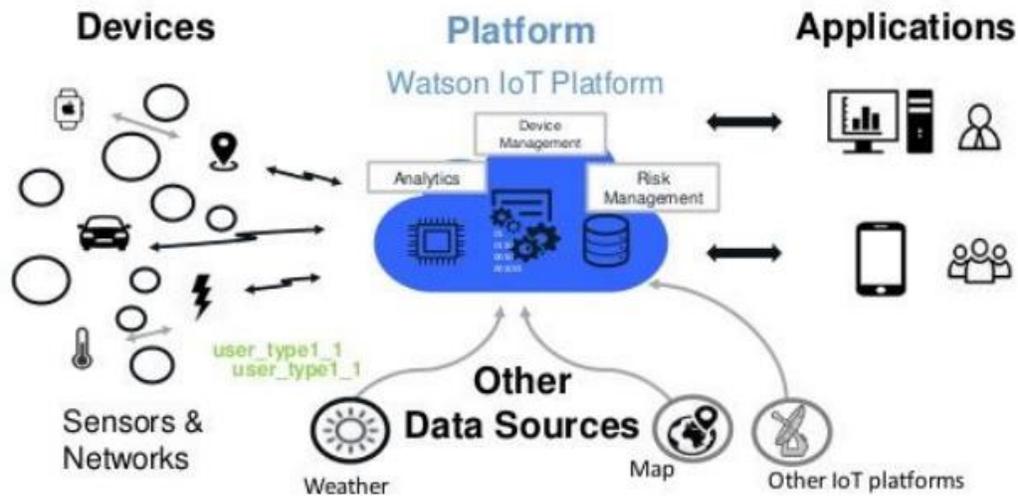


Nota. Página principal del software Oracle IoT obtenido de (Azure IoT Hub, 2024)

### 2.3.4. Watson IoT.

Watson IoT es una plataforma de IoT alojada en la nube que permite conectar y administrar una gran cantidad de dispositivos. Además, esta plataforma ofrece servicios y soluciones de IoT para conectar y administrar dispositivos, y también recopila, almacena y analiza datos de IoT de cargas de trabajo industriales, de consumo, comerciales y automotrices (IBM Watson IoT Platform, 2020). Existen diferentes componentes que se pueden adaptar a esta plataforma como se muestra en la Figura 13.

Figura 13: Plataforma principal de Watson IoT.



Nota. Visualización de los componentes que se pueden adaptar a la plataforma Watson Iot, obtenido de (IBM Watson IoT Platform, 2020)

Permite configurar y gestionar los dispositivos conectados al servicio y, de esta forma, permite que las aplicaciones creadas y enlazadas a los dispositivos puedan tener acceso a los datos en tiempo real y al histórico. Los dispositivos son asignados a organizaciones, los cuales delimitan el dominio de la información de esos dispositivos. Cada organización representa una instancia de la plataforma (IBM Watson IoT Platform, 2020)

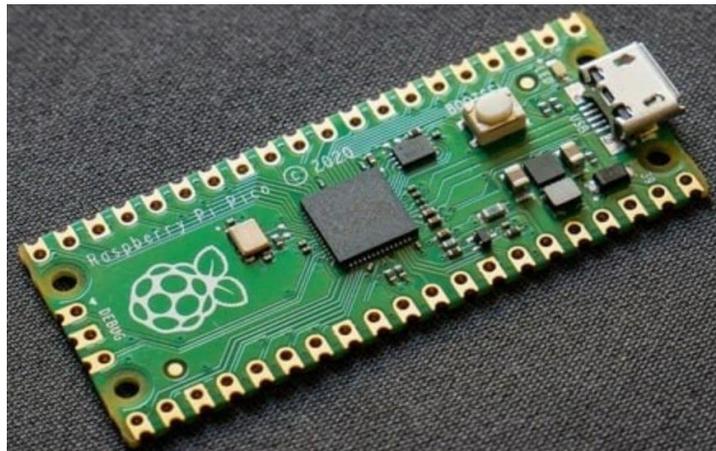
## 2.4. Sistemas embebidos

Es un sistema de computación diseñado para realizar funciones específicas, y cuyos componentes se encuentran integrados en una placa base. El procesamiento central del sistema se realiza gracias a un microcontrolador, un microprocesador que incluye interfaces de entrada/salida y una memoria de tamaño reducido en el mismo chip. (TRIBALYTE TECHNOLOGIES, 2021).

### 2.4.1. Microcontrolador.

Es un único chip en el que se junta un procesador, una memoria RAM, una memoria ROM y otra serie de componentes que serán útiles al programador como convertidores ADC y DAC o entrada/salida en diferentes formatos. Existen microcontroladores con muchas arquitecturas diferentes (8 bits, 16 bits y 32 bits) visto en la Figura 14, modelos y marcas diferentes para usos específicos (TRIBALYTE TECHNOLOGIES, 2021).

*Figura 14: Composición electrónica de una tarjeta microcontroladora.*



*Nota.* Tarjeta microcontroladora con entradas y salidas análogas y digitales, puerto USB para la adquisición de datos y programación, obtenido de (TRIBALYTE TECHNOLOGIES, 2021)

### **2.4.2. Tensiómetros.**

Un tensiómetro o esfigmomanómetro es un instrumento con fines médicos utilizado para realizar mediciones de la presión arterial de manera indirecta, se compone de un brazalete inflable y un manómetro o dispositivo digital para observar la presión arterial, por lo general, la medición se entrega en milímetros de mercurio (mmHg o torr). Este dispositivo es ampliamente utilizado para la determinación de 3 parámetros esenciales a la hora de examinar a un paciente, estos parámetros son:

- Presión arterial sistólica.
- Presión arterial diastólica.
- Ritmo cardiaco.

existen dos tipos de tensiómetros: el tensiómetro manual y el tensiómetro digital. El tensiómetro manual, también conocido como esfigmomanómetro, está compuesto por un brazalete, una bomba de aire y un manómetro. Para realizar la medición de la presión arterial con este dispositivo, se requiere de un conocimiento específico y el uso de un estetoscopio, ya que se requiere del mismo para una correcta medición de la presión arterial como se muestra en la Figura 15(Universidad del Deporte, 2021).

*Figura 15: Equipamiento necesario para un tensiómetro análogo.*



*Nota.* Tensiómetro análogo que se coloca en la parte del brazo para la toma de presión en el paciente, obtenido de (TIENDA MEDICA, 2021)

El segundo relacionado con el proyecto es el tensiómetro digital, que, mediante un sistema electrónico, proporciona aire al brazalete y permite observar los valores de presión sistólica, presión diastólica y ritmo cardiaco, elemento que se muestra en la Figura 16 (Universidad del Deporte, 2021). Figura 16: Tensiómetro digital para muñeca.



*Nota.* Tensiómetro digital que se ubica en la muñequera del paciente con lectura de valores más exactos, obtenido (Electrónica Salud, 2021).

## **2.5. Modulo SIM**

Un módulo de identidad del suscriptor, también conocido como SIM, es un circuito que almacena información de red e información del suscriptor para un dispositivo móvil, como un teléfono celular o una computadora. El módulo de identidad del suscriptor actúa para identificar de manera única a un individuo en la red específica, validando su derecho a usar la red junto con otra información específica, como contraseñas y servicios a los que el usuario se ha suscrito. Sin un módulo de identidad de suscriptor que funcione, las capacidades de red del dispositivo asociado quedan, por lo tanto, paralizadas (Netinbag).

Una SIM también contiene una clave de autenticación para la red móvil específica con la que se conecta el usuario final. Esto es un poco como un código de seguridad inalámbrico para redes inalámbricas, asegurando que no cualquiera pueda subir y robar ancho de banda de la red. El uso de una combinación de códigos, como un código ICCID y un código de autenticación, asegura que las tarjetas SIM no sean pirateadas fácilmente (Netinbag).

## **2.6. Tipos de sensores**

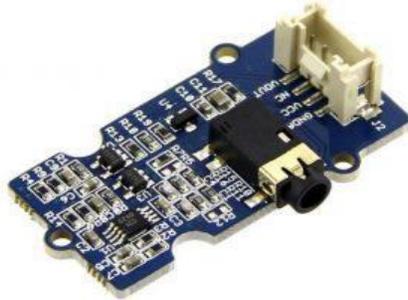
Los sensores biomédicos detectan parámetros médicamente relevantes, desde parámetros físicos simples como la frecuencia cardíaca, la respuesta galvánica de la piel hasta movimientos musculares, gracias a la fácil adaptación del cuerpo humano, se pueden detectar enfermedades que el paciente podría presentar y dar un diagnóstico preciso.

### **2.6.1. Sensor EMG.**

Conocido como Electromiografía (EMG), es un método para evaluar la actividad potencial de acción de la unidad motora en una región muscular. A medida que las señales eléctricas viajan a través de los nervios hacia las uniones neuromusculares, se puede medir el cambio en los

potenciales eléctricos (voltaje) (Seed Studio, 2019). En la Figura 17 se muestra los componentes básicos que tiene este tipo de sensor.

*Figura 17: Arquitectura del sensor EMG.*

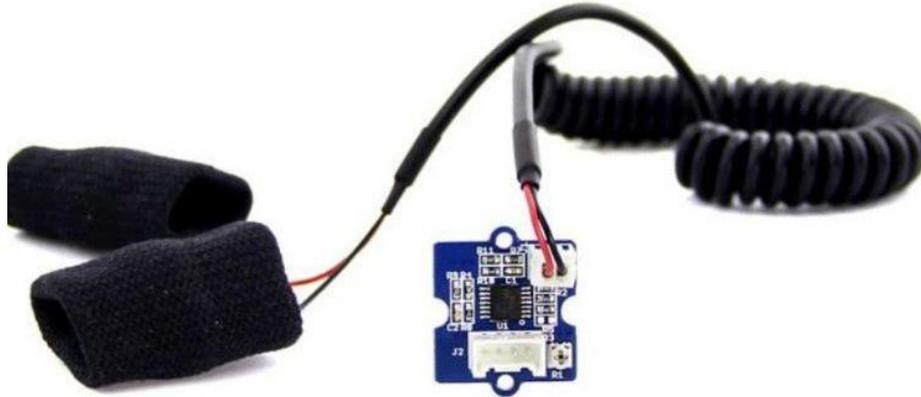


*Nota.* Visualización del hardware del sensor EMG que es utilizado para la detección de movimiento del humano, obtenido de (Seed Studio, 2019).

### **2.6.2. Sensor GSR.**

GSR significa Galvanic Skin Response, o respuesta galvánica de la piel, y se refiere a cambios en la actividad de las glándulas sudoríparas que reflejan la intensidad de nuestro estado emocional, también conocido como excitación emocional, visto en la Figura 18. La conductancia de la piel ofrece información directa sobre la regulación emocional autónoma, ya que no está bajo control consciente. Por ejemplo, si estás asustado, contento, agitado o con cualquier respuesta emocional relacionada, experimentaremos un aumento en la actividad de las glándulas sudoríparas ecquinas que el sensor puede detectar a través de los electrodos y transmitir al dispositivo maestro (Seed Studio, 2019).

*Figura 18: Infraestructura original del sensor GSR.*



*Nota.* Visualización del sensor GSR para la detección de cambios de estado, obtenido de (Seed Studio, 2019).

### **2.6.3. Sensor de ritmo cardíaco.**

También conocido como monitor de ritmo cardíaco, es un dispositivo de monitoreo personal que permite al usuario rastrear y mostrar su ritmo cardíaco en tiempo real o con fines de estudio (Seed Studio, 2019).

Hay dos formas (óptica y eléctrica) de que este sensor monitoree tu ritmo cardíaco que son:

- **Eléctrico:** consta de 2 elementos que son un monitor y un receptor. Cuando se detecta un latido cardíaco, se transmite una señal de radio o una señal codificada, que el receptor utiliza para mostrar / determinar la frecuencia cardíaca actual visto en la Figura 19.
- **Óptico:** utiliza una luz que brilla a través de la piel humana para luego medir la cantidad de luz que se refleja. Los reflejos de luz variarán a medida que los pulsos de sangre debajo de la piel pasen la luz, que luego se interpretan como latidos cardíacos.

*Figura 19: Arquitectura del sensor de ritmo cardiaco eléctrico.*



*Nota.* Sensor para la detección del ritmo cardiaco, ajustable a los pacientes con aditivos fácil de sujetar, obtenido de (Seed Studio, 2019).

#### **2.6.4. Sensor de huella digital.**

Al igual que los sensores ópticos, los escáneres capacitivos de huellas digitales generan una imagen de las crestas y valles que forman una huella digital. Sin embargo, en lugar de detectar la impresión con luz, los condensadores usan corriente eléctrica.

Las matrices de circuitos de pequeños condensadores recopilan datos sobre una huella digital que, cuando se conectan a placas conductoras en la superficie del escáner, se pueden utilizar para rastrear los detalles de una huella digital, como se observa en la Figura 20. Se utiliza un circuito integrador de amplificador operacional para rastrear los cambios cuando se coloca la cresta de un dedo sobre las placas conductoras, lo que cambiará ligeramente la carga, mientras que un espacio de aire dejará la carga sin cambios (Seed Studio, 2019).

*Figura 20: Arquitectura del sensor de huella digital.*



*Nota.* Visualización del hardware del sensor detector de huellas, obtenido de (Seed Studio, 2019).

Son algunos de los dispositivos más utilizados en el área de medicina para la detección de enfermedades. Con una estructura simple y de fácil adaptación al cuerpo humano, sin ninguna limitación para implementarlos.

### **2.6.5. Aplicaciones.**

Se muestran algunas aplicaciones que tienen los sensores en beneficio del área médica, ayudando a la detección de enfermedades con un alto nivel de seguridad.

#### **2.6.5.1. Telemedicina.**

La Telemedicina según el doctor estadounidense (Llordachs Marqués, 2021) la define como “la búsqueda de mejorar la salud de un paciente, permitiendo la comunicación interactiva en tiempo real entre el paciente, y el médico o profesional a distancia. Esta comunicación electrónica conlleva el uso de equipos de Telecomunicaciones interactivas que incluyen, como equipamiento mínimo, audio y vídeo”.

La Telemedicina no podría desarrollarse sin una serie de dispositivos digitales que sirven de apoyo al profesional sanitario. El hardware necesario para trabajar online se ha reducido, actualmente cualquier dispositivo con conexión a internet (portátil, ordenador de mesa, tablet o móvil), puede utilizarse como medio de telemedicina interactiva, mientras que el software se ha desarrollado en los últimos años (Llordachs Marqués, 2021).

## **2.7.Redes de Comunicación Inalámbricas**

Se conoce como red inalámbrica a un tipo de conexión entre sistemas informáticos (o sea, entre computadoras) que se lleva a cabo mediante diversas ondas del espectro electromagnético. Es una conexión de nodos que no requiere cableado o dispositivo alámbrico, ya que la transmisión y recepción de la información se produce mediante puertos especializados. Esta tecnología supone un salto adelante respecto a los métodos tradicionales.

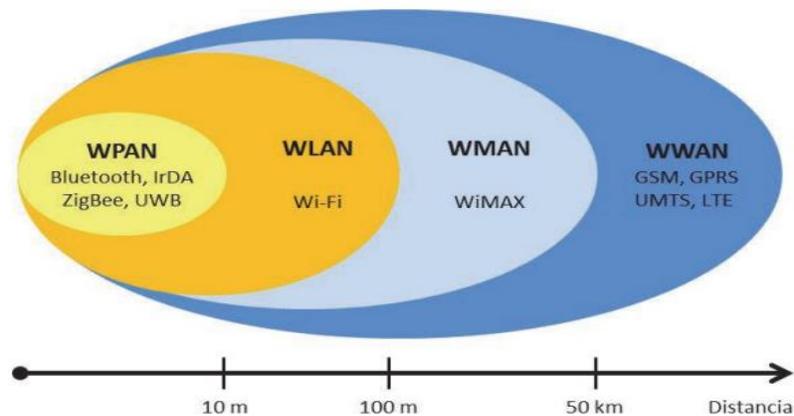
Las redes inalámbricas permiten a los dispositivos remotos que se conecten sin dificultad, independientemente que estos dispositivos estén a unos metros o a varios kilómetros de distancia. Todo ello sin necesidad de romper paredes para pasar cables o instalar conectores. Esto ha hecho que el uso de esta tecnología sea muy popular, extendiéndose muy rápidamente. Además, las ondas electromagnéticas no se pueden confinar fácilmente a un área geográfica limitada. Por esta razón, un hacker puede escuchar fácilmente a una red si los datos transmitidos no están codificados. Por tanto, se deben tomar las medidas necesarias para garantizar la privacidad de los datos transmitidos por redes inalámbricas (Salazar).

### **2.7.1. Clasificación De Las Redes Inalámbricas.**

Las redes inalámbricas se pueden clasificar en cuatro grupos específicos según el área de aplicación y el alcance de la señal: redes inalámbricas de Área Personal (Wireless Personal-Área Networks - WPAN), redes inalámbricas de Área Local (Wireless Local-Área Networks - WLAN),

redes inalámbricas de Área Metropolitana (Wireless Metropolitan- Área Networks - WMAN), y redes inalámbricas de Área Ampla (Wireless Wide-Área Networks – WWAN) visto en la Figura 21 la clasificación de las redes inalámbricas (Salazar).

*Figura 21: Clasificación de las redes inalámbricas.*



*Nota.* La Figura ilustra estas cuatro categorías con la que está compuesta una red inalámbrica de comunicación, obtenido de (Salazar).

### **2.7.2. Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN).**

Las redes inalámbricas de Área Personal se basan en el estándar IEEE 802.15. Las redes inalámbricas permiten la comunicación en un rango de distancias muy corto, unos 10 metros. A diferencia de otras redes inalámbricas, una conexión realizada a través de una WPAN implica, por lo general, poca o ninguna infraestructura o conectividad directa fuera del enlace establecido. Esto permite soluciones pequeñas, eficientes en energía y de bajo coste que pueden ser implementadas en una amplia gama de dispositivos, como por ejemplo teléfonos inteligentes, PDAs, entre otros. Este tipo de redes se caracterizan por su bajo consumo de energía y también una baja velocidad de transmisión (Salazar).

### 2.7.3. Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN).

Las redes inalámbricas de Área Local (WLAN) están diseñadas para dar acceso inalámbrico a zonas de hasta 100 metros y se usan, sobre todo, en el hogar, la escuela, una sala de ordenadores o entornos de oficina. Esto proporciona a los usuarios la capacidad de moverse dentro de un área de cobertura local y permanecer conectado a la red. Las WLAN se basan en el estándar 802.11 del IEEE y son comercializadas bajo la marca Wi-Fi (Salazar). En la Figura 22 se representa los diferentes dispositivos que se pueden conectar a este tipo de red inalámbrica.

*Figura 22: Esquema de una WLAN para el hogar.*



*Nota.* Visualización de la red inalámbrica WLAN con la conexión a los diferentes dispositivos a través de una red Wifi, obtenido de Salazar, J. (s.f.).

### 2.7.4. Redes Inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN).

Las redes inalámbricas de Área Metropolitana (WMAN) forman el tercer grupo de redes inalámbricas. Las WMAN se basan en el estándar IEEE 802.16, a menudo denominado WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). WiMAX es una tecnología de comunicaciones con arquitectura punto a multipunto orientada a proporcionar una alta velocidad de transmisión de datos a través de redes inalámbricas de Área Metropolitana. Esto permite que

las redes inalámbricas LAN más pequeñas puedan ser interconectadas por WiMAX creando una gran WMAN. Consecuentemente, la creación de redes entre ciudades puede lograrse sin la necesidad de cableado costoso, como se mira en la Figura 23 la conexión entre dos antenas que pueden estar ubicada en diferentes sitios Salazar, J. (s.f.).

*Figura 23: Implementación de una red inalámbrica WMAX.*



*Nota.* Composición de una serie de redes WLAN que conforman una red WMAX, para la comunicación de datos entre estos, obtenido de Salazar, J. (s.f.).

### **2.7.5. Redes Inalámbricas De Área Amplia (WWAN).**

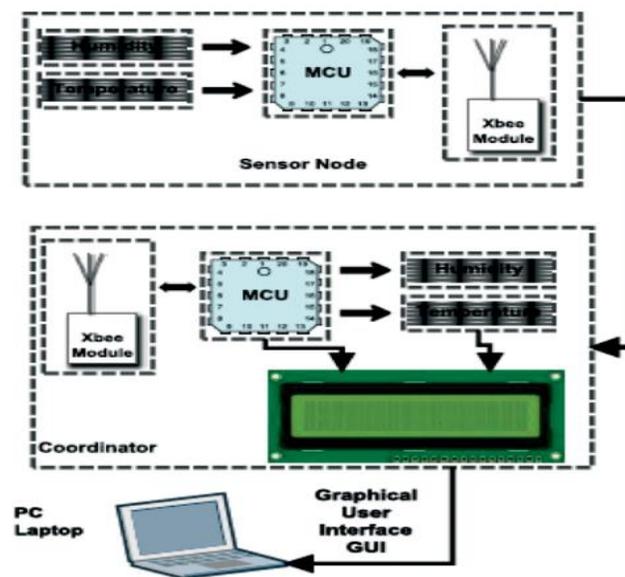
Las redes inalámbricas de área amplia se extienden más allá de los 50 kilómetros y suelen utilizar frecuencias con licencia. Este tipo de redes se pueden mantener en grandes áreas, tales como ciudades o países, a través de los múltiples sistemas de satélites o ubicaciones con antena atendidos por un proveedor de servicios de Internet. Hay dos tecnologías disponibles: la telefonía móvil y los satélites Salazar, J. (s.f.).

### **2.7.6. WSN.**

WSN es la abreviatura de Wireless Sensor Network (Red de Sensores Inalámbricos). Es una red de dispositivos autónomos que se comunican entre sí sin necesidad de cables. Estos

dispositivos, llamados nodos, están equipados con sensores y transmisores de radio que les permiten recopilar datos y enviarlos a otros nodos o a un servidor central. Las WSN se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como la monitorización ambiental, la vigilancia de la salud, la automatización industrial y la agricultura de precisión (geeksforgeeks.org, 2023).

Figura 24: Diagrama esquemático del sistema de monitoreo inalámbrico.



Nota. Esquema basado en la red de sensores para la adquisición, muestreo y control de datos, obtenido de (geeksforgeeks.org, 2023).

### 2.7.7. WIFI.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) se ha convertido en una tecnología omnipresente, proporcionando conexiones para millones de dispositivos; y es hoy la primera opción de muchos usuarios para acceder al mundo del internet, reemplazando gradualmente el acceso por cable. Las soluciones que se basan en el uso libre o en modo no licitado del espectro de frecuencia, han estado avanzando de manera significativa en sus modelos de aplicación recientemente, incluso en la novedosa modalidad dinámica y compartida de asignación (Mauricio Fernández Rodríguez, 2020).

### **2.7.8. Redes WBAN.**

Esta sección es la que posee los sensores de bajo coste y baja potencia, de forma que permiten controlar la frecuencia cardíaca o la presión arterial, sin poner en riesgo a la persona conectada. De hecho, ni siquiera llegan a limitar sus movimientos, por lo que se los suele utilizar para el diagnóstico de pacientes (Baldi, 2020).

#### **2.7.8.1. Estructura de esta red.**

Se menciona la estructura de red WBAN con los componentes más elementales de este tipo de redes, provista en la Figura 25.

#### **2.7.8.2. Botones de sensor.**

Éstos son los elementos que proporcionan salida a un coordinador central, que recibe la señal de los nodos y la transmite a la siguiente sección para monitorear el cuerpo humano.

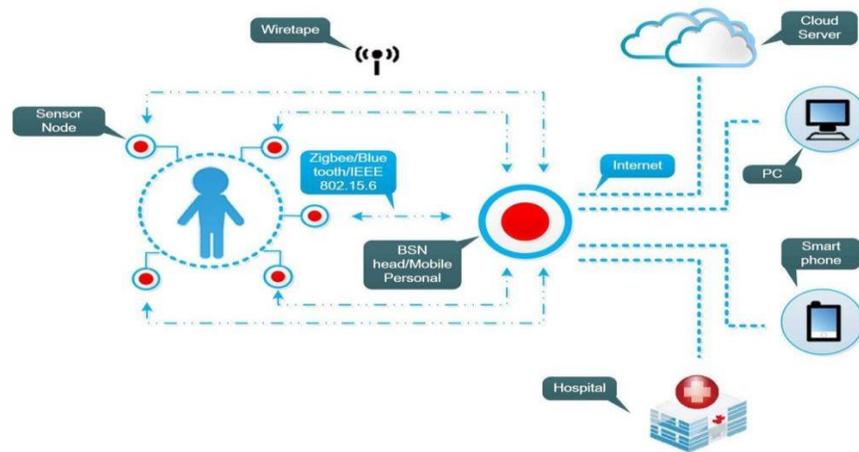
#### **2.7.8.3. Comunicación.**

Este apartado recibe la información anterior, y actúa de la misma forma que una puerta de enlace para pasar la información al siguiente canal. Por caso, enviando mensajes a redes móviles 3G o 4G.

#### **2.7.8.4. Almacenamiento.**

En este espacio se guarda toda la información del usuario, considerando que puede llegar a ser necesaria en el futuro, para hacer un seguimiento más preciso de su estado.

Figura 25: Estructura general para la red WBAN.



*Nota.* Demostración de diagnóstico del paciente sin estar presente en el hospital, simplemente con la implementación de las IoT y redes comunicación inalámbrica, obtenido de (Baldi, 2020)

#### 2.7.8.5. Aplicaciones médicas.

Las aplicaciones originales de estas redes tenían que ver exclusivamente con el desarrollo de la medicina. Permitían, entre otras cosas, un monitoreo remoto de atención. Lo hacían actuando sobre el cuerpo del paciente para monitorear la frecuencia cardíaca, la presión arterial y los electrocardiogramas (Baldi, 2020).

### **3. CAPÍTULO III: DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE PRESIÓN ARTERIAL**

En este capítulo se aplica la metodología del Modelo Iterativo para el diseño del sistema electrónico para el monitoreo de la presión arterial, se realiza un análisis y se detallan los requerimientos necesarios para el diseño del sistema cuya arquitectura se esquematiza en un diagrama de bloques. Además, se procederá con la realización de entrevistas a profesionales de la salud como enfermeras y doctoras. Y la aplicación de la metodología de minería de datos KDD que servirá para la búsqueda y posterior ejecución del algoritmo de predicción. Para proceder a la implementación del prototipo.

#### **3.1. Modelo Iterativo**

Este modelo permite identificar los requerimientos del cliente construyendo un prototipo o conjunto de funcionalidades simuladas; si no se ajusta al requerimiento del cliente, se vuelve a construir otra media una definición nueva y mejorada, el diseño evoluciona hasta alinearse con los requerimientos, por lo que su funcionalidad se simula hasta alcanzar los requerimientos del último prototipo.

#### **3.2. Situación Actual**

En este punto se analiza la situación actual, ya que es un medio para recopilar información, que ayudara a recopilar información para establecer los requerimientos, con lo cual se desarrolla este trabajo de investigación.

Esta información se la obtuvo directamente de los profesionales en el ámbito de la salud como médicos y enfermeras, como también de pacientes que sufren de hipertensión y familiares que están en su cuidado, esto se lo puede analizar en la Tabla 1, Tabla 2.

Tabla 2: Tabla de Situación actual

<b>Situación Actual</b>	
<b>Método:</b>	<p>El método en la adquisición de los datos es cualitativa y cuantitativa, ya que utiliza las herramientas de investigación como la encuesta y la entrevista, en lo que se obtuvo diferentes datos analizados mediante el método descriptivo, procediendo con toda la información al desarrollo del prototipo con un método ingenieril.</p>
<b>Formato:</b>	<p>La entrevista se desarrolló con los profesionales de la salud teniendo de parte de ellos la experiencia del día a día en el ámbito de la salud, para ello se utilizó un guion con el objetivo de focalizar la información en el conocimiento que se necesita para el manejo del instrumental, y en las diversas recomendaciones de uso;</p> <p>La encuesta fue realizada en pacientes de hipertensión o similares al cuadro de diagnóstico viendo en ello el análisis de la tendencia que se marca en los datos, llegando con ello a datos cuantitativos de tendencia, focalizando en los tipos de paciente que tendrán el prototipo para su uso, analizando los indicadores de la situación social, económica y académica de los pacientes, mediante preguntas cerradas, permitiendo una tabulación estadística donde revisaremos la tendencia de la muestra según a la población de 100 personas.</p>

Fuente: Autoría

### **3.1.1. Análisis de resultados**

#### **Entrevista:**

La entrevista es más personalizada, es decir, que se la hace con el especialista, que comparte la mayor parte del tiempo en su vocación, para ello se realizó un guion de entrevista (Anexo 2).

Por consiguiente, se obtuvo lo siguiente:

- Doctora Vanesa Espinoza medico residentes en el hospital San Vicente de Paul tiene una maestría en artes genética actualmente trabaja en el área de neonatología
- Un tensiómetro es una de la herramienta básica para tomar uno de los signos vitales más importantes como es la presión arterial. Se conoce como presión arterial es la fuerza con la que la sangre ha salido del corazón por el vaso más grande que es la aorta cuando choca con las paredes de los vasos periféricos.
- Hay diferentes tipos de presión arterial, asistólica y diastólica, y la tensión arterial media, que es la fuerza que necesita el cuerpo para la percusión de todos sus órganos. La tensión arterial se mide en milímetros por mercurio.
- La diferencia entre la presión sistólica y diastólica:
  - Sistólica representa la fuerza máxima con la que la sangre ha salido mediante las sístoles.
  - Diastólica representa la fuerza mínima que tiene el corazón en el momento de su relajación.
- La presión arterial se medie en la arteria braquial. Existen niveles de presión arterial -120-180 que se refiere a la normal. Elevada e hipertensión. Presión +130-+180 se

puede denominar Hipertensión aun que dentro de esta categoría también existen más niveles como tipo 1 tipo 2 y crisis hipertensiva. Los valores más críticos son las crisis hipertensivas +180+120.

- Los pacientes hipertensos son los que más utilizan el tensiómetro. Los tensiómetros se suelen descalibrar más rápido ya que no se les puede utilizar más de 24 horas existen otras marcas que pueden durar un poco más de tiempo, pero no suele ser mucho. No tomar la presión arterial a tiempo puede terminar en casos catastróficos.
- El recordatorio por Telemedicina puede ser muy útil para medicinas o modo alimenticio, pero para emergencias no es tan útil. Aunque la parte económica puede ser un impedimento para adquirir un dispositivo con las características de la telemedicina.

### **Encuesta:**

La técnica de recolección de información que es la encuesta es un procedimiento dentro de una investigación descriptiva en el que el investigador recopila datos mediante el cuestionario previamente diseñado, sin modificar el entorno ni el fenómeno donde se recoge la información vía Web.

Para la recolección de información fue necesario realizar el cálculo de la muestra según la población, en este caso se mantuvo una población de 100 pacientes que han sido atendidos, en la

cual se realizó el cálculo con la respectiva ecuación  $n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$ .

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (1)$$

- n=Tamaño de muestra buscado

- $N$ =Tamaño de población
- $Z$ =Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza
- $e$ = Error de estimación máximo aceptado
- $p$ =Probabilidad de que ocurra el evento estudiado
- $q=(1-p)$  Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Con el nivel de confianza del 95%, margen de error del 5% y una población de 100 pacientes, tenemos 81 pacientes, de las cuales se les suministra la encuesta digital que está indicada en el ANEXO 1.

Los resultados se pueden apreciar en el capítulo 4, con un análisis de acuerdo con la tabulación y el análisis del Anexo 3.

### **3.3. Introducción al desarrollo del proyecto**

#### ***3.3.1. Propósito del sistema***

Actualmente los médicos utilizan dispositivos manuales para poder obtener los datos de la presión arterial, teniendo diferentes inferencias de inexactitud en las medidas, no obstante en caso de pacientes de diagnóstico de cuadro crítico, deben de estar en sus domicilios, en donde se tiene a personal de apoyo para los cuidados, vale recalcar que no todos tienen los recursos para ello, la mayoría de casos no se cuenta con dispositivos que aporten a mejorar en el monitoreo de este tipo de pacientes, donde al mínimo descuido puede haber un diagnóstico erróneo donde puede significar deceso del paciente.

Este trabajo de investigación se ha desarrollado para implementar un dispositivo electrónico de medición de la presión arterial, en donde en un ambiente real el paciente puede tomar medidas de su presión arterial desde la comodidad del hogar, sin salir a un centro especialista donde puedan actuar, comprobando la medición del flujo sanguíneo en tiempo real.

La toma de medidas de presión arterial con el dispositivo es fácil de realizar, ya que se ajusta a las medidas que el paciente necesita, no se necesita experiencia para su equipamiento, y los valores de la pantalla del dispositivo se toman en el momento de medición, mientras se realiza la medición se verifica el valor y se compara con las medidas aproximadas de una persona adulta, si esta medición está por altos estándares, se envía un mensaje de notificación al médico de cabecera, para que constate la irregularidad del paciente.

La notificación se envía a través del mismo dispositivo con comunicación inalámbrica, hacia el servidor de recepción configurado por el médico para recibir los mensajes de alerta, por lo que se debe anticipar al galeno el uso del dispositivo, para que se tenga una sincronización entre los dispositivos y así tener constante prevención si hay anomalías y evitar posibles afecciones graves en el paciente.

### ***3.3.2. Ámbito del Sistema***

El Sistema de diferentes protocolos de comunicación con una DAQ (tarjeta de adquisición de datos) que interactúa con plataformas IOT pueden dar alertas tempranas al cambio de un estado estable a un estado crítico, donde se cuenta con muy poco tiempo para dar la intervención a algún profesional de la salud para estabilizar al paciente, con el fin de salvaguardar la vida, siendo un aporte para los profesionales de la salud y aquellas personas que sufren de un cuadro clínico crítico

por la hipertensión o alguna patología enfocada en la presión arterial, no obstante se toma en cuenta que el prototipo sea económico para que esté al alcance de toda la comunidad.

### ***3.3.3. Características de los beneficiarios***

Se considera beneficiarios a médicos residentes y especialistas, enfermeras, auxiliares e incluso camilleros, que al día comparten emergencias, ya que el sistema podrá dar alertas tempranas, lo que permitirá tener mejor maniobrabilidad a los agentes de la salud para salvaguardar vidas.

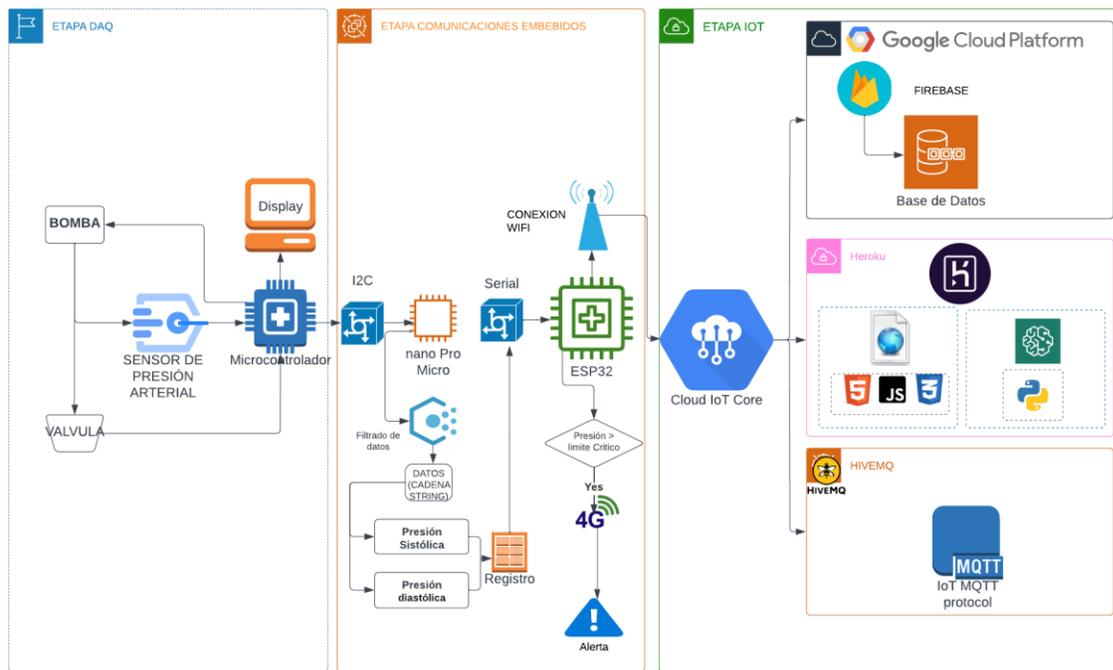
No obstante, el beneficio directo por tener una atención personalizada de parte de los trabajadores de la salud son los pacientes, los cuales recibirán una mejor atención de calidad.

## **3.4. Descripción General del Proyecto**

En este trabajo de investigación es evidente el empleo de diferentes gestiones en las cuales se formalizan para un mismo propósito, tomando en cuenta desde la toma de un dato y el acondicionamiento de la señal, hasta la visualización de un dato vía Web.

Por lo cual se determinó 3 etapas procedentes a la gestión sistemática del proyecto, como se lo puede ver en la Figura 27, se ha definido un diagrama de bloque por cada una de las etapas que son: DAQ (Adquisición de Datos), Comunicaciones de embebidos y IOT (Internet Of Things o el Internet de las cosas), estas etapas se comunican entre si siendo una sinergia para el cumplimiento de los objetivos

Figura 26: Diagrama de bloques general



### 3.4.1. Etapa DAQ

En esta etapa daremos el acople del sensor de presión arterial y la tarjeta esp32, en la que se realiza mediante protocolos de comunicación que pueden ayudar a intervenir en un equipamiento especializado y calificado por la OMS, obteniendo los datos relevantes de la presión arterial como la presión sistólica y diastólica, para seguir con la siguiente etapa.

### 3.4.2. Etapa de comunicaciones de embebidos

Esta etapa da la conexión de la DAQ (tarjeta de adquisición de datos) al módulo 4g, el cual enviara los datos en caso de una emergencia, para que se gestione por comandos AT, para enviar el mensaje de texto de la emergencia a cada uno de los referentes o encargados de la salud del paciente, no obstante, realiza todos los anexos de comunicación I2C, Serial y el filtrado respectivo de datos de cada punto de comunicación.

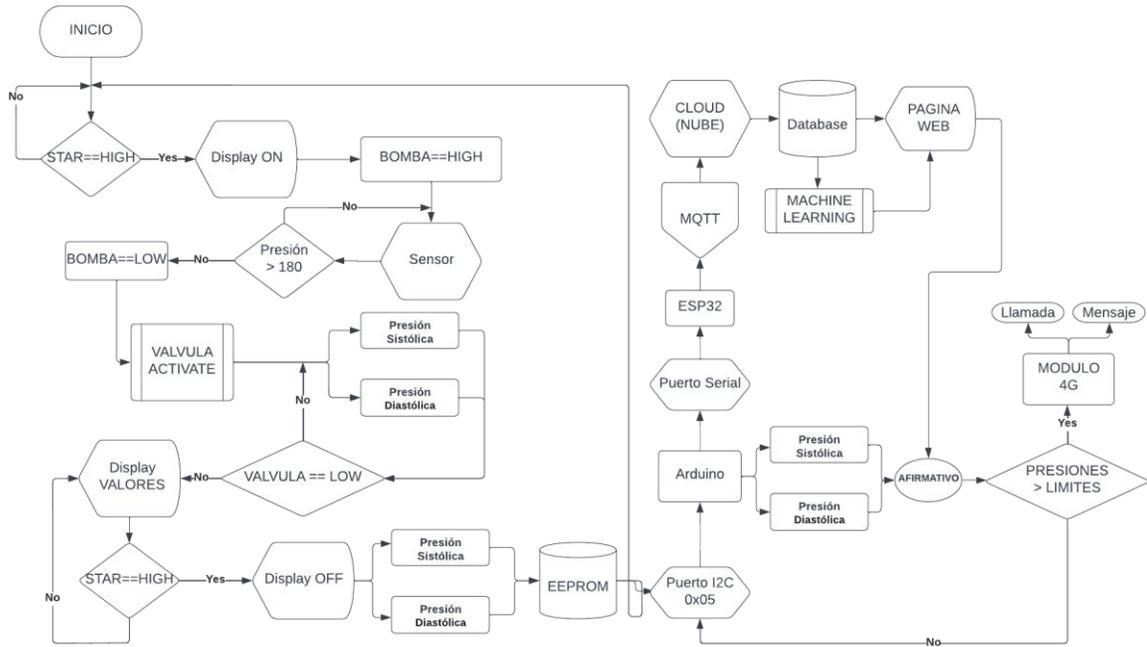
### ***3.4.3. Etapa IOT***

En esta etapa se utiliza el protocolo MQTT, lo cual es un protocolo red ligero, de publicación y suscripción, de máquina a máquina, este será el encargado de llevar los datos descritos en la etapa anterior, a una base de datos, lo cual será redirigido a un servidor web para su visualización a una página web, de esta manera se visualizará en modo historial, con un campo de visualización de alertas para los especialistas.

Las etapas descritas en el diagrama de bloques general de la Figura 26, se las diseñarán según funcionalidades en un respectivo orden, con el que cada proceso necesita del anterior, para cumplir su finalidad.

Teniendo ello en cuenta, podemos ver en el flujograma general del dispositivo en la Figura 28, con la vinculación de las distintas operaciones, que están ligadas en las etapas mencionadas anteriormente, Este sistema tiene un tipo de algoritmo de “programación dinámica” junto con un probabilístico, ya que el sistema utiliza subestructuras óptimas y subproblemas superpuestos, y en el parte probabilístico cumple con un tipo de algoritmo “las vegas” ya que se ejecuta en un periodo de tiempo concreto.

Figura 27: Flujograma del sistema.



En concreto en el flujograma de la Figura 27: Flujograma del sistema., se empieza pulsando el botón “START” para dar inicio a la toma de muestra, activando al mismo tiempo el display y activando la bomba para proceder a inflar las almohadillas, hasta que el sensor detecte tener una presión mayor a los 180 milímetros de mercurio (mmHg o mm Hg), que significa que el dispositivo esta correctamente puesto, al momento de que llega a dicha presión la válvula de escape se abre para posteriormente despresurizar el aire acumulado y captar las dos presiones arteriales que son la presión sistólica y diastólica, una vez que obtengo los valores y no hay aire a presurizar, se apaga la válvula y se envía los valores resultantes de la muestra al display.

Una vez realizado el paso anterior se debe presionar el botón “Start”, para enviar los datos y apagar el dispositivo, al momento de que se realizó esto, se envía la información a la memoria EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), a través de una comunicación I2C donde obtenemos el dato enviándolo al Arduino para reagrupar el dato,

ordenarlos y enviarlo al Esp32 donde se procede con el protocolo MQTT para subirlo al servicio, dentro del servicio y la pagina se determinan directrices limitantes, que una vez excedidas, activan una alarma que será comunicada en el servicio y en el Arduino, para posteriormente enviar un mensaje de alerta a través del módulo GSM.

### **3.5. Requerimientos**

Para realizar el análisis de requerimientos es necesario evaluar diferentes condiciones que permitan el desarrollo de un sistema adecuado a las necesidades del usuario final.

#### ***3.5.1. Construcción de Atributos de los requerimientos***

La construcción de atributos se elabora en base a cuatro requerimientos que son:

- Stakeholders
- Arquitectura
- Sistema
- Aprendizaje automático

Los atributos se verifican para culminar el trabajo de investigación, llenando las expectativas del prototipo en todos los aspectos.

#### ***3.5.2. Nomenclatura utilizada para los requerimientos***

Para cada requerimiento se establecen abreviaturas que permiten una mejor síntesis y manejo de los datos, según la Tabla 3.

*Tabla 3: Nomenclatura a utilizar para los requerimientos del sistema*

<b>Requerimiento</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>RSHS</b>	Requerimientos de Stakeholders del Sistema
<b>RS</b>	Requerimientos del Sistema
<b>RAS</b>	Requerimientos de Arquitectura del Sistema
<b>RAA</b>	Requerimiento de Aprendizaje Automático

### **3.6.Requerimientos de Stakeholders.**

Los Stakeholders corresponden a las personas que participan directa o indirectamente en el desarrollo del sistema. En la Tabla 4 se presenta una lista de Stakeholders presentes en el proyecto.

*Tabla 4 de Stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de la presión arterial.*

<b>LISTA DE STAKEHOLDERS</b>	
Usuarios directos	Pacientes de presión arterial Profesionales de la salud
Usuarios indirectos	Familiares y personas cercanas a la persona con presión arterial Personas interesadas en el cuidado de pacientes con presión alta.

La Tabla 5 incluye los procesos que se consideraron necesarios para identificar los requerimientos de los pacientes y encargados de la salud, a los cuales afecta directa e indirectamente la realización del proyecto, con el fin de analizar los intereses de estos y las expectativas del proyecto.

Tabla 5 de Stakeholders para el diseño del sistema de monitoreo de la presión alta.

<b>RSHS</b>					
<b>REQUERIMIENTOS OPERACIONALES</b>					
<b>NÚMERO</b>	<b>REQUERIMIENTOS</b>	<b>PRIORIDAD</b>			<b>RELACIÓN</b>
		<b>ALTA</b>	<b>MEDIA</b>	<b>BAJA</b>	
<b>RSO 1</b>	El sistema debe de ser fácil de Manipular.	X			
	El sistema debe de tener Ergonomía, es	X			
<b>RSO 2</b>	decir, que los elementos o componentes interactúen bien entre sí.				
<b>RSO 3</b>	El dispositivo debe de constar de una fuente independiente		X		
<b>RSO 4</b>	Este sistema debe de enviar alertas en el caso de que los índices sean críticos.	X			
<b>RSO 5</b>	Debe de haber un almacenamiento de los datos.		X		
<b>REQUERIMIENTOS DE USO</b>					
<b>RSU1</b>	Los usuarios podrán visualizar los datos de manera online y offline	X			
<b>RSU2</b>	La página Web debe de contener los datos graficados de manera progresiva	X			
<b>RSU3</b>	La información plasmada en la página debe de ser interpretada por especialistas de la salud.	X			
<b>RSU4</b>	Las alarmas deben de ser visualizadas en el dispositivo, página y mensaje de texto.	X			
<b>RSU5</b>	El equipo de toma de valores de presión arterial debe de ser adaptable para todo tipo de paciente		X		
<b>REQUERIMIENTOS DE USUARIO</b>					
<b>RSUS1</b>	El dispositivo debe de estar al alcance económico del usuario		X		

<b>RSUS2</b>	El dispositivo debe disponer de un Manejo intuitivo.		X
<b>RSUS3</b>	El dispositivo debe de ser portable		X
<b>RSUS4</b>	Las medidas deben de ser validas por un equipo normalizado	X	
<b>RSUS5</b>	Para el manejo del dispositivo debemos de tener un manual de usuario o tutorial que sea explicativo para personal no técnico.		X

Los requerimientos de la tabla se conformaron según los resultados obtenidos de la recolección de información otorgada por las encuestas y las entrevistas, basándonos en las experiencias diversas de cada beneficiario. Como resultado, generando una relación establecida entre el usuario y el sistema, que permitió que el desarrollo del trabajo de investigación sea tangible.

### 3.7.Requerimientos del sistema

Estos requerimientos se basan en las funciones y restricciones del sistema según la sistematización con respecto al objetivo central de este trabajo. En se analizarán los requerimientos de interfaz, performance, modo y estado, como se ve en la Tabla 6.

*Tabla 6: Tabla de Requerimientos del Sistema*

<b>Requerimientos del Sistema RAS</b>				
#	Requerimiento	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ</b>				
<b>RSUI 1</b>	Debe de disponer de una interfaz dinámica.	X		
<b>RSUI 2</b>	Visualización de datos de las presiones.	X		

<b>RSUI 3</b>	Manipulación manual con botones de mando.	X
<b>RSUI 4</b>	La interfaz debe de informar si esta activada la comunicación.	X
<b>RSUI 5</b>	Tener la Percepción del especialista, o que pueda ser interpretado por los especialistas.	X

---

**REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE**

---

<b>RSUP 1</b>	Se toma datos de la presión arterial de manera automática cada 15 min.
<b>RSUP 2</b>	Se puede tomar el dato de forma manual y en tiempo real.
<b>RSUP 3</b>	La base de datos no debe saturarse y debe de tener un funcionamiento continuo.
<b>RSUP 4</b>	Se debe asegurar que todos los datos lleguen a la base de datos.
<b>RSUP 5</b>	Visualización grafica de cada uno de los datos en la nube

---

**REQUERIMIENTOS DE MODO Y ESTADO**

---

<b>RSUE 1</b>	Tendrá un estado de internación, mientras tenga los tiempos de espera.	X
<b>RSUE 2</b>	Optara un estado emergente cuando los niveles de presión sean críticos.	X
<b>RSUE 3</b>	En el caso de que los datos sean irregulares, se procesara el algoritmo de aprendizaje automático para clasificarlos y redirigirlos.	X
<b>RSUE 4</b>	En el caso de tener baja la batería se avisará con anticipación entrando en modo de ahorro de energía	X

---

<b>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</b>		
<b>RSUF 1</b>	El dispositivo cuenta con una carcasa capaz de proteger la integridad de los elementos electrónicos internos	X
<b>RSUF 2</b>	Brazalete ajustable para toda clase de adulto y adulto mayor.	X
<b>RSUF 3</b>	Modelo estético para uso medico	X
<b>RSUF 4</b>	Cámara inflable con estandarización y aprobada por la OMS	

### **3.8.Requerimientos de arquitectura**

Con respecto a los requerimientos de Arquitectura detallamos algunos que deben considerarse para desarrollar un sistema y que derivan de sus objetivos, existe un subconjunto de gran importancia y relación con la Arquitectura. Estos requerimientos en ingles son conocidos como drivers que se pueden traducir al español como guías ya que estos requerimientos son la guía para el diseño de la Arquitectura del sistema e incluyen atributos de calidad y atributos considerados como primarios para el funcionamiento del sistema. En la Tabla 7 se detallan los requerimientos con respecto al monitoreo de la presión arterial. Los drivers de arquitectura pueden ser un resumen detallado de todos los requerimientos del sistema.

Tabla 7: Requerimientos de Arquitectura para el diseño del sistema de monitoreo de la presión arterial.

Requerimiento de arquitectura		Prioridad		
		Alto	Medio	Bajo
<b>Requerimientos lógicos (conectividad)</b>				
<b>RAL1</b>	Comunicación serial para conexión con los distintos modulares.		<b>X</b>	
<b>RAL2</b>	Utilizar protocolo MQTT para envío de datos.		<b>X</b>	
<b>RAL3</b>	Conectividad con API de tercero.		<b>X</b>	
<b>RAL4</b>	Utilización del HTTP para la página web.		<b>X</b>	
<b>RAL5</b>	Conectividad 4G LTE para envío de mensajes		<b>X</b>	
<b>Requerimiento de diseño</b>				
<b>RAD1</b>	Visualización de datos con protocolo HTTP y HTML	<b>X</b>		
<b>RAD2</b>	Alertas vía mensaje SMS a través del módulo 4G	<b>X</b>		
<b>RAD3</b>	Arquitectura monolítica	<b>X</b>		
<b>RAD4</b>	Portabilidad del equipo	<b>X</b>		
<b>RAD5</b>	Interfaz amigable al usuario	<b>X</b>		
<b>Requerimiento de Software</b>				
<b>RAS1</b>	Datos presentados en tiempo real.	<b>X</b>		
<b>RAS2</b>	La base de la programación debe ser software de código abierto	<b>X</b>		
<b>RAS3</b>	Genera una alerta con un mensaje SMS al personal médico tratante con redes 4G/LTE.	<b>X</b>		

<b>Requerimientos de Hardware</b>		
<b>RAH1</b>	El dispositivo debe tener un tamaño pequeño para que el usuario lo pueda transportar con facilidad.	<b>X</b>
<b>RAH2</b>	El sistema de tener Hardware libre.	<b>X</b>
<b>RAH3</b>	Capacidad de almacenamiento en la base de datos para cada resultado.	<b>X</b>
<b>Requerimientos Electrónicos</b>		
<b>RAE1</b>	Alimentación portable y fija	<b>X</b>
<b>RAE2</b>	Módulos adaptables y compatibles	<b>X</b>
<b>RAE3</b>	Protecciones de elementos electrónicos	<b>X</b>
<b>RAE4</b>	Hardware Libre	<b>X</b>
<b>RAE5</b>	Microcontrolador capaz de cumplir con los requerimientos del sistema embebido	<b>X</b>

### **3.9. Requerimientos de aprendizaje automático**

Los requerimientos para el aprendizaje automático (Tabla 8) se derivan del objetivo de plantear un sistema electrónico de control y monitoreo de hipertensión arterial mediante el uso de un algoritmo de decisión supervisada para contribuir con el diagnóstico precoz de pacientes hipertensos. Para evitar complicaciones médicas a corto y largo plazo logrando generar datos estadísticos.

Tabla 8: Requerimientos de Machine Learning para el diseño del sistema

<b>RML</b>		
<b>Requerimiento de aprendizaje automático</b>		<b>Prioridad</b>
		Alto   Medio   Bajo
<b>RML 1</b>	Aplicar el modelo Naive_Bayes.	X
<b>RML 2</b>	Generar modelo multiclase para cada tipo de presión arterial.	X
<b>RML 3</b>	Exportar modelo de Machine Learning a un archivo.	X

### 3.10. Primera Iteración

En esta interacción se seleccionan los materiales a utilizar, y a la vez a la intervención del hardware, en su análisis y en las modificaciones a realizar para realizar la adquisición de datos.

#### 3.10.1. Análisis

El primer punto para analizar en este trabajo de investigación es la lectura de la presión arterial y la adquisición de datos por parte del esp32.

Por ello se propuso una selección de un tensiómetro que cuenta con la certificación de confiabilidad de uso médico, para lo cual se obtuvo 2 dispositivos, donde se da a conocer en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9: Tabla de características de selección de tensiómetros

Características generales y técnicas	Ros B02r	Bauer BM57
		
<b>Empresa</b>	Saint Health	Beurer
<b>Método de medición</b>	Oscilométrica método	Oscilométrica método
<b>Unidades de medición</b>	mmHg	mmHg
<b>Memoria</b>	60 grupo de datos de medición	2 x 60 ubicaciones de memoria
<b>Fuente de energía</b>	DC6V cuatro pilas AAA o adaptador de corriente AC 90 ~ 260V	2 pilas AAA de 1,5 V
<b>Rango de resultados</b>	20 ~ 280 mmHg (2,7 ~ 3.7kpa)	20 ~ 280 mmHg (3 ~ 3.7kpa)
<b>Tamaño del dispositivo</b>	126 × 100 × 53mm	9.4 x 6.4 x 16.1 cm
<b>Tiempo de lectura</b>	40-165 tiempos / min	
<b>Precio del dispositivo</b>	60 USD	160 USD
<b>- Precisión (CV)</b>	± 3 presión arterial	+/- 3mmHg

Teniendo en cuenta las características, se realizó una tabla comparativa (Tabla 10) de acuerdo con los requerimientos extendidos en los anteriores puntos:

Tabla 10: Tabla de selección de dispositivo para toma de datos

Módulo de sensorial de Presión Arterial	REQUERIMIENTOS									VALORACIÓN TOTAL
	RSO 1	RSU 5	RSUS 4	RSUI 2	RSUI 3	RSUI 5	RSUF 2	RSUF 4	RAE 2	
<b>RoHs B02r</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>9</b>
<b>Beurer BM57</b>	0	1	1	1	1	1	1	1	0	<b>7</b>
<b>Cumple = 1</b>										
<b>No Cumple = 0</b>										
<b>Elección: DS18B20 (Recubrimiento impermeable)</b>										

Dada la Matriz se seleccionó el RoHs B02r (Figura 27), por estar de acuerdo con la mayor parte de los requerimientos, impuestos en la Tabla 10, los cuales se relacionan bastante con el dispositivo a obtener la señal.

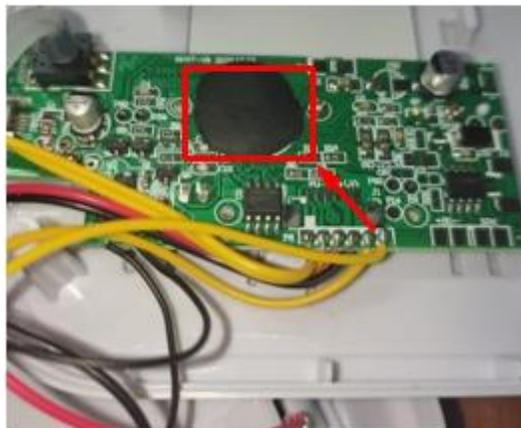
*Figura 27: Dispositivo de Presión Arterial B02r*



*Fuente:* Elaborado por el autor

No obstante, se necesitó entender la funcionalidad del dispositivo, por lo que intervino para interpretar la circuitería (Figura 29) y obtener los procesos, para manipular el dispositivo para obtener los datos de las presiones arteriales y poder tratar los datos para poder enviar a la nube.

*Figura 28: Dispositivo de Presión Arterial B02r desarmado*



*Fuente:* Elaborado por el autor

En sus circuitos internos se pudo evidenciar algunos dispositivos electrónicos, entre ellos el microcontrolador que estuvo protegido por una masilla, lo cual fue imposible ver la

nomenclatura del chip, para posteriormente ver su datasheet extrayendo sus propiedades para descifrar su funcionamiento, cabe destacar que también se pudo observar el chip T24C16A (Figura 29), el cual según el datasheet es una EEPROM que utiliza comunicación I2C.

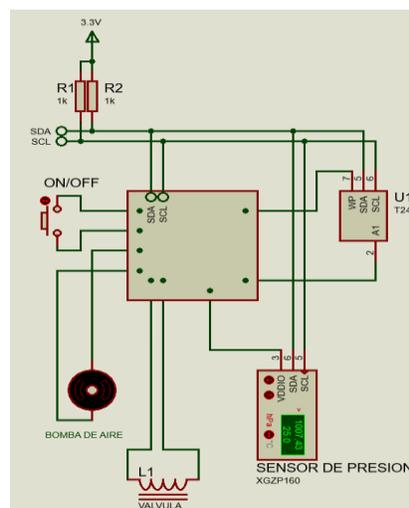
Figura 29: Chip T24C16A



Fuente: Elaborado por el autor

Con este acontecimiento se procedió hacer una prueba abierta del dispositivo para ver el flujo de sus funcionalidades, de resultado se puede afirmar el esquema de la Figura 30.

Figura 30: Esquema electrónico del dispositivo



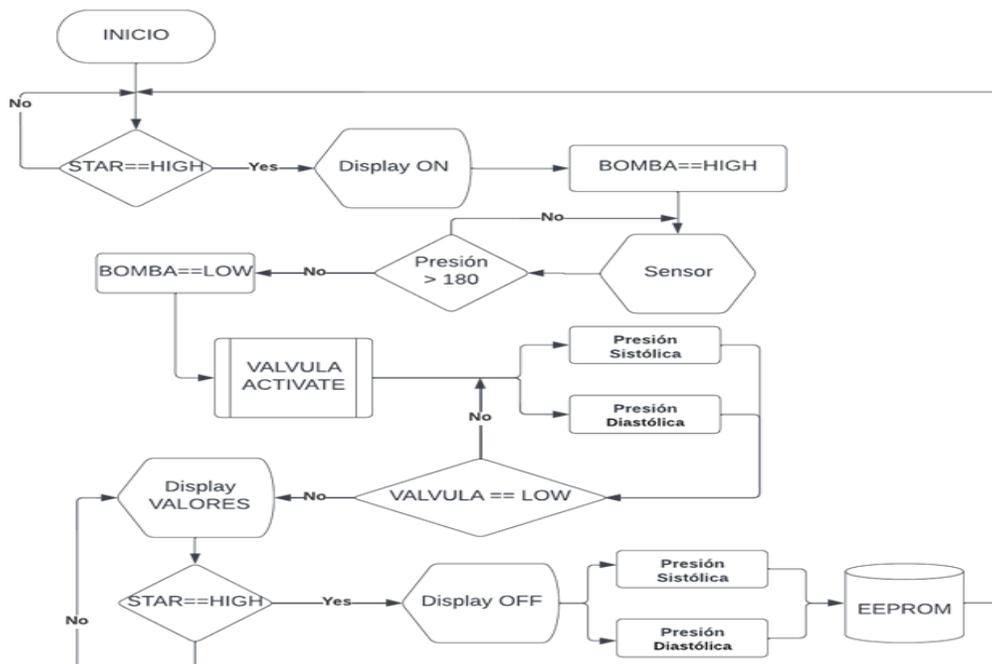
Fuente: Elaborado por el autor

En las pruebas electrónicas se descifro el siguiente sistema:

1. Presiona Start o el botón de on/off, en este dará un mensaje de audio y procede a activar la bomba.
2. Esperamos que la bomba pare, al momento de parar envía valores extraños a las comunicaciones I2c.
3. Se activa la válvula para hacer salir el aire, una vez que termina, manda datos irrelevantes a la comunicación.
4. Presionamos de nuevo start u on/off.
5. Obtenemos datos irrelevantes acompañado de los datos de la presión sistólica y diastólica.

Este proceso de funcionamiento se lo puede ver en la Figura 31

Figura 31: Flujoograma del proceso de adquisición de datos de parte del tensiómetro de Presión Arterial B02r



Fuente: Elaborado por el autor

### ***3.10.2. Componentes de comunicación***

Teniendo en claro el funcionamiento, y sabiendo la traslación de los datos de las presiones a la EEPROM a través de comunicación I2C, se usó un mecanismo para descifrar el encriptamiento de la información, por lo consiguiente se coloca un Arduino de prueba, con un algoritmo de reconocimiento de I2C, para ver las distintas direcciones de registro, de esta manera poder acceder a los datos de comunicación del dispositivo, sin olvidar la configuración de las Pull Up para la comunicación con los dispositivos, tomando en cuenta que no hay una resistencia de extracción en el chip, se debe añadir resistencias en el exterior de potencia a los niveles altos de salida; por lo general, la capacidad de conducción del extremo de E / S tiene entre 2 a 4 mA, y la tensión de giro de la puerta OC o OD es de aproximadamente 0,4 V, y el voltaje más la resistencia de plomo superior es generalmente 2.8V, el valor mínimo de la resistencia de Pull-Up no puede ser que está menos de 800R ( $2.8-0.4V / 3MA = 0,8K$ ), y la tensión de 5V no es inferior a 1.5K ( $5-0.4V / 3MA = 1.5K$ ), tomando en cuenta esto se seleccionó la resistencia de 1k Ohm que es netamente comercial y está en el rango establecido.

La señal de interrupción y GPIO en sí misma, solo necesita generar un alto nivel, no es necesario que conduzca el dispositivo, la resistencia de Pull-Up puede tomar un punto grande, reducir el consumo de energía, pero prestar atención a la resistencia de Pull-Up no sea demasiado Grande, de lo contrario, la línea PCB, la capacitancia de carga del dispositivo afecta el tiempo de subida de la señal.

Teniendo la configuración del hardware se procede a la búsqueda del registro 0x50 la cual es la del sensor de presión XGZP160, quedando en ello el siguiente esquema electrónico conectando el dispositivo con el Arduino Mini-pro de la Figura 32.

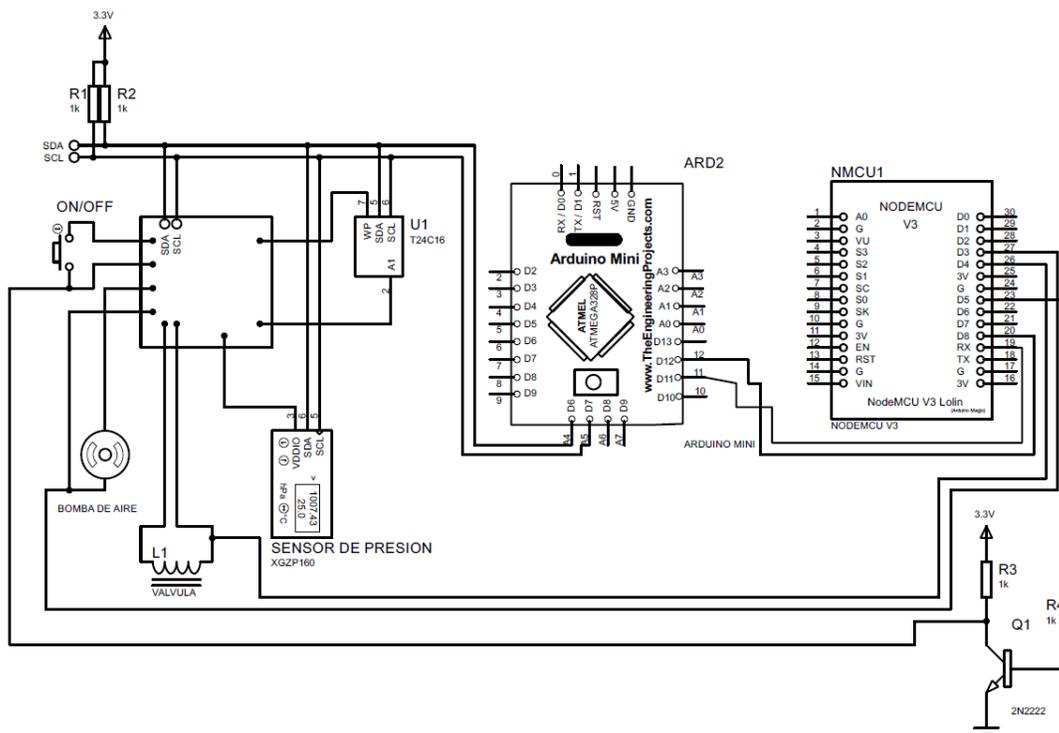


Consecutivamente hay que tener en cuenta que debemos saber cuándo la bomba empieza a trabajar y cuando no, así mismo la válvula para soltar el aire, para conseguir los datos deseados, configuramos dos entradas digitales.

### 3.10.3. Diseño

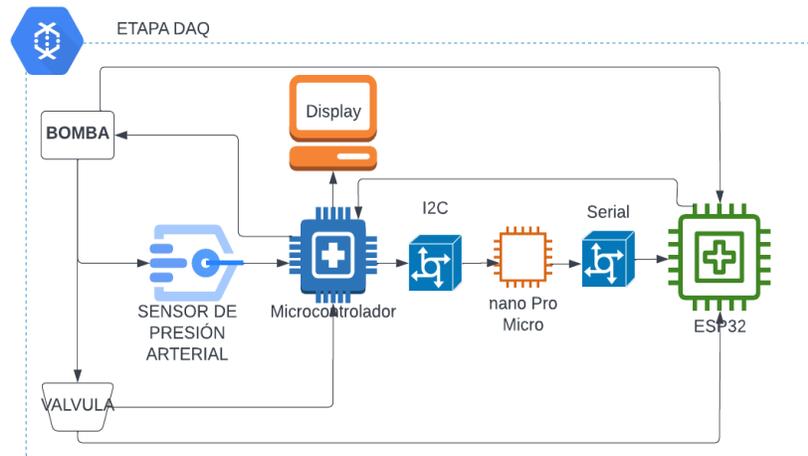
El diseño se basa en el control de los distintos actuadores y de los procesos adyacentes a la toma de datos, para poder extraerlos directamente con el Esp32, por tanto, tenemos el siguiente esquema electrónico de la Figura 33.

Figura 33: Esquema electrónico general para la toma de datos automatizada



En esto podemos considerar el diagrama de bloque del sistema, cabe recalcar que el sistema embebido es el Esp32, que tiene el módulo Wifi y Bluetooth incluido, por tanto, se desarrollara en la siguiente etapa, junto con la comunicación MQTT.

Figura 34: Diagrama de bloque de la Etapa DAQ



### 3.10.4. Implementación

En esta etapa se generará el prototipo según las especificaciones de diseño, en el proceder se puede observar la intervención que se hizo en el chip T24C16, como se ve en la Figura 35.

Figura 35: Intervención en el chip T24C16

Consecutivamente podemos observar las conexiones I2C al Arduino, con las cuales consecutivamente conectamos en vía serial.

Por consiguiente, agregamos una pequeña pcb en la cual tenemos las conexiones establecidas y el transistor para la automatización.

### 3.11. Segunda Iteración

En esta interacción se da a conocer la selección del componente del módulo GSM o GPRS, que trabaja con la red 4G, y de la utilización del protocolo IOT que es el MQTT (MQ Telemetry Transport).

### 3.11.1. Análisis

Tras la sección de recolección de datos de la presión arterial en el microcontrolador, se genera alarmas al personal médico y al usuario y con la interfaz web para el monitoreo continuo del paciente.

Como se ha planteado anteriormente, las alertas del dispositivo consisten en el envío de mensajes directos al personal médico encargado del paciente a través de mensajes de texto (SMS), para esto se necesita de un módulo de comunicación que se ancle a las redes móviles disponibles en el sector y que sea compatible con el microcontrolador que vamos a usar (ESP32)

También se enviarán los datos de presión arterial obtenidos, mediante el protocolo MQTT a un servidor web, para que el personal médico y el paciente puedan llevar un monitoreo de las mediciones remotamente.

Para la etapa de alertas de mensajería telefónica se trabajará con un módulo 4G, se realizó una investigación de los módulos disponibles en el mercado actualmente para definir qué modelo se va a utilizar para el prototipo definiéndole las características por la siguiente tabla.

Tabla 11. Tabla de características del módulo 4G

Características generales y técnicas	SIM7500	SIM7600
		
Empresa	SIM COM	SIM COM
Rango de voltaje de suministro	3,4 V ~ 4,2 V, 3,8 V típico	3,3V ~ 5 V
Control	Control a través de comandos AT	Control a través de comandos AT

<b>Comunicación</b>	Serial	Serial y SPI
<b>Protocolos</b>	TCP/IP/IPV4/IPV6/multi-pdp/FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/DNS	TCP/IP/IPV4/IPV6
<b>Controlador USB</b>	-----	para-Microsoft Windows 2000/XP/Vista/Win7/Win8/Win10
<b>Variante para EMEA</b>	LTE-FDD B1/B3/B7/B8/B20 GSM/GPRS/EDGE 900/1800MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LTE-FDD B1/B3/B7/B8/B20</li> <li>• UMTS/HSPA + B1/B8</li> <li>• GSM/GPRS/EDGE 900/1800MHz /4G</li> </ul>
<b>Precio del dispositivo</b>	80 USD	120 USD

Teniendo en cuenta las diferentes características de los modulares, realizamos una matriz comparativa de selección tomando de referencias los requerimientos en la Tabla 12.

*Tabla 12. Tabla de selección del módulo 4G*

Módulo 4G	REQUERIMIENTOS				VALORACIÓN TOTAL
	RAL4	RAD4	RAS2	RAS3	
<b>SIM7500</b>	1	1	1	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>SIM7600</b>	1	1	1	1	<b>4</b>
<b>Cumple = 1</b>					
<b>No Cumple = 0</b>					

Según la Tabla 12 de selección ambos componentes cumplen con los requerimientos básicos para el prototipo, pero se selecciona el módulo SIM7600, un modelo más actual del mismo fabricante y presenta mejoras en temas de velocidad de operación respecto a su predecesor.

### 3.11.2. Operación del Módulo 4G

El módulo SIM7600 (Figura 36) cuenta con la tecnología 4G-LTE, es el componente que nos permitirá anclarnos a las redes móviles de nuestra localidad, este módulo viene integrado a un Shield, el cual nos permite integrarlo a otras placas de desarrollo de manera sencilla.

Figura 36: Módulo SIM7600X



Fuente: Elaborado por el autor

Como se dijo antes, las alertas se darán mediante mensajería móvil (SMS), contemplando que, actualmente, casi todas las personas tienen un celular, pero no una conexión a Internet, por lo que el mensaje de texto (SMS) nos representa mayor garantía de que el destinatario reciba la información.

Para esto debemos adquirir un chip de una telefónica y colocarlo en el módulo, en la Figura 37 se muestra la inclusión del chip al módulo.

*Figura 37: Módulo 4G con el chip de telefonía móvil.*



Cuando el chip de telefonía móvil está conectado, se integra el módulo 4G a la placa de desarrollo (ESP32) y programa las alarmas.

### ***3.11.3. Envío de datos MQTT***

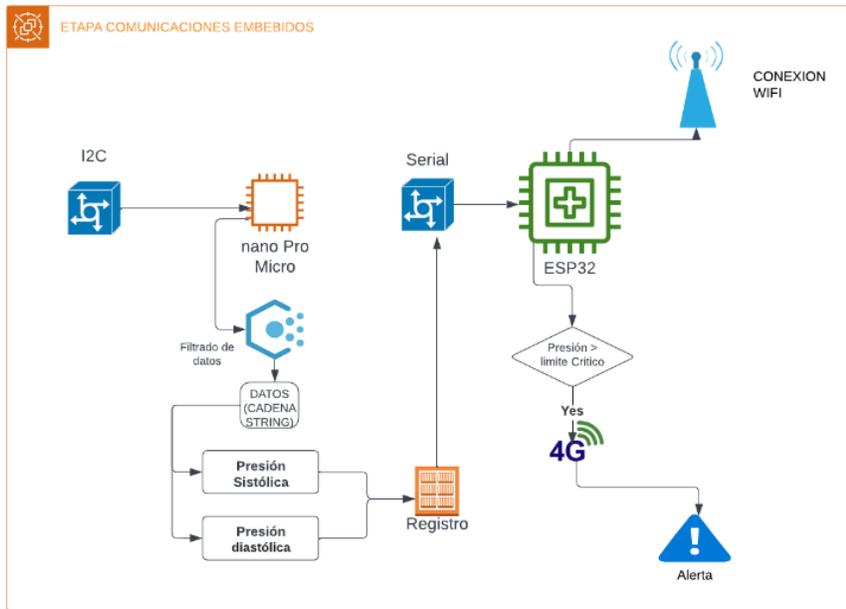
El protocolo MQTT es un protocolo de mensajería ligero ideal para arquitecturas IOT. En esta sección del proyecto se programa el servicio en la placa de desarrollo ESP32, este proceso no demanda ningún componente de hardware extra, ya que solo requiere de un medio de conexión a internet. En el prototipo tal como está planteado podremos contar con la conectividad con el Módulo SIM7600 a través de telefonía móvil o también por medio de Wi-Fi ya que el ESP32 ya tiene un módulo integrado.

Para la realización de esta conexión se requiere de un servidor ubicado en un entorno web en el que podamos recibir los datos. Actualmente podemos encontrar varias plataformas para crear el canal de comunicación y en el código añadir las claves de acceso a dicho canal.

### 3.11.4. Diseño

Los procesos que se adjuntaron en la primera interacción, es el filtrado de datos correlacionales, la transformación del formato del dato, y el envío de los datos por protocolo MQTT a la nube.

Figura 38: Diagrama de Bloques en etapa comunicaciones embebidos



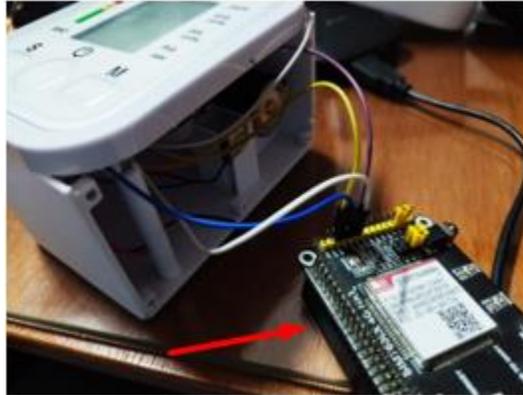
Fuente: Elaborado por el autor

Como se puede ver en la Figura 38, también se implementó el sistema de alarma a través del módulo 4G.

### ***3.11.5. Implementación***

En esta etapa se genera el prototipo de acuerdo con las especificaciones, implementado físicamente el módulo 4G como se puede ver en la figura40.

*Figura 39: Conexiones con el módulo 4G*



## **3.12. Tercera Iteración**

En esta última Interacción se verá a fondo el uso del protocolo MQTT y la selección de clientes, a la vez que se consideran las diferentes pruebas de conexión con la página visualizadora.

### ***3.12.1. Análisis***

Esta etapa se investiga la forma de visualizar los datos obtenidos del servidor MQTT hacia una página web y así el usuario final pueda verlos.

Por ello se propuso el manejo del protocolo MQTT para el enviar y recibir los datos dentro de cada nodo de la red, en lo cual se selección según el cumplimiento de los requerimientos:

Tabla 13: Selección de Clientes MQTT

Cliente MQTT	VALORACIÓN TOTAL			
	RAL 2	RAS 1	RAS 2	
HIVEMQ	1	1	1	<b>3</b>
EMQX	1	1	0	<b>2</b>

Dada la Tabla 13 se puede constatar la selección del HIVEMQ, el cual se seleccionó por su fácil despliegue en la nube, considerando que todas las herramientas sobre los requerimientos deben ser de Código abierto.

### ***3.12.2. Componente Presentación***

En este componente se tiene varias tecnologías usadas para poder mostrar la información al usuario final en el navegador web. Entre las tecnologías tenemos:

- HTML 5
- Css3
- Bootstrap v4
- JavaScript
- Librería cliente MQTT es Paho

### ***3.12.3. Componente de Persistencia***

En este componente se pretende almacenar los datos recibidos del Servidor MQTT hacia una base de datos en la nube. Para esto se usó la siguiente herramienta:

- Base de datos real time de Google por su versatilidad de uso he implementación en tecnologías web.

### 3.12.4. Componente Procesamiento de Datos

En este componente se pretende analizar los datos de las presiones sistólica y diastólica, donde entra a un proceso de clasificación por un modelo de Machine Learning y la salida determina el nivel de presión que tenga el paciente.

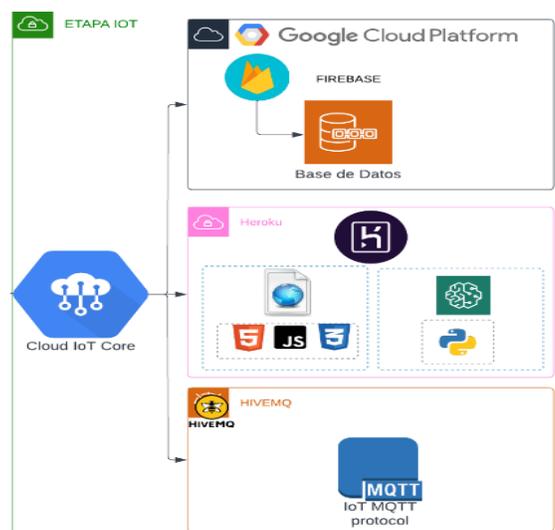
Las tecnologías usadas en este componente fueron:

- Python
  - Librería de Machine Learning scikit-learn.
  - Librería de Firebase para la comunicación con la base de datos.
  - Librería cliente de MQTT, Paho cliente.

### 3.12.5. Diseño

En el diseño podemos ver a continuación en la Figura 41, donde todos los componentes detallados en secciones anteriores se muestran macro frente al requerimiento de la 3 Iteración.

Figura 40: Diagrama de Bloques del sistema online



Fuente: Elaborado por el autor

### 3.12.6. Implementación

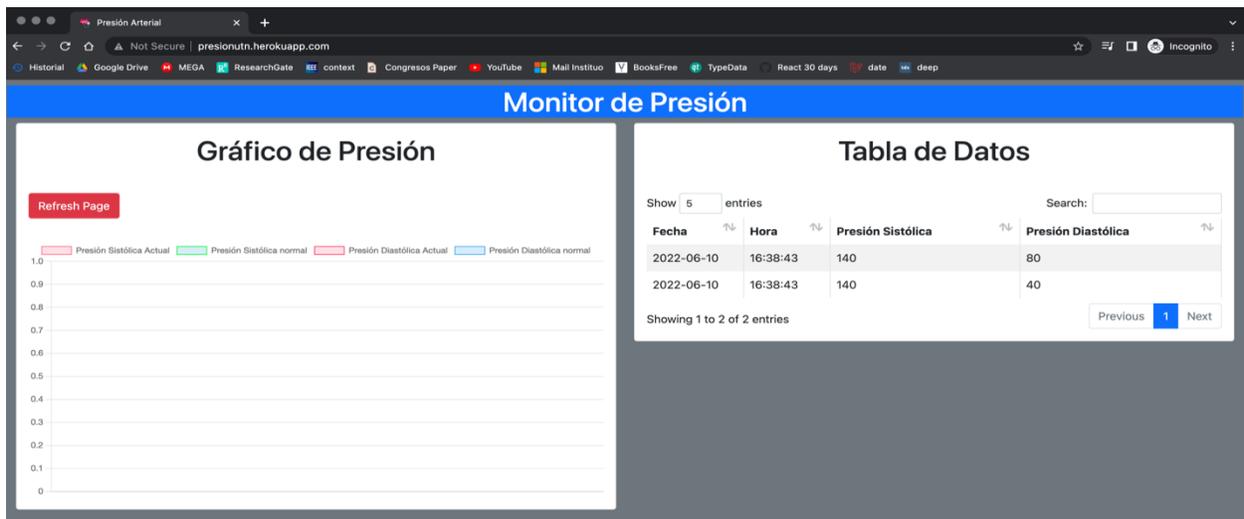
En la implementación la vamos a segmentar en varias partes como:

- Página Web
- Base de Datos
- Servicios en la Nube (PAAS (plataforma como servicio))

Con respecto a la página web de abajo tenemos la Figura 42: Pagina Web que detalla dos secciones, la primera es el gráfico de presión: aquí se añaden puntos de presión a tiempo real más los puntos de una presión normal. En la segunda sección tenemos una tabla que muestra todas las muestras de presión almacenadas en la base de datos.

Nota: Los datos presentados en el grafico no son persistentes.

Figura 41: Pagina Web



Fuente: Elaborado por el autor

Como se muestra en la Figura 42 tenemos la escritura de la base de datos generada en Firebase para el uso de la propuesta. Los datos para guardarse son la fecha en formato año, mes y día; la hora en formato hora, minuto y segundo; y finalmente la presión diastólica y sistólica.

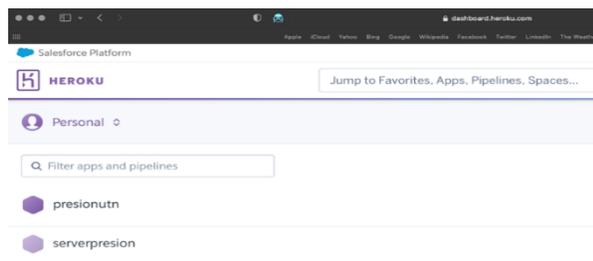
Figura 42: Base de datos en Firebase



Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura 43 se detalla el despliegue del proyecto tanto para el desarrollo web como el análisis de los datos. El alojamiento de todos los recursos se cuenta en el proveedor HEROKU. Con un paquete free para el uso del proyecto.

Figura 43: Desarrollo Web en Heroku



Fuente: Elaborado por el autor

## 4. CAPITULO IV: REQUERIMIENTOS Y PRUEBAS

### 4.1. Análisis del algoritmo

Para realizar el análisis del algoritmo se procede a realizar las diversas pruebas a las 3 iteraciones como se detalla a continuación.

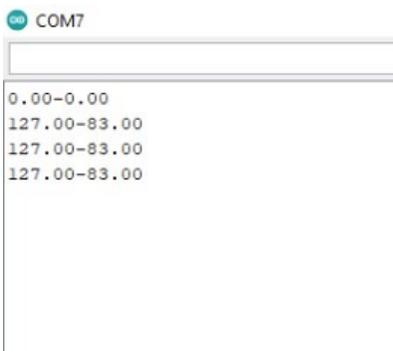
### 4.2. Pruebas 1era iteración

Finalizada la implementación del prototipo, se realizó diferentes pruebas de, con el motivo de detectar posibles errores durante la primera iteración. A continuación, se describen las pruebas que fueron realizadas:

#### 4.2.1. Pruebas de comunicación:

En estas pruebas, corroboramos la información a través del monitor serial del Arduino, y posteriormente en el del esp32, teniendo en claro de no pasar información no válida, asegurando la validez, la calidad y la velocidad de la comunicación como se puede observar en la Figura 44.

*Figura 44: Prueba de comunicación COM7 del Arduino*



Fuente: Elaborado por el autor

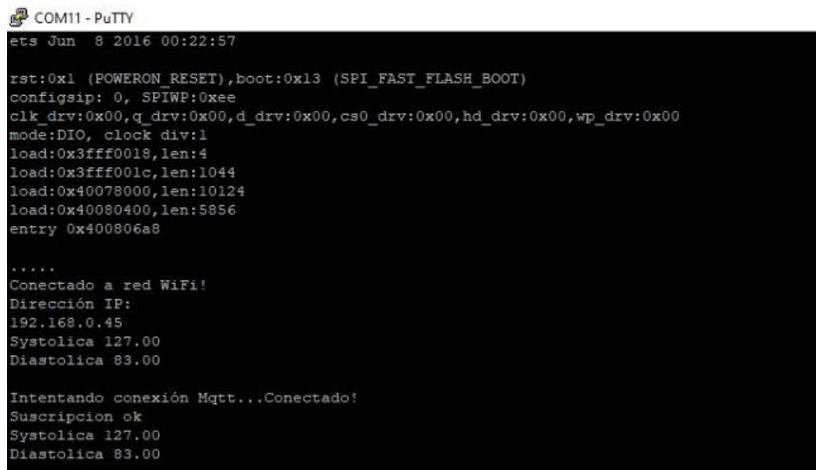
#### 4.2.2. Pruebas electrónicas:

En estas pruebas confirmamos la tabla de consumo, con la cual el dispositivo se abastecerá para su correcto funcionamiento, tanto con una fuente externa como en una fija, de igual manera se respaldó los puntos de conexión.

#### 4.3. Pruebas 2da iteración

Finalizada la implementación del prototipo, se realizan las pruebas respectivas para la entrega de datos al esp32 vía serial como se indica en la Figura 45, donde se evidencia la obtención de los valores de ambas presiones a través del programa putty.

Figura 45: COM11 del esp32 recibiendo los datos del Arduino



```
COM11 - PuTTY
ets Jun  8 2016 00:22:57

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
config: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_drv:0x00
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:1044
load:0x40078000,len:10124
load:0x40080400,len:5856
entry 0x400806a8

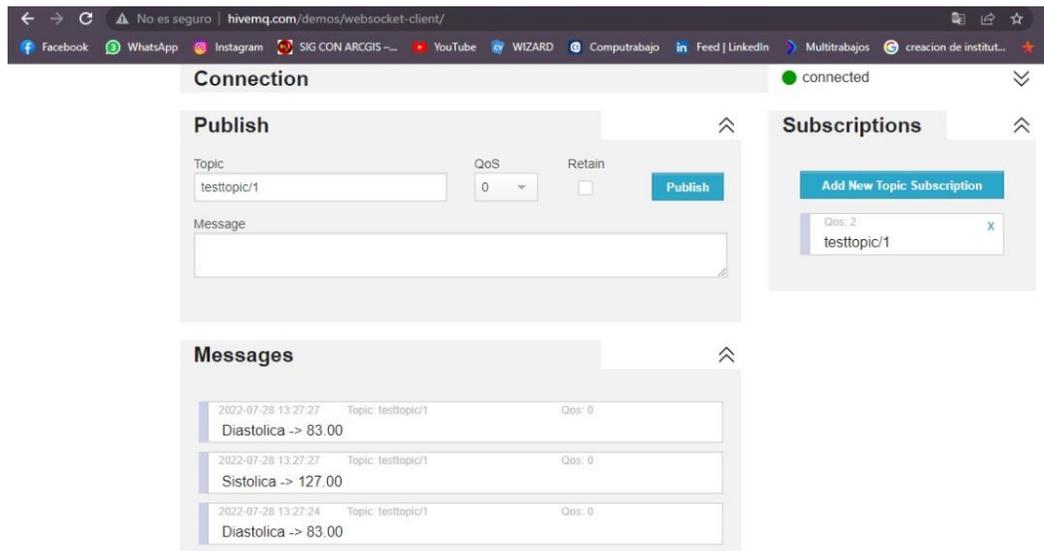
****
Conectado a red WiFi!
Dirección IP:
192.168.0.45
Systolica 127.00
Diastolica 83.00

Intentando conexión Mqtt...Conectado!
Suscripcion ok
Systolica 127.00
Diastolica 83.00
```

Fuente: Elaborado por el autor

Después de validar los datos en el esp32, se procede a validar el servicio MQTT, donde se puede observar los resultados a través de una interfaz web como se especificará en la iteración 3.

Figura 46: Bróker MQTT recibiendo los datos



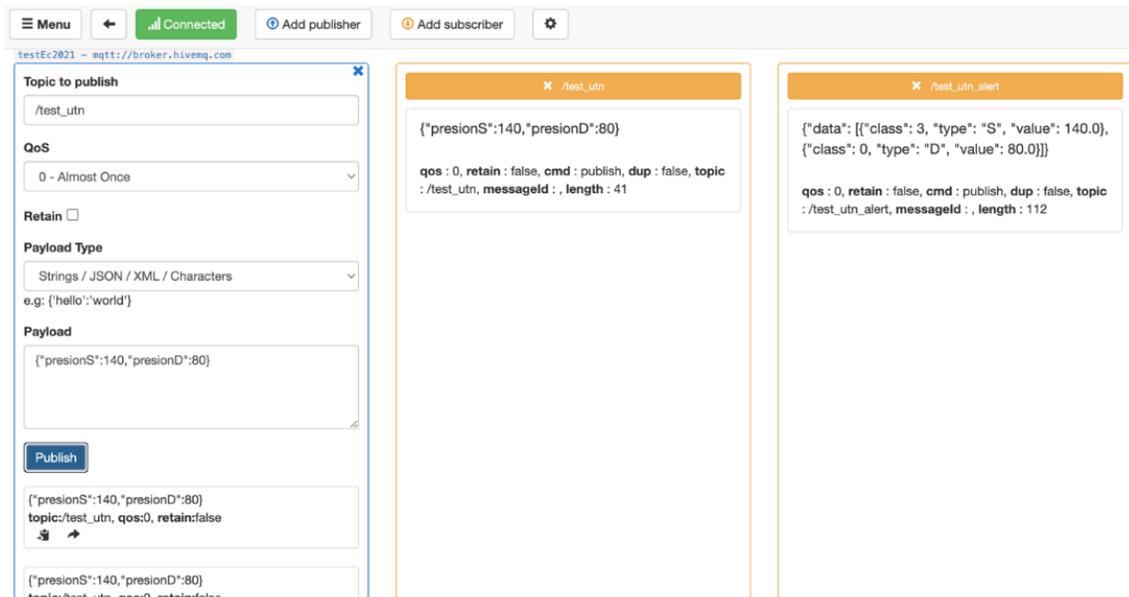
Fuente: Elaborado por el autor

#### 4.4. Pruebas 3ra Iteración

Al finalizar el prototipo, se hicieron las pruebas respectivas para detectar posibles errores en la tercera iteración. A continuación, se describen las pruebas que fueron realizadas:

- Mediante el cliente mqttbox se envía un payload al servidor Hivemq en una estructura JSON y posteriormente obtener una respuesta en cada topico suscrito por el cliente.
- Como podemos ver en la figura 48 Tenemos un payload {"presionS": 140, "presionD":80} y nos devuelve en los otros canales las siguientes respuestas:
  - En el canal /test/utn podemos afirmar que si llega el mensaje al servidor de MQTT.
  - En el canal /test/utn\_alert tenemos un mensaje devuelto después de procesar el payload lo cual hace correcta la prueba.

Figura 47: *payload* {“presionS”: 140, “presionD”:80}



Fuente: Elaborado por el autor

Conectividad con el servidor a partir de un cliente MQTT desarrollado en Python tenemos la siguiente Figura 48 donde tenemos una conexión afirmativa con el servidor además de estar en modo espera a que llegue algún mensaje.

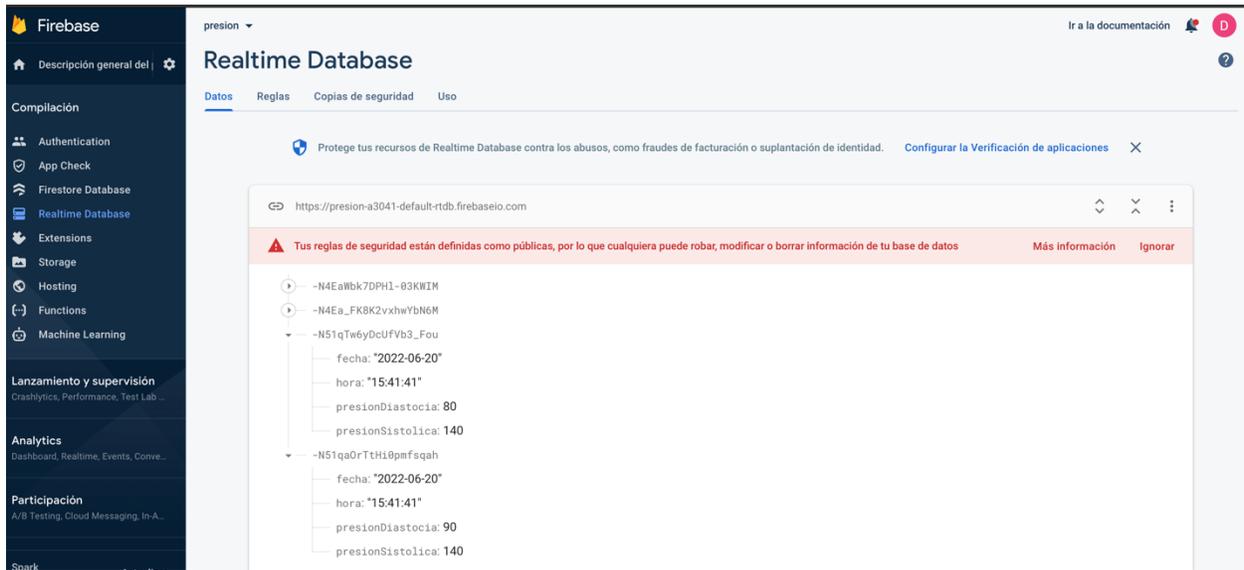
Figura 48: *afirmación por consola MQTT*

```
→ Python git:(master) x . /opt/anaconda3/bin/activate && conda activate /opt/anaconda3/envs/TesisPresion
(TesisPresion) → Python git:(master) x python ini.py
Connected to MQTT Broker!
Wait for message...
```

Fuente: Elaborado por el autor

En la persistencia de datos durante las pruebas se constató que los datos fueron almacenados a tiempo real en la Firebase, así como se muestra en la siguiente Figura 49.

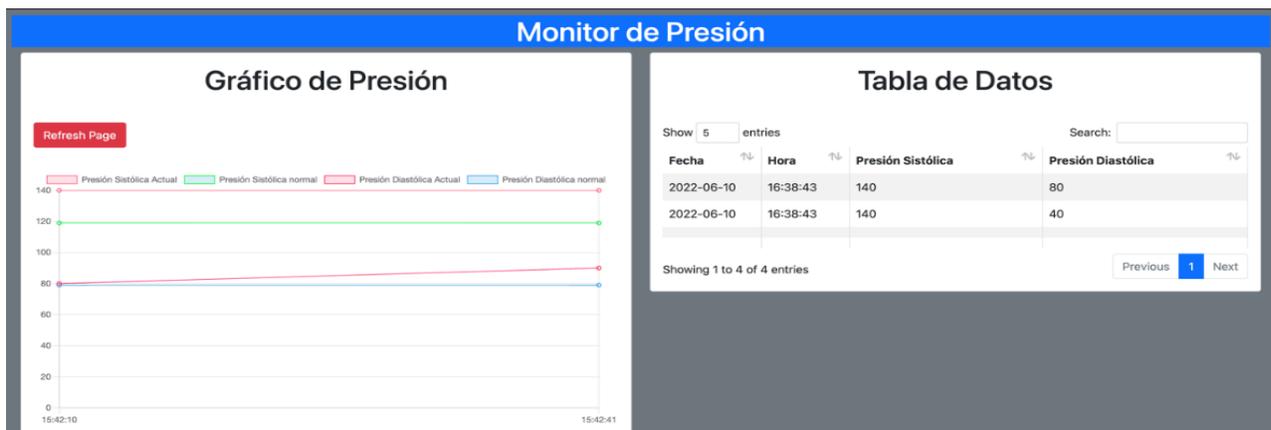
Figura 49: Verificación de datos en Firebase



Fuente: Elaborado por el autor

En el despliegue de información dentro de la página web se validó, como se puede ver en las siguientes Figuras 50, en donde el gráfico con la tabla muestra la información requerida.

Figura 50: Pagina web



Fuente: Elaborado por el autor

#### 4.4.1. Matriz de confusión y sus métricas

Tabla 14: Selección de matriz de confusión

Verdaderos positivos Positivos (VP)	Falsos positivos (FP) ERROR tipo 1
Falsos Negativos (FN) ERROR tipo 2	Verdaderos Negativos (VN)

Dada la Tabla 134 Muestra el rendimiento de un modelo de clasificación en un conjunto de datos. La matriz compara las clases reales con las clases predichas por el modelo, y permite calcular diferentes métricas

$$PRECISIÓN = \frac{VP}{VP + VF}$$

$$EXACTITUD = \frac{VP + VN}{VP + FP + FN + VN}$$

$$ESPECIFICIDAD = \frac{VN}{VN + VF}$$

$$SENSIBILIDAD = \frac{VP}{VP + VN}$$

#### 4.4.2. Cálculo de la matriz de confusión

Esta herramienta muestra el resultado de un algoritmo que se usa en aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz indica el número de predicciones de cada clase, y cada fila corresponde a las instancias de la clase verdadera

Tabla 15: Calculo de matriz de confusión

65	0
0	0

Dada la Tabla 135 Muestra el rendimiento de un modelo de clasificación con los valores ya obtenidos.

**Precisión:**

Se trata de una medida que indica qué tan bien un modelo de clasificación puede detectar los casos positivos. La presión se obtiene como la fracción de verdaderos positivos sobre el total de casos positivos, Por ejemplo, si la presión es 0.8, significa que el modelo acierta el 80% de las veces que hay un caso positivo.

$$PRECISIÓN = \frac{65}{65 + 0}$$

$$PRECISIÓN = 1$$

Al tener tendencia a 1 se puede observar que el modelo acierta el 100% de las veces que hay un caso positivo

## **Exactitud**

Se trata de una métrica que indica el nivel de acierto de un modelo de clasificación. Se obtiene como la fracción de casos que el modelo clasificó correctamente sobre el total de casos. Se puede calcular a partir de la matriz de confusión, que es una tabla que muestra el número de aciertos y errores que el modelo cometió en cada clase.

$$EXACTITUD = \frac{65 + 0}{65 + 0 + 0 + 0}$$

$$EXACTITUD = 1$$

Se puede concluir que el análisis de exactitud es del 100% de los casos analizados, porque la tendencia es de 1.

## **Especificidad**

Se trata de una medida que indica qué tan bien un modelo de clasificación puede detectar los casos negativos. La medida se obtiene como la fracción de verdaderos negativos sobre el total de casos negativos. La especificidad se puede entender como la probabilidad de que el modelo clasifique correctamente la clase negativa cuando la clase verdadera es negativa. Por ejemplo, si la especificidad es 0.9, significa que el modelo acierta el 90% de las veces que hay un caso negativo.

$$ESPECIFICIDAD = \frac{0}{0 + 0}$$

$$ESPECIFICIDAD = 0$$

Se tiene un dato real y el algoritmo al terminar su análisis se ve que da un valor falso, por eso el índice se acerca a 0, al finalizar el cálculo no hay valores falsos, esto significa que si se evalúan todos los casos el paciente sano se clasificará como sano.

### **Sensibilidad**

Se trata de una medida que muestra la capacidad de un modelo de clasificación para identificar los casos positivos. La medida se calcula como la proporción de verdaderos positivos entre el total de casos positivos.

$$SENSIBILIDAD = \frac{65}{65 + 0}$$

$$SENSIBILIDAD = 1$$

Se tiene un dato real y el algoritmo emite un valor verdadero por lo cual el índice generado indica que en efecto el modelo entrenado detecta a una persona que sea enferma la clasifica como enferma y a la persona sana como sana

## **4.5. Hoja de Ruta**

En este punto se despliega diferentes rubricas que permite ir reafirmando el cumplimiento de cada uno de los requerimientos, de estos tenemos los siguientes:

### **4.5.1. Arquitectura**

Esta rúbrica propuesta en la Tabla 14, es para validar los requerimientos de arquitectura que son una descripción abstracta del diseño del software que es una base para un diseño e implementación detallados, esta rúbrica es llenada con un especialista técnico.

Tabla 14: Rúbrica de Arquitectura

Requerimiento de arquitectura		% cumplimiento
		CU
<b>Requerimientos lógicos (conectividad)</b>		
<b>RAL1</b>	Comunicación serial para conexión con los distintos modulares.	100%
<b>RAL2</b>	Utilizar protocolo MQTT para envío de datos.	100%
<b>RAL3</b>	Conectividad con API de tercero.	100%
<b>RAL4</b>	Utilización del HTTP para la página web.	100%
<b>RAL5</b>	Conectividad 4G LTE para envío de mensajes	100%
<b>Requerimiento de diseño</b>		
<b>RAD1</b>	Visualización de datos con protocolo HTTP y HTML	100%
<b>RAD2</b>	Alertas vía mensaje SMS a través del módulo 4G	100%
<b>RAD3</b>	Arquitectura monolítica	100%
<b>RAD4</b>	Portabilidad del equipo	80%
<b>RAD5</b>	Interfaz amigable al usuario	100%
<b>Requerimiento de Software</b>		
<b>RAS1</b>	Datos presentados en tiempo real.	100%
<b>RAS2</b>	La base de la programación debe ser software de código abierto	100%
<b>RAS3</b>	Genera una alerta con un mensaje SMS al personal médico tratante con redes 4G/LTE.	100%
<b>Requerimientos de Hardware</b>		
<b>RAH1</b>	El dispositivo debe tener un tamaño pequeño para que el usuario lo pueda transportar con facilidad.	60%
<b>RAH2</b>	El sistema de tener Hardware libre.	100%
<b>RAH3</b>	Capacidad de almacenamiento en la base de datos para cada resultado.	100%
<b>Requerimientos Electrónicos</b>		

<b>RAE1</b>	Alimentación portable y fija	100%
<b>RAE2</b>	Módulos adaptables y compatibles	100%
<b>RAE3</b>	Protecciones de elementos electrónicos	100%
<b>RAE4</b>	Hardware Libre	100%
<b>RAE5</b>	Microcontrolador capaz de cumplir con los requerimientos del sistema embebido	100%

#### 4.5.2. Sistema

Esta rúbrica (Tabla 15) se valida los servicios que ha de ofrecer el sistema y las restricciones asociadas a su funcionamiento. Esta rúbrica se la llena con el especialista de rama de salud y un especialista técnico.

Tabla 15: Rúbrica de Requerimientos del Sistema

<b>Requerimientos del Sistema RAS</b>		
<b>#</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>% Cumplimiento</b>
<b>REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ</b>		
<b>RSUI 1</b>	Debe de disponer de una interfaz dinámica.	100%
<b>RSUI 2</b>	Visualización de datos de las presiones.	100%
<b>RSUI 3</b>	Manipulación manual con botones de mando.	100%
<b>RSUI 4</b>	La interfaz debe de informar si esta activada la comunicación.	100%
<b>RSUI 5</b>	Tener la Percepción del especialista, o que pueda ser interpretado por los especialistas.	100%

---

**REQUERIMIENTOS DE PERFORMANCE**

---

<b>RSUP 1</b>	Se toma datos de la presión arterial de manera automática cada 15 min.	100%
<b>RSUP 2</b>	Se puede tomar el dato de forma manual y en tiempo real.	100%
<b>RSUP 3</b>	La base de datos no debe saturarse y debe de tener un funcionamiento continuo.	100%
<b>RSUP 4</b>	Se debe asegurar que todos los datos lleguen a la base de datos.	100%
<b>RSUP 5</b>	Visualización grafica de cada uno de los datos en la nube	100%

---

**REQUERIMIENTOS DE MODO Y ESTADO**

---

<b>RSUE 1</b>	Tendrá un estado de internación, mientras tenga los tiempos de espera.	100%
<b>RSUE 2</b>	Optara un estado emergente cuando los niveles de presión sean críticos.	100%
<b>RSUE 3</b>	En el caso de que los datos sean irregulares, se procesara el algoritmo de aprendizaje automático para clasificarlos y redirigirlos.	100%
<b>RSUE 4</b>	En el caso de tener baja la batería se avisará con anticipación entrando en modo de ahorro de energía	50%

---

**REQUERIMIENTOS FÍSICOS**

---

<b>RSUF 1</b>	El dispositivo cuenta con una carcasa capaz de proteger la integridad de los elementos electrónicos internos	50%
<b>RSUF 2</b>	Brazalete ajustable para toda clase de adulto y adulto mayor.	50%

<b>RSUF 3</b>	Modelo estético para uso medico	50%
<b>RSUF 4</b>	Cámara inflable con estandarización y aprobada por la OMS	50%

#### 4.5.3. Stakeholders

En esta rúbrica se destaca la validación que da los beneficiarios (Tabla 16), ya que en esta se valida las características observables que cualquier interesado desea que estén contenidas en el sistema.

Tabla 16: Rubrica de Validación de Requerimiento Operacionales

<b>RSHS</b>		
<b>REQUERIMIENTOS OPERACIONALES</b>		
<b>NÚMERO</b>	<b>REQUERIMIENTOS</b>	<b>% de cumplimiento</b>
<b>RSO 1</b>	El sistema debe de ser fácil de Manipular.	100%
<b>RSO 2</b>	El sistema debe de tener Ergonomía, es decir, que los elementos o componentes interactúen bien entre sí.	100%
<b>RSO 3</b>	El dispositivo debe de constar de una fuente independiente	100%
<b>RSO 4</b>	Este sistema debe de enviar alertas en el caso de que los índices sean críticos.	100%
<b>RSO 5</b>	Debe de haber un almacenamiento de los datos.	100%
<b>REQUERIMIENTOS DE USO</b>		
<b>RSU1</b>	Los usuarios podrán visualizar los datos de manera online y offline	100%
<b>RSU2</b>	La página Web debe de contener los datos graficados de manera progresiva	100%

<b>RSU3</b>	La información plasmada en la página debe de ser interpretada por especialistas de la salud.	100%
<b>RSU4</b>	Las alarmas deben de ser visualizadas en el dispositivo, página y mensaje de texto.	100%
<b>RSU5</b>	El equipo de toma de valores de presión arterial debe de ser adaptable para todo tipo de paciente	100%
<b>REQUERIMIENTOS DE USUARIO</b>		
<b>RSUS1</b>	El dispositivo debe de estar al alcance económico del usuario	100%
<b>RSUS2</b>	El dispositivo debe disponer de un Manejo intuitivo.	100%
<b>RSUS3</b>	El dispositivo debe de ser portable	100%
<b>RSUS4</b>	Las medidas deben de ser validas por un equipo normalizado	100%
<b>RSUS5</b>	Para el manejo del dispositivo debemos de tener un manual de usuario o tutorial que sea explicativo para personal no técnico.	100%

#### 4.6. Casos Críticos de mediciones

Los casos críticos de mediciones se clasifican en errores y datos fuera del límite, en el primer caso estos datos son disuadidos por el algoritmo de Machine Learning para desagregar ese tipo de datos, pero cuando este tipo de datos se prolonga manda una alerta, ya que puede ser que el paciente se desconectó del dispositivo sin el permiso del cuidador o agente de salud.

En el segundo caso son datos que están dentro del rango considerados como críticos los cuales según la Sociedad Europea de Hipertensión/Sociedad Europea de Cardiología divide en tres categorías el nivel de hipertensión arterial:

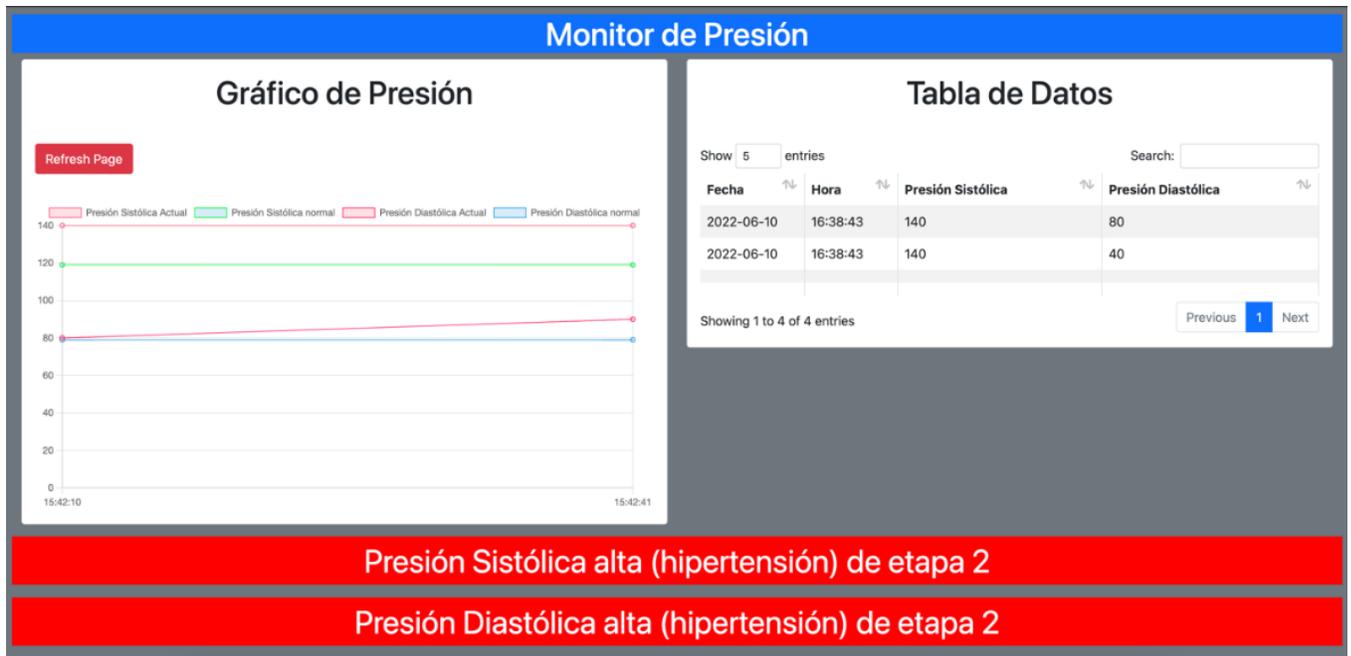
- Óptimo: Con presiones sistólicas menores de 120 mmHg y diastólicas menores de 80 mmHg.
- Normal: Con presiones sistólicas entre 120-129 mmHg y/o diastólicas entre 80-84 mmHg.
- Normal alta: Con presiones sistólicas entre 130/85 mmHg y/o diastólicas entre 139/89 mmHg.

En función de estos valores se definen tres grados de hipertensión arterial:

- Hipertensión Grado 1: Presión sistólica 140-159 mmHg y/o diastólica 90-99 mmHg.
- Hipertensión Grado 2: Presión sistólica 160-179 mmHg y/o diastólica 100-109 mmHg.
- Hipertensión Grado 3: Presión sistólica mayor o igual a 180 mmHg y/o diastólica mayor o igual a 110 mmHg.

En el caso de manejar la interfaz de la página web, las alertas se indicarán como está la Figura 52: Alertas en Pagina Web, que indica mensajes de alerta y envía la alerta a los modulares para que se enseguida la alerta por tecnología 4G.

*Figura 51: Alertas en Pagina Web*



Fuente: Elaborado por el autor

#### 4.7. Consulta de datos

El usuario o especialista de salud, puede acudir a la información del paciente mediante el enlace del <http://presionutn.herokuapp.com/>. En el que tendrá un entorno gráfico de tiempo real, y podrá adquirir el historial de cualquier periodo.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### . CONCLUSIONES

- Al revisar el contexto de diferentes investigaciones y hacer un análisis literario sobre presión arterial e índice de medición, se obtuvo la categorización de esta y así poder diferenciar los diferentes rangos a utilizar para la selección y posteriormente el entrenamiento del algoritmo de Machine Learning.
- Para medir la presión arterial de manera precisa, se requiere de un dispositivo que cumpla con ciertos requisitos de hardware y software, este dispositivo debe contar con un brazalete que se ajuste adecuadamente al brazo del paciente, una bomba de aire para inflar el brazalete, un manómetro para medir la presión arterial. Además, el software debe ser capaz de procesar los datos recopilados por el dispositivo y realizar análisis y cálculos. Es importante que el paciente esté sentado en una silla con respaldo y apoyabrazos, con los pies apoyados en el suelo y el brazo descubierto y apoyado en una superficie plana.
- La implementación de la metodología del Modelo Iterativo en conjunto con la Arquitectura IoT en un sistema permite realizar cambios a los requerimientos del paciente, para la presentación de información de esta manera se puede requerir una planificación cuidadosa y una coordinación estrecha entre los desarrolladores del sistema y los usuarios finales.
- Se accede al microcontrolador del tensiómetro Arterial B02r y se usa el Arduino mini-pro junto con el microcontrolador Esp32 para establecer una comunicación I2C. Luego, se envían los datos con el protocolo Mqtt, que es adecuado para dispositivos con pocos recursos y redes de baja calidad.

- El algoritmo de Naives Bayes se adapta a las necesidades, ya que supone que cada atributo influye por separado en la probabilidad de clasificar una instancia, por eso se usa un algoritmo para cada tipo de presión, tanto la sistólica como la diastólica, mostrando así que es una solución eficaz para el tratamiento de información.
- Tras la elaboración de la hoja de ruta, se ha confirmado que el dispositivo satisface de manera óptima todos los requisitos de los stakeholders, la arquitectura, el sistema y el aprendizaje automático.

## **RECOMENDACIONES**

- Se aconseja hacer la AMPA para obtener el dato de forma correcta, ya que este método es el más adecuado cuando se usa un aparato electrónico automático para medir la presión arterial, así se evitan los datos falsos por el error de bata blanca.
- Elección de un hardware apropiado: el hardware debe adecuarse a las necesidades particulares del sistema, tanto en la presentación de los datos como en el desempeño del sistema. Además, es conveniente elegir un hardware con una interfaz de usuario sencilla y atractiva, que facilite el acceso y el análisis de la información por parte de los profesionales de la salud.
- Se sugiere que en el futuro se empleen tensiómetros que no usen comunicación bluetooth, ya que estos tienen un protocolo de encriptación en los datos que se transmiten que solo el fabricante sabe, impidiendo el uso del algoritmo de Maching Learning para el tratamiento de la información.

## BIBLIOGRAFÍA

- AUTOMATIC. (noviembre de 2023). Aprendiendo Arduino. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/modelos-de-capas-iot/>
- AWS IoT. (2023). Servicios de AWS IoT. <https://aws.amazon.com/es/iot/>
- Azure IoT Hub. (2024). Cree su aplicación de IoT con una comunicación bidireccional. <https://azure.microsoft.com/es-es/products/iot-hub/>
- Baldi, A. (14 de noviembre de 2020). *¿Qué es WBAN, o Wireless Body Área Network?* Obtenido de <https://www.islabit.com/109779/que-es-wban-o-wireless-body-area-network.html>
- Ciberseguridad.com. (2023). Internet de las cosas (IoT). <https://ciberseguridad.com/guias/nuevas-tecnologias/capas-iot/>
- Del Valle Hernández, L. (2022). *Arquitectura IoT, prototipando los dispositivos del futuro*. Obtenido de Programar Fácil: <https://programarfácil.com/podcast/arduino-wifi-proyectos-iot/>
- Dugdale, D. C. (09 de Julio de 2021). *MedlinePlus*. Obtenido de Presión arterial: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/anatomyvideos/000013.htm>
- Electrónica Salud. (2021). Tensiómetro de Muñeca Omron. <https://electronicasalud.com/tensiometros-de-muneca/>
- García, L. (2020). *¿Cuáles son las arquitecturas y componentes de una red IoT?* Obtenido de Redes Móviles: <https://redesmoviles.com/iot/arquitecturas-iot/>
- geeksforgeeks.org. (2023). Wireless Sensor Network (WSN). <https://www.geeksforgeeks.org/wireless-sensor-network-wsn/>

Jahnke, A. (2020). *Las 4 etapas de la arquitectura del IoT*. Obtenido de Digi Instrumental:  
<https://es.digi.com/blog/post/the-4-stages-of-iot-architecture>

IBM Watson IoT Platform. (2020). Watson IoT Platform Watson IoT Platform de IBM es donde puede configurar y gestionar sus dispositivos conectados.  
[https://cloud.ibm.com/docs/IoT?topic=IoT-about\\_iiotplatform&locale=es](https://cloud.ibm.com/docs/IoT?topic=IoT-about_iiotplatform&locale=es)

Llordachs Marqués, F. (2021). *Definición de telemedicina*. Obtenido de CliniCCloud:  
<https://clinic-cloud.com/blog/que-es-telemedicina-definicion-tipos/>

Luis del Valle Hernández. (2023). Arquitectura IoT, Prototipando los dispositivos del futuro.  
<https://programarfacil.com/podcast/arduino-wifi-proyectos-iiot/>

McDermott, A. (29 de diciembre de 2023). *Como leer una tabla de presión arterial para determinar tu riesgo de hipertensión*. Obtenido de  
<https://www.healthline.com/health/es/tabla-de-presion-arterial>

Moisés Barrios, A. (2018). *Internet de las cosas*. Editorial Reus.

Mauricio Fernández Rodríguez. (2020). Wi-Fi 6E: La evolución del Wi-Fi estimula a renovar el modo de pensar la conectividad y manejar el espectro.  
[https://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/pdf/smc-wifi6-evolution-latam-white-paper.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/pdf/smc-wifi6-evolution-latam-white-paper.pdf)

National Institute on Aging. (31 de noviembre de 2023). *La presión arterial alta*. Obtenido de  
<https://www.nia.nih.gov/espanol/presion-arterial-alta#:~:text=La%20presi%C3%B3n%20arterial%20normal%20para,se%20indica%20como%20120%2F80.>

Netinbag. (s.f.). *¿Qué es un módulo de identidad del suscriptor?* Obtenido de <https://www.netinbag.com/es/internet/what-is-a-subscriber-identity-module.html>

OMS. (25 de diciembre de 2023). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de [https://www.who.int/es/health-topics/hypertension#tab=tab\\_1](https://www.who.int/es/health-topics/hypertension#tab=tab_1)

Quiñonez Muñoz, O. (2019). *INTERNET DE LAS COSAS (IoT)*. México: Ibukku.

Ramos Rojas, N. A. (22 de enero de 2022). *7 complicaciones graves causadas por la hipertensión*. Obtenido de Mejor con Salud: <https://mejorconsalud.as.com/7-complicaciones-graves-causadas-la-hipertension/>

Redhat.com. (2023, January 20). *¿Qué es el Internet de las cosas (IoT)?* <https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>

Rodrigo, A. (20 de septiembre de 2021). *¿Qué es el Internet de las cosas (IOT) y por qué se llama así?* Obtenido de Hardzone: <https://hardzone.es/reportajes/que-es/internet-cosas-iot/>

Salazar, J. (s.f.). *Redes Inalámbricas*. Republica Checa: České vysoké učení technické v Praze.

SalusPlay. (19 de abril de 2018). *Que es la salud digital y la e-Salud*. Obtenido de <https://www.salusplay.com/blog/que-es-salud-digital-e-salud/>

Seed Studio. (30 de diciembre de 2019). *Sensores biomédicos: Tipos de sensores y cómo funcionan*. Obtenido de <https://hacedores.com/sensores-biomedicos/>

TIENDA MEDICA. (2021). *Tensiómetros y Fonendoscopio*. <https://www.tiendamedica.com.co/producto/kit-de-tensiometro-y-fonendoscopio/>

TRIBALYTE TECHNOLOGIES. (1 de junio de 2021). *Sistema Embebido: Conceptos fundamentales*. Obtenido de <https://tech.tribalyte.eu/blog-sistema-embebido-caracteristicas>

Universidad del Deporte. (2021, July 25). TENSÍOMETRO: ¿QUÉ ES, PARA QUÉ SIRVE Y CÓMO FUNCIONA? <https://www.universidaddeldeporte.com/tensiometro-que-es-para-que-sirve-y-como-funciona/>

Vicente, M. (22 de febrero de 2023). *Cuáles son los valores normales de tensión arterial*. Obtenido de UNCOMO <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/salud/articulo/cuales-son-los-valores-normales-de-tension-arterial-18526.html>

## ANEXOS

### Encuesta

La presente encuesta se la realiza con fines académicos, con la finalidad de recopilar los requerimientos de los usuarios para la realización del “Sistema Electrónico De Monitoreo Remoto Y Alerta Para Paciente Que Sufren De Hipertensión Arterial Mediante Algoritmos De Aprendizaje De Máquina”.

#### I. Información general

Marque con una (x) según corresponda:

##### 1. Edad del paciente

*Marca solo un óvalo.*

- 12 a 18
- 19 a 26
- 27 a 59
- Mayor de 60 años

##### 2. Sexo del paciente

*Marca solo un óvalo.*

- Masculino
- Femenino

3. Nivel de instrucción:

*Marca solo un óvalo.*

- Ninguno
- Básica
- Media
- Superior
- Otro

4. Ocupación:

*Marca solo un óvalo.*

- Servidor público
- Servidor privado
- Independiente
- Otro

5. Estado civil:

*Marca solo un óvalo.*

- Soltero/a
- Casado/a
- Unión libre
- Divorciado/a
- Viudo/a
- Otro

Marque con una (x) según corresponda.

II. Nivel de conocimientos:

6. ¿Tiene algún pariente o amigo cercano que sufra de hipertensión? \*

*Marca solo un óvalo.*

Sí

No

7. ¿Conoce lo que es la presión Arterial? \*

*Marca solo un óvalo.*

Si

No

8. ¿Alguna vez a Usted le han tomado la presión arterial? \*

*Marca solo un óvalo.*

Sí

No

9. ¿Cuándo fue la última vez que se la tomaron? \*

*Marca solo un óvalo.*

Semanalmente

Menos de 6 meses

Entre 6 y 11 meses

NO SABE / NO ESTA SEGURO

10. ¿Alguna vez un médico, una enfermera u otro profesional de la salud le ha dicho  
\*  
que tiene presión alta?

*Marca solo un óvalo.*

Sí

No

III. Equipamiento medico de presión arterial:

Marque con una (x) según corresponda.

11. ¿Sabe lo que es un tensiometro? \*

*Marca solo un óvalo.*

Sí

No

12. ¿Ha utilizado Equipos para medir su presión Arterial? \*

*Marca solo un óvalo.*

Si

No

13. ¿Cree que seria importante tener un equipo de medición arterial en su hogar? \*

*Marca solo un óvalo.*

Sí

No

14. ¿Ha recibido atención medica telematicamente? \*

IV. Telemedicina

*Marca solo un óvalo.*

Marque con una (x) según corresponda.

Sí

No

15. ¿Que opina de la atención medica a distancia? \*

*Marca solo un óvalo.*

Excelente

buena

regular

mala

16. ¿Cree usted que podamos implementar cuidados medicos a distancia en nuestro pais? \*

*Marca solo un óvalo.*

Sí

No

---

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

**Google** Formularios

## ENTREVISTA 1

# Guion de entrevista

### **Tiempo estimado de la entrevista:**

90min

### **Criterios para comprobar antes de la entrevista:**

El entrevistado es médico de medicina interna en el hospital “San Vicente de Paul”, quien en su trabajo desempeña mucho el instrumental de monitoreo de presión arterial, ya que la mayoría de los pacientes sufren de hipertensión.

En este caso usaremos su experiencia para sacar los diferentes requerimientos de parte del especialista, para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Antes de la entrevista, se le pedirá al entrevistado que confirme oralmente su consentimiento en la grabación de la entrevista.

Para la entrevista usaremos la técnica del embudo, empezando con preguntas generales y siguiéndolas con preguntas cada vez más concretas.

### **Descripción del proyecto:**

EL proyecto consiste en el desarrollo de un Sistema electrónico de monitoreo remoto y alerta para pacientes que sufren de hipertensión arterial mediante Algoritmos de Aprendizaje de Máquina.

## ENTREVISTA 2

¿Cuál es la función principal de tensiómetro?

Dentro de la medicina, ¿cuál es el concepto de presión arterial?

¿Qué tipos de presión arterial existen, y cuales podemos visualizar en el tensiómetro?

¿Cuáles son las métricas y unidades en la presión arterial?

¿Qué significa la presión arterial sistólica y diastólica?

¿Qué es y cómo se procede a obtener la presión arterial general?

¿Cuáles son las Categorías de presión arterial?

¿A qué se denomina Hipertensión?

¿Cuáles son los valores más críticos en la presión arterial?

¿Cuál es la técnica para medir la presión arterial al paciente?

¿Qué tipos de pacientes utilizan el tensiómetro con más frecuencia?

¿En qué caso o cuadro clínico se sugiere un monitoreo constante de la presión arterial a los pacientes?

¿Cuál es el factor de incertidumbre de estos equipos de monitoreo de presión arterial más comunes?

¿Cuáles son los factores de riesgo a no tomar los datos de la presión arterial a tiempo a un paciente crítico?

¿Se podría aplicar telemedicina a pacientes de hipertensión?

¿Ha manejado algún equipo que pueda cubrir las necesidades de monitoreo de presión arterial a distancia a pacientes críticos?

¿Qué posibilidad cree de usar este tipo de dispositivo a pacientes en nuestro país?