

PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN SERVICIO E-HEALTH PARA MONITOREAR,  
TRANSMITIR Y ALMACENAR EL ESTADO DE LA PRESIÓN ARTERIAL DE  
PACIENTES CRÓNICOS-HIPERTENSOS.

BRAYAN DAVID BALAMBA CAMACHO

JUAN ESTEBAN SACRISTAN VARGAS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ D.C  
2019

PROTOTIPO FUNCIONAL DE UN SERVICIO E-HEALTH PARA MONITOREAR,  
TRANSMITIR Y ALMACENAR EL ESTADO DE LA PRESIÓN ARTERIAL DE  
PACIENTES CRÓNICOS-HIPERTENSOS.

BRAYAN DAVID BALAMBA CAMACHO  
JUAN ESTEBAN SACRISTAN VARGAS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico y de  
Telecomunicaciones

Directora

Ph.D. Ing Yury Andrea Jiménez Agudelo Msc

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
BOGOTÁ D.C  
2019

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado



## Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)**

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



**Sin Obras Derivadas** — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecerle a Dios y a nuestras familias, quienes sin su apoyo el culminar esta etapa de nuestras vidas no sería posible. En segundo lugar, a nuestra directora de tesis Yury Andrea Jiménez, quien con su guía y motivación nos ha dado la confianza y herramientas para llevar a cabo este proyecto satisfactoriamente. Por último, a la Universidad Católica de Colombia, quien nos ha brindado todos los recursos a su disposición para formarnos como futuros profesionales.

Los Autores.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	15
1. GENERALIDADES.....	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.1.1 Dispositivos comerciales.....	16
1.1.2 Estudios científicos y aplicaciones.....	17
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	26
1.3 OBJETIVOS.....	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos.....	27
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	28
1.5 DELIMITACIÓN .....	30
1.5.1 Delimitación Espacial .....	30
1.5.2 Delimitación Temporal.....	30
1.5.3 Delimitación del Universo.....	30
1.5.4 Delimitación del Contenido.....	31
1.6 MARCO REFERENCIAL .....	31
1.6.1 MARCO TEÓRICO.....	31
1.6.1.1 Hipertensión Arterial.....	31
1.6.1.2 Valores de referencia.....	31
1.6.1.3 Medición.....	32
1.6.1.4 Semiología.....	32
1.6.1.5 Enfermedades Derivadas.....	33
1.6.1.6 Hipotensión Arterial.....	33
1.6.1.7 Valores de referencia.....	34
1.6.1.8 Medición.....	34
1.6.1.9 Semiología.....	35
1.6.1.10 Enfermedades Derivadas.....	35
1.6.1.11 IOT (Internet of Things).....	35
1.6.1.12 Telemedicina.....	37
1.6.1.13 E-Health.....	37

1.6.2 MARCO CONCEPTUAL .....	38
1.6.2.1 Tensiómetro: .....	38
1.6.2.2 Microcontrolador. ....	39
1.6.2.3 Sistemas Embebidos:.....	40
1.6.2.4 GPRS (General Packet Radio Service).....	40
1.6.2.5 Wifi .....	41
1.6.2.6 Bluetooth.....	41
1.6.2.7 AWS (Amazon Web Services).....	41
1.6.2.8 Google Cloud Platform IoT. ....	42
1.6.2.9 Azure IoT Suite. ....	42
1.7 METODOLOGÍA .....	43
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO .....	44
1.8.1 Requerimientos del Sistema de monitoreo remoto. ....	44
1.8.1.1 Requerimientos técnicos.....	44
1.8.1.2 Requerimientos de usuario. ....	44
1.8.2 Requerimientos para los módulos del sistema .....	44
1.8.2.2 Requerimientos para el procesamiento de datos. ....	45
1.8.2.3 Requerimientos para la transmisión de datos. ....	45
1.8.2.4 Requerimientos para el almacenamiento de datos. ....	45
1.8.2.5 Requerimientos para la visualización de datos. ....	45
1.8.3 Implementación y validación de los módulos del sistema. ....	45
1.8.3.1 Captación de los datos. ....	46
1.8.3.2 Procesamiento de los datos. ....	46
1.8.3.4 Transmisión de los datos.....	46
1.8.3.5 Almacenamiento. ....	46
1.8.3.6 Visualización. ....	46
1.9 IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS.....	47
1.9.2 Impacto social. ....	47
1.9.3 Impacto económico.....	47
1.9.4 Impacto tecnológico.....	47
2. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES.....	48

2.1 COMPONENTES DE HARDWARE .....	48
2.1.1 Tensiómetro. ....	48
2.1.2 Arduino. ....	49
2.1.3 ATmega328P. ....	50
2.1.4 Bluetooth.....	52
2.1.5 Analizador lógico. ....	53
2.1.6 Shield GPRS GSM M95. ....	54
2.2 COMPONENTES DE SOFTWARE .....	55
2.2.1 Azure para estudiantes .....	57
2.2.2 App Service.....	57
2.2.3 ThingSpeak. ....	57
3. IMPLEMENTACIÓN .....	58
3.1 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS.....	59
3.1.1 Medición de la presión arterial. ....	59
3.1.2 Selección del tensiómetro.....	59
3.1.3 Tratamiento de la información. ....	61
3.1.4 Transmisión de datos entre el tensiómetro y el microcontrolador .....	64
3.1.4.1 Configuración módulos Bluetooth HC-05. ....	64
3.1.5 Captación de los datos del tensiómetro. ....	66
3.1.6 Transmisión de datos entre la tarjeta de desarrollo y la base de datos.....	68
3.1.6.1 Conexiones Shield M95. ....	69
3.1.6.2 Recepción de información en Thingspeak. ....	70
3.1.6.3 Configuración de conexión TCP.....	72
3.1.7 Configuración envío de SMS. ....	73
3.1.8 Diseño de la tarjeta de desarrollo.....	74
3.1.9 Visualización de la información en Azure. ....	78
3.1.9.1 Utilización de Visual Estudio. ....	79
3.1.9.2 Creación de la página .....	79
3.1.9.3 Obtención de los datos de ThingSpeak .....	79
4. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO.....	81



5. VALIDACIÓN DEL DISPOSITIVO.....	85
5.1 VALIDACIÓN DE LOS DATOS DEL TENSÍOMETRO.....	85
5.2 VALIDACIÓN DE TRANSMISIÓN ENTRE EL TENSÍOMETRO Y LA TARJETA DE DESARROLLO.....	87
5.3 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN ENTRE EL TENSÍOMETRO, LA PÁGINA WEB Y LA BASE DE DATOS.....	89
6. DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO .....	92
7. CONCLUSIONES.....	93
8. TRABAJOS FUTUROS .....	95
BIBLIOGRAFÍA .....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grafica comparación en el control de factores de riesgo con el año anterior .....	28
Figura 2. Mapa de cobertura 2G de Claro en Bogotá.....	30
Figura 3. Tabla valores de referencia.....	34
Figura 4. Proyección de dispositivos conectados por persona.....	36
Figura 5. Tensiómetro análogo.....	38
<b>Figura 6. Tensiómetro digital.</b> .....	39
Figura 7. Ejemplo de microcontrolador.....	40
Figura 8. Diagrama de bloques metodología .....	43
Figura 9. Tensiómetro de muñeca CK100.....	49
Figura 10. Arduino UNO.....	50
Figura 11. Microcontrolador ATmega 328P.....	51
Figura 12. Modulo Bluetooth HC-05.....	53
Figura 13. Analizador Lógico.....	54
Figura 14. Shield M95 .....	55
Figura 15. Diagrama de flujo general del funcionamiento de tarjeta de desarrollo.....	58
Figura 16. Tensiómetro Sejoy Bsp12 .....	60
Figura 17. PCB Tensiómetro Bsp12.....	60
Figura 18. Tensiómetro de muñeca CK.....	61
Figura 19. Punto de transmisión en la PCB .....	61
Figura 20. Transmisión de información en canal 0.....	62
Figura 21. Datos en el tensiómetro .....	62
Figura 22. Datos decodificados .....	63
Figura 23. Monitor Serial .....	64
Figura 24. Conexiones del módulo HC-05 .....	65
Figura 25. Diagrama de flujo del algoritmo.....	67
Figura 26. Comprobación de la transmisión.....	68
Figura 27. Diagrama de flujo para envío de datos al servidor .....	69
Figura 28. Shield M95 Quectel.....	70
Figura 29. Canal en ThingSpeak.....	71
Figura 30. API key generado en Thingspeak. ....	72
Figura 31. Diagrama de flujo para envío de SMS.....	73
Figura 32. Diagrama Esquemático de la Tarjeta de Desarrollo .....	74
Figura 33. Módulo de procesamiento. ....	75
Figura 34. Módulo de Visualización.....	76
Figura 35. Módulo de Conexiones.....	76
Figura 36. Módulo de alimentación. ....	77

Figura 37. Circuito impreso de la tarjeta de desarrollo. ....	78
Figura 38. Inicio de azure .....	78
Figura 39. Entorno de trabajo en visual estudio .....	79
Figura 40. Formato JSON .....	80
Figura 41. Mensaje en pantalla LCD .....	81
Figura 42. Datos de presión arterial .....	81
Figura 43. Ejemplo trama de datos. ....	82
Figura 44. Datos en ThinSpeak.....	83
Figura 45. Página web del dispositivo .....	83
Figura 46. Ejemplo de SMS de alerta.....	84
Figura 47. Comparación mediciones entre tensiómetros. ....	86
Figura 48. Método para verificar las mediciones. ....	87
Figura 49. Comprobación de información base de datos. ....	89
Figura 50. Comprobación de la información base de datos. ....	90
Figura 51. Comprobación de información página web. ....	90

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de soluciones. ....	25
Tabla 2. Tabla comparativa entre los diferentes tensiómetros .....	48
Tabla 3. Tabla comparativa de diferentes tarjetas de desarrollo .....	49
Tabla 4. Características ATmega328P .....	51
Tabla 5. Tabla comparativa entre los diferentes módulos bluetooth .....	52
Tabla 6. Características Analizador lógico de 8 canales .....	54
Tabla 7. Tabla comparativa plataformas para servicios en la nube.....	56
Tabla 8. Datos Obtenidos.....	63
Tabla 9. Comandos AT para el módulo HC-05.....	66
Tabla 10. Pines de comunicación con la Shield M95 .....	70
Tabla 11. Comandos AT para conexión TCP .....	72
Tabla 12. Comandos AT para envío de SMS.....	74
Tabla 13. Características del PCB .....	77
Tabla 14. Datos del tensiómetro marca CK.....	85
Tabla 15. Datos tensiómetro marca Omron .....	86
Tabla 16. Mediciones en línea de vista sin obstáculos.....	88
Tabla 17. Medición con obstáculos. ....	88
Tabla 18. Tiempo de transmisión de información.....	91

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE USUARIO.....	103
ANEXO B. DISTRIBUCIÓN DE PINES EN LA TARJETA DE DESARROLLO...	113
ANEXO C. LIBRERIAS Y VARIABLES DEFINIDAS.....	113
ANEXO D. CONFIGURACION INICIAL TARJETA DE DESARROLLO.....	114
ANEXO E. FUNCION CAPTURAR DATOS.....	117
ANEXO F. FUNCION ENVIAR INFORMACION A LA BASE DE DATOS.....	118
ANEXO G. FUNCION ENVIAR SMS.....	118
ANEXO H. FUNCION ALERTA Y REINICIAR.....	119

## GLOSARIO

**GSM (Global System for Mobile Communications).** Se define como el sistema de telefonía móvil de segunda generación, el cual trabaja en bandas de frecuencia de 800MHz, 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz. Esta tecnología permite realizar y recibir llamas, mensajes de texto, revisar el correo electrónico entre otras funciones.

**GPRS (General Packet Radio Service):** Conocida como red de telefonía móvil 2.5G se considera la mejora de GSM, esta tecnología introduce a la transmisión de datos la conmutación de paquetes. Puede alcanzar velocidades de 170 kbps. Esta tecnología es la intermedia entre los sistemas GSM y UMTS (tecnología utilizada en redes 3G).

**SMS (Short Message Service).** es un servicio que permite intercambiar mensajes de texto cortos entre teléfonos móviles.

**Comandos AT.** Los comandos AT (Attention) son una serie de instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre dos terminales.

**TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).** Son dos protocolos de transmisión de información creados con la finalidad de establecer una comunicación de forma simple entre redes de diferentes características. TCP/IP se es considerado como el protocolo universal entre redes de datos y de comunicaciones. Sobre estos protocolos se ha creado Internet.

**SMA (SubMiniature version A).** Es un tipo de conector con una impedancia característica de 50 Ohm para cable coaxial utilizado en el área de las telecomunicaciones, son conectores económicos y fáciles de conseguir en el mercado

**PCB (Printed Circuit Board).** Se define como un plano conformado por pistas, vías, huecos, entre otros, de material conductor sobrepuestos en una base no conductora. Las PCB se utilizan para conectar eléctricamente a través de las pistas conductoras (típicamente de cobre) un conjunto de componentes electrónicos.

## INTRODUCCIÓN

La hipertensión (Tensión arterial alta, HTA) es una de las enfermedades crónicas con mayor importancia a nivel mundial, particularmente en Colombia. Esta enfermedad cobra 10 millones de vidas al año y las personas que padecen hipertensión después de ciertos años (alrededor de 10 años) tienden a sufrir daños importantes en el corazón, los riñones, cerebro, ojos y arterias. Según la OMS, la hipertensión puede causar infartos al miocardio, accidentes cerebrovasculares, insuficiencia renal, ceguera, vasculopatía periférica e insuficiencia renal, enfermedades denominadas de alto costo. Debido a esto, el gobierno y las entidades de salud impulsan el desarrollo de estrategias que permitan mejorar la detección, el seguimiento y el monitoreo de la hipertensión arterial<sup>1</sup>.

Por otro lado, existe una tendencia a nivel mundial de integrar las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en el sector salud, ya que a través de su uso es posible diagnosticar, tratar, prevenir y hacer seguimiento a los pacientes con el objetivo de optimizar los costos en el sistema de salud. Esta práctica de cuidados sanitarios apoyada en tecnologías de la información y las comunicaciones se conoce como E-Health. Una de las grandes bondades de E-Health, gracias a las TIC, es que permite aumentar la cobertura de los servicios sanitarios a poblaciones remotas y desatendidas<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, en este documento se plantea el diseño de un prototipo para monitorear pacientes con hipertensión arterial de forma remota. El funcionamiento de este prototipo consiste en medir los datos de presión sistólica, presión diastólica, y ritmo cardiaco de un paciente a través de un tensiómetro comercial, datos que son transmitidos a una tarjeta de procesamiento mediante tecnología Bluetooth, posteriormente estos datos son enviados a un servidor remoto utilizando la infraestructura de la red celular mediante una conexión TCP/IP. Una vez los datos alcanzan el servidor remoto, son almacenados y pueden ser consultados y visualizados por el paciente y médico desde cualquier ordenador y dispositivo móvil que cuente con conexión a internet.

---

<sup>1</sup> Fundación Colombiana del Corazón. Boletín de información técnica especializada. [en línea]. Recuperado el 19 de agosto de 2018. Disponible en Internet: [https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co\\_2018\\_05\\_16\\_BolTec\\_V4N08\\_DM\\_Hipertension\\_v.0.0.pdf](https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co_2018_05_16_BolTec_V4N08_DM_Hipertension_v.0.0.pdf)

<sup>2</sup> BLAYA, J. A., FRASER, H. S. Y HOLT, B. HEALTH AFFAIRS, E- Health Technologies Show. [en línea]. Recuperado el 19 de agosto de 2018. Disponible en Internet: <https://www.healthaffairs.org/doi/10.1377/hlthaff.2009.0894>

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 ANTECEDENTES.

Existen diferentes estudios que introducen propuestas tecnológicas para el monitoreo remoto de la presión arterial, así como diversos dispositivos comerciales que tienen el mismo fin. En esta sección, primero se introducirán los principales dispositivos disponibles en el mercado y posteriormente se citarán los estudios encontrados más relevantes.

**1.1.1 Dispositivos comerciales.** Hoy en día la tecnología móvil facilita en gran medida el automonitoreo, ofreciendo a los pacientes más control sobre su salud, permitiendo así que los médicos puedan evaluar el estado del paciente de forma remota. En el mercado existen diferentes dispositivos capaces de medir la presión arterial de una persona y almacenar esta información en una base de datos, que puede ser consultada por el paciente y en algunos casos esta información puede ser compartida con sus familiares y/o doctor.

En septiembre de 2018, Livongo una compañía de salud de Silicon Valley anunció el primer monitor de presión arterial con conectividad celular en Estados Unidos<sup>3</sup>. El objetivo de este dispositivo es ayudar a las personas en condición crónica a tener una mejor y saludable vida. El dispositivo consta de una aplicación para celulares inteligentes y una plataforma online para gestionar y compartir los datos de presión arterial. En el primer estudio realizado, el 81% de las personas con presión arterial media superior a 130/80 que usaron el dispositivo redujeron su presión sistólica en 9mmHg en promedio. Esta reducción ayuda a disminuir el riesgo de accidente cerebrovascular y ataques cardíacos en al menos el 35% y el 25%, respectivamente. El precio de este dispositivo no está disponible aun en la página web de la compañía.

QardioArm<sup>4</sup> es un tensiómetro inalámbrico, clínicamente validado, que da una lectura médica de la presión diastólica, sistólica y frecuencia cardiaca precisa en cualquier momento y lugar. Además, detecta latidos irregulares del corazón. El tensiómetro envía la información de forma inalámbrica a una aplicación de Qardio que está instalada en un celular inteligente. Las lecturas medidas son almacenadas

---

<sup>3</sup> WEAREBLE TECHNOLOGIES. Livongo Announces First Blood Pressure Monitor with Cellular Connectivity in U.S.[En línea] Recuperado el 24 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://www.wearable-technologies.com/2018/09/livongo-announces-first-blood-pressure-monitor-with-cellular-connectivity-in-u-s/>

<sup>4</sup> QARDIO. Qardioarm. [En línea] Recuperado 27 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://store.getqardio.com/products/qardioarm>



de forma automática y segura en la nube de Qardio, las cuales pueden ser consultadas por el paciente y/o su médico. Según los resultados obtenidos en un estudio<sup>5</sup> que se realizó a 100 personas saludables se encontró que la aplicación es viable y fiable al tener una precisión de casi del 100%. Además de mejorar el conocimiento del paciente con respecto a su tensión arterial, esta aplicación ha supuesto un ahorro para los servicios sanitarios. Este tensiómetro tiene un precio en el mercado de 99 dólares.

En el mercado existen otros dispositivos, como relojes, y diferentes aplicaciones instaladas en un celular inteligente<sup>6,7</sup> que permiten medir el ritmo cardiaco, datos que son almacenados en local o en la nube. Estas soluciones no deberían ser usados como un método confiable para la medición de presión arterial en pacientes crónicos ya que estas deben ser validados por expertos de acuerdo con los protocolos aceptados y diseñados para este propósito, como los establecidos por la Sociedad Británica de Hipertensión<sup>8</sup>, la Asociación para el Avance de la Instrumentación Médica<sup>9</sup> y la Sociedad Europea de Hipertensión (ESH)<sup>10</sup>.

La forma médicamente precisa y validada de medir la presión arterial es detener el flujo de sangre en las venas e inflando un brazalete de presión sanguínea alrededor de la parte superior del brazo o la muñeca y luego desinflarlo mientras escucha los cambios en sus arterias. Para usar un reloj de forma confiable para medir la presión sanguínea, como el Apple Watch de Qardio, es necesario tener un tensiómetro o monitor de presión sanguínea conectado que haya sido validado médicamente y probado clínicamente.

**1.1.2 Estudios científicos y aplicaciones.** En la International Conference on Complex Medical Engineering, en el año 2013, se publicó un artículo de

---

<sup>5</sup> QARDIO. The QardioArm App in the Assessment of Blood Pressure and Heart Rate: Reliability and Validity Study. [En línea.] Recuperado 27 de abril de 2019 Disponible en internet. <https://www.getqardio.com/qardioapp/>

<sup>6</sup> KUMAR N, et al. A content analysis of smartphone-based applications for hypertension management. *J Am Soc Hypertens* 2015 Feb [En línea.] Recuperado 27 de abril 2019. Disponible en internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25660364>

<sup>7</sup> PLANTE, Timothy, et al. Validation of the instant blood pressure smartphone app. *JAMA Intern Med* 2016 May. [En línea.] Recuperado el 27 de abril de 2019 disponible en internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4922794/>

<sup>8</sup> O'BRIEN, E. et al. An outline of the revised British Hypertension Society protocol for the evaluation of blood pressure measuring devices. *Jornual of Hypertens* 1993 Jun. [En línea] Recuperado el 27 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8397248>

<sup>9</sup> AMERICAN NATIONAL STANDARD. ANSI/AAMI/ ISO 81060-2. Non-Invasive Sphygmomanometers. Part 2: Clinical Validation of Automated Measurement Type. Arlington, VA: Association for the Advancement of Medical Instrumentation [En línea.] Recuperado el 27 de abril de 2019. Disponible en internet. [http://my.aami.org/aamiresources/previewfiles/8106002\\_1306\\_preview.pdf](http://my.aami.org/aamiresources/previewfiles/8106002_1306_preview.pdf)

<sup>10</sup> O'BRIEN, E. et al. An outline of the revised British Hypertension Society protocol for the evaluation of blood pressure measuring devices. *Jornual of Hypertens* 1993 Jun. [En línea] Recuperado el 27 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8397248>

investigación llamado “*Design of Electronic Blood pressure monitoring system based on mobile telemedicine system*” en donde los autores diseñan un sistema de telemedicina que consiste en el desarrollo de un tensiómetro digital que permite visualizar los datos obtenidos mediante una pantalla LCD. Los autores desarrollan el tensiómetro utilizando una bomba de aire conectada a un brazalete, un sensor de presión, un circuito amplificador, un filtro pasa banda, un driver para la bomba, un microcontrolador para la digitalización de los datos y una pantalla LCD. Una vez los datos de presión sistólica y diastólica se encuentran en el microcontrolador, es posible realizar la transmisión de dichos datos mediante un módulo ZigBee, lo que permite recibir la información relacionada a la presión arterial en un equipo conectado a la misma red. Como conclusión, los autores desarrollaron un dispositivo de bajo consumo energético, el cual permite obtener, visualizar y enviar valores de presión arterial mediante una red inalámbrica con módulos ZigBee.<sup>11</sup>

En diciembre del 2017 la International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE) publicó un artículo llamado “*Development of a Wireless Blood Pressure Monitoring System by Using Smartphone*” en el cual los autores desarrollan un sistema inalámbrico para el monitoreo de la presión arterial. El primer componente del sistema consiste en la creación de un tensiómetro digital encargado de captar la información del paciente, el segundo componente consiste en la utilización de un Arduino UNO para el procesamiento de la misma y, por último, el tercer componente consiste en el desarrollo de una aplicación para dispositivos Android para visualizar los datos relacionados a la presión sistólica, diastólica y pulso cardíaco. Adicional a lo anterior, la base de datos donde se almacena la información fue desarrollada con XAMPP y la información se puede observar en el dispositivo mediante una pantalla LCD.

La tarjeta de Arduino UNO recibe y procesa los datos provenientes del tensiómetro digital, luego estos datos son enviados mediante comunicación serial a un computador el cual se encarga de subir la información a una base de datos. Para acceder a la información de medición, los autores plantean una aplicación para teléfonos inteligentes, la cual mediante protocolo TCP/IP realiza la comunicación entre el servidor y el dispositivo Android.<sup>12</sup>

En noviembre del 2017 se publicó en el International Journal of Engineering

---

<sup>11</sup> ZHANG, Jin-ling. LIU, Yue. WEN, Jia-bao. Design of Electronic Blood Pressure Monitoring System Based on Mobile Telemedicine System. Beijing, China. School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications. 2013., IEEE EXPLORER 2013 [En línea]. Recuperado el 18 de Agosto de 2018. Disponible en internet. <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7171193>

<sup>12</sup> HARINI, R. RAMA, Murthy. Development of a Wireless Blood Pressure Monitoring System by Using Smartphone. IJARECE. 2017. Volumen 6. P [En línea.] Recuperado el 18 de agosto de 2018. Disponible en internet. [http://ijarece.org/?page\\_id=3418](http://ijarece.org/?page_id=3418)

Research and Applications (IJERA) un artículo de investigación llamado “*Wireless Health Monitoring for chronic hypertension community*” realizado por ingenieros del departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Trunojoyo, en la ciudad de Bangkalan (Indonesia). El objetivo principal de este trabajo consiste en explicar la utilidad de la aplicación de un tensiómetro digital capaz de monitorear de manera remota la presión sanguínea en un contexto hospitalario para una población mayor a 50 años con diagnóstico de hipertensión crónica.

Este sistema funciona mediante la obtención de la presión sistólica, diastólica y pulso a través de un tensiómetro digital convencional. Una vez se reúnan estos datos, la información será transmitida a un computador mediante el módulo wifi ESP8266, el cual está encargado de procesar y enviar los datos obtenidos. Los resultados de la investigación determinaron que para el éxito de la implementación deben seguirse ciertos protocolos, como la condición del paciente, la posición del brazo, la ubicación del brazalete del tensiómetro y la estabilidad de la red. Adicional a lo anterior, se concluyó que el módulo WIFI usado (ESP8266) logra cumplir con su función y permite la transmisión de la información hacia el computador en un periodo de 28 a 30 segundos y con una tasa de éxito de 88 a 99%.<sup>13</sup>

En 2018 se realizó la publicación en la revista científica EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking de un artículo de investigación que lleva como nombre “*Wearable IoT enabled real-time health system*”. Este artículo describe el desarrollo de un sistema de monitoreo remoto de salud en tiempo real con el uso de Internet de las cosas (IoT). Este sistema recibe el nombre de WISE (Wearable IoT-cloud-based hHealth monitoring system) que monitorea aspectos de la salud tales como temperatura, pulso y presión sanguínea. El funcionamiento de ese sistema comienza con una capa receptora, la cual se encarga de determinar la condición de salud a nivel física, emocional y mental del paciente mediante W-BAN (Body Area Network). Posteriormente, esta información pasa a un Arduino y a un módulo de transmisión como ZigBee, 6LowPAN, LoRa y NB-IOT, los cuales transmiten la información hacia una plataforma WISE-Cloud encargado de procesar y almacenar los datos en la nube. En el artículo se llega a la conclusión de que el uso de IoT para el control de la salud representa un importante beneficio, ya que permite detectar en tiempo real emergencias médicas y mantener informado al personal médico y familiares sobre el estado de salud actual de un paciente, sin implicar desplazamiento físico a un centro de salud. Sin embargo, se encuentra como limitante y factor a considerar el hecho de que para el correcto funcionamiento

---

<sup>13</sup> BUDI DWI Satoto. Wireless Health Monitoring for Chronic Hypertension Community. Journal of Engineering Research and Application. 2017. Volumen 7. P30–37.[En línea.] Recuperado el 18 de Agosto de 2018. Disponible en internet [https://www.academia.edu/36305789/Wireless\\_Health\\_Monitoring\\_for\\_chronic\\_hypertension\\_community](https://www.academia.edu/36305789/Wireless_Health_Monitoring_for_chronic_hypertension_community)

de este sistema en tiempo real las 24 horas del día, es necesario que el paciente en todo momento porte en su cuerpo los sensores que permitirán obtener la información, requisito que resultaría incómodo para la persona. También se concluye que analizar los factores limitantes como la duración de la batería de los dispositivos móviles, la estabilidad de la red inalámbrica, la privacidad y seguridad de la información obtenida para el control del paciente.<sup>14</sup>

El departamento de Cardiología y el departamento de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Necmettin Erbakan en Konya, Turquía, publicaron un artículo llamado "*Development of a wireless blood pressure measuring device with Smart mobile device*", el cual tiene como objetivo mostrar el desarrollo de un dispositivo de medición remota de la presión sanguínea. La información recolectada por este dispositivo es almacenada y visualizada mediante celulares inteligentes con sistema operativo Android o iOS. El primer paso para la creación de este dispositivo consiste en la medición de la tensión arterial mediante el desarrollo de un prototipo el cual está compuesto por dos componentes, uno que mide la presión sistólica y otro la presión diastólica, ambos componentes están conectados al brazalete del tensiómetro dispuesto en el brazo del paciente.

Este dispositivo tiene un microcontrolador, una válvula de control direccional, un mini compresor, un sensor de presión y un módulo Bluetooth, este último encargado de comunicar la información recibida por el brazalete hacia el dispositivo móvil. Al finalizar la investigación los autores llegaron a la conclusión que el dispositivo creado tiene un asertividad de 98.43% en la primera prueba, de 96.34% en la segunda y de 97.78% en la tercera y última prueba. La última etapa de la investigación consistió en comparar la asertividad del dispositivo en comparación con un tensiómetro convencional, teniendo como resultado un porcentual de veracidad de 93.52% en pacientes enfermos y de 94.53% en pacientes sanos.<sup>15</sup>

Diana Rivera y Wilma Vinueza realizaron una tesis en 2015 llamada "Diseño e Implementación de una red BAN, para la obtención de datos de signos vitales utilizando el protocolo 802.15.4". En este documento los autores plantean el diseño e implementación de un prototipo el cual, mediante una red de sensores, permite realizar monitoreo de signos vitales, tales como posición corporal, sudoración, temperatura, oxigenación de la sangre y pulso del paciente. Estos sensores se

---

<sup>14</sup> JIE WAN, Munassar. et al. Wearable IoT Enabled Real-Time Health Monitoring System. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2018. P 30–37. [En línea.] Recuperado el 3 de febrero de 2019. Disponible en <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-018-1308-x>

<sup>15</sup> ILHAN, Ilhan. YILDIZ, Ibrahim. KAYRAK, Mehmet. Development of A Wireless Blood Pressure Measuring Device with Smart Mobile Device. Konya, Turquía. Necmettin Erbakan University. 2015 [En línea.] Recuperado el 20 de septiembre de 2018. Disponible en internet. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2895304>

conectan a un sistema embebido como Arduino o Raspberry y a un módulo ZigBee (IEEE 802.15.4).

La información obtenida se almacena en una base de datos con el fin de ser proyectada sobre un sitio web. Como resultado, los autores demuestran el exitoso desempeño del dispositivo para la lectura de los cinco (5) signos vitales enumerados anteriormente tanto en corta y larga distancia con la utilización de la plataforma Arduino, así como la construcción de una página web amigable para el usuario, con la posibilidad de construir un perfil personalizado para cada paciente.<sup>16</sup>

En Caracas Venezuela, Carlos Abramovich y Kharella Pozzobon realizaron una tesis titulada “Diseño e implementación de un prototipo de sistema remoto automatizado para la monitorización de la presión arterial”. En este trabajo se plantea como objetivo principal el diseño e implementación de un sistema que permita monitorear la presión arterial de manera remota, en donde se garantice una comunicación eficiente entre el paciente y la persona responsable de su tratamiento. El sistema está conformado por una tarjeta multiparamétrica Goldwei 830, la cual genera, recibe y procesa los datos de la presión arterial del paciente. Esta tarjeta envía los datos obtenidos previamente mediante comunicación serial (RS232) a un computador. Posteriormente, la información almacenada en el computador será enviada a dos servidores con el fin de tener un registro y respaldo de los datos obtenidos. La mencionada información se puede visualizar en dos interfaces desarrolladas por los autores. La primera de las interfaces consiste en un software desarrollado en Java para el equipo que recibe la información inicialmente. La segunda de las interfaces es una página web, la cual se logra acceder desde cualquier equipo o teléfono inteligente.<sup>17</sup>

En Marzo de 2016 Fernanda Ortiz para su tesis de grado desarrolló un sistema inalámbrico para el monitoreo de pacientes ambulatorios, utilizando sensores de presión arterial y ritmo cardiaco, el autor en esta tesis describe el desarrollo de su sistema, el cual consiste en un tensiómetro desarrollado por medio de sensores de presión micro bombas y un arduino UNO, a su vez desarrolla un servidor web y una página web, esta página web y servidor los utiliza para la visualización de los datos, estos son desarrollados con una plataforma llamada MySQL. Para la comunicación

---

<sup>16</sup> : RIVERA FONSECA, Diana Elizabeth. VINUEZA LOPEZ, Wilma Cristina. diseño e implementación de una red ban, para la obtención de datos de signos vitales utilizando el protocolo 802.15.4. [tesis]. Sangolquí, Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas. 2015. [En línea] Recuperado 20 de septiembre de 2018 Disponible en internet. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10789>

<sup>17</sup> ABRAMOVICH Carlos, POZZOBON Kharella. Diseño e implementación de un prototipo de sistema remoto automatizado para la monitorización de la presión arterial [tesis]. Caracas, Venezuela. Universidad Católica Andrés Bello. 2013 [En línea.] Recuperado el 10 de febrero de 2019. Disponible en. <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7492.pdf>

entre el dispositivo y el servidor utiliza un Módulo Wifi el cual va adjunto a la tarjeta arduino que la autora está utilizando para la implementación de su dispositivo.<sup>18</sup>

En julio de 2014 Juan Manuel Caicedo desarrolla un sistema de transmisión de señales biomédicas a través de GPRS en este artículo los autores realizan un electrocardiógrafo mediante un módulo E-health para arduino, este módulo es usado para la obtención y tratamiento de la señal biomédica, para la transmisión de esta señal utilizan un módulo GPRS (servicio general de paquetes de radio), en cuanto a la visualización crean una interface gráfica mediante LabView para observar el trazado de la señal<sup>19</sup>.

En febrero de 2014 Darío Javier Cañaverl y Alfredo Fernando Itas, realizan el diseño y construcción de un dispositivo electrónico para la adquisición de señales bio-eléctricas de electrocardiografía y presión arterial, este desarrollo lo hacen para su tesis de grado de ingenieros electrónicos. El sistema empieza con el desarrollo del electrocardiógrafo, y el tensiómetro, ambos dispositivos son elaborados por los autores el ECG mediante amplificadores operacionales y el tensiómetro por medio de sensores de presión, estos datos son captados y procesados por un microcontrolador. La transmisión de los datos se realiza por medio de Bluetooth enviándolos directamente a un computador para observar los datos mediante la lectura del puerto serial, a su vez el dispositivo tiene una pantalla para verificar que los datos que están siendo enviados sean los correctos, en cuanto al trazado de la señal cardiaca utilizan Excel para graficar los datos tomados por el puerto serial.<sup>20</sup>

En diciembre de 2011 Nelson Felipe Rosas, Carolina Rosas y Marceo Herrera desarrollan un sistema de monitorización remoto de señales biomédicas vía celular, en el artículo explican el desarrollo de su proyecto el cual cuenta con tres etapas (obtención de datos, transmisión, visualización) para la etapa de obtención de datos desarrollan mediante amplificadores operacionales un ECG (electrocardiograma), para la siguiente etapa utilizan primero un microcontrolador para la digitalización de a señal una vez digitalizada se procede al envío por medio de un módulo

---

<sup>18</sup> ORTIZ LIMA, Fernanda Tatiana. Diseño de un sistema inalámbrico para monitoreo de pacientes ambulatorios, utilizando sensores de presión arterial y ritmo cardíaco e implementación de un prototipo de prueba. Quito, escuela politécnica nacional marzo 2016. [En línea] Recuperado el 20 de octubre de 2018. Disponible en internet. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15081/1/CD-6893.pdf>

<sup>19</sup> CAICEDO, Juan Manuel. GUTIERREZ, Edgar, CORREA, Karin. Sistema de transmisión de señales biomédicas a través del servicio general de paquetes vía radio gprs. Julio 18 de 2014. [En línea.] Recuperado el 20 de octubre de 2018. Disponible en. [https://www.academia.edu/28097832/Sistema\\_de\\_transmisi%C3%B3n\\_de\\_se%C3%B1ales\\_biom%C3%A9dicas\\_a\\_trav%C3%A9s\\_del\\_servicio\\_general\\_de\\_paquetes\\_v%C3%ADa\\_radio\\_gprs](https://www.academia.edu/28097832/Sistema_de_transmisi%C3%B3n_de_se%C3%B1ales_biom%C3%A9dicas_a_trav%C3%A9s_del_servicio_general_de_paquetes_v%C3%ADa_radio_gprs)

<sup>20</sup> CAÑAVERAL BASTILAS, Darío Javier. ITAS BENAVIDES, Alfredo Fernando. Diseño y construcción de un dispositivo electrónico para la adquisición de señales bioeléctricas de electrocardiografía y presión arterial. Quito, universidad politécnica salesiana sede quito, febrero del 2014 [En línea]. Recuperado el 10 de febrero de 2019. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6333>

GPRS/GSM (GM28) este módulo debe ser configurado con la SIMCard que se desea utilizar, a su vez es configurado con la dirección del servidor donde se van a almacenar los datos. Ahora la visualización de estos datos está dada por una página web creada por medio de JAVA, esta página tiene dos usuarios (paciente, medico) ambos tienen un usuario y una contraseña, al ingresar a alguno de los dos se observarán los datos de la persona la cual se hizo la medición<sup>21</sup>.

En octubre de 2006 Fang Yanan, Lu Xinghua, Li Huaizu redactan un artículo hablando sobre un sistema de monitoreo de salud en tiempo real, utilizando las tecnologías de comunicación Bluetooth y GPRS. Monitoreando ininterrumpidamente el estado del paciente presión arterial, glucosa en la sangre, temperatura entre otras, hay manera de medir esto mediante actividad psicológica, de una manera automática. La otra forma es la forma manual, tomando cada uno de las variables por lapsos de tiempo determinados por el doctor. Este dispositivo está conectado vía bluetooth a una unidad de procesamiento para luego enviar la información vía GPRS a una unidad central de procesamiento, allí es donde la información será analizada y tomará la decisión de enviar alarmas a los vecinos, centrales de emergencias y doctor, esto con el fin de brindar una atención inmediata y así evitar el fallecimiento del paciente.<sup>22</sup>

El 22 de mayo de 2018 se publica una patente llamada "Intelligent hemodynamometer based on NB-IoT (NarrowBand-IOT)". En esta patente se propone un dispositivo basado en NB-IoT, el cual utiliza la red para transmitir los datos tomados por un tensiómetro. Los autores proponen la transmisión de datos mediante NB-IoT, argumentando que esta es una tecnología eficiente para un bajo flujo de datos y un bajo consumo de potencia. Esta red trabaja sobre las bandas de telefonía celular lo que permite alcanzar grandes distancias.<sup>23</sup>

En el 2016 en la 7ª Conferencia Internacional sobre Sistemas ambientales, Redes y Tecnologías se habla sobre un sistema de monitorización de pacientes basado en

---

<sup>21</sup> ROSAS, Nelson Felipe. ROSAS, Carolina. HERRERA M, Marcelo. Sistema de monitorización remoto de señales biomédicas vía celular, diciembre de 2011. [En línea.] Recuperado el 20 de febrero de 2019. Disponible en internet. <https://docplayer.es/35742048-Senales-biomedicas-via-celular.html>

<sup>22</sup> FANG Yanan, LU Xinghua, LI Huaiz. Real-time Health Information Acquisition and Alarm System Based on Bluetooth and GPRS Communication Technologies. 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics October 8-11, 2006, Taipei, Taiwa. [En línea.] Recuperado 30 de agosto de 2018. Disponible en internet. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4274658>

<sup>23</sup> HUANG TIANYE, CHENG ZHUO, YUAN QUAN, LU ZHUOWEI, LI LINFAN, ZHOU HUANG, 21 de mayo 2018. Intelligent hemodynamometer based on NB-IoT network. [En línea. ]Revisado 19 de agosto 2018. Disponible en internet: <https://app.patentinspiration.com/#/patent/CN108056767A>

internet de las cosas (IoT). Este sistema desarrollado con IoT, monitorea a pacientes con enfermedades crónicas como diabetes arritmias cardiacas, hipertensión entre otras. Los valores monitoreados son transmitidos a dispositivos móviles celulares por medio de bluetooth. Los dispositivos se conectan al celular para que este lleve un control del estado del paciente, este dispositivo entrega al usuario información de tiempo (fecha y hora) localización, y los signos tomados por los sensores. Esta información es recibida por el paciente y el doctor, y determina algunos recomendaciones para que el paciente tenga en cuenta en las rutinas de entrenamiento diario.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> GOMEZ, Jorge. OVIEDO, Byron. ZHUMA, Emilio. Patient Monitoring System Based on Internet of Things. The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies [En línea] Recuperado el 30 de octubre de 2018. Disponible en internet: [https://www.academia.edu/25563319/The\\_7th\\_International\\_Conference\\_on\\_Ambient\\_Systems\\_Networks\\_and\\_Technologies\\_ANT\\_2016\\_Patient\\_Monitoring\\_System\\_Based\\_on\\_Internet\\_of\\_Things](https://www.academia.edu/25563319/The_7th_International_Conference_on_Ambient_Systems_Networks_and_Technologies_ANT_2016_Patient_Monitoring_System_Based_on_Internet_of_Things)



Tabla 1. Resumen de soluciones.

Ref	Captura	Dispositivo usado	Hardware	Tecnología para transmisión de información	Visualización externa al dispositivo	Tiempo de transmisión (seg)	Aler tas
11	Presión arterial	Tensiómetro Digital	Tarjeta de procesamiento desarrollada por los autores	Zigbee	No tiene	No especifica	No
12	Presión arterial, diastólica y sistólica	Tensiómetro Digital	Arduino UNO	Wifi y TCP/IP	App Android	No especifica	No
13	Presión arterial	Aplicación móvil con Tensiómetro Digital	Arduino UNO – modulo WiFi	Wifi	No tiene	28-30	No
14	Temperatura, Pulso y Presión cardiaca	Sensores ubicados en el cuerpo del paciente	Arduino UNO- módulo Zigbee	Zigbee	Plataforma en la nube	No especifica	Si
15	Presión arterial	Tensiómetro Digital	Tarjeta de procesamiento desarrollada por los autores	Bluetooth y Red celular	Android o iOS	No especifica	No
16	Posición corporal, sudoración, Temperatura, Oxigenación de la sangre, presión cardiaca.	Tarjeta de procesamiento desarrollada por los autores.	Arduino UNO	Zigbee	Servidor web local	No especifica	No
17	Presión arterial	Tensiómetro Digital	Tarjeta de procesamiento desarrollada por los autores	Internet	Servidor web local	No especifica	No
18	Presión arterial	Tensiómetro Digital	Arduino UNO	GPRS	Interfaz en Labview	No especifica	No
19	Presión arterial	Tensiómetro Digital - ECG	Tarjeta de procesamiento desarrollada por los autores	Bluetooth y PC	Datos almacenados y graficados en Excel.	No especifica	No
20	Presión arterial	Tensiómetro Digital - ECG	Tarjeta de procesamiento desarrollada por los autores	GPRS/GSM	Servidor y Pagina Web local	No especifica	Si
21	Glucosa, presión arterial, Temperatura	Tensiómetro, glucómetro y termómetro digital	Unidad de procesamiento	Bluetooth y GPRS	No tiene	No especifica	Si
22	Presión arterial	Tensiómetro desarrollado por los autores	Tarjeta de procesamiento desarrollada por los autores	Bluetooth y GPRS	App Android	No especifica	No

Fuente. Los Autores

En la Tabla 1 se observa una comparación entre las diferentes soluciones encontradas, se puede observar que en la mayoría de estas no se tiene en cuenta el tiempo de transmisión de la información al destino (servidor, base de datos). También se puede observar que en la mayoría de las soluciones planteadas la visualización de las variables a medir se observa en un computador o en un celular de manera local, no es posible la visualización desde lugares remotos al dispositivo central de procesamiento (microcontrolador, Arduino, entre otros). En cuanto a la generación y envío de alertas, se evidencia que la mayoría de soluciones que realiza esta acción utilizan tecnologías como GSM/GPRS, ya que esto facilita el envío de estas alertas y brinda mayor respaldo y seguridad a la información que cualquier otra tecnología de las mencionadas en la tabla anterior.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La hipertensión arterial representa un gran desafío para la medicina moderna pues su origen procede de factores ambientales a los que la totalidad de la sociedad colombiana se expone. Según la OMS (Organización mundial de la salud) las enfermedades cardiovasculares en las que se encuentra la hipertensión comprenden una de las principales causas de defunción en América Latina. En Colombia cada año las enfermedades cardiovasculares son causantes de alrededor de 60.000 muertes, siendo una de las primeras causas de defunción junto con fallas isquémicas y enfermedades autoinmunes.<sup>25</sup> Al ser la hipertensión una enfermedad asintomática, es difícil realizar un seguimiento preciso de los trastornos o síntomas que las personas presentan.

Es recomendado por especialistas realizar un control, el cual consiste en la toma diaria de la presión arterial y realizar actividad física, tareas que implica gasto energético y económico para los pacientes. En la actualidad, el control de la presión arterial de los pacientes se hace en un centro de salud y en campañas de salud con el apoyo de personal médico o los pacientes pueden medir su presión de manera autónoma. En este último caso, se tiene la incertidumbre de que el usuario haga una correcta lectura de la presión arterial y que lleve un registro de los valores de presión obtenidos diariamente, ya que este registro se lleva a cabo de manera poco confiable, dado que los pacientes o personal médico realizan el historial por medio de notas de enfermería. Esto puede llevar a un inadecuado tratamiento y seguimiento de la enfermedad, así como la incapacidad de llevar un registro confiable de la evolución o estado de los pacientes.

---

<sup>25</sup> ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Septiembre 2015. [En línea] Recuperado el 17 de agosto de 2018. Disponible en internet. <https://www.who.int/features/qa/82/es/>

Es por ello que ante la prevalencia actual de las enfermedades cardiovasculares se hace imperativa un mecanismo que permita llevar a cabo el control y seguimiento de la presión arterial de manera confiable, y que además contribuya a que el servicio médico pueda reaccionar, en tiempo eficiente, a las necesidades de los pacientes con base en el análisis de los valores de presión arterial. En el contexto actual, no solo es necesaria una herramienta para las instituciones de salud y personal médico en el tratamiento y diagnóstico de la enfermedad si no también una herramienta que permita al paciente tener autonomía y control sobre su propia salud. Ante esta situación, en este proyecto de grado se plantea el diseño e implementación de un prototipo que permita monitorear la tensión arterial de manera remota y confiable y que permita un flujo completo de información paciente-servicio médico. De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se da respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo integrar las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en el seguimiento y monitoreo de la sintomatología (signos vitales) sobre pacientes crónicos hipertensos de forma remota y confiable en el sector de la salud en Colombia?

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar un prototipo funcional de un servicio E-Health que permita monitorear, almacenar y comunicar de manera remota y confiable el estado de la presión arterial de pacientes Crónicos-Hipertensos.

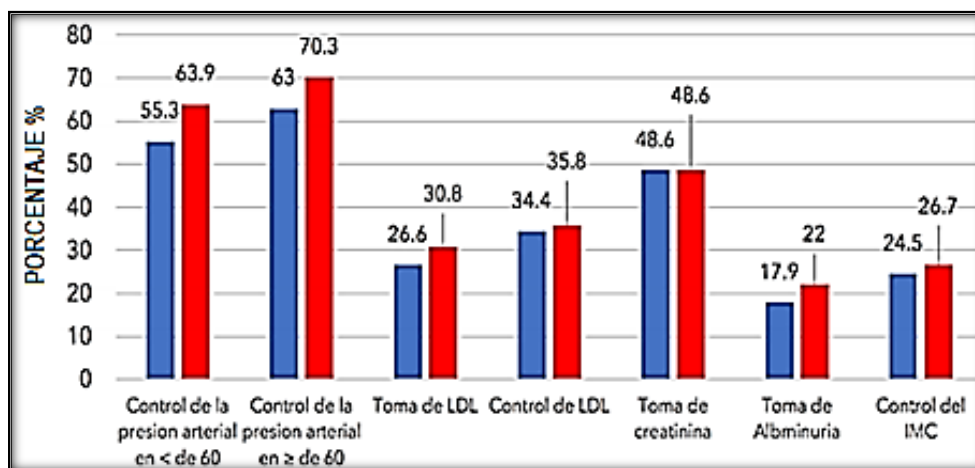
#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Comparar diferentes mecanismos de seguimiento y control de presión arterial.
2. Definir los requerimientos del sistema de medición de la presión arterial para el seguimiento de los pacientes crónicos Hipertensos usando las TIC.
3. Implementar el módulo de monitoreo y tratamiento de la información.
4. Implementar la(s) tecnología(s) para la transmisión, almacenamiento y visualización de la información (presión arterial).
5. Validar el funcionamiento del prototipo implementado.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

“En Colombia las enfermedades cardiovasculares producen alrededor de 60 mil muertes anuales, siendo la primera causa de muerte en el país”<sup>26</sup>. Se sabe que la hipertensión arterial es asintomática, por eso en la mayor parte de los casos es importante mantener un control de la presión arterial de manera periódica, debido a que el control de esta reduce los riesgos de enfermedades cerebrales, demencias, infartos de corazón o daño del riñón. Según la OMS para evitar el riesgo de sufrir alguna de estas enfermedades, se debe tener un control adecuado de la presión arterial. En la Figura 1 se puede ver el aumento en el control de algunos factores de riesgo, entre ellos el control de la presión arterial para personas mayores a 60 años y menores de 60 años<sup>27</sup>.

Figura 1. Grafica comparación en el control de factores de riesgo con el año anterior



Fuente: CUENTA DE ALTO COSTO, Boletín de información técnica especializada, mayo 17 de 2018. PAG 8. [En línea.] Recuperado el 1 septiembre de 2018. Disponible en internet. [https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co\\_2018\\_05\\_16\\_BolTec\\_V4N08\\_DM\\_Hipertension\\_v.0.0.pdf](https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co_2018_05_16_BolTec_V4N08_DM_Hipertension_v.0.0.pdf)

<sup>26</sup>LIGA COLOMBIANA CONTRA EL INFARTO Y LA HIPERTENSION. Decálogo para controlar la hipertensión. [En línea.] Recuperado el 15 de septiembre 2018. Disponible en internet. <http://colombiacorazon.com/decalogo-para-controlar-la-hipertension/>

<sup>27</sup> CUENTA DE ALTO COSTO, Boletín de información técnica especializada, mayo 17 de 2018. PAG 8. [En línea.] Recuperado el 1 septiembre de 2018. Disponible en internet.

[https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co\\_2018\\_05\\_16\\_BolTec\\_V4N08\\_DM\\_Hipertension\\_v.0.0.pdf](https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co_2018_05_16_BolTec_V4N08_DM_Hipertension_v.0.0.pdf)

El sistema general de salud y seguridad social colombiano, enfrenta una gran crisis de sostenibilidad, debido a que la demanda de atención en salud excede la cantidad de recursos disponibles para satisfacerla<sup>28</sup>. Se requiere de un equilibrio entre el aporte, flujo de recursos suficientes, oportunos y adecuados, y adicional a esto el gasto y la inversión sean razonables y eficientes.

La hipertensión es una enfermedad que puede ser tratada, si se toman las medidas adecuadas, tal como la reducción de consumo de sal, una dieta adecuada, y como se mencionó anteriormente, el monitoreo de la presión arterial. Es necesario que las personas hipertensas conozcan y controlen su presión arterial, para evitar complicaciones a largo plazo<sup>29</sup>. Por este motivo se hace necesario que los pacientes diagnosticados con hipertensión puedan acceder a un dispositivo que mida la presión arterial de manera remota y confiable, las veces que se les sea necesario.

La anterior idea, es reforzada en la Guía práctica clínica (GTA) para HTA (Hipertensión Arterial) donde se plantea la siguiente pregunta ¿Cuáles son las alternativas para enfrentar el problema de racionalizar el gasto, mantener o mejorar la cobertura y no comprometer y por el contrario mantener y mejorar la calidad de los procesos de atención en salud?.<sup>30</sup>

En este contexto, este trabajo de grado se plantea como una alternativa al problema planteado, el diseño de un prototipo capaz de monitorear la presión arterial y almacenar esta información en un servidor (nube) donde será procesada. Esta información podrá ser consultada en cualquier momento un profesional de la salud de manera remota sin importar la ubicación del paciente. De modo que la información pueda servir al profesional de la salud para diagnosticar, mejorar los tratamientos a los pacientes y ver cómo ha sido el comportamiento de los valores de hipertensión arterial del paciente.

---

<sup>28</sup> MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL-COLCIENCIAS. Guía de práctica clínica, hipertensión arterial primaria (HTA) Guía N°18 abril de 2013.

<sup>29</sup> HIPERTENSIÓN ARTERIAL, la primera causa de muerte y discapacidad en el mundo 11 de abril 2018. [En línea] Recuperado el 18 de agosto de 2018. Disponible en internet: <http://www.husi.org.co/el-husi-hoy/hipertension-arterial-la-primer-causa-de-muerte-y-discapacidad-en-el-mundo>

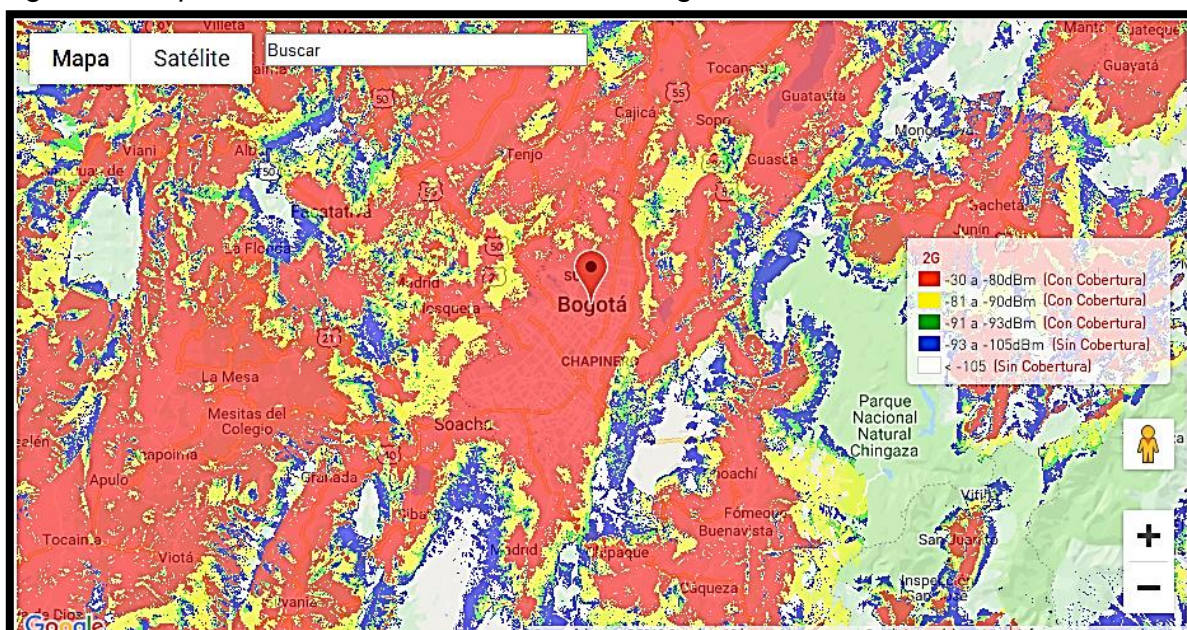
<sup>30</sup>MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL-COLCIENCIAS. Guía de práctica clínica, hipertensión arterial primaria (HTA) abril de 2013 Consultado en línea el 17 de septiembre de 2018 disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC\\_Completa\\_HTA.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC_Completa_HTA.pdf)

## 1.5 DELIMITACIÓN

**1.5.1 Delimitación Espacial.** Inicialmente este proyecto está dirigido para la ciudad de Bogotá, Colombia. Sin embargo, debido a las tecnologías utilizadas este proyecto puede ser usado desde cualquier lugar en Colombia que cuente con cobertura celular.

Actualmente el dispositivo se encuentra utilizando la infraestructura de red de segunda generación (2G) del operador Claro, la cual cuenta con una gran cobertura en la ciudad de Bogotá como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Mapa de cobertura 2G de Claro en Bogotá.



Fuente. CLARO. Cobertura de Soluciones Móviles. [en línea]. Recuperado el 20 abril de 2019. Disponible en Internet: <https://www.claro.com.co/personas/soporte/mapas-de-cobertura/>

**1.5.2 Delimitación Temporal.** Este proyecto se realizó en un periodo de tiempo comprendido de ocho meses, el cual inicio en agosto del 2018 y terminó en mayo del 2019.

**1.5.3 Delimitación del Universo.** La población a la cual va dirigido este proyecto es para pacientes diagnosticados con hipertensión arterial y para el personal a cargo de su cuidado tales como familiares o personal médico.

**1.5.4 Delimitación del Contenido.** El dispositivo propuesto para el monitoreo de pacientes diagnosticados con hipertensión estará ligado a una cedula de ciudadanía y un teléfono de contacto. La cedula de ciudadanía permite identificar los datos obtenidos en la interfaz de visualización de datos del usuario (página web), y el número de teléfono de contacto define la línea telefónica a la cual se notificará en caso de que el paciente obtenga valores anormales de presión sistólica, presión diastólica o ritmo cardiaco mediante un SMS.

## **1.6 MARCO REFERENCIAL**

A continuación, se definen los conceptos y temáticas pertinentes para el desarrollo de este proyecto, comenzando con los temas que abordará el proyecto de grado y posteriormente definiendo los conceptos y herramientas que serán utilizadas a lo largo del desarrollo del mismo.

### **1.6.1 MARCO TEÓRICO**

**1.6.1.1 Hipertensión Arterial.** La hipertensión arterial según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es una enfermedad cardiovascular que hace referencia a una presión arterial elevada, esta presión arterial es la fuerza que ejerce el corazón en cada latido sobre las arterias o paredes de los vasos sanguíneos. El aumento de esta fuerza o presión sobre las arterias contribuye a que el corazón deba esforzarse más para bombear sangre a todo el cuerpo, esfuerzo que principalmente termina afectando ciertos órganos blancos del cuerpo humano como el corazón, cerebro, riñones y retina<sup>25</sup>.

**1.6.1.2 Valores de referencia.** Según la OMS, los valores normales que un adulto promedio sano debe tener de presión arterial son de 120 mmHg de presión sistólica y 80 mmHg de presión diastólica. Con el incremento de la edad la presión sistólica suele aumentar de forma natural consecuencia de la arterioesclerosis o endurecimiento arterial, por lo que para adultos mayores se realizaron concesiones de 140 mmHg con la recomendación de realizar exámenes médicos arteriales periódicamente, exámenes como medición de la presión arterial por canulación.

Para considerar elevada la presión arterial en una persona entre 35 y 65 años (adulto promedio) la presión sistólica debe superar los 140 mmHg y la presión diastólica superar los 90 mmHg, después de superar los 150 mmHg se procede a la administración de medicamentos, previo a ello el tratamiento se regula mediante hábitos alimenticios saludables, rutina de ejercicios y seguimiento diario de la presión arterial<sup>31</sup>.

---

<sup>31</sup> CEDIEL ANGEL, Ricardo. Semiología Medica. 7 edición. Bogotá D.C: Celsus, 2012, p 88 - 94.

**1.6.1.3 Medición.** El seguimiento y detección de la presión arterial elevada (hipertensión) se realiza mediante el uso de un tensiómetro o esfigmomanómetro que puede ser análogo o digital. El tensiómetro mide la presión indirecta de la sangre contra las arterias en milímetros de mercurio (mmHg) a través del ciclo cardíaco, mediante un sistema de válvula y mango, en primer lugar se ubica un brazalete por encima del codo o muñeca (depende el tensiómetro) del paciente quien debe apoyar el brazo sobre una superficie plana, posteriormente el mango a través de la válvula se llenara de aire lo que ejercerá un punto de máxima presión sobre los vasos sanguíneos (punto de presión máxima diferente para cada persona) presión que corresponde al bombeo de sangre o contracción del corazón y lleva el nombre de sístole, una vez este punto de máxima presión termine, el corazón se llena de sangre y se dilata a un punto llamado relajación o diástole<sup>32</sup>.

**1.6.1.4 Semiología.** Según la OMS, la hipertensión es un fenómeno asintomático, sin embargo, en algunos casos se pueden presentar síntomas tales como vértigo, dolor torácico, dificultad respiratoria, dolor de cabeza, hemorragias nasales entre otros. Según la OMS la hipertensión arterial se clasifica según el valor de presión arterial, por la etiología y por la importancia de las lesiones orgánicas que produzca<sup>33</sup>.

En primer lugar la clasificación por valores de referencia depende de la edad del paciente y las condiciones físicas que tenga, la medición de esta presión debe darse después de un estado de reposo, sin alteraciones o consumo de algún adrenergico como café o bebidas azucaradas, y si estas condiciones se presentan los valores en un paciente sano deben oscilar entre 140 mmHg sistólica y 80 mmHg diastólica, un valor superior en cualquiera de las dos tensiones implicaría un posible diagnóstico de hipertensión. La segunda clasificación es según la etiología en donde se distingue hipertensión esencial o primaria la cual se distingue por no tener alteraciones orgánicas evidentes, es la más común de las hipertensiones siendo prevalente en un 90% entre la población diagnosticada con hipertensión, se produce como consecuencia de factores genéticos, factores ambientales, alimenticios y psicosociales<sup>25</sup>.

Por último, la OMS plantea una clasificación por importancia de las lesiones orgánicas o por fases de la hipertensión, en este escenario la clasificación depende

---

<sup>32</sup> ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. La hipertensión arterial como problema de salud comunitario - Manual de normas operativas para un programa de control en los diferentes niveles de atención. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en:

<https://es.slideshare.net/eduardomodelo/hipertension-arterial-como-problema-de-salud-comunitario>  
<sup>33</sup> MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL-COLCIENCIAS. Guía de práctica clínica, hipertensión arterial primaria (HTA), N°18. 2013. [En Línea]. Recuperado en 17 de septiembre de 2018. Disponible en:  
[https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC\\_Completa\\_HTA.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC_Completa_HTA.pdf)



de la medida en la que los órganos blancos se ven afectados, entendiéndose que el impacto sobre estos órganos es un reflejo del nivel de presión y no varían de un individuo a otro. Son tres fases las que componen esta clasificación, la Fase I es asintomática y sin alteraciones orgánicas, en la Fase II pueden aparecer proteinuria (elevada concentración de proteínas en la orina) acompañada con aumento de creatinina en plasma, hipertrofia del ventrículo izquierdo palpable en exploración física del paciente, electrocardiografía, ecografía o rayos X, y estreches de las arterias retinianas focal o generalizada, es fase II si se presenta al menos uno de las anteriores alteraciones. En la Fase III las alteraciones aparecen en más de dos órganos, alteraciones como insuficiencia de ventrículo izquierdo en el corazón, edema papilar con hemorragias y exudados retinianos y hemorragia de tallo encefálico, cerebelo o cerebro<sup>34</sup>.

**1.6.1.5 Enfermedades Derivadas.** De las enfermedades derivadas que pueden ocasionar hipertensión arterial algunas son curables y otras no. Dentro del primer grupo de las que pueden ser curadas se encuentra la enfermedad de Cushing, feocromocitoma, aldosteronismo primario, coartación de la aorta, hipertensión reno vascular, enfermedad renal intersticial, nefritis intersticial crónica, uropatía obstructiva, reflujo vesicouretral y glomerulonefritis aguda. Dentro de las enfermedades derivadas sin cura se encuentra la glomerulonefritis crónica y colágenosis<sup>25</sup>.

**1.6.1.6 Hipotensión Arterial.** La hipotensión arterial es según la Clínica Mayo y la OMS una enfermedad cardiovascular que hace referencia a una tensión arterial baja, es decir que contrario a la hipertensión arterial, la fuerza que la sangre bombeada desde el corazón ejerce sobre las arterias es débil, ocasionando que no se bombee sangre en adecuadas cantidades ni en las velocidades necesarias a los diferentes órganos del cuerpo como cerebro y riñones. La presión arterial baja tiene sintomatología inmediata es decir puede evidenciarse a través de síntomas como mareos, debilidad, desmayos y dolores de cabeza. La hipotensión se debe especialmente a graves casos de deshidratación, patologías específicas o como consecuencia de intervenciones quirúrgicas<sup>35</sup>.

En un adulto promedio la presión arterial fluctúa como consecuencia de la alimentación, estado físico, estrés, respiración, posición del cuerpo y momento del día, es por ello que para diagnosticar hipotensión es necesario tener en cuenta los

---

<sup>34</sup> MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL-COLCIENCIAS. Guía de práctica clínica, hipertensión arterial primaria (HTA), N°18. 2013. [En línea]. Recuperado en 17 de septiembre de 2018. Disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC\\_Completa\\_HTA.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC_Completa_HTA.pdf)

<sup>35</sup> CLÍNICA MAYO. Presión arterial baja (hipotensión). [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/low-blood-pressure/symptoms-causes/syc-20355465>

factores mencionados y además que la presión arterial disminuye en la noche previo al estado de reposo y se eleva al despertar<sup>36</sup>.

**1.6.1.7 Valores de referencia.** Los valores normales que un adulto promedio sano debe tener de presión arterial son de 120 mmHg, de presión sistólica y 80 mmHg de presión diastólica. Para considerar disminuida la tensión arterial en un adulto promedio la presión sistólica debe ser inferior los 90 mmHg y la presión diastólica inferior los 60 mmHg.<sup>32</sup> (véase figura 3).

Figura 3. Tabla valores de referencia

Categoría de la presión arterial	Sistólica mmHg		Diastólica mmHg
Tensión arterial normal	menos de 120	y	menos de 80
Tensión arterial elevada terapias no farmacológicas	120-129	y	menos de 80
Hipertensión estadio 1	130-139	o	80-89
Hipertensión estadio 2	140 o más alta	o	90 o más alta
Crisis de hipertensión (consulte a su médico de inmediato)	más alta de 180	y/o	más alta de 120

Fuente. RESPUESTAS DEL CORAZON. Estilo de vida + reducción de factores de riesgo presión arterial alta. [En línea]. Recuperado el 17 de agosto de 2018. Disponible en internet. [https://www.heart.org/-/media/data-import/downloadables/whatishighbloodpressure\\_span-ucm\\_316246.pdf](https://www.heart.org/-/media/data-import/downloadables/whatishighbloodpressure_span-ucm_316246.pdf)

**1.6.1.8 Medición.** El seguimiento y detección de la presión arterial baja (hipotensión) se realiza igual a la hipertensión, pero la atención se centra en valores de presión inferiores a los normales, se realiza mediante el uso de un tensiómetro o esfigmomanómetro que puede ser manual o digital. El tensiómetro mide la presión indirecta de la sangre contra las arterias en milímetros de mercurio (mmHg) a través del ciclo cardíaco, mediante un sistema de válvula y mango, en primer lugar se ubica un brazalete por encima del codo o muñeca (depende el tensiómetro) del paciente quien debe apoyar el brazo sobre una superficie plana, posteriormente el mango a través de la válvula se llenara de aire lo que ejercerá un punto de máxima presión

<sup>36</sup> LUKÉN, Chao; ORTEGA, et al. Síncope e hipotensión ortostática. En: Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/revcubmedinteme/cie-2012/cie122f.pdf>

sobre los vasos sanguíneos (punto de presión máxima diferente para cada persona) presión que corresponde al bombeo de sangre o contracción del corazón y lleva el nombre de sístole, una vez este punto de máxima presión termine el corazón se llena de sangra y se dilata punto llamado relajación o diástole<sup>32</sup>.

**1.6.1.9 Semiología.** La hipotensión más que una enfermedad en sí suele ser consecuencia de otras enfermedades, esto si también viene acompañada de mareos, visión borrosa, náuseas, falta de concentración o fatiga, es decir suele considerarse más como signo de enfermedad que como enfermedad independiente. Los síntomas de los que se acompaña la hipotensión son determinantes para su clasificación si están acompañados de piel fría húmeda o pálida, pulso débil, confusión o respiración rápida se denomina hipotensión extrema y puede llegar a ser mortal.

Existen diversos tipos de hipotensión, según la Clínica Mayo esta clasificación depende de las causas y factores ambientales, en primer lugar está la hipotensión fotostática la cual depende de la posición del cuerpo, la presión baja súbitamente al ponerse de pie luego de estar sentado o acostado debido a que la sangre se acumula en las piernas y el movimiento de levantarse reactiva la fluctuación de la sangre hacia el cerebro, se encuentra también la hipotensión postprandial que se da tras comer, generalmente en adultos mayores cuando la sangre se dirige al tubo digestivo después de la ingesta de alimentos, otra es la hipotensión mediada neuralmente (HMN) en la que al estar de pie por largo tiempo produce señales equivocadas desde el cerebro hacia el corazón, y por ultimo está la atrofia multisistémica con hipotensión fotostática, como su nombre lo dice se presenta un daño en el sistema nervioso autónomo en donde se afectan las funciones involuntarias como frecuencia cardiaca, respiración, digestión y presión arterial en estado de reposo específicamente acostado, esta falla también se conoce con el nombre de síndrome de Shy-Drager<sup>32</sup>.

**1.6.1.10 Enfermedades Derivadas.** Factores como la edad, el consumo de medicamentos, o enfermedades como Parkinson y diabetes contribuyen a la aparición de la hipotensión. Existen factores médicos que llegar a provocar la presión arterial baja entre ellos se encuentra infarto de miocardio, insuficiencia cardiaca, insuficiencia suprarrenal, hipoglucemia, tiroides, deshidratación, embarazo e incluso pérdida de sangre, así como septicemia, anafilaxis y anemia<sup>37</sup>.

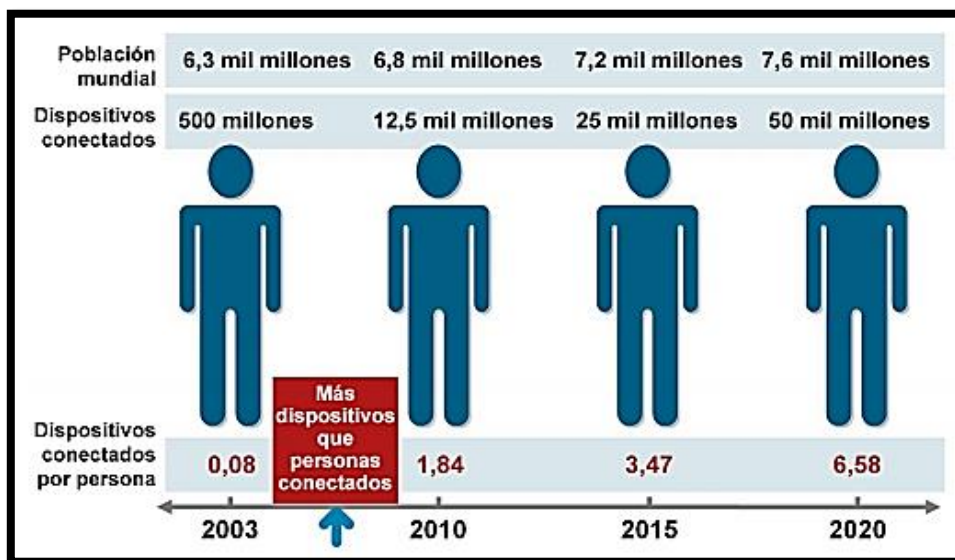
**1.6.1.11 IOT (Internet of Things).** Traducido al español Internet de las cosas, es un concepto que hace referencia a la posibilidad de conectar diferentes tipos de dispositivos a través de internet. Según Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG) el concepto de IOT nace entre 2008 y 2009, cuando el número de

---

<sup>37</sup> CERASO, Daniel. Hipotensión Arterial y Shock. En: UTI Hospital Juan A. Fernández, Buenos Aires, Argentina. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <http://www.fac.org.ar/scvc/llave/PDF/cerasoe.PDF>

dispositivos conectados a internet superó la población mundial, generando desde ese entonces un crecimiento que no se detiene y que se proyecta seguir aumentando. Para el 2020, Cisco IBSG prevé que habrá entre 6 y 7 dispositivos conectados por persona (ver Figura 4), lo que generaría un estimado de 50.000 millones de dispositivos conectados en relación a los 7.600 millones que estiman como población mundial para ese entonces.

Figura 4. Proyección de dispositivos conectados por persona.



Fuente: Evans, Dave. Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Abril de 2011. [consultado 15/08/2018]. Disponible en: [https://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf)

Internet de las cosas permite la creación de diferentes tipos de redes, permitiendo un mayor control en áreas como el transporte, educación, medio ambiente, administración de recursos energéticos, salud, vivienda, entre otras, generando una serie de facilidades que mejoran la calidad de vida de las personas aprovechando una de las herramientas más importantes en la actualidad, la internet<sup>38</sup>.

<sup>38</sup> EVANS, Dave. Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. En: Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Abril del 2011. [En línea]. Recuperado en 15/08/2018. Disponible en: [https://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf)

**1.6.1.12 Telemedicina.** Según la Organización mundial de la salud (OMS) la telemedicina se define como “Aportar servicios de salud, donde la distancia es un factor crítico, por cualquier profesional de la salud, usando las nuevas tecnologías de la comunicación para el intercambio válido de información en el diagnóstico, el tratamiento y la prevención de enfermedades o lesiones, investigación y evaluación, y educación continuada de los proveedores de salud, todo con el interés de mejorar la salud de los individuos y sus comunidades”<sup>39</sup>.

**1.6.1.13 E-Health.** La Organización Mundial de la Salud en 1998 reconoció la creciente importancia de Internet y su potencial para impactar la salud a través del uso y promoción de productos médicos. La e-Salud (E-Health en inglés), se define como el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) en el sector de la salud. Esta es una herramienta que permite prevenir, diagnosticar, tratar y hacer seguimiento a pacientes, con el objetivo de ahorrar costes al sistema sanitario y así mejorar su eficiencia. E-Health se considera como una solución para dar una cobertura de salud a escala universal, ya que a través de su uso se promueven los servicios de salud a poblaciones remotas y poblaciones desatendidas. Permitiendo mejorar el diagnóstico y el tratamiento al tener información precisa y oportuna del paciente a través de registros de salud electrónicos.

A través del uso estratégico de las TIC, también se mejora las operaciones y la eficiencia financiera de los sistemas de atención médica. E-Health engloba diferentes productos y servicios para la salud, como aplicaciones móviles, telemedicina, dispositivos wearables (para la monitorización de la salud que se integran en ropa y accesorios), entre otros. Los datos recolectados son tratados o procesados con el objetivo de servir como sistemas de apoyo a la decisión clínicas<sup>40</sup>.

---

<sup>39</sup> WHO (World Health Organization). Telemedicine. Opportunities and developments in member states. En: World Health Organization. Volumen 2. 2010. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: [http://www.who.int/goe/publications/goe\\_telemedicine\\_2010.pdf](http://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf)

<sup>40</sup> BLAYA, Joaquin A; FRASER, Hamish S.F y HOLT, Brian. E-Health Technologies Show Promise In Developing Countries. 2010. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <https://www.healthaffairs.org/doi/pdf/10.1377/hlthaff.2009.0894>

## 1.6.2 MARCO CONCEPTUAL.

**1.6.2.1 Tensiómetro:** 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 y ritmo cardiaco. Existen dos clases de tensiómetros, el primero de ellos es el tensiómetro manual, el cual está conformado por un brazalete, una bomba de aire y un manómetro, adicional a esto, el doctor o persona que realice la medición de la presión debe saber utilizar un estetoscopio, ya que se requiere del mismo para una correcta medición de la presión arterial<sup>41</sup> (ver figura 5).

Figura 5. Tensiómetro análogo.



Fuente: TIENDA MEDICA. Tensiómetro y Fonendoscopio. 2018. [En línea]. Recuperado en 2019-04-04. Disponible en: <https://www.tiendamedica.com.co/producto/kit-de-tensioometro-y-fonendoscopio/>

El segundo de ellos, que es el relacionado con el proyecto, es el tensiómetro digital, el cual, mediante un sistema electrónico, proporciona aire al brazalete y permite mediante una pantalla digital poder observar los valores de presión sistólica, presión diastólica y ritmo cardiaco (véase figura 6).

---

<sup>41</sup> PERIODICO DE SALUD. Tensiómetro – Que es, tipos, como se usa y resultados. 2018. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <https://periodicosalud.com/tensioometro-tipos-se-usa-resultados/>

**Figura 6. Tensiómetro digital.**



Fuente: ORTOWEB. Tensiómetro digital de muñeca Omron. 2018. [En línea]. Recuperado en 2019-04-04. Disponible en: <https://www.ortoweb.com/tensio metro-digital-de-mu-eca-omron-rs6>

La medición de la presión arterial es necesaria en el diagnóstico y tratamiento de la hipertensión arterial y otras enfermedades.

**1.6.2.2 Microcontrolador.** Un microcontrolador es un circuito integrado programable conformado esencialmente por tres unidades principales: la unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida. Los microcontroladores están diseñados para reducir el tamaño de los circuitos electrónicos (ver Figura 7), para reducir el costo económico de los mismos y para reducir el consumo de energía de un sistema en particular. Estos dispositivos pueden encontrarse en casi cualquier dispositivo electrónico, ya sea para uso público o privado, se encuentra en automóviles, aviones, electrodomésticos, celulares, cámaras, entre otros<sup>42</sup>.

---

<sup>42</sup> VELAZCO, Nicolas. ¿Qué es un Microcontrolador? Guía del Estudiante para Experimentos. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: [bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.p df](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf)

Figura 7. Ejemplo de microcontrolador.



Fuente: MICROCHIP. Microcontrolador ATmega 328P. 2018. [En línea]. Recuperado en 2019-04-04. Disponible en: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATMEGA328P>

Un ejemplo de microcontrolador es el ATmega 328p o ATmega 2560 de la marca Microchip o Atmel, los cuales son ampliamente utilizados por sistemas embebidos como Arduino facilitando su uso y programación.

**1.6.2.3 Sistemas Embebidos:** En el libro *Embedded Systems Design*, Steve Heath define que un sistema embebido es un sistema basado en un microprocesador o microcontrolador que está desarrollado para controlar una o varias funciones, permitiendo que el usuario del sistema embebido pueda programar tareas específicas a través de un compilador, sin afectar la configuración inicial del mismo en cuanto a software y hardware se refiere<sup>43</sup>.

**1.6.2.4 GPRS (General Packet Radio Service).** Es una tecnología de comunicaciones móviles que surge como una mejora de GSM en cuanto a transmisión de información, esta mejora es posible ya que introduce el concepto de conmutación de paquetes. GPRS tiene como objetivo principal transmitir información a una mayor velocidad modificando la red GSM sin reemplazar los equipos de transmisión y la infraestructura de red existente. GPRS está dirigido a aplicaciones que necesiten una transmisión poco frecuente de pequeñas o grandes cantidades de datos, que necesiten una transmisión intermitente de tráfico, está dirigido para tecnologías como telemetría, telealarmas, control de tráfico ferroviario,

---

<sup>43</sup> HEATH, Steve. *Embedded systems design*. En: *EDN series for design engineers*, Newnes. 2003. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <http://read.pudn.com/downloads158/ebook/707037/Embedded%20Systems%20Design%20-%20ed%20-%200750655461.pdf>



acceso a internet mediante la World Wide Web, entre otras <sup>44</sup>.

**1.6.2.5 Wifi.** Wireless Fidelity (Wifi) es una tecnología que permite la interconexión de diversos dispositivos electrónicos de manera inalámbrica, esto lo realiza mediante la transmisión de ondas de radio en dos posibles bandas de frecuencia, 2.4 GHz y 5GHz.

Existen varios tipos de Wifi, cada uno de ellos se basa en un estándar proporcionado por el IEEE, algunos de esos estándares son IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n, los cuales trabajan en la banda de 2.4 GHz con una velocidad de hasta 11 Mbit/s, 54 Mbit/s y 300 Mbit/s, respectivamente. Debido a la saturación de esta banda (2.4GHz) producida por tecnologías como bluetooth, ZigBee y WUSB, en la actualidad se implementa dependiendo de la necesidad el estándar IEEE 802.11ac, el cual opera a una frecuencia de 5GHz. Esta banda genera un menor alcance en la transmisión de información, pero brinda una menor interferencia<sup>45</sup>.

**1.6.2.6 Bluetooth.** Bluetooth es una tecnología de comunicación inalámbrica que permite que los dispositivos cercanos se comuniquen de una manera rápida y efectiva mediante una red privada. Esta tecnología opera en el mismo rango de frecuencia de transmisión que Wifi y las microondas, cambiando de frecuencia cuando es necesario para evitar la interferencia con otros dispositivos. Un dispositivo bluetooth contiene un transmisor y un receptor que funcionan mientras el dispositivo este encendido, los cuales tienen un bajo costo y consumo energético<sup>46</sup>.

**1.6.2.7 AWS (Amazon Web Services).** Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) es un servicio web que brinda capacidad informática en la nube de una forma segura, está diseñado para facilitar el uso de la informática en la nube a escala web. AWS no es una interfaz gratuita, se debe pagar una cantidad de dinero dependiendo de los servicios que se utilicen.

La interfaz de servicios web de Amazon permite obtener y configurar capacidad con una mínima fricción. Proporciona un control completo sobre los recursos

---

<sup>44</sup> PRIETO DONATE, Francisco. GPRS (General Packet Radio Service). [En línea]. Recuperado en 25/09/2018. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11372/fichero/Memoria%252F03+--+GPRS.pdf>

<sup>45</sup> Biscontini T. Wi-Fi. En: Salem Press Encyclopedia of Science. 2015. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=87322980&lang=es&site=eds-live>.

<sup>46</sup> Biscontini T. Bluetooth. En: Salem Press Encyclopedia of Science. 2015. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=87322980&lang=es&site=eds-live>.

informáticos y puede ejecutarse en el entorno informático acreditado de Amazon. Amazon EC2 reduce el tiempo necesario para obtener e iniciar nuevas instancias de servidor en cuestión de minutos, lo que permite escalar rápidamente la capacidad, ya sea aumentándola o reduciéndola, en función de sus necesidades. Amazon EC2 cambia el modelo económico de la informática al permitir pagar solo por la capacidad que utiliza realmente. Amazon EC2 les brinda a los desarrolladores las herramientas necesarias para crear aplicaciones resistentes a errores y para aislarlas de los casos de error comunes<sup>47</sup>.

**1.6.2.8 Google Cloud Platform IoT.** Es un conjunto de servicios completamente administrado e integrado que permite conectar y administrar datos a gran escala, así como de forma fácil y segura, a partir de dispositivos repartidos por todo el mundo. También ayuda a procesar, analizar y ver datos en tiempo real, implementar cambios operacionales y llevar a cabo las acciones que creas pertinentes. Google Cloud IoT es un conjunto completo de servicios integrados que permiten obtener información empresarial útil en tiempo real a partir de los datos de tus dispositivos distribuidos por todo el mundo. También se puede realizar un análisis ad hoc mediante Google BigQuery, obtener datos analíticos y aplicarlos fácilmente a los sistemas de aprendizaje automático a través de Google Cloud Machine Learning Engine, o ver los datos provenientes de Internet of Things resultantes con los completos informes y paneles de control de Google Data Studio. Para esta plataforma Google permite un periodo gratuito regalando 300\$ para gastar durante 60 días en sus servicios. Aunque hay un periodo de prueba gratis, una vez este termina la facturación dependerá de los servicios utilizados el pago a realizar<sup>48</sup>.

**1.6.2.9 Azure IoT Suite.** Microsoft Azure, antes conocido como Windows Azure, es la plataforma de computación en nube pública de Microsoft. Proporciona una gama de servicios en la nube, incluidos los de computación, analítica, almacenamiento y redes. Los usuarios pueden elegir entre estos servicios para desarrollar y escalar nuevas aplicaciones, o ejecutar aplicaciones existentes, en la nube pública. Para esta plataforma Microsoft permite un periodo gratuito regalando 200\$ para gastar en sus servicios. Aunque hay un periodo de prueba gratis, una vez este termina la facturación dependerá de los servicios utilizados<sup>49</sup>.

---

<sup>47</sup> AMAZON. Amazon EC2. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/ec2/>

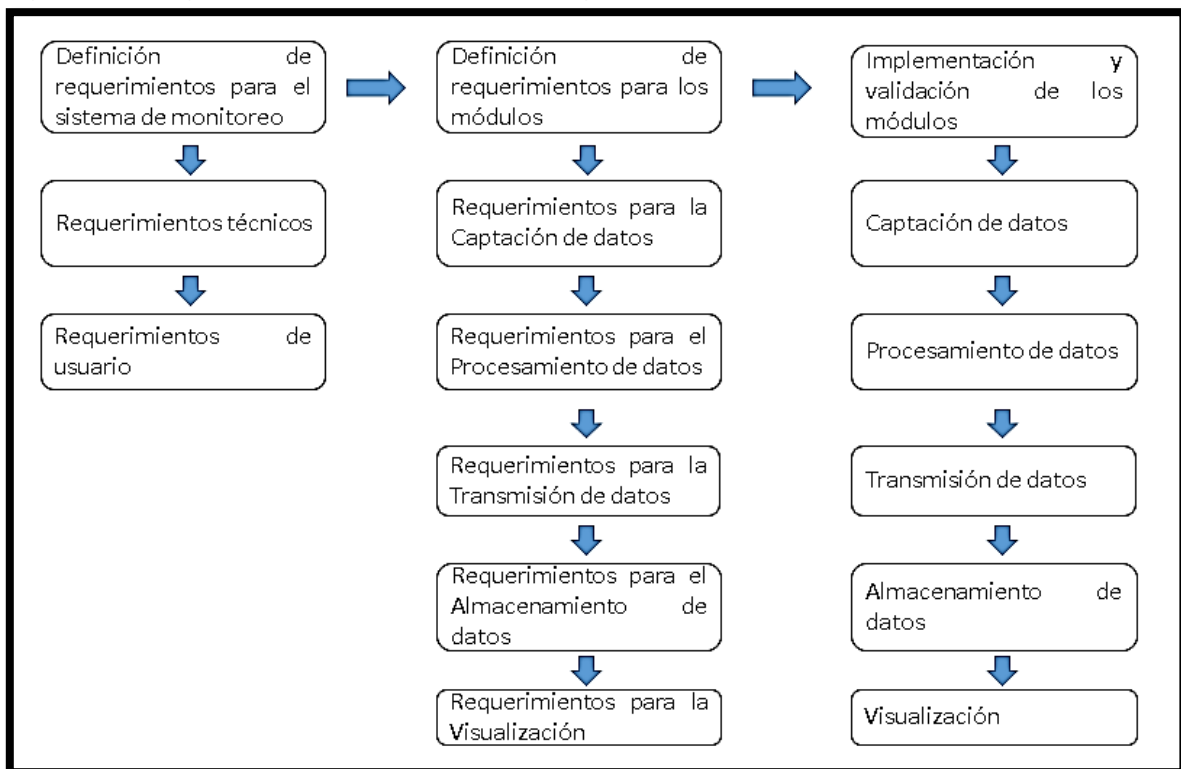
<sup>48</sup> Google. Google Cloud IoT. [En línea]. [consultado 27/08/2018]. Disponible en: <https://cloud.google.com/solutions/iot/>

<sup>49</sup> Microsoft. Microsoft Azure, ¿Qué es Azure?. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-is-azure/>

## 1.7 METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto se encuentra dividida en: definición de requerimientos para el sistema de monitoreo, requerimientos de los módulos del sistema e implementación y validación de los módulos del sistema, como se muestra en el diagrama de bloques en la Figura 8.

Figura 8. Diagrama de bloques metodología



Fuente. Los autores

En la siguiente sección (1.8 Diseño metodológico) se explican en detalle la metodología usada en este proyecto a través de los bloques definidos en la Figura 8.

## 1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

**1.8.1 Requerimientos del Sistema de monitoreo remoto.** Para el diseño del sistema de monitoreo de presión arterial, los requerimientos son divididos en requerimientos técnicos y requerimientos de usuario, como se muestra en la Figura 8. Los primeros requerimientos están relacionados con los requerimientos de funcionamiento, que podrán ser satisfechos con la selección de los dispositivos tecnológicos, necesarios, que cumplan con ciertas características técnicas. Los requerimientos de usuario están relacionados con lo que el usuario espera del sistema de monitoreo en términos de uso y beneficios.

Primero se definirán los requerimientos generales para el sistema de monitoreo de presión arterial. Posteriormente, se mencionan los requerimientos para cada uno de los cinco módulos en los que fue dividido el desarrollo del sistema de monitoreo (captación, procesamiento, transmisión, almacenamiento y visualización).

**1.8.1.1 Requerimientos técnicos.** Dentro de los requerimientos técnicos más importantes se definieron:

- Un sistema que pueda ser usado en cualquier lugar de Colombia.
- Un sistema que sea portátil.
- La información medida debe estar disponible en el menor tiempo posible.
- Las alertas enviadas deben ser enviadas en el menor tiempo posible.

**1.8.1.2 Requerimientos de usuario.** Desde el punto de vista del uso del sistema, los principales requerimientos por parte de los usuarios son:

- Un sistema que sea de fácil uso.
- Mediciones confiables.

## 1.8.2 Requerimientos para los módulos del sistema

**1.8.2.1 Requerimientos para la captación de datos.** Para el diseño del módulo de captación de datos, es necesario seleccionar un tensiómetro que tenga una alta precisión, de modo que las medidas tomadas sean confiables. Además, otro requerimiento importante a nivel electrónico es que el bus de datos del tensiómetro sea de fácil acceso, es decir que los pines del bus sean accesibles para poder captar los datos.

**1.8.2.2 Requerimientos para el procesamiento de datos.** Para el módulo de procesamiento uno de los requerimientos más importantes es la velocidad de procesamiento, de modo que el tiempo de procesamiento sea el menor posible. Asociado con lo anterior, se requiere que las alertas generadas, por lecturas anormales de la presión arterial del paciente, sean enviadas en el menor tiempo posible. Por otro lado, el número de pines de la tarjeta de procesamiento es otro aspecto a considerar, con el fin de garantizar que la tarjeta de procesamiento no sea subutilizada, pero que cumpla las funciones requeridas, como por ejemplo permitir la comunicación con el tensiómetro a través de bluetooth.

**1.8.2.3 Requerimientos para la transmisión de datos.** El principal requerimiento para la transmisión de datos es que sea confiable y que transmita los datos en el menor tiempo posible. La transmisión se considera confiable si los datos que se transmiten no sufren cambios durante la transmisión, de modo que los datos que llegan a la base de datos sean los mismos datos de presión arterial medidos al usuario.

**1.8.2.4 Requerimientos para el almacenamiento de datos.** La base de datos usada para almacenar los datos de los usuarios debe ser remota, de modo que la información de usuarios ubicados en diferentes lugares del país pueda ser enviada y consultada de manera rápida.

La base de datos debe ser robusta en término del número de datos que puede almacenar. Para este proyecto, el número de datos que debe soportar la base de datos, debe ser acorde al número de pruebas realizadas.

**1.8.2.5 Requerimientos para la visualización de datos.** Las visualizaciones de los datos de presión arterial deben ser mostrados de manera clara y debe ser coherente con los datos medidos y transmitidos. Otro requerimiento importante es el tiempo de envío y de actualización de los datos. Estos tiempos deben ser en el menor tiempo posible, de modo que la información visualizada siempre sea información actualizada.

**1.8.3 Implementación y validación de los módulos del sistema.** En esta sección se explica los pasos a seguir dentro de cada uno de los módulos definidos, para llevar a cabo su implementación y validación.

**1.8.3.1 Captación de los datos.** En este módulo se realiza un análisis de algunas de las posibles opciones para medir los datos de tensión arterial sistólica, diastólica y pulso cardíaco. De esta actividad se tiene como resultado la selección del dispositivo que cumple con los requerimientos definidos. Como parte del proceso de implementación, se define el mecanismo a usar para identificar y depurar los datos de presión arterial que arroja el dispositivo (tensiómetro). Por último, se realiza la validación de los datos de presión arterial comparando los datos identificados y depurados con los datos medidos directamente con otro tensiómetro certificado.

**1.8.3.2 Procesamiento de los datos.** A este módulo le ingresan los datos tomados en el módulo de captación de datos, para el posterior procesamiento de los datos y determinar si es necesario enviar un mensaje de alerta en caso de que el valor de tensión arterial sea anormal, según la condición del paciente. Paralelo a este proceso se ejecuta la adecuación de los datos para ser enviados al módulo de transmisión.

**1.8.3.4 Transmisión de los datos.** Para el desarrollo de este módulo se analizan las diferentes tecnologías de transmisión y se determina la opción más idónea de transmisión según los requerimientos definidos (enviar mensajes de alerta a las personas a cargo o al especialista). Una vez el transmisor es configurado en la tarjeta de procesamiento, los datos son enviados hacia un servidor web (la nube) y enviando mensajes de texto de alerta, en caso de ser necesario. La validación del módulo de transmisión se realiza a través de varias pruebas, donde se observa que los datos medidos por el tensiómetro sean los mismos que llegan al servidor.

**1.8.3.5 Almacenamiento.** En este módulo se realiza la selección de la base de datos en donde se almacenarán los datos de presión arterial medidos y transmitidos. Una vez es seleccionada la base de datos, se realiza el procedimiento para que sea posible su uso. La validación, consiste en verificar que los datos almacenados (Fecha, hora, presión sistólica, presión diastólica, pulso) tengan relación con los datos que fueron medidos en el tensiómetro.

**1.8.3.6 Visualización.** La visualización de los datos se realiza a través de una página web diseñada para mostrar los datos almacenados en la base de datos. Los datos se visualizan en una tabla donde se muestra la fecha, hora, cedula, presión sistólica, presión diastólica y pulso cardíaco del paciente. Cada vez que se realiza una toma de datos de tensión la tabla se actualiza, de modo que se tiene almacenando el historial de presión arterial del paciente.

## 1.9 IMPACTO Y RESULTADOS ESPERADOS

Con la implementación de este trabajo de grado se espera tener impacto a nivel social, económico y tecnológico. A continuación, se explica cada uno de ellos.

**1.9.2 Impacto social.** Se espera que el uso del dispositivo tecnológico propuesto en este trabajo mejore la calidad de vida de las personas crónicas hipertensas al hacer un seguimiento confiable de su presión arterial, permitiendo que el tratamiento médico de los pacientes hipertensos puede ser ajustado acorde su condición. También se espera mejorar la calidad de la atención temprana en casos de emergencia, como bien se sabe la hipertensión es una enfermedad que a futuro afecta diferentes órganos del cuerpo si no se trata adecuadamente, por esto el dispositivo en caso de leer valores anormales en la presión arterial (aumento significativo según la condición médica del paciente) enviará un mensaje de alerta al especialista con el fin de actuar de manera oportuna en casos críticos. Este proyecto no tiene limitaciones geográficas dentro del territorio colombiano esto permite que personas residentes en zonas rurales puedan tener un mejor monitoreo y evitar el desplazamiento a centros médicos para realizar el control de la enfermedad.

**1.9.3 Impacto económico.** Se espera reducir costos al sector salud, al aumentar el número de pacientes que controlan su presión arterial ya que esto previene y reduce significativamente la probabilidad de desarrollar enfermedades crónicas como: Infarto al miocardio, insuficiencia cardiaca, enfermedades renales, etc. Como consecuencia, el control de la presión arterial reduce los costos de tratamiento a los pacientes, evitando su desplazamiento a centro médicos.

**1.9.4 Impacto tecnológico.** Con este dispositivo tecnológico, se toman mediciones confiables y proporciona un flujo de información completo sobre la información de presión arterial que va desde la toma de la medida de presión hasta una acción por parte del servicio médico, cuando sea requerido. Dispositivo desarrollado a nivel académico da una base para posteriores investigaciones en temas no solo tecnológicos sino también médicos. Con base en este primer prototipo se seguirán realizando mejoras hasta alcanzar un productivo final con un desarrollo tecnológico realizado por estudiantes de la Universidad Católica de Colombia.

## 2. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

### 2.1 COMPONENTES DE HARDWARE

**2.1.1 Tensiómetro.** En este apartado se comparan algunas características técnicas de tres tensiómetros comerciales, para la selección de uno de estos. En la sección 3.1.2 “*Selección del tensiómetro*” se realizan diferentes pruebas para determinar el tensiómetro que se utiliza en el desarrollo del prototipo (ver Tabla 2).

Tabla 2. Tabla comparativa entre los diferentes tensiómetros

MARCA	RANGO DE PRESION (mmHg)	PRECISIÓN (mmHg)	RANGO DE PULSO (latidos/minuto)	DIMENSIONES (mm)	PESO (g)
CK1000 <sup>50</sup> :	0- 299	±3 Pulso del corazón ±3%	40-200	70x72x23	85
OMRON Hem-7130 <sup>51</sup>	0-299	±3 Pulso del corazón ±3%	40 a 180	125x165x118	680
SEJOY BSP12 <sup>52</sup>	0-300	±3	30 – 180	148x100x56	382

Fuente. Los autores

A pesar de que las características de los tensiómetros seleccionados son muy parecidas como se muestra en la Tabla 2, se escoge el tensiómetro CK 1000 (ver Figura 9) por el factor diferenciador, es un tensiómetro de muñeca con los parámetros de dimensiones y peso más bajos.

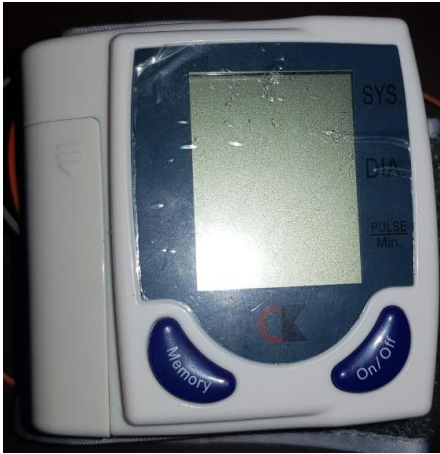
<sup>50</sup> MERCADO LIBRE COLOMBIA. Tensiómetro de muñeca ck [en línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-461597287-tensiometro-digital-ck-de-muneca-para-presion-arterial-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-461597287-tensiometro-digital-ck-de-muneca-para-presion-arterial-_JM?quantity=1)

<sup>51</sup> OMRON. Monitor de tensión arterial de brazo automático. [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://omronhealthcare.la/recs/static/especificaciones/hem-7130.pdf>

<sup>52</sup> MEDICALEXPO. Tensiómetro electrónico automático de brazo bsp12. [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <http://www.medicaexpo.es/prod/hangzhou-sejoy-electronics-instruments/product-68689-749813.html>



Figura 9. Tensiómetro de muñeca CK100



Fuente Los autores.

**2.1.2 Arduino.** Se realiza una comparación de las diferentes tarjetas de desarrollo que se pueden utilizar basados en los criterios mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Tabla comparativa de diferentes tarjetas de desarrollo

Modelo	Pines	Memoria (KB)	Programación
Arduino UNO	14	33	C++
Arduino mega	54	256	C++
Rasperry modelo A	26	256.000	PHYTON

Fuente. Los autores

En este apartado se escoge el Arduino UNO ya que sus características técnicas se ajustan a las necesidades del proyecto, tales como la cantidad de pines y memoria disponible. Características a tener en cuenta, para aprovechar al máximo estos recursos, es decir, sin subutilizar la capacidad de la tarjeta.

Otro parámetro que se tiene en cuenta para la selección de la tarjeta es la facilidad de programación para los desarrolladores. El lenguaje de programación de esta tarjeta es C++, lenguaje que es conocido por los desarrolladores de este proyecto de grado.

La placa de Arduino UNO R3 está basada en el microcontrolador ATmega328P, cuenta con 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16MHz, conexión USB, conector jack de alimentación, también se puede alimentar mediante la conexión USB. Para la implementación de esta placa, se utiliza la alimentación por el Jack por medio de un adaptador para brindar la corriente necesaria a los accesorios conectados. Esta placa de arduino tiene múltiples aplicaciones, ya que fue diseñada para un contexto académico, para el desarrollo de diversos proyectos. Esta es una buena alternativa por su bajo costo y su robustez (ver figura 10).<sup>53</sup>

Figura 10. Arduino UNO



Fuente. ARDUINO. ArduinoUNO. [En línea.] Recuperado 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <http://arduino.cl/arduino-uno/>

**2.1.3 ATmega328P.** Microcontrolador programable fabricado por la marca microchip. Es un circuito integrado de alto rendimiento que combina 32KB ISP flash y una memoria con capacidad de leer mientras escribe, cuenta con cinco modos de ahorro de energía seleccionables por software y con un oscilador interno. Este dispositivo es una herramienta utilizada en proyectos donde sea necesario un microcontrolador simple, de bajo consumo y bajo costo. Una de sus aplicaciones más comunes es el uso en el Arduino UNO y NANO.<sup>54</sup> En la tabla 4 se observan las características del dispositivo (ver figura 11).

<sup>53</sup>ARDUINO UNO . descripción de dispositivos de arduino [En línea]. consultado el 26 de mayo de 2019. Disponible en: <http://arduino.cl/arduino-uno/>

<sup>54</sup> ATMEL. Datasheet atmega328P. [En línea]. Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/datasheetATMEGA328-P-PU.pdf>

Tabla 4. Características ATmega328P

Características	Valores
Memoria flash (Kbytes)	32
Memoria SRAM (Kbytes)	2
Pines	28
Frecuencia de Operación (MHz)	16
Pines de entrada y salida	23
CPU	8-bit AVR
ADC	8
Resolución ADC	10
EEPROM (K)	1
Canales PWM	6
Voltaje de operación (V)	1.8 – 5.5

Fuente. Los autores.

Figura 11. Microcontrolador ATmega 328P



Fuente. SIGMAELECTRONICA. ATMEGA328P-PU. [En línea] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet <https://www.sigmaelectronica.net/producto/atmega328p-pu/>

**2.1.4 Bluetooth.** Se realiza una comparación de los diferentes módulos de Bluetooth que cumplen unos requerimientos mínimos. En la Tabla 5 se muestran las características tenidas en cuenta para la comparación, donde 1 es el menor valor y el 5 es el máximo los ítems que se evalúan en la tabla son, configuración que se refiere a la facilidad de configurar el dispositivo, Disponibilidad hace referencia a la presencia que se tiene de este dispositivo en el mercado y, por último, documentación hace referencia a la información disponible del dispositivo.

Tabla 5. Tabla comparativa entre los diferentes módulos bluetooth

Referencia	Facilidad de configuración	Disponibilidad	Documentación	TOTAL
Hc-05	5	2	5	12
SIG0109A	1	2	2	5
HM-10	1	5	2	9

Fuente. Los autores

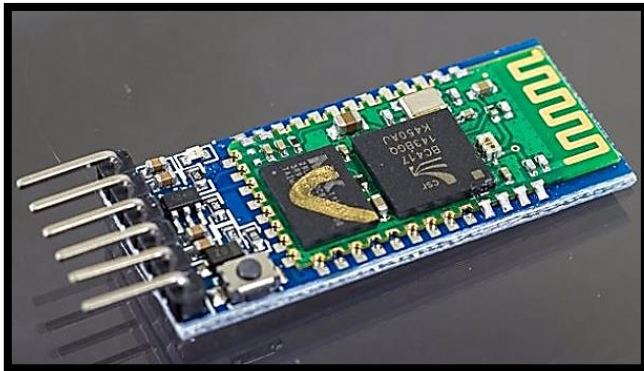
Se escogió el módulo de tecnología bluetooth HC-05, dado que este puede trabajar en el rol de maestro o esclavo. Esto es importante debido a que en el desarrollo del trabajo de grado es necesario trabajar con un maestro el cual se encarga de recibir los datos el dispositivo y un esclavo el tensiómetro para enviar los datos extraídos hacia el dispositivo. Otra razón para la selección de este módulo es la disponibilidad que se tiene en el mercado, este módulo tiene mejor documentación y por ende facilita la configuración.

El módulo bluetooth HC-05 ofrece el servicio de puerto serie (RFCOMM), creando un enlace de datos transparente entre un PC, celular, tablet o cualquier dispositivo con Bluetooth maestro y el microcontrolador. La salida del módulo es una señal serial asíncrono a 9600 baudios que puede ser recibida e interpretado fácilmente por cualquier microcontrolador. Este módulo se programa mediante comandos AT para asignar el rol de maestro o esclavo, (para este trabajo de grado es necesario tener dos módulos uno configurado como maestro (Rx) y el otro como esclavo(Tx)). La versión de bluetooth que utiliza es la versión 2.0+EDR. En cuanto a la comunicación entre los dos módulos utiliza una GFSK a una frecuencia de 2.4GHz, con una distancia de hasta 10 metros.<sup>55</sup>

---

<sup>55</sup> SIGMAELECTRONICA. HC-05 Bluetooth to serial port module. [En línea] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/istd016A.pdf>

Figura 12. Modulo Bluetooth HC-05



Fuente. SIGMAELECTRONICA. HC-05 proto. [En línea] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/istd016A.pdf>

**2.1.5 Analizador lógico.** Un analizador lógico (ver figura 13) es un instrumento de medida que captura los datos de un circuito digital y los muestra por medio de un programa especial otorgado por el fabricante para realizar diferentes análisis, de modo similar a como lo hace un osciloscopio, pero a diferencia de este, es capaz de visualizar las señales de múltiples canales. Además de permitir visualizar los datos, que sirve como medio de verificación del correcto funcionamiento del sistema digital, puede medir tiempos entre cambios de nivel, número de estados lógicos, etc. La forma de capturar datos desde un analizador lógico es conectando una punta lógica apropiada en el bus de datos a medir.<sup>56</sup>

Este analizador funciona con una conexión serial RS232 para la comunicación con un computador. El software permite el análisis de diferentes protocolos de comunicación (Serial asincrónico, SPI, I2C, Paralelo simple, entre otros), para este trabajo de grado los datos son analizados mediante el protocolo serial asincrónico. En la tabla 6 se muestra un resumen de los datos técnicos del analizador

---

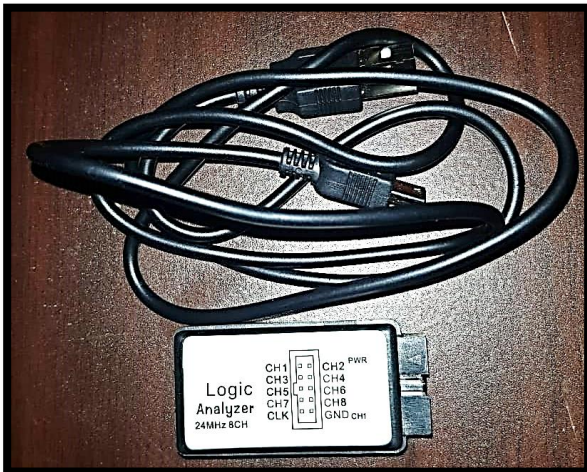
<sup>56</sup> SALEAE. Características analizador lógico 8 canales. [En línea]. Recuperado 20 de abril de 2019. Disponible en internet: <https://www.saleae.com/es/>

Tabla 6. Características Analizador lógico de 8 canales

Entradas	8
Resistencia de entrada (MΩ)	1
Protección de entrada (V)	+ - 5
Velocidad de muestreo (MS/s)	100
Señal de salida (MHz)	25
Profundidad de muestra típica	10± mil millones
Niveles de lógica admitidos (V)	1.8 -5.5

Fuente. Los autores.

Figura 13. Analizador Lógico



Fuente. Los autores

**2.1.6 Shield GPRS GSM M95.** Esta placa está diseñada para trabajar con el arduino, utiliza un modem Quectel M95. Este es un modem de banda cuádruple, es decir que opera en las bandas de 850/1800/1900 MHz. La shield se controla mediante comandos AT y se programa mediante la interface de Arduino. Cuenta con diversas funciones tales como, GPRS/TCP/UDP/PPP/FTP/HTTP/SMS/Voz/FAX. Para este trabajo de grado



únicamente se utilizan las funciones GPRS, TCP y SMS. Esta tarjeta incluye los accesorios necesarios para operar, tales como, interface de simcard, antena GSM y UART.<sup>57</sup>

El fabricante recomienda utilizar una fuente de alimentación externa al Arduino que se desee utilizar, ya que en algunos casos la tarjeta puede genera un pico de corriente mayor a 2 A.

Figura 14. Shield M95



Fuente. SIGMAELECTRONICA Shield M95 para arduino. [en línea]. Recuperado el 20 abril de 2019. Disponible en Internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/M95%20ARD%201.1.pdf>

## 2.2 COMPONENTES DE SOFTWARE

En la tabla 7 se hace una comparación entre las ventajas y desventajas de tres plataformas para servicios de IOT en la nube. Estas plataformas fueron seleccionadas ya que según la revista Forbes<sup>58</sup> en 2017 publicó que estas tres hacen parte de las diez mejores plataformas de cloud providers. En la siguiente tabla (Tabla 7), se describen las ventajas y desventajas de estas plataformas.

---

<sup>57</sup> SIGMAELECTRONICA Shield M95 para arduino. [en línea]. Recuperado el 20 abril de 2019. Disponible en Internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/M95%20ARD%201.1.pdf>

<sup>58</sup> FORBES. The Top 5 Cloud-Computing Vendors: #1 Microsoft, #2 Amazon, #3 IBM, #4 Salesforce, #5 SAP [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://www.forbes.com/sites/bobevans1/2017/11/07/the-top-5-cloud-computing-vendors-1-microsoft-2-amazon-3-ibm-4-salesforce-5-sap/#6f87a9556f2e>

Tabla 7. Tabla comparativa plataformas para servicios en la nube

	<b>AZURE</b>	<b>AWS</b>	<b>GOOGLE CLOUD</b>
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de conexión menores entre la nube y los dispositivos</li> <li>• Mejor alternativa para soluciones híbridas ya que permite integraciones con nubes privadas.</li> <li>• Permite recopilar proyectos existentes en Office, SQL Server, SharePoint, .Net, entre otros</li> <li>• Ofrece herramientas de visualización en tiempo real</li> <li>• Gran rendimiento en el tratamiento de datos en volúmenes grandes</li> <li>• Tiene un buen soporte técnico y completa documentación para el usuario final</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este proveedor ha tenido un crecimiento en los últimos años</li> <li>• Diferentes funciones y servicios en la nube con gran crecimiento</li> <li>• Se encuentra información detalla sobre servicios y ejemplos</li> <li>• El servicio FreeRTOS es una herramienta en tiempo real para dispositivos embebidos que facilita la programación y administración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta con un panel intuitivo y fácil de manejar</li> <li>• Permite el uso de herramientas para el aprendizaje automático e inteligencia artificial (TensorFlow.)</li> <li>• Cuenta con servicio de base de datos escalable NoSQL</li> <li>• Compatible con todos los navegadores.</li> </ul>
<b>DESVENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La creación y puesta en marcha de un nuevo proyecto es más demorada que en los otros proveedores.</li> <li>• No apto para navegador en IOS</li> <li>• En ocasiones las implementaciones de las herramientas en tiempo real son complejas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sus aplicaciones en diferentes aspectos suelen ser complejas</li> <li>• Para algunos casos específicos es la alternativa más costosa</li> <li>• El plan para los costes suele ser compleja y difícil de entender</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AWS y Azure Son más coherentes con los productos que ofrecen, en cambio en Google, parece que sus productos fueran todos separados</li> <li>• Más barato que ASW pero más caro que Azure</li> <li>• La experiencia de usuario es menos intuitiva cuando no se tiene el sistema operativo Mongoose OS o Zerynth.</li> <li>• Autenticación de dispositivos más compleja</li> <li>• Sólo admite protocolos HTTP 2 y gRPC (AWS y Azure admiten todos los protocolos utilizados con frecuencia en IoT como MQTT y AMQPS).</li> </ul>

Fuente. GEOACTIVO. Comparación de cloud providers para aplicaciones iot. [En línea.] Recuperado 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://geoactio.com/2019/02/28/comparacion-de-cloud-providers-para-aplicaciones-iot/>



**2.2.1 Azure para estudiantes.** Esta plataforma está diseñada únicamente para el uso de estudiantes, para ayudar con la creación de nuevos proyectos, brinda las herramientas necesarias para crear sitios web, bases de datos etc. en diferentes lenguajes de programación. Como esta plataforma es de uso educativo, Azure brinda por la suscripción un monto de 100 dólares para empezar a utilizar los recursos que se necesiten en el desarrollo del proyecto. Estos créditos tienen vigencia de hasta 12 meses. En caso de que el usuario/estudiante consuma los créditos en un lapso menor a 12 meses Azure inicia con un plan de cobro para la utilización de los recursos brindados. Azure ofrece diferentes planes, que dependen de la cantidad de datos que se almacenen, la cantidad de horas de uso, la cantidad de usuarios, entre otras. Este servicio también permite la descarga de diferentes softwares para el desarrollo de las aplicaciones como: “VISUAL STUDIO”, “Microsoft Learn ®”, entre otros.<sup>59</sup>

**2.2.2 App Service.** Esta aplicación brinda a los usuarios todo lo necesario para la creación de sitios web, Back-ends móviles y API web para cualquier plataforma o dispositivo. Esta también ofrece diferentes opciones para desarrollar aplicaciones. Cuenta con diferentes planes (Estándar, Premium y Básico) que están diseñados para cargas de trabajo de producción con aplicación enfocada principalmente en virtual machine. Para el caso de este proyecto, se la cuenta de Microsoft Azure ® para estudiantes, donde cada aplicación que se desarrolla está asociada a un dominio o URL. En el contexto de trabajo de grado, esta herramienta se utiliza para la visualización de los datos, organizando la información en una tabla compuesta por fecha de la muestra hora, cedula del paciente, presión sistólica, presión diastólica y pulso cardiaco.<sup>60</sup>

**2.2.3 ThingSpeak.** Es un servicio de plataforma de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar datos en tiempo real en la nube. Esta plataforma es comúnmente utilizada para la visualización de los datos de sensores y diferentes aplicaciones que requieran enviar un bajo flujo de datos. Esta plataforma cuenta con la capacidad de ejecutar código MATLAB para procesar datos en línea a medida que se introducen. La plataforma se utiliza a menudo para la creación de prototipos y los sistemas de prueba de concepto IoT.<sup>61</sup>

---

<sup>59</sup> MICROSOFT AZURE. Cuenta gratuita par a estudiantes. [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://azure.microsoft.com/es-es/free/free-account-students-faq/>

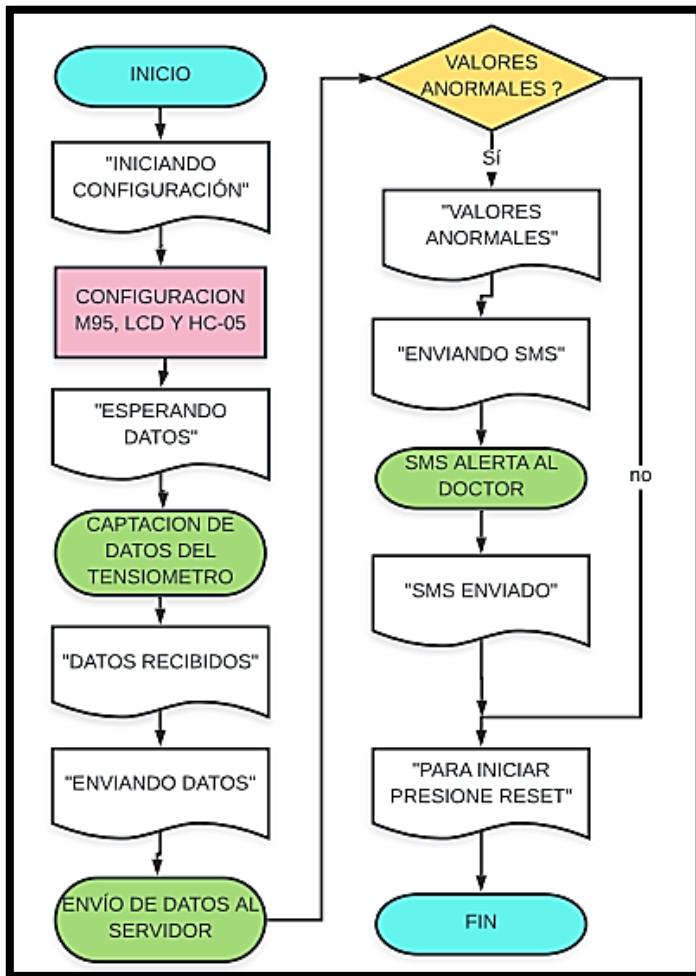
<sup>60</sup> MICROSOFT AZURE. App service. [En línea.] recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://azure.microsoft.com/es-es/pricing/details/app-service/windows/>

<sup>61</sup> THINGSPEAK. Learn more. [en línea.] recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)

### 3. IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se realiza una explicación detallada de la implementación de cada uno de los cinco módulos en los que se definió el desarrollo del prototipo: captación, procesamiento, transmisión, almacenamiento y visualización. En este contexto, en esta sección se explica cómo se obtienen los datos de la presión arterial del paciente, cómo se realiza el procesamiento de esos datos una vez se encuentran en la tarjeta de desarrollo, cómo se realiza el envío de los datos a un servidor remoto y por último, se explican las herramientas que se utilizaron para el almacenamiento y visualización de los datos del paciente. En la Figura 15 se muestra el diagrama de flujo general del funcionamiento de la tarjeta de desarrollo implementada.

Figura 15. Diagrama de flujo general del funcionamiento de tarjeta de desarrollo.



Fuente. Los autores

## 3.1 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS

**3.1.1 Medición de la presión arterial.** Para la obtención de los valores de presión arterial se realizó el análisis de diferentes opciones, la primera opción fue realizar un tensiómetro de brazo digital, esta opción fue descartada por su complejidad de diseño y fabricación, ya que al momento de realizarse se debían tener medidas precisas para su correcta calibración y validación. Esto requiere comprar componentes en el exterior y someter al dispositivo a una serie de certificaciones que aumentaban la complejidad del proyecto, por estos motivos esta iniciativa fue rechazada.

Otra de las opciones fue comprar un tensiómetro digital Bluetooth y capturar dichos valores de presión arterial diseñando un receptor Bluetooth, estos tensiómetros funcionan con una aplicación móvil la cual mediante tecnología Bluetooth recibe los datos del tensiómetro digital con el fin de almacenarlos y visualizarlos, esta idea también fue rechazada ya que dichos tensiómetros tienen un alto costo en el mercado y es posible que dicha información sea transmitida con una codificación especial. Por ende, para la medición de la presión arterial se optó por utilizar la tercera opción, la cual consiste en usar un tensiómetro digital comercial y realizar un proceso de ingeniería inversa para extraer los datos de presión sistólica, presión diastólica y ritmo cardiaco desde la PCB (Printed Circuit Board) del tensiómetro.

**3.1.2 Selección del tensiómetro.** Para la selección del tensiómetro se realizó una consulta en tiendas convencionales y electrónicas sobre las marcas comunes de fabricantes de tensiómetros digitales, donde se encontraron básicamente 2 grupos de marcas. El primer grupo lo conforma Hylogy, Riester y Omron, marcas reconocidas por la calidad de sus productos y tradición en venta de equipos en el área de la salud<sup>62</sup>, estos equipos tienen un costo elevado y cuentan con un número mayor de componentes electrónicos lo cual dificulta el acceso y la identificación del microcontrolador que realiza el procesamiento de los datos. El segundo grupo lo conforman marcas chinas que ofrecen los mismos servicios a un bajo costo, teniendo en cuenta el proceso de ingeniería inversa a realizar, se optó por comprar y comenzar las pruebas de funcionamiento con un tensiómetro chino certificado marca Sejoy de referencia Bsp12 (ver Figura 16).

---

<sup>62</sup> FUNDACIONCONSALUD. Los 8 mejores tensiómetros de 2018/2019. [en línea]. Recuperado el 18 abril de 2019. Disponible en Internet: <http://www.medicalexpo.es/prod/hangzhou-sejoy-electronics-instruments/product-68689-749813.html>

Figura 16. Tensiómetro Sejoy Bsp12



Fuente: MEDICALEXPO. Salón Online Del Sector Médico-Sanitario. [en línea]. Recuperado el 18 abril de 2019. Disponible en Internet: <http://www.medicaexpo.es/prod/hangzhou-sejoy-electronics-instruments/product-68689-749813.html>

Se realizó un proceso de ingeniería inversa al tensiómetro Bsp12, con el fin de obtener los datos de presión arterial desde la PCB del tensiómetro, para ello se usó un analizador lógico de 8 canales en cada uno de los pines del microcontrolador. Sin embargo, el tensiómetro contaba con un microcontrolador especial que dificultó la obtención de los datos.

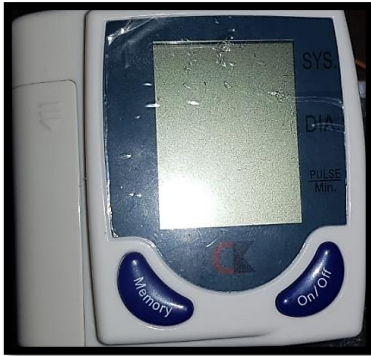
Figura 17. PCB Tensiómetro Bsp12



Fuente. Los autores.

Con el analizador lógico se probaron todos los pines del microcontrolador sin tener éxito en la extracción de los datos de presión arterial, razón por la cual se decidió probar con otro tensiómetro, un tensiómetro digital de muñeca marca CK.

Figura 18. Tensiómetro de muñeca CK

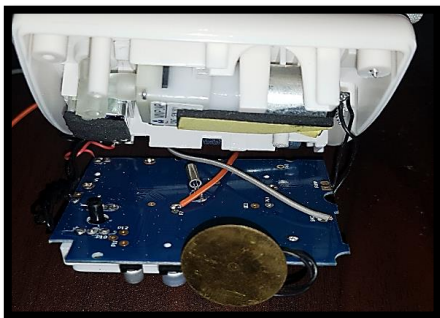


Fuente. Los autores.

Con el tensiómetro mostrado en la Figura 18, se realizó nuevamente el proceso de ingeniería inversa analizando cada una de las pistas presentes en su PCB con éxito, obteniendo los datos de presión sistólica, diastólica y ritmo cardiaco directamente de la PCB.

**3.1.3 Tratamiento de la información.** Luego de seleccionar el tensiómetro, se realizó la búsqueda del pin de transmisión presente en la PCB, este punto se observa en la Figura 19 unido al cable naranja que va conectado al canal 0 del analizador lógico, el cable gris es la unión de las tierras entre la PCB y el analizador.

Figura 19. Punto de transmisión en la PCB

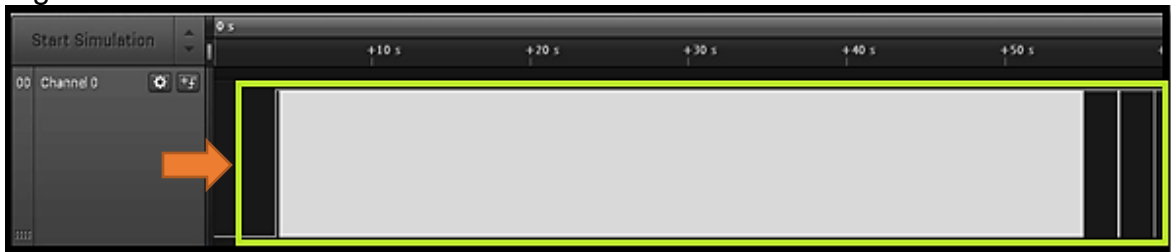


Fuente. Los autores

Una vez encontrado el punto de transmisión en la PCB, se procede a realizar un análisis que consiste en tomar una muestra de presión arterial con el tensiómetro y analizar que pasa en el canal del analizador lógico durante 60 segundos, este tiempo fue definido con base al tiempo que tarda en visualizarse el valor de presión arterial en la pantalla del tensiómetro. A través de diferentes mediciones, se identificó que el tensiómetro se demora en tomar y mostrar el valor de la presión arterial alrededor de 50 segundos.

En la Figura 20 se observa la trama de datos (ver recuadro verde) en el software del analizador lógico. Gracias a las ayudas que brinda el analizador, se puede determinar la velocidad, la cantidad de bits usados para representar un carácter y el tipo de transmisión utilizada, parámetros fundamentales a la hora de decodificar la información. Para la decodificación de los pulsos se analizó la trama de datos obtenida en el canal 0. Una vez finalizada la muestra, se visualiza en el software del analizador, que permitió identificar que la comunicación es del tipo serial asíncrono, con características de transporte correspondientes a una velocidad de transmisión de 9600 bps y utiliza una cantidad de 8 bits para representar cada carácter.

Figura 20. Transmisión de información en canal 0



Fuente. Los autores.

Cuando los pulsos se decodifican, se comienzan a buscar en la trama de datos los valores previamente arrojados en la pantalla del tensiómetro, ver Figura 21.

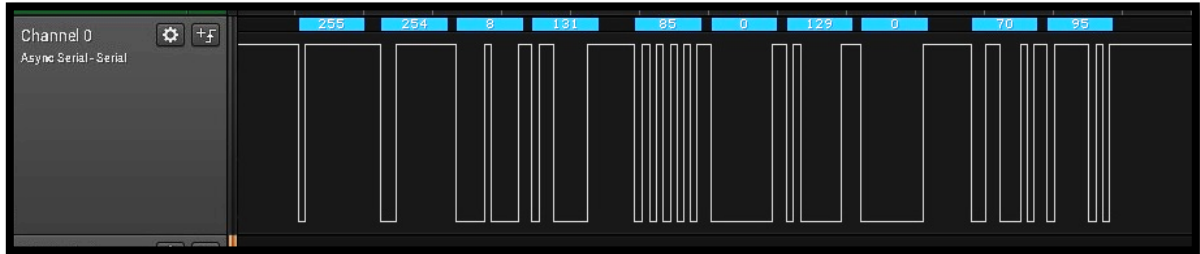
Figura 21. Datos en el tensiómetro



Fuente. Los autores

En la Figura 22 se observa cómo se representan los datos de presión arterial en el analizador lógico, los cuales se muestran en la parte superior de la imagen con color azul en el siguiente orden '255' '254' '8' '131' '85' '0' '129' '0' '70' '95'.

Figura 22. Datos decodificados



Fuente. Los autores

Para determinar la existencia de un patrón en la forma en cómo se envían los datos de presión sistólica, presión diastólica y ritmo cardiaco en la trama de datos, se realizaron 10 muestras registradas en la Tabla 8.

Tabla 8. Datos Obtenidos

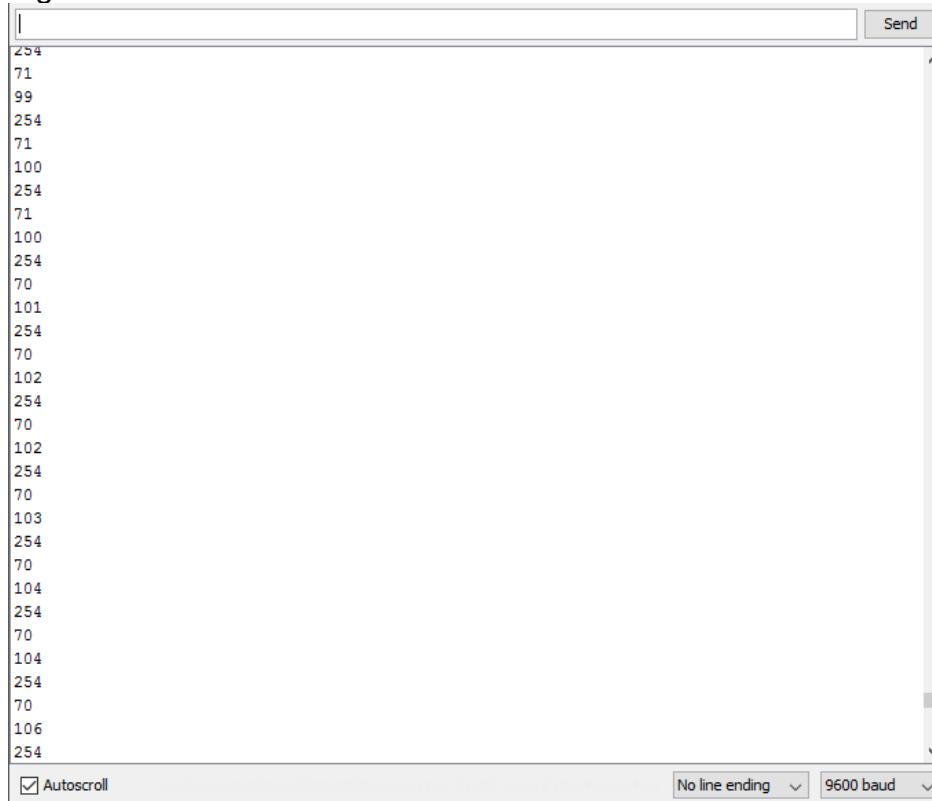
PRUEBA	VALORES OBTENIDOS									
1	255	254	8	85	85	0	105	0	72	71
2	255	254	8	91	85	0	108	0	76	70
3	255	254	8	102	85	0	108	0	77	80
4	255	254	8	102	85	0	114	0	81	70
5	255	254	8	88	85	0	104	0	73	74
6	255	254	8	104	85	0	126	0	55	86
7	255	254	8	119	85	0	120	0	72	90
8	255	254	8	116	85	0	121	0	72	86
9	255	254	8	116	85	0	126	0	73	80
10	255	254	8	99	85	0	106	0	68	88

Fuente. Los autores.

Al observar los valores registrados en la Tabla 8, se puede evidenciar la existencia de un patrón en la señal, en donde los valores de presión sistólica, diastólica y ritmo cardiaco respectivamente se observan en la Tabla 8 en las celdas de color azul. Este tema se profundizará en el apartado 3.1.5 "Captación de los datos del tensiómetro".

**3.1.4 Transmisión de datos entre el tensiómetro y el microcontrolador.** Después de entender la forma como el tensiómetro envía la información codificada de la presión arterial, se realizó una comunicación serial entre el tensiómetro y la tarjeta de desarrollo de forma cableada con el fin de visualizar los datos en un monitor serial.

Figura 23. Monitor Serial



Fuente. Los autores.

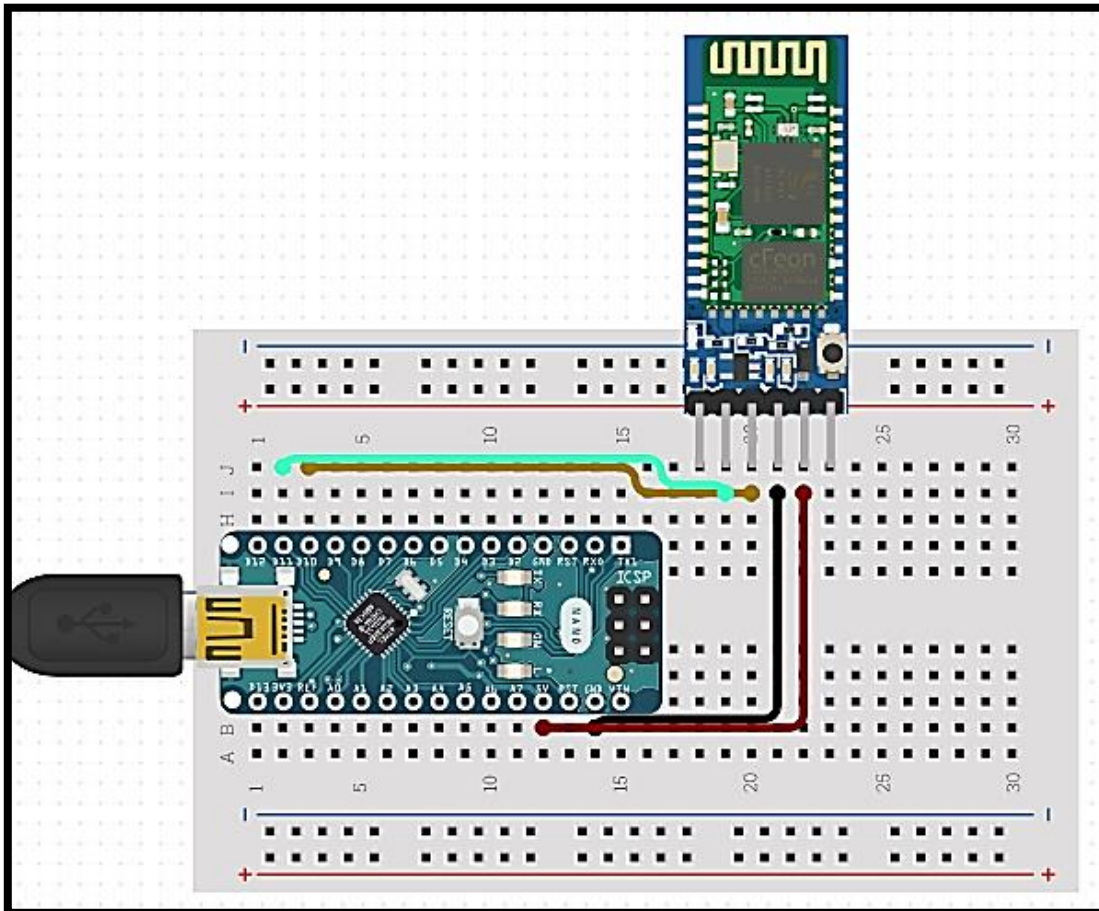
Después de verificar que los datos son transmitidos correctamente desde el tensiómetro a la tarjeta de desarrollo, se cambiaron los cables que transportaban la información por 2 módulos Bluetooth HC-05. Uno de estos módulos HC-05 está configurado como esclavo y el otro en modo maestro, garantizando así una comunicación inalámbrica.

**3.1.4.1 Configuración módulos Bluetooth HC-05.** Para lograr una comunicación entre dispositivos utilizando esta tecnología, es necesario configurar un módulo como maestro y otro como esclavo. El modulo maestro es el encargado de realizar



la búsqueda del dispositivo a conectar y establecer la conexión, mientras que el modulo esclavo está a la espera de establecer la comunicación con el modulo maestro. Este tipo de módulos Bluetooth se pueden configurar mediante comandos AT estableciendo una comunicación serial con otro dispositivo, para este caso se utilizó una tarjeta de Arduino nano.

Figura 24. Conexiones del módulo HC-05



Fuente. Los autores.

En la Figura 24. se observan las conexiones realizadas para la configuración de los módulos HC-05. El cable marron representa la conexión que alimenta con 5V a los módulos y se conecta al pin 5V del Arduino nano, el cable negro la conexión a GND y se conecta al pin GND del Arduino nano, el cable marrón es el transmisor o Tx y se conecta al pin digital 10 del Arduino nano y el cable verde representa la conexión de recepción o Rx la cual debe ir conectada al pin 11 del Arduino nano.

Una vez conectado el módulo HC-05 se realiza el envío de los comandos AT necesarios para su correcta configuración, estos comandos se representan en la Tabla 9.

Tabla 9. Comandos AT para el módulo HC-05

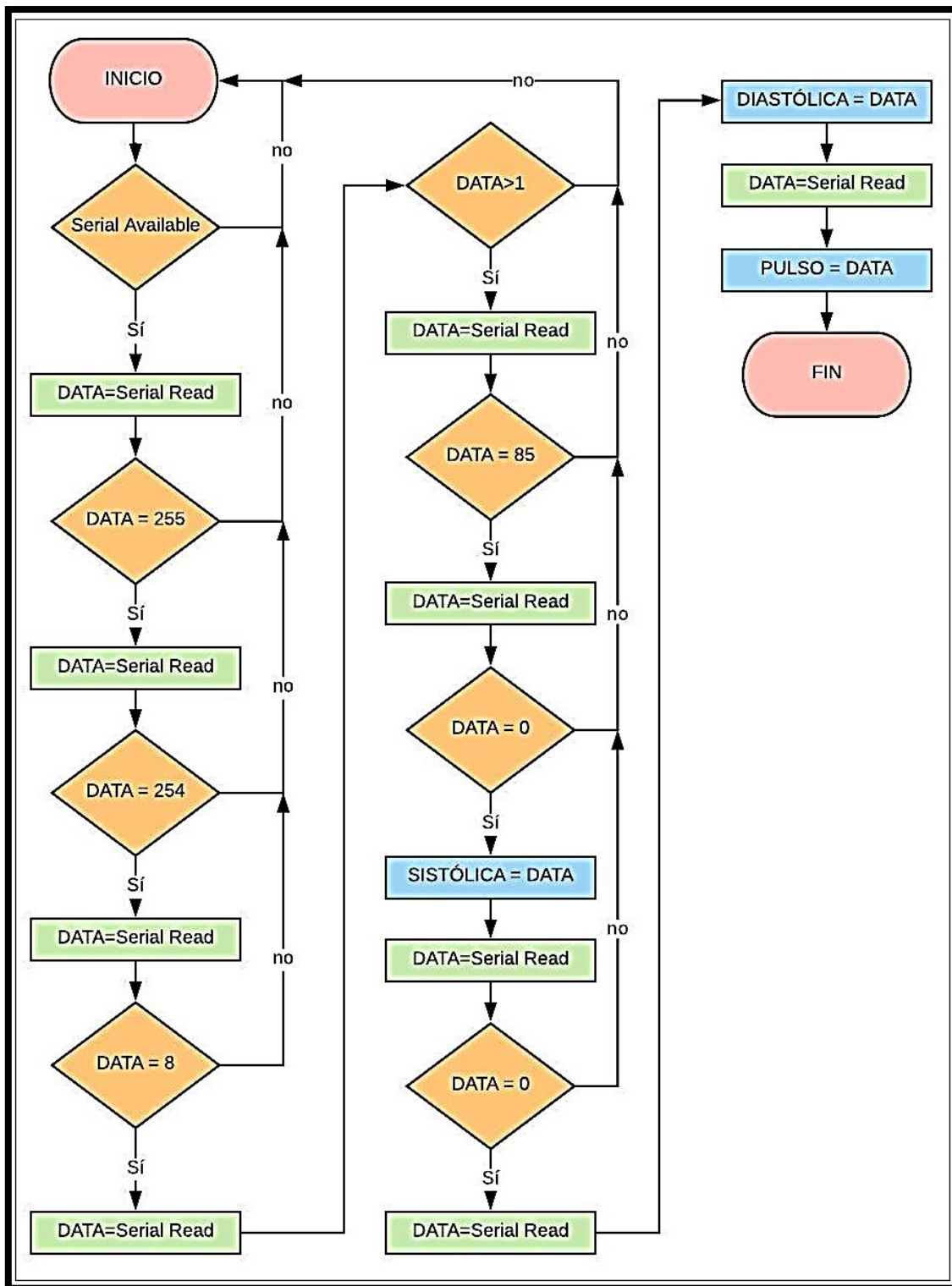
Comando AT	Función
AT	Verificación de comunicación
AT+NAME=	Definir el nombre del módulo
AT+PSWD=	Definir la contraseña para establecer la comunicación
AT+ROLE=	Definir el rol del dispositivo (maestro o esclavo)
AT+UART=	Definir la velocidad de transmisión
AT+ADDR?	Obtener la dirección MAC del módulo
AT+CMODE=0	Establecer una conexión punto a punto
AT+BIND=	Establecer una conexión con una MAC específica

Fuente. ITEAD STUDIO. HC-05 Bluetooth to Serial Port Module [en línea]. recuperado el 18 abril de 2019. Disponible en Internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/istd016A.pdf>

Luego de realizar la configuración de los módulos Bluetooth, se establece que el modulo maestro debe estar en la tarjeta de desarrollo y el modulo esclavo en el tensiómetro, sin embargo, esta asignación de roles no afecta el funcionamiento de la conexión.

**3.1.5 Captación de los datos del tensiómetro.** Con los datos obtenidos en la Tabla 8 se puede concluir que siempre que se decodifican los pulsos, la información viene en el siguiente orden: los primeros 3 valores siempre son '255', '254', '8', el cuarto valor es un dato aleatorio mayor a 1, el quinto valor es '85', el sexto valor es '0', el siguiente dato es la presión sistólica, luego envía un valor de '0' y por último el dato de presión diastólica y ritmo cardiaco. Es importante mencionar que estos datos se envían en números de tipo entero, lo que permite construir un algoritmo para leer únicamente los datos de interés. El algoritmo diseñado para captar los datos de presión arterial desde la señal codificada enviada por el tensiómetro se muestra en la Figura 25.

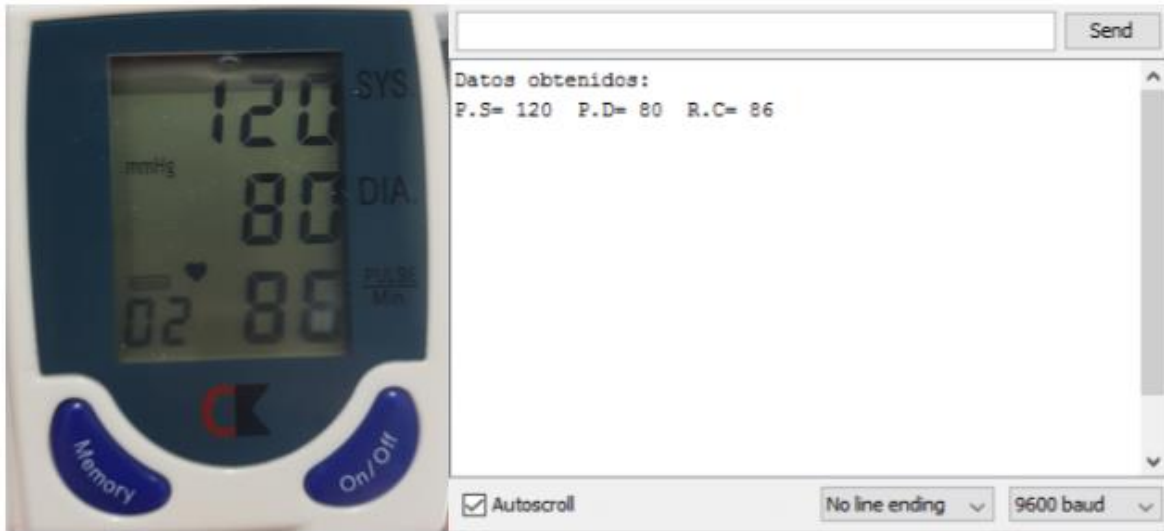
Figura 25. Diagrama de flujo del algoritmo.



Fuente. Los autores

El diagrama de flujo algoritmo mostrado en la Figura 25 se programó en el microcontrolador de la tarjeta de desarrollo para poderlos visualizar solo los datos de presión arterial, diastólica y sistólica en un monitor serial, como se observan en la Figura 26.

Figura 26. Comprobación de la transmisión.

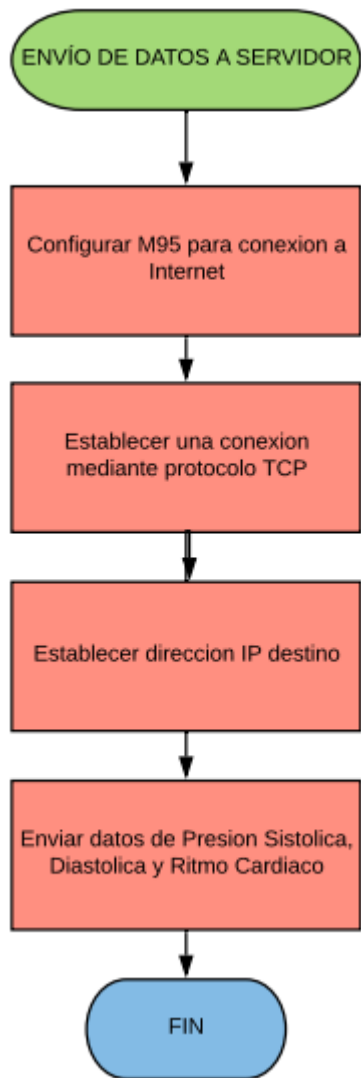


Fuente. Los autores.

### 3.1.6 Transmisión de datos entre la tarjeta de desarrollo y la base de datos.

Después de obtener los datos en la tarjeta de desarrollo, se envían a una base de datos remota la cual permite almacenar los datos del paciente, para esta transmisión se realiza una conexión TCP/IP utilizando la red celular. Esta conexión se realiza mediante el módulo M95 de Quectel. Adicional a lo anterior, en caso de recibir valores anormales de presión arterial desde el tensiómetro, se realizará el envío de una alerta a través de un SMS (Short Message Service) al celular de la persona que el usuario elija. En la Figura 27 se muestra el diagrama de flujo que representa el funcionamiento de la tarjeta de desarrollo para esta sección.

Figura 27. Diagrama de flujo para envío de datos al servidor



Fuente. Los autores

**3.1.6.1 Conexiones Shield M95.** Antes de realizar las conexiones con la tarjeta de desarrollo, la Shield M95 (ver Figura 28) se debe alimentar con un adaptador de 12 voltios a 2 amperios, debe tener una tarjeta SIM registrada en un operador con un plan de datos activo y se le debe conectar una antena de conector SMA (SubMiniature version A) que funcione en las bandas de 850, 900, 1800 y 1900 MHz, ya que son las bandas en las que opera el módulo M95 de Quectel. Una vez encendida la Shield M95, se deben definir los siguientes pines de comunicación con la tarjeta de desarrollo. En la tabla 10 se observan los pines que utiliza la Shield M95 para su funcionamiento.

Tabla 10. Pines de comunicación con la Shield M95

Pines en la tarjeta de desarrollo	Pines en la Shield M95
Pin Digital 2	Tx
Pin Digital 3	Rx
Pin Digital 4	Power Key
Pin Digital 5	Emergency Off
Pin Digital 6	Status

Fuente. SIGMA ELECTRONICA. M95 Shield para Arduino. [en línea]. recuperado el 18 abril de 2019. Disponible en Internet: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/m95-arduino/>

Conectada la Shield M95, se debe iniciar una comunicación serial con la tarjeta de desarrollo a una velocidad de 9600 Baudios, también se debe verificar el estado del pin Status, el cual debe ser “ON”. Antes de iniciar la configuración de la Shield M95, se debe confirmar que esta se encuentre recibiendo y transmitiendo información, para ello se envía desde la tarjeta de desarrollo el comando “AT” y la Shield M95 debe responder “OK”.

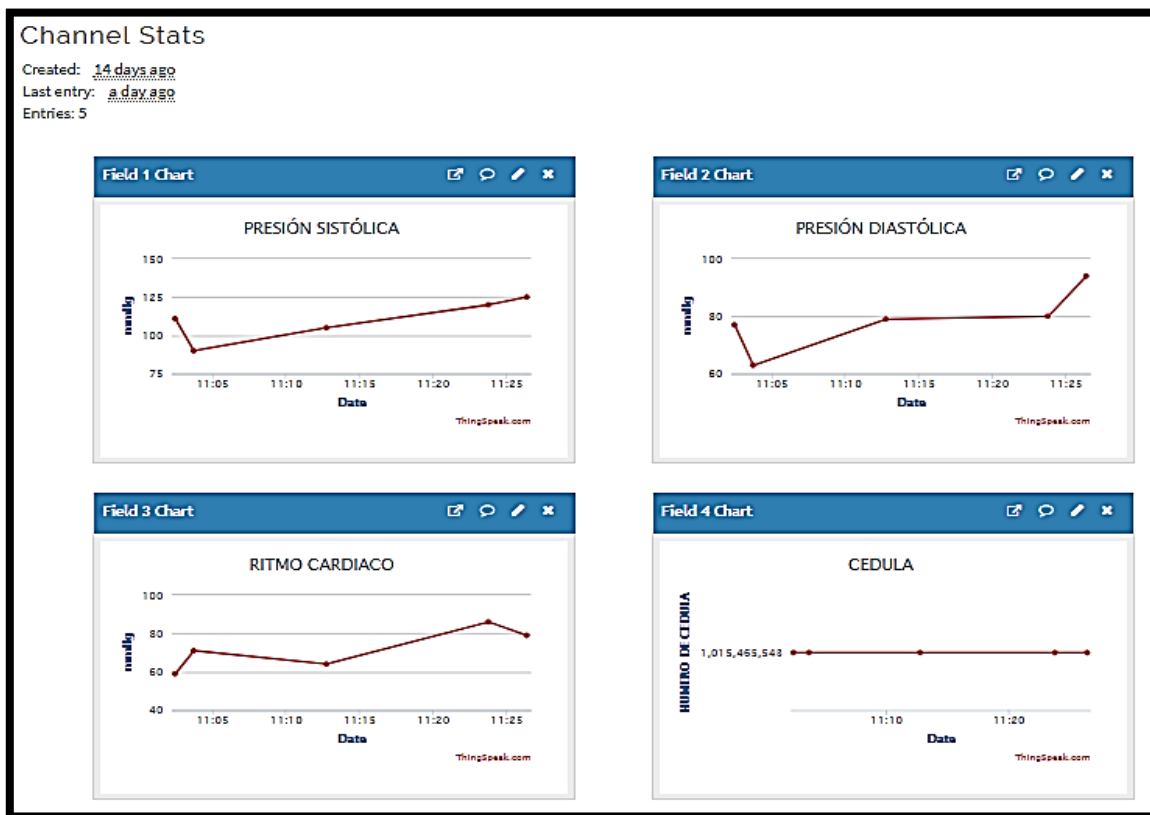
Figura 28. Shield M95 Quectel.



Fuente. Los autores.

**3.1.6.2 Recepción de información en Thingspeak.** Para el almacenamiento de los datos en Thingspeak, se creó un “Canal de información” el cual tiene la capacidad de recibir cuatro variables (presión sistólica, presión diastólica, ritmo cardiaco y cedula del paciente). Estas variables se almacenan en campos independientes, lo que facilita la visualización de los datos una vez llegan a la página web, como se muestra en la Figura 29.

Figura 29. Canal en ThingSpeak.



Fuente. Los autores.

En la Figura 29 se observa la información que ha recibido la base de datos Thingspeak donde cada punto rojo representa un valor recibido. Adicional a la información del paciente, también se puede observar información relacionada a la antigüedad del canal, el tiempo desde que llegó el último dato y el número de entradas que se han registrado, considerando que cada entrada al canal representa los tres datos relacionados a la presión arterial y la cedula del usuario.

El envío de información a la base de datos se realiza mediante el método GET, en el cual se organizan los datos en una cadena de caracteres asociados a un API key que proporciona la base de datos Thingspeak. El API key permite escribir o leer datos en el canal creado previamente, estas claves se generan de forma automática cuando se crea el canal. Para este caso Thingspeak proporcionó el siguiente API key.

Figura 30. API key generado en Thingspeak.

The image shows a web interface for generating an API key. At the top, it says "Write API Key". Below that, there is a label "Key" followed by a text input field containing the alphanumeric string "QETG195U7BLEZLRD". Underneath the input field is an orange button with the text "Generate New Write API Key".

Fuente. Los autores

Luego de conocer el API key asociado al canal creado, se organizan los datos de presión sistólica, presión diastólica, ritmo cardiaco y cedula del usuario de la siguiente manera:

*"GET https://api.thingspeak.com/update?api\_key=QETG195U7BLEZLRD&field1=" + String(Sistolica) + "&field2=" + String(Diastolica) + "&field3=" + String(Pulso) + "&field4=" + String(Cedula);*

**3.1.6.3 Configuración de conexión TCP.** Después de realizar la configuración de la base de datos y establecer la comunicación entre la tarjeta de desarrollo y la Shield M95 se procede a realizar la conexión mediante TCP/IP con la base de datos. Esto se realiza mediante los siguientes comandos AT:

Tabla 11. Comandos AT para conexión TCP

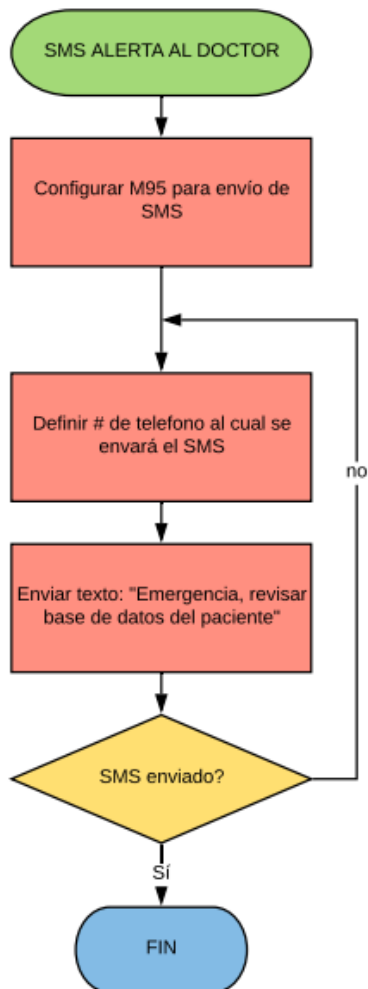
Comando AT	Función
AT+CPIN?	Verifica el PIN de la tarjeta SIM
AT+QIFCNT=0	Define un contexto para la conexión
AT+QICSGP=	Realiza la conexión con APN del operador
AT+QIDNSIP=1	Habilita escribir un Dominio o una IP
AT+QINDI=1	Configura recepción de datos TCP/IP
AT+QIOPEN=	Define el tipo de conexión, puerto y dominio
AT+QISEND	Envía datos mediante TCP
Se introduce la cadena de caracteres mencionada anteriormente.	
AT+QICLOSE	Cierra la conexión (Desactiva contexto GPRS)

Fuente. QUECTEL. M95 AT Commands Manual GSM/GPRS Module Series. [en línea]. recuperado el 18 abril de 2019. Disponible en Internet: [http://www.sigmaelectronica.net/docs/M95\\_AT\\_Commands\\_Manual\\_V1.2.pdf](http://www.sigmaelectronica.net/docs/M95_AT_Commands_Manual_V1.2.pdf)



**3.1.7 Configuración envío de SMS.** En caso de que alguno de los valores recibidos de presión sistólica, presión diastólica o ritmo cardiaco se encuentre por fuera del rango de valores considerados normales para la edad del usuario, se envía un mensaje de texto de alerta a un número celular definido por el propietario del dispositivo, este proceso se realiza mediante una serie de comandos AT enviados desde la tarjeta de desarrollo a la Shield M95. En la Figura 31 se muestra el diagrama de flujo que representa el funcionamiento de la tarjeta de desarrollo para esta sección (ver tabla 12).

Figura 31. Diagrama de flujo para envío de SMS



Fuente. Los autores

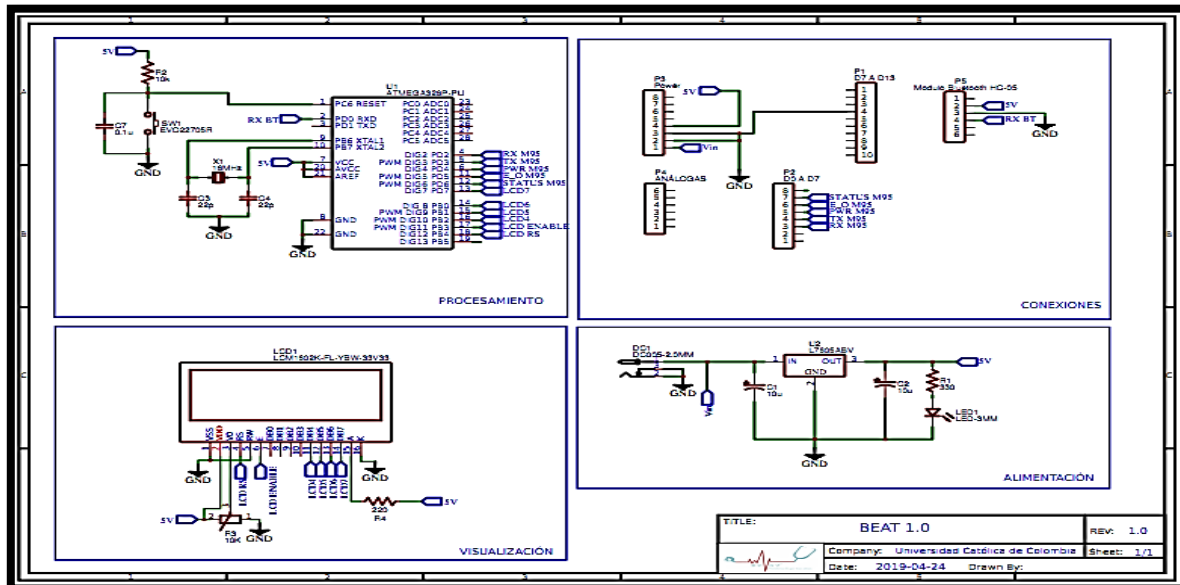
Tabla 12. Comandos AT para envío de SMS.

Comando AT	Función
AT+CMGF=1	Configura el modo texto para enviar SMS
AT+CMGS=	Lee el número de teléfono al cual se enviará el SMS
Se introduce el texto que contiene el mensaje (SMS)	
Se envía el carácter "26" el cual envía el SMS	

Fuente. QUECTEL. M95 AT Commands Manual GSM/GPRS Module Series. [en línea]. recuperado el 18 abril de 2019. Disponible en Internet: [http://www.sigmaelectronica.net/docs/M95\\_AT\\_Commands\\_Manual\\_V1.2.pdf](http://www.sigmaelectronica.net/docs/M95_AT_Commands_Manual_V1.2.pdf)

**3.1.8 Diseño de la tarjeta de desarrollo.** Para el diseño del circuito impreso se utilizó el software gratuito online EasyEDA®, el cual permite realizar el diseño y simulación de circuitos electrónicos a nivel profesional. El diseño del circuito impreso comenzó por la definición de todos los componentes necesarios en la tarjeta de desarrollo, los cuales se muestran en el diagrama esquemático de la Figura 32.

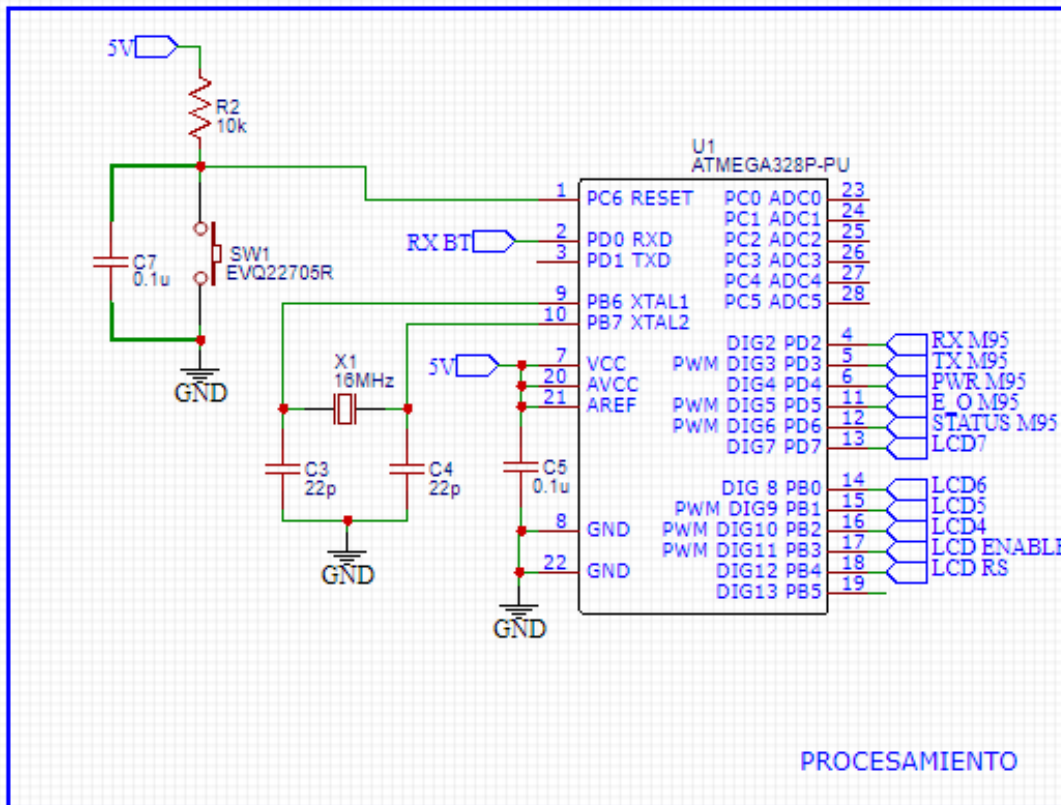
Figura 32. Diagrama Esquemático de la Tarjeta de Desarrollo



Fuente. Los Autores

En la Figura 32 se observan los 4 módulos que necesita la tarjeta de desarrollo, los cuales son procesamiento, visualización, conexiones y alimentación. En el primer módulo se conectan todos los componentes electrónicos necesarios para el correcto funcionamiento del microcontrolador ATMEGA 328P - PU. Adicional a lo anterior se definen todas las conexiones necesarias entre el microcontrolador y la Shield M95, la pantalla LCD y el modulo Bluetooth Hc-05.

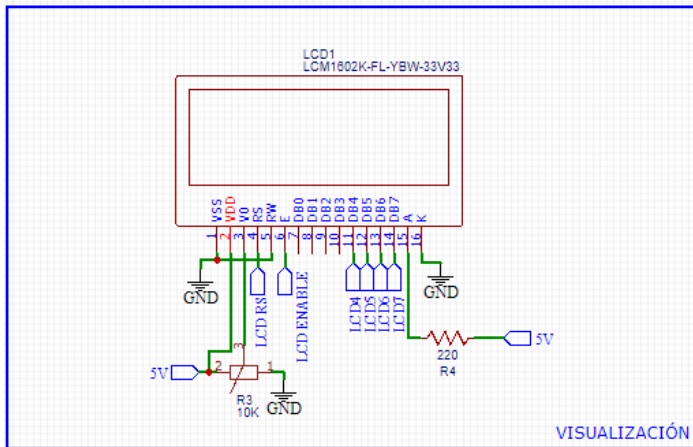
Figura 33. Módulo de procesamiento.



Fuente. Los Autores.

Para realizar la visualización del estado e información de importancia en la tarjeta de desarrollo se realiza la implementación de una pantalla LCD 2x16 la cual informará al usuario la acción que se encuentra realizando la tarjeta (toma de datos, procesamiento y envío de datos) de manera instantánea, el diagrama de conexiones de la pantalla LCD se observa en la Figura 34.

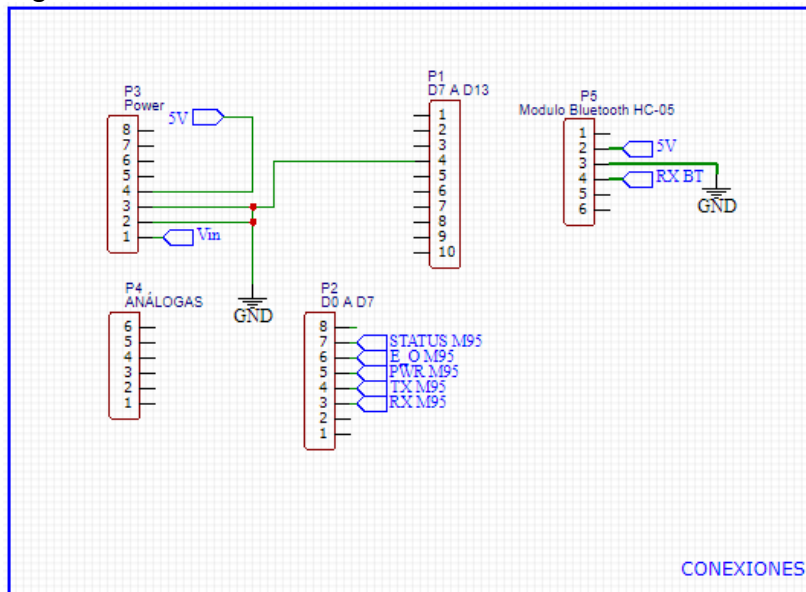
Figura 34. Módulo de Visualización.



Fuente. Los Autores.

Tanto la Shield M95, como el modulo Bluetooth HC-05 necesitan una regleta de conectores hembra para su conexión con la tarjeta de desarrollo, para ello se realizó un módulo de conexiones (ver Figura 35) que permite de manera precisa conectar y remover la Shield M95 y el Modulo Bluetooth HC-05, en caso de que sea necesario.

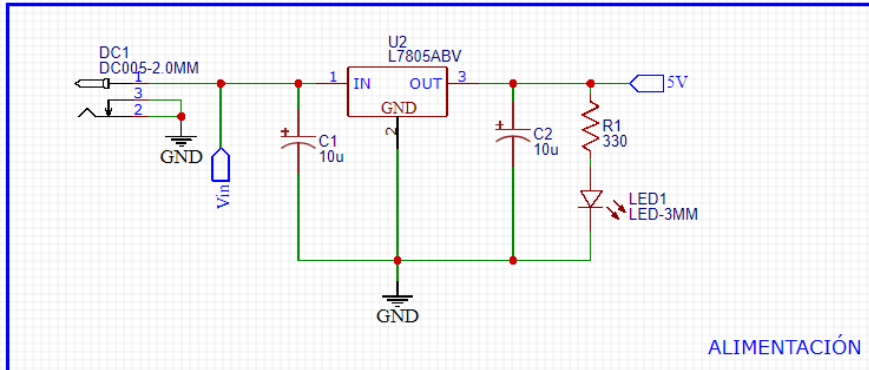
Figura 35. Módulo de Conexiones.



Fuente. Los Autores.

Por último, es necesario crear un módulo de alimentación para suministrar la alimentación que cada dispositivo presente en la tarjeta de desarrollo necesita, este módulo de alimentación se observa en la Figura 36.

Figura 36. Módulo de alimentación.



Fuente. Los Autores.

Una vez realizada la verificación del correcto funcionamiento del diagrama esquemático de la tarjeta de desarrollo, se procede a realizar el circuito impreso (PCB) con las siguientes características (ver tabla 13):

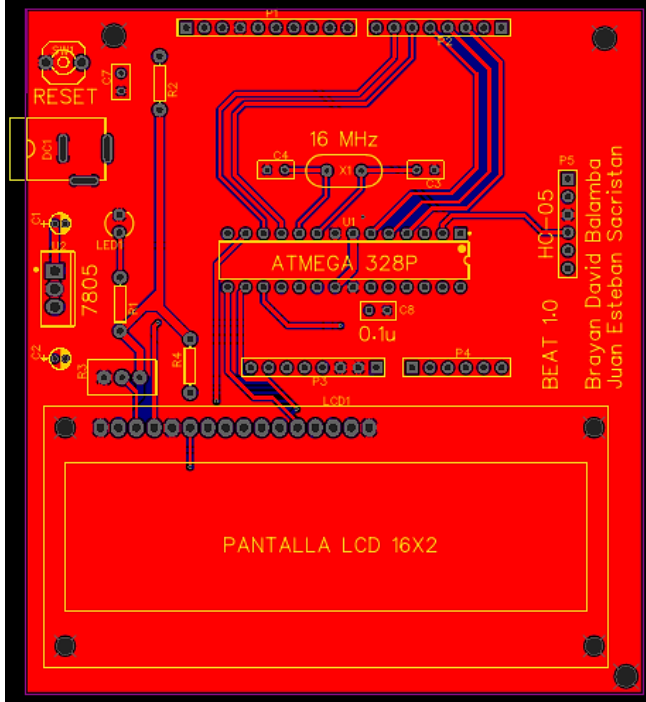
Tabla 13. Características del PCB

Numero de capas	2 capas
Tecnología de componentes	THT (Through-Hole)
Plano de GND	Por ambas capas
Color de Antisolder	Rojo
Mascara de componentes	En color Blanco
Grosor y material de la tarjeta	1.6mm; Fibra de vidrio

Fuente. Los Autores

En la Figura 37 se muestra el diseño final de la PCB, la cual cuenta con unas dimensiones de 8cm x 9cm, un grosor de 1mm en las pistas de alimentación, un grosor de 0,5mm en las pistas de datos y un plano de tierra (GND) por ambas capas.

Figura 37. Circuito impreso de la tarjeta de desarrollo.

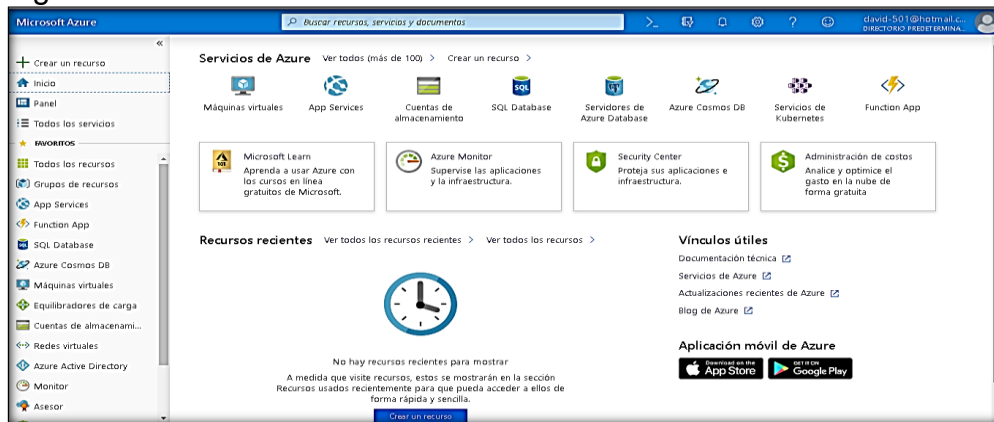


Fuente. Los autores.

### 3.1.9 Visualización de la información en Azure.

Para trabajar en esta plataforma se crea una cuenta de estudiante en Azure, una vez creada la cuenta se tiene a disposición el entorno completo que ofrece Azure, como se muestra en la Figura 38. En esta figura se muestra el inicio de la plataforma Azure, desde allí se pueden controlar, administrar y crear recursos.

Figura 38. Inicio de azure

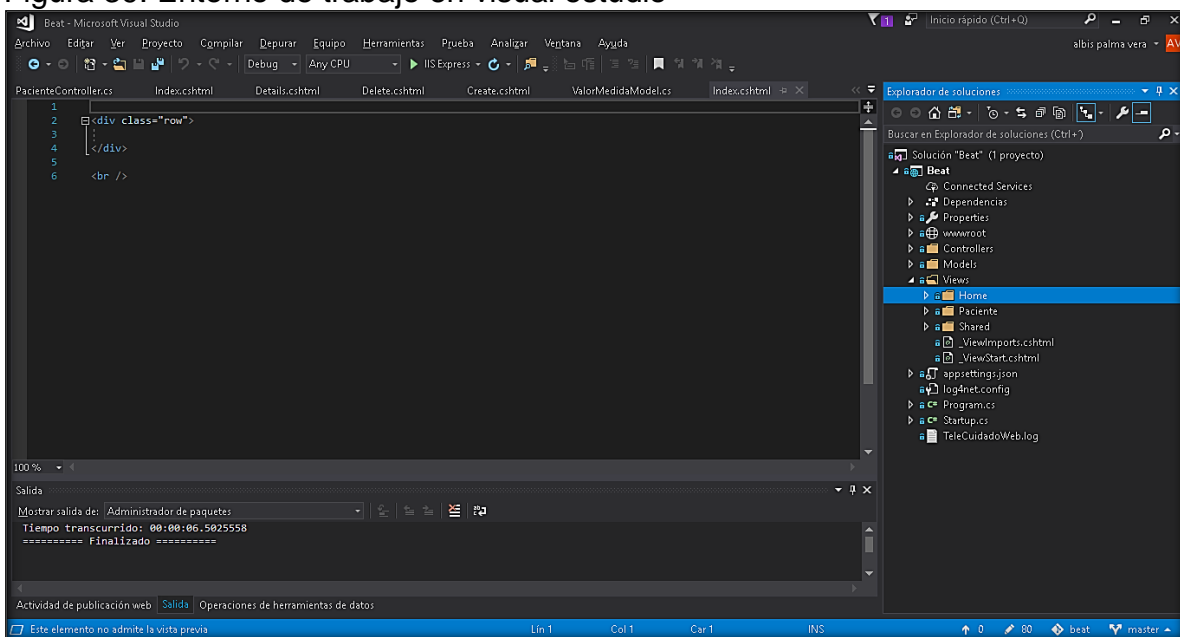


Fuente. Los autores.

Para el desarrollo web se utiliza la herramienta “app service” y se programa desde el programa visual estudio.

**3.1.9.1 Utilización de Visual Estudio.** Para este proyecto se inicia con un proyecto en .net core 2, la programación dentro de este programa se basa principalmente en controladores y modelos. En el apartado de modelos se configura lo que la aplicación va desarrollar y en el apartado de controladores se define la manera en la que va a ejecutar la acción que se determine dentro de los modelos. En la Figura 39 se muestra el entorno de trabajo en visual estudio

Figura 39. Entorno de trabajo en visual estudio



Fuente. los autores

**3.1.9.2 Creación de la página.** Para la creación de la página se descarga un formato general que se carga en la sección “Views” de visual estudio y de adapta de acuerdo a los datos que se importan, dentro de este apartado cambia la programación debido a que se utiliza el lenguaje HTML 5.

**3.1.9.3 Obtención de los datos de ThingSpeak.** En este punto desde la página web desarrollada en Azure se genera una petición GET a la página ThingSpeak para poder observar los datos almacenados allí, la petición se realiza mediante el siguiente enlace:

“GEThttps://api.thingspeak.com/channels/762178/feeds.json?api\_key=G1GZ6I4MHDWP6ZDN&results=130”

Con este enlace se solicita a la página que muestre los últimos 130 datos que tenga almacenados. Posteriormente, la página thingspeak contesta con un formato Json, el JSON recibido por la página es el siguiente (ver figura 40).

Figura 40. Formato JSON

```
{
  "created_at": "2019-05-02T16:02:27Z",
  "entry_id": 1,
  "field1": "111",
  "field2": "77",
  "field3": "59",
  "field4": "1015465543"
}
```

Fuente. los autores

Donde cada Field equivale a los siguientes datos:

- Los datos almacenados en Field1 equivalen a la presión Sistólica.
- Los datos almacenados en Field2 equivalen a la presión Diastólica.
- Los datos almacenados den fied3 equivalen al Pulso cardiaco.
- Los datos almacenados en field4 equivalen a la cedula del paciente.

ThingSpeak entrega dentro de la misma petición las diferentes tomas de tensión, cada una en un JSON diferente organizados por fecha y hora de llegada a la página. Una vez obtenido el JSON se procede a organizar los datos en una tabla para la visualización en la página web creada.



#### 4. PRUEBAS DEL FUNCIONAMIENTO

Esta sección tiene como propósito mostrar el funcionamiento del sistema de monitoreo remoto planteado. En primer lugar, el paciente debe encender la tarjeta de desarrollo y esperar que arroje el mensaje “Esperando Datos” en la pantalla LCD como se observa en la Figura 41.

Figura 41. Mensaje en pantalla LCD



Fuente. Los autores.

Luego de observar el mensaje en la pantalla de la tarjeta de desarrollo, el usuario debe encender el tensiómetro y proceder a tomarse la medición de la presión arterial teniendo en cuenta las recomendaciones mencionadas en el Anexo A. En la Figura 42 se observa la pantalla del tensiómetro con los valores de presión arterial y ritmo cardiaco, también se observa la pantalla de un celular para verificar la hora y fecha en la que se realizó la medición.

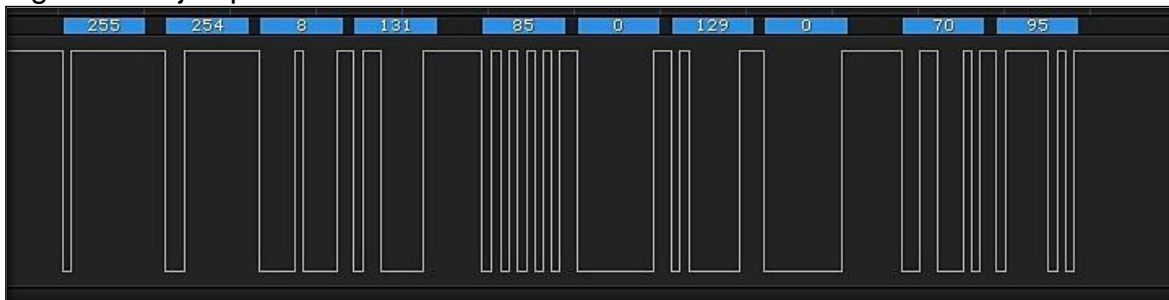
Figura 42. Datos de presión arterial



Fuente. Los autores.

Después de realizar la medición de la presión arterial, los datos se envían mediante tecnología Bluetooth de forma serial desde el tensiómetro hacia la tarjeta de desarrollo, en la Figura 43 se muestra un ejemplo de trama de datos a enviar. Una vez los datos se reciben en la tarjeta de desarrollo, el microcontrolador realiza una separación de los 3 datos que realmente se desean obtener, presión sistólica, presión diastólica y ritmo cardiaco.

Figura 43. Ejemplo trama de datos.



Fuente. Los autores

Luego de que se obtienen los datos en la tarjeta de desarrollo, esta procede a enviarlos mediante una conexión TCP/IP utilizando la infraestructura de las redes de telefonía móvil de segunda generación a la base de datos Thingspeak mediante el Modulo GSM/GPRS M95 de Quectel, un módulo que permite implementar diversos protocolos de comunicación a través de comandos AT.

Una vez la tarjeta de desarrollo muestra el mensaje “Datos Enviados” en la pantalla LCD, los datos relacionados a la presión arterial, ritmo cardiaco e identificación del paciente se envían mediante la red celular a una base de datos remota llamada Thingspeak. En la Figura 44 se evidencia la forma en la que se organizan los datos una vez llegan a Thingspeak, confirmando que son los mismos datos arrojados por el tensiómetro los cuales se asocian a la cedula del paciente y a la fecha y hora en la que se recibieron dichos datos. Cabe resaltar que la fecha y hora que usa la base de datos para relacionar los datos del usuario son del servidor de Thingspeak, el cual se encuentra 5 horas adelantado a la zona horaria en Colombia.

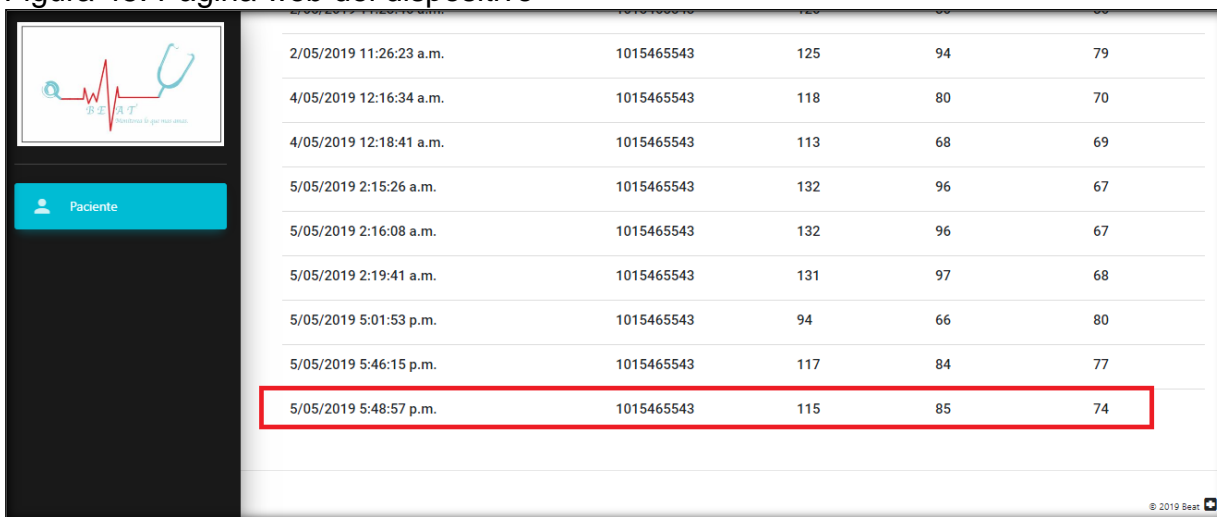
Figura 44. Datos en ThinSpeak

```
<feed>
  <created-at type="dateTime">2019-05-05T22:48:57Z</created-at>
  <entry-id type="integer">13</entry-id>
  <field1>115</field1>
  <field2>85</field2>
  <field3>74</field3>
  <field4>1015465543</field4>
</feed>
```

Fuente. Los autores

Luego de almacenar los datos de presión sistólica, presión diastólica, ritmo cardiaco y cedula del paciente en la base de datos Thingspeak, se envían a una página diseñada en Azure la cual permite visualizar el histórico de datos del paciente desde que se realizó la primera medición con el tensiómetro, hasta la actualidad, en la página web del dispositivo la información ya aparece con la zona horaria de Colombia. En la Figura 45 se observa la última muestra tomada por el usuario, la cual certifica la hora y fecha en la que se realizó la medición.

Figura 45. Página web del dispositivo



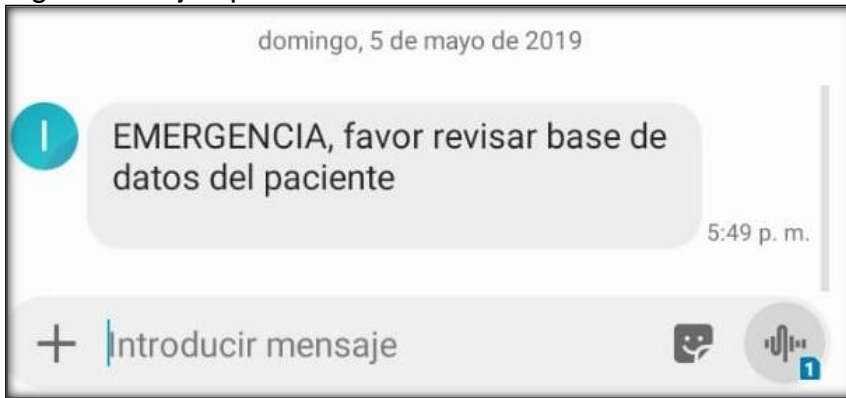
2/05/2019 11:26:23 a.m.	1015465543	125	94	79
4/05/2019 12:16:34 a.m.	1015465543	118	80	70
4/05/2019 12:18:41 a.m.	1015465543	113	68	69
5/05/2019 2:15:26 a.m.	1015465543	132	96	67
5/05/2019 2:16:08 a.m.	1015465543	132	96	67
5/05/2019 2:19:41 a.m.	1015465543	131	97	68
5/05/2019 5:01:53 p.m.	1015465543	94	66	80
5/05/2019 5:46:15 p.m.	1015465543	117	84	77
5/05/2019 5:48:57 p.m.	1015465543	115	85	74

Fuente. Los autores.

Finalmente, en caso de que el valor de presión sistólica del usuario se encuentre por encima de 150 mmHg (milímetros de mercurio), o el valor de presión diastólica

se encuentre por encima de 100 mmHg, el microcontrolador realiza la configuración y conexión del módulo M95 a la red GSM para realizar el envío de un mensaje de texto (SMS) de alerta al número definido por el paciente a la hora de adquirir el dispositivo, este mensaje se observa en la Figura 46.

Figura 46. Ejemplo de SMS de alerta.



Fuente. Los autores

## 5. VALIDACIÓN DEL DISPOSITIVO

En esta sección se realizan las pruebas que validan el correcto funcionamiento del prototipo de monitoreo de presión arterial remoto. En primera instancia se validan los datos que arroja el tensiómetro CK mediante una comparación con un tensiómetro certificado marca Omron HEM-7130, posteriormente, se valida que la información mostrada en la pantalla del tensiómetro CK sea la misma que llega a la tarjeta de desarrollo y finalmente, se validan diferentes aspectos en la transmisión de datos y mensajes de texto (alertas) mediante la red celular.

### 5.1 VALIDACIÓN DE LOS DATOS DEL TENSÍOMETRO.

Para realizar la validación de los datos del tensiómetro se realizó una comparación entre los datos mostrados por el tensiómetro marca CK y los mostrados por el tensiómetro marca Omron. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la toma de la tensión arterial usando ambos tensiómetros a un grupo de 5 personas (ver tabla 14,15).

Tabla 14. Datos del tensiómetro marca CK.

	Presión Sistólica (mmHg)	Presión Diastólica (mmHg)	Ritmo Cardíaco (bpm)
Persona 1	106	69	75
Persona 2	102	69	66
Persona 3	103	70	71
Persona 4	135	87	59
Persona 5	120	80	86

Fuente. Los autores

Tabla 15. Datos tensiómetro marca Omron

	Presión Sistólica (mmHg)	Presión Diastólica (mmHg)	Ritmo Cardíaco (bpm)
Persona 1	105	67	78
Persona 2	100	65	61
Persona 3	106	70	75
Persona 4	131	84	63
Persona 5	122	83	86

Fuente. Los autores

De los resultados arrojados por los tensiómetros usados puede concluirse que los datos de presión sistólica, diastólica y ritmo cardíaco son similares, existen variaciones de máximo +/- 5 puntos entre las medidas. En la Figura 47 se observa el ejemplo de las mediciones realizadas a la Persona 1.

Figura 47. Comparación mediciones entre tensiómetros.



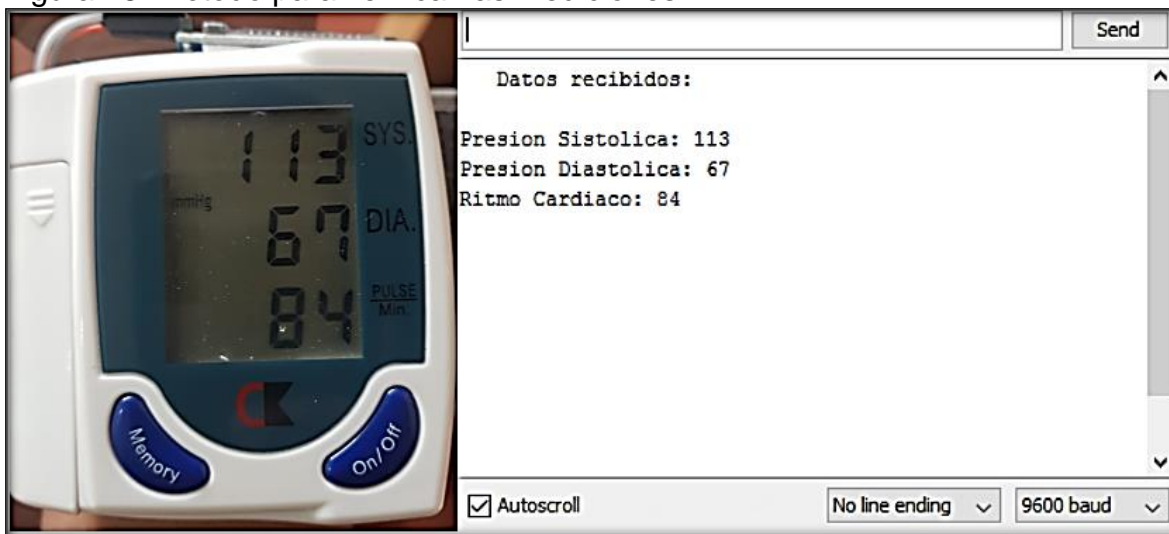
Fuente. Los autores.

## 5.2 VALIDACIÓN DE TRANSMISIÓN ENTRE EL TENSIÓMETRO Y LA TARJETA DE DESARROLLO.

Para llevar a cabo la validación de la transmisión de los datos entre el tensiómetro y la tarjeta de desarrollo, se tomaron en cuenta dos factores, el primer factor consiste en determinar la distancia máxima a la cual la tarjeta de desarrollo es capaz de recibir los datos emitidos por el tensiómetro. El segundo factor consiste en verificar que los datos de presión sistólica, diastólica y ritmo cardiaco obtenidos por el tensiómetro sean los mismos que recibe y procesa la tarjeta de desarrollo.

Para determinar la distancia máxima de transmisión entre el tensiómetro y la tarjeta de desarrollo se realizaron una serie de pruebas, en la cuales se toma la tensión arterial en un individuo a diferentes distancias, posteriormente estos datos recogidos en la tarjeta de desarrollo se comparan con los mostrados en la pantalla del tensiómetro. En la Figura 48 se observa el método por el cual se busca comprobar que los datos arrojados por el tensiómetro son los mismos que recibe la tarjeta de desarrollo.

Figura 48. Método para verificar las mediciones.



Fuente los autores.

Este método consiste en verificar la conexión de los módulos Bluetooth y mostrar los datos que recibe la tarjeta de desarrollo desde el tensiómetro mediante un monitor serial. A continuación, se observan los datos tomados por el tensiómetro y recibidos por la tarjeta de desarrollo a diferentes distancias.

Tabla 16. Mediciones en línea de vista sin obstáculos.

Distancia en metros	Valores en el tensiómetro			Valores en la tarjeta de desarrollo		
	Sistólica (mmHg)	Diastólica (mmHg)	Pulso (bpm)	Sistólica (mmHg)	Diastólica (mmHg)	Pulso (bpm)
2	132	96	67	132	96	67
4	131	97	68	131	97	68
6	94	66	80	94	66	80
8	117	84	77	117	84	77
10	115	85	74	115	85	74
12	126	81	65	NO REGISTRA		

Fuente. Los autores

De la Tabla 16 se puede concluir que la tarjeta de desarrollo está en capacidad de recibir datos provenientes del tensiómetro a una distancia de hasta diez metros (10m) con línea de vista directa. Luego de realizar las pruebas en línea recta, se repitió el mismo procedimiento con obstáculos, lo que arrojó los siguientes datos:

Tabla 17. Medición con obstáculos.

Distancia en metros	Valores en el tensiómetro			Valores en la tarjeta de desarrollo		
	Sistólica (mmHg)	Diastólica (mmHg)	Pulso (bpm)	Sistólica (mmHg)	Diastólica (mmHg)	Pulso (bpm)
1	101	63	62	101	63	62
2	114	82	75	114	82	75
3	112	79	75	112	79	75
4	112	79	70	112	79	70
5	116	79	80	NO REGISTRA		

Fuente. Los autores

De la Tabla 17 se puede concluir que, a diferencia de la medición en línea sin obstáculos, la distancia máxima en la cual la tarjeta de desarrollo se encuentra en



capacidad de recibir datos provenientes del tensiómetro se reduce a cuatro metros (4m). Como conclusión de las pruebas realizadas se puede afirmar que los datos medidos por el tensiómetro son igual a los recibidos por la tarjeta de desarrollo, bajo condiciones de distancia y obstáculos especificados en las Tablas 16 y 17. Resultados esperados dadas las características del protocolo de comunicación Bluetooth.

### 5.3 VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN ENTRE EL TENSÍOMETRO, LA PÁGINA WEB Y LA BASE DE DATOS

En este apartado se busca corroborar que la información recibida por la base de datos desde el tensiómetro es la misma que se visualiza en la página web. Para ello se realizó una comparación entre la información dada por el tensiómetro, la almacenada en la base de datos y la visualizada en la página web. En la Figura 49, el recuadro Verde corresponderán al recuadro de la figura 50 y 51, lo mismo se utilizará para los recuadros de color rojo, azul y amarillo, respectivamente. También se observan las mediciones tomadas por el tensiómetro y en las Figuras 50 y 51 se observan las ultimas 4 mediciones almacenadas en la base de datos Thingspeak y visualizadas en la página web respectivamente.

Figura 49. Comprobación de información base de datos.



Fuente. Los autores

Figura 50. Comprobación de la información base de datos.

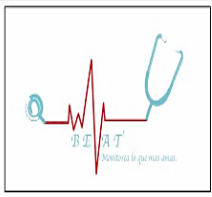

```

<feed>
  <created-at type="dateTime">2019-05-06T19:25:28Z</created-at>
  <entry-id type="integer">14</entry-id>
  <field1>101</field1>
  <field2>63</field2>
  <field3>62</field3>
  <field4>1015465543</field4>
</feed>
<feed>
  <created-at type="dateTime">2019-05-06T23:39:46Z</created-at>
  <entry-id type="integer">15</entry-id>
  <field1>114</field1>
  <field2>82</field2>
  <field3>75</field3>
  <field4>1015465543</field4>
</feed>
<feed>
  <created-at type="dateTime">2019-05-06T23:41:40Z</created-at>
  <entry-id type="integer">16</entry-id>
  <field1>112</field1>
  <field2>79</field2>
  <field3>75</field3>
  <field4>1015465543</field4>
</feed>
<feed>
  <created-at type="dateTime">2019-05-06T23:44:34Z</created-at>
  <entry-id type="integer">17</entry-id>
  <field1>112</field1>
  <field2>79</field2>
  <field3>70</field3>
  <field4>1015465543</field4>
</feed>

```

Fuente. Los autores

Figura 51. Comprobación de información página web.

  Paciente	5/05/2019 2:16:08 a.m.	1015465543	132	96	67
	5/05/2019 2:19:41 a.m.	1015465543	131	97	68
	5/05/2019 5:01:53 p.m.	1015465543	94	66	80
	5/05/2019 5:46:15 p.m.	1015465543	117	84	77
	5/05/2019 5:48:57 p.m.	1015465543	115	85	74
	6/05/2019 2:25:28 p.m.	1015465543	101	63	62
	6/05/2019 6:39:46 p.m.	1015465543	114	82	75
	6/05/2019 6:41:40 p.m.	1015465543	112	79	75
6/05/2019 6:44:34 p.m.	1015465543	112	79	70	

Fuente. Los autores

En las Figuras 50 y 51 se encuentran relacionados con colores los últimos 4 datos almacenados en Thingspek y visualizados en la página web, se puede concluir que tanto la información recibida por la base de datos como la visualizada por el usuario en la página web son congruentes. Como dato a considerar es importante resaltar que la hora del servidor mostrada en la Figura 50 está configurada a una diferente zona horaria por lo cual al revisar la hora en la base de datos esta se encuentra adelantada cinco horas con respecto a la zona horaria de Colombia.

Adicional a lo anterior, en la Tabla 18 fueron registrados los tiempos que tarda en enviarse la información a la base de datos una vez es recibida por la tarjeta de desarrollo desde el tensiómetro.

Tabla 18. Tiempo de transmisión de información.

Mediciones	Valores de presión arterial (mmHg)			Hora medición (H:M:S)	Hora recibida (H:M:S)	Tiempo de envío (s)
1	132	96	67	2:15:50	2:16:08	18
2	101	63	62	14:25:08	14:25:28	20
3	114	82	75	18:39:24	18:39:46	22
4	112	79	75	18:41:18	18:41:40	22
5	112	79	70	18:44:11	18:44:34	23

Fuente. Los autores.

De la Tabla 18 puede concluirse, que el tiempo que transcurre entre el envío de la información a la base de datos desde la tarjeta de desarrollo es de segundos, entre 18 y 23 segundos, también se puede observar que la primera medición registrada en la Tabla 18 es la que menor tiempo tiene de transmisión de información, esto se debe a que en horas de la madrugada el tráfico de la red mediante la cual se envía la información es mucho menor comparado con las otras mediciones.

## 6. DESCRIPCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Tabla 20. Costos del proyecto

<b>ITEM</b>	<b>Valor Final (COP)</b>
<b>Arduino UNO R3</b>	\$ 90.000
<b>Shield GSM M95 Arduino</b>	\$ 95.500
<b>Antena GSM</b>	\$ 10.000
<b>Adaptador 110V12V; 2A</b>	\$ 35.000
<b>Módulos Bluetooth HC-05 (2 módulos)</b>	\$ 52.000
<b>Tensiómetro de brazo digital</b>	\$ 120.000
<b>Tensiómetro de muñeca digital</b>	\$ 60.000
<b>Analizador Lógico imitación Sealee</b>	\$ 45.500
<b>Diseño PCB (3 unidades)</b>	\$ 100.000
<b>Componentes PCB</b>	\$ 50.000
<b>Valor Total</b>	\$ 658.000

Fuente. Los Autores

## 7. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este proyecto de grado se pudo concluir que existen diferentes mecanismos para el seguimiento y control de la presión arterial, algunos invasivos y otros no invasivos, de los cuales para el desarrollo del sistema se optó por utilizar un tensiómetro digital de muñeca cuyo método para la toma de la presión arterial es no invasivo, lo que le permite al usuario desde la comodidad de su casa realizar las mediciones de su presión arterial sin la necesidad de un profesional en el área de la salud presente.

A pesar de que existen en el mercado diferentes dispositivos para la medición de presión arterial, como los tradicionales tensiómetros de brazo y muñeca, estos dispositivos son informativos. Por otro lado, otros dispositivos como relojes o aplicaciones para smartphones miden el ritmo cardiaco no la presión arterial, los datos tomados pueden variar de acuerdo al movimiento, temperatura, entre otras variables. En los casos anteriormente mencionados, las medidas son, en general, informativos, es decir la información de presión arterial o ritmo cardiaco es almacenada, pero no es usada para tomar acciones inmediatas sobre la salud del paciente.

En cuanto a la transmisión de la información, se pudo concluir que debido a las tecnologías y protocolos que se utilizaron para la realización del proyecto de grado, se garantiza que la información no será modificada en su transmisión, también se puede concluir que una vez el usuario realiza la medición de su presión arterial, los datos se pueden consultar en un tiempo de máximo un minuto posterior a la medición en la página web. Para el envío de SMS de alerta se concluyó que el SMS se tarda un tiempo máximo de 2 minutos en llegar a su destino, en la Figura 46 se observa la hora de llegada del SMS de alerta en donde se evidencia que no alcanza a llegar al tiempo mencionado anteriormente, lo que permite realizar un monitoreo oportuno en casos de emergencia.

Para la visualización de la información, el uso de la plataforma de Azure permite consultar los datos clínicos del paciente desde cualquier computador con acceso a internet, lo que facilita el monitoreo de datos a la hora de consultarlos. En cuanto al almacenamiento, el uso de la plataforma Thingspeak permite un almacenamiento de hasta 3 millones de datos de manera gratuita, razón por la cual fue utilizada en este proyecto como plataforma de almacenamiento en la nube.

En cuanto a la validación del dispositivo, se pudo concluir que la implementación de la tecnología Bluetooth para el envío de información entre el tensiómetro y la tarjeta de desarrollo se puede realizar a una distancia de hasta 10 metros en línea de vista y en una distancia de hasta 5 metros sin línea de vista. También se puede concluir que la utilización de la red celular para el envío de la información garantiza la movilidad del dispositivo, mientras se tenga cobertura de la red celular la tarjeta de desarrollo podrá enviar información a la base de datos sin ningún inconveniente.

Por último, se puede concluir que el desarrollo de este dispositivo permite una alternativa eficiente para el control de pacientes que sufran hipertensión arterial, lo anterior mediante un almacenamiento ordenado de la información, una interfaz amigable y de fácil uso y un sistema de alertas en caso de obtener valores anormales de presión arterial.

## 8. TRABAJOS FUTUROS

Al finalizar la elaboración de este proyecto con el fin de complementar lo planteado a lo largo del documento, se sugiere lo siguiente:

- Para la captación de los datos de presión arterial, en lugar de adecuar un tensiómetro comercial para realizar el envío de los datos a la tarjeta de desarrollo, se puede realizar el tensiómetro incluido en el mismo el circuito impreso (tarjeta de desarrollo), lo que permitiría un dispositivo más compacto y fácil de utilizar.
- Crear una base de datos propia para realizar el almacenamiento de la información del paciente. Lo anterior permitiría desarrollar una página web que pueda ofrecer el monitoreo a varios pacientes mediante una misma página web.
- Diseñar una aplicación para dispositivos móviles donde se pueda visualizar la información relacionada a la presión arterial del paciente.
- Considerar la implementación de más datos biomédicos (oscilometría, glucosa, etc.) para así controlar diferentes enfermedades crónicas.

## BIBLIOGRAFÍA

ABRAMOVICH Carlos, POZZOBON Kharella. Diseño e implementación de un prototipo de sistema remoto automatizado para la monitorización de la presión arterial [tesis]. Caracas, Venezuela. Universidad Católica Andrés Bello. 2013 [En línea.] Recuperado el 10 de febrero de 2019. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7492.pdf>

AMAZON. Amazon EC2. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <https://aws.amazon.com/es/ec2/>

AMERICAN NATIONAL STANDARD. ANSI/AAMI/ ISO 81060-2. Non-Invasive Sphygmomanometers. Part 2: Clinical Validation of Automated Measurement Type. Arlington, VA: Association for the Advancement of Medical Instrumentation [En línea.] Recuperado el 27 de abril de 2019. Disponible en internet. [http://my.aami.org/aamiresources/previewfiles/8106002\\_1306\\_preview.pdf](http://my.aami.org/aamiresources/previewfiles/8106002_1306_preview.pdf)

ARDUINO UNO . descripción de dispositivos de arduino [En línea]. consultado el 26 de mayo de 2019. Disponible en:

ATMEL. Datasheet atmega328P. [En línea]. Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/datasheetATMEGA328-P-PU.pdf>

Biscontini T. Bluetooth. En: Salem Press Encyclopedia of Science. 2015. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=87322980&lang=es&site=eds-live>.

Biscontini T. Wi-Fi. En: Salem Press Encyclopedia of Science. 2015. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=87322980&lang=es&site=eds-live>.

BLAYA, J. A., FRASER, H. S. Y HOLT, B. HEALTH AFFAIRS, E- Health Tchnologies Show. [en línea]. Recuperado el 19 de agosto de 2018. Disponible en Internet: <https://www.healthaffairs.org/doi/10.1377/hlthaff.2009.0894>

BLAYA, Joaquin A; FRASER, Hamish S.F y HOLT, Brian. E-Health Technologies Show Promise In Developing Countries. 2010. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <https://www.healthaffairs.org/doi/pdf/10.1377/hlthaff.2009.0894>



BUDI DWI Satoto. Wireless Health Monitoring for Chronic Hypertension Community. Journal of Engineering Research and Application. 2017. Volumen 7. P30–37.[En línea.] Recuperado el 18 de Agosto de 2018. Disponible en internet [https://www.academia.edu/36305789/Wireless\\_Health\\_Monitoring\\_for\\_chronic\\_hypertension\\_community](https://www.academia.edu/36305789/Wireless_Health_Monitoring_for_chronic_hypertension_community)

CAICEDO, Juan Manuel. GUTIERREZ, Edgar, CORREA, Karin. Sistema de transmisión de señales biomédicas a través del servicio general de paquetes vía radio gprs. Julio 18 de 2014. [En línea.] Recuperado el 20 de octubre de 2018. Disponible en [https://www.academia.edu/28097832/Sistema\\_de\\_transmisi%C3%B3n\\_de\\_se%C3%B1ales\\_biom%C3%A9dicas\\_a\\_trav%C3%A9s\\_del\\_servicio\\_general\\_de\\_paquetes\\_v%C3%ADa\\_radio\\_gprs](https://www.academia.edu/28097832/Sistema_de_transmisi%C3%B3n_de_se%C3%B1ales_biom%C3%A9dicas_a_trav%C3%A9s_del_servicio_general_de_paquetes_v%C3%ADa_radio_gprs)

CAÑAVERAL BASTILAS, Darío Javier. ITAS BENAVIDES, Alfredo Fernando. Diseño y construcción de un dispositivo electrónico para la adquisición de señales bioeléctricas de electrocardiografía y presión arterial. Quito, universidad politécnica salesiana sede quito, febrero del 2014 [En línea]. Recuperado el 10 de febrero de 2019. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6333>

CEDIEL ANGEL, Ricardo. Semiología Medica. 7 edición. Bogotá D.C: Celsus, 2012, p 88 - 94.

CERASO, Daniel. Hipotensión Arterial y Shock. En: UTI Hospital Juan A. Fernández, Buenos Aires, Argentina. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <http://www.fac.org.ar/scvc/llave/PDF/cerasoe.PDF>

CLÍNICA MAYO. Presión arterial baja (hipotensión). [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/low-blood-pressure/symptoms-causes/syc-20355465>

CUENTA DE ALTO COSTO, Boletín de información técnica especializada, mayo 17 de 2018. PAG 8. [En línea.] Recuperado el 1 septiembre de 2018. Disponible en internet. [https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co\\_2018\\_05\\_16\\_BolTec\\_V4N08\\_DM\\_Hipertension\\_v.0.0.pdf](https://cuentadealtocosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co_2018_05_16_BolTec_V4N08_DM_Hipertension_v.0.0.pdf)

EVANS, Dave. Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. En: Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Abril del 2011. [En línea]. Recuperado en 15/08/2018. Disponible en: [https://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf)

FANG Yanan, LU Xinghua, LI Huaiz. Real-time Health Information Acquisition and Alarm System Based on Bluetooth and GPRS Communication Technologies. 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics October 8-11, 2006, Taipei, Taiwa. [En línea.] Recuperado 30 de agosto de 2018. Disponible en internet. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4274658>

FORBES. The Top 5 Cloud-Computing Vendors: #1 Microsoft, #2 Amazon, #3 IBM, #4 Salesforce, #5 SAP [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://www.forbes.com/sites/bobevans1/2017/11/07/the-top-5-cloud-computing-vendors-1-microsoft-2-amazon-3-ibm-4-salesforce-5-sap/#6f87a9556f2e>

Fundación Colombiana del Corazón. Boletín de información técnica especializada. [en línea]. Recuperado el 19 de agosto de 2018. Disponible en Internet: [https://cuentadealcosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co\\_2018\\_05\\_16\\_BolTec\\_V4N08\\_DM\\_Hipertension\\_v.0.0.pdf](https://cuentadealcosto.org/site/images/Publicaciones/boletines/2018/CAC.Co_2018_05_16_BolTec_V4N08_DM_Hipertension_v.0.0.pdf)

FUNDACIONCONSALUD. Los 8 mejores tensiómetros de 2018/2019. [en línea]. Recuperado el 18 abril de 2019. Disponible en Internet: <http://www.medicaexpo.es/prod/hangzhou-sejoy-electronics-instruments/product-68689-749813.html>

GOMEZ, Jorge. OVIEDO, Byron. ZHUMA, Emilio. Patient Monitoring System Based on Internet of Things. The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies [En línea] Recuperado el 30 de octubre de 2018. Diponible en internet: [https://www.academia.edu/25563319/The\\_7th\\_International\\_Conference\\_on\\_Ambient\\_Systems\\_Networks\\_and\\_Technologies\\_ANT\\_2016\\_Patient\\_Monitoring\\_System\\_Based\\_on\\_Internet\\_of\\_Things](https://www.academia.edu/25563319/The_7th_International_Conference_on_Ambient_Systems_Networks_and_Technologies_ANT_2016_Patient_Monitoring_System_Based_on_Internet_of_Things)

Google. Google Cloud IoT. [En línea]. [consultado 27/08/2018]. Disponible en: <https://cloud.google.com/solutions/iot/>

HARINI, R. RAMA, Murthy. Development of a Wireless Blood Pressure Monitoring System by Using Smartphone. IJARECE. 2017. Volumen 6. P [En línea.] Recuperado el 18 de agosto de 2018. Disponible en internet. [http://ijarece.org/?page\\_id=3418](http://ijarece.org/?page_id=3418)

HEATH, Steve. Embedded systems design. En: EDN series for design engineers, Newnes. 2003. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <http://read.pudn.com/downloads158/ebook/707037/Embedded%20Systems%20Design%20-%20ed%20-%200750655461.pdf>

HIPERTENSIÓN ARTERIAL, la primera causa de muerte y discapacidad en el mundo 11 de abril 2018. [En línea] Recuperado el 18 de agosto de 2018. Disponible en internet: <http://www.husi.org.co/el-husi-hoy/hipertension-arterial-la-primera->

causa-de-muerte-y-discapacidad-en-el-mundo

HUANG TIANYE, CHENG ZHUO, YUAN QUAN, LU ZHUOWEI, LI LINFAN, ZHOU HUANG, 21 de mayo 2018. Intelligent hemodynamometer based on NB-IoT network. [En línea. ]Revisado 19 de agosto 2018. Disponible en internet: <https://app.patentinspiration.com/#/patent/CN108056767A>

ILHAN, Ilhan. YILDIZ, Ibrahim. KAYRAK, Mehmet. Development of A Wireless Blood Pressure Measuring Device with Smart Mobile Device. Konya, Turquía. Necmettin Erbakan University. 2015 [En línea.] Recuperado el 20 de septiembre de 2018. Disponible en internet. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2895304>

JIE WAN, Munassar . et al. Wearable lot Enabled Real-Time Health Monitoring System. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. 2018. P 30–37. [En línea.] Recuperado el 3 de febrero de 2019. Disponible en <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-018-1308-x>

KUMAR N, et al. A content analysis of smartphone-based applications for hypertension management. J Am Soc Hypertens 2015 Feb [En línea.] Recuperado 27 de abril 2019. Disponible en internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25660364>

LIGA COLOMBIANA CONTRA EL INFARTO Y LA HIPERTENSION. Decálogo para controlar la hipertensión. [En línea.] Recuperado el 15 de septiembre 2018. Disponible en internet. <http://colombiacorazon.com/decalogo-para-controlar-la-hipertension/>

LUKÉN, Chao; ORTEGA, et al. Síncope e hipotensión ortostática. En: Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/revcubmedinteme/cie-2012/cie122f.pdf>

MEDICALEXPO. Tensiómetro electrónico automatico de brazo bsp12. [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019 Disponible en internet. <http://www.medicalexpo.es/prod/hangzhou-sejoy-electronics-instruments/product-68689-749813.html>

MERCADO LIBRE COLOMBIA. Tensiómetro de muñeca ck [en línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-461597287-tensio-metro-digital-ck-de-muneca-para-presion-arterial-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-461597287-tensio-metro-digital-ck-de-muneca-para-presion-arterial-_JM?quantity=1)

MICROSOFT AZURE. App service. [En línea.] recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://azure.microsoft.com/es-es/pricing/details/app-service/windows/>

MICROSOFT AZURE. Cuenta gratuita para estudiantes. [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://azure.microsoft.com/es-es/free/free-account-students-faq/>

Microsoft. Microsoft Azure, ¿Qué es Azure?. [En línea]. Recuperado en 27/08/2018. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-is-azure/>

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL-COLCIENCIAS. Guía de práctica clínica, hipertensión arterial primaria (HTA), N°18. 2013. [En Línea]. Recuperado en 17 de septiembre de 2018. Disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC\\_Completa\\_HTA.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IETS/GPC_Completa_HTA.pdf)

MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL-COLCIENCIAS. Guía de práctica clínica, hipertensión arterial primaria (HTA) Guía N°18 abril de 2013.

O'BRIEN, E. et al. An outline of the revised British Hypertension Society protocol for the evaluation of blood pressure measuring devices. *Journal of Hypertension* 1993 Jun. [En línea] Recuperado el 27 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8397248>

OMRON. Monitor de tensión arterial de brazo automático. [En línea.] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://omronhealthcare.la/recs/static/especificaciones/hem-7130.pdf>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. La hipertensión arterial como problema de salud comunitario - Manual de normas operativas para un programa de control en los diferentes niveles de atención. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/173963/La%20hipertension%20arterial%20como%20problema%20de%20salud%20comunitario.pdf;jsessionid=72791B845D59A58B2F1860A4D88F1C3B?sequence=1>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Septiembre 2015. [En línea] Recuperado el 17 de agosto de 2018. Disponible en internet. <http://origin.who.int/features/qa/82/es/>

ORTIZ LIMA, Fernanda Tatiana. Diseño de un sistema inalámbrico para monitoreo de pacientes ambulatorios, utilizando sensores de presión arterial y ritmo cardíaco e implementación de un prototipo de prueba. Quito, escuela politécnica nacional marzo 2016. [En línea] Recuperado el 20 de octubre de 2018. Disponible en internet. <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15081/1/CD-6893.pdf>

PERIODICO DE SALUD. Tensiómetro – Que es, tipos, como se usa y resultados. 2018. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: <https://periodicosalud.com/tensiometro-tipos-se-usa-resultados/>

PLANTE, Timothy, et al. Validation of the instant blood pressure smartphone app. JAMA Intern Med 2016 May. [En línea.] Recuperado el 27 de abril de 2019 disponible en internet. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4922794/>

PRIETO DONATE, Francisco. GPRS (General Packet Radio Service). [En línea]. Recuperado en 25/09/2018. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11372/fichero/Memoria%252F03+-+GPRS.pdf>

QARDIO. Qardioarm. [En línea] Recuperado 27 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://store.getqardio.com/products/qardioarm>

QARDIO. The QardioArm App in the Assessment of Blood Pressure and Heart Rate: Reliability and Validity Study. [En línea.] Recuperado 27 de abril de 2019 Disponible en internet. <https://www.getqardio.com/qardioapp/>

RIVERA FONSECA, Diana Elizabeth. VINUEZA LOPEZ, Wilma Cristina. diseño e implementación de una red ban, para la obtención de datos de signos vitales utilizando el protocolo 802.15.4. [tesis]. Sangolquí, Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas. 2015. [En línea] Recuperado 20 de septiembre de 2018 Disponible en internet. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10789>

ROSAS, Nelson Felipe. ROSAS, Carolina. HERRERA M, Marcelo. Sistema de monitorización remoto de señales biomédicas vía celular, diciembre de 2011. [En línea.] Recuperado el 20 de febrero de 2019. Disponible en internet. <https://docplayer.es/35742048-Senales-biomedicas-via-celular.html>

SALEAE. Características analizador lógico 8 canales. [En línea]. Recuperado 20 de abril de 2019. Disponible en internet: <https://www.saleae.com/es/>

SIGMAELECTRONICA Shiel M95 para arduino. [en línea]. Recuperado el 20 abril de 2019. Disponible en Internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/M95%20ARD%201.1.pdf>

SIGMAELECTRONICA. HC-05 Bluetooth to serial port module. [En línea] Recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet: <https://www.sigmaelectronica.net/manuals/istd016A.pdf>

THINGSPEAK. Learn more. [en línea.] recuperado el 20 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more](https://thingspeak.com/pages/learn_more)

VELAZCO, Nicolas. ¿Qué es un Microcontrolador? Guía del Estudiante para

Experimentos. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: [bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11141/fichero/PFC%252F3+Microcontroladores.pdf)

WEAREBLE TECHNOLOGIES. Livongo Announces First Blood Pressure Monitor with Cellular Connectivity in U.S.[En línea] Recuperado el 24 de abril de 2019. Disponible en internet. <https://www.wearable-technologies.com/2018/09/livongo-announces-first-blood-pressure-monitor-with-cellular-connectivity-in-u-s/>

WHO (World Health Organization). Telemedicine. Opportunities and developments in member states. En: World Health Organization. Volumen 2. 2010. [En línea]. Recuperado en 17/08/2018. Disponible en: [http://www.who.int/goe/publications/goe\\_telemedicine\\_2010.pdf](http://www.who.int/goe/publications/goe_telemedicine_2010.pdf)

ZHANG, Jin-ling. LIU, Yue. WEN, Jia-bao. Design of Electronic Blood Pressure Monitoring System Based on Mobile Telemedicine System. Beijing, China. School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications. 2013., IEEE EXPLORER 2013 [En línea]. Recuperado el 18 de Agosto de 2018. Disponible en internet. <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=7171193>

## ANEXOS

### ANEXO A. MANUAL DE USUARIO.

En el siguiente manual de usuario se muestra cómo debe usarse el dispositivo Beat.

#### ANTES DE TOMAR LA TENSION.

Para garantizar una medida segura, se recomienda seguir las siguientes recomendaciones

1. Evite comer, tomar bebidas alcohólicas, fumar, hacer ejercicio y bañarse al menos 30 minutos antes de tomar una medición. Descanse mínimo durante 5 minutos antes de tomar la medición.
2. El estrés eleva la presión arterial. Evite realizar mediciones en momentos de estrés.
3. Se puede colocar el brazalete para la muñeca tanto en la muñeca izquierda como en la derecha.
4. No se mueva y no hable durante la medición.

#### CONOZCA SU TENSIOMETRO.

En la figura 52 se muestran las partes del tensiómetro.

Figura 52. Tensiómetro



Fuente los autores

1. Modulo bluetooth
2. Brazaletes
3. Pantalla
4. Botones (Memoria y ON/OFF)

### **COLOCACION DEL BRAZALETE DE MUÑECA.**

1. Súbase la manga. Asegúrese de tener la muñeca descubierta a la hora de realizar una medición, si está usando camisa asegúrese que al subir la manga esta no quede haciendo presión en el brazo (ver figura 48)

Figura 48. Manga de la camisa a la hora de realizar una medición



Fuente. OMRON. Manual de usuario tensiómetro de muñeca omron. [En línea]. Recuperado 1 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES\\_IM.pdf](https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES_IM.pdf)

2. Debe colocar el brazaletes con la palma de la mano hacia arriba, como lo muestra la Figura 49.

Figura 49. Colocación del brazaletes



Fuente. OMRON. Manual de usuario tensiómetro de muñeca omron. [En línea]. Recuperado 1 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES\\_IM.pdf](https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES_IM.pdf)



3. Ubique el brazalete en un espacio de aproximadamente (1 a 2 cm) entre el brazalete y la parte inferior de la palma de la mano un dedo por debajo de la articulación de la muñeca ver la Figura 50.

Figura 50. Ubicación del tensiómetro



Fuente. OMRON. Manual de usuario tensiómetro de muñeca omron. [En línea]. Recuperado 1 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES\\_IM.pdf](https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES_IM.pdf)

4. Coloque el brazalete alrededor de su muñeca y ajústelo

Figura 51. Fijación del brazalete



Fuente. OMRON. Manual de usuario tensiómetro de muñeca omron. [En línea]. Recuperado 1 de abril de 2019. Disponible en internet. [https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES\\_IM.pdf](https://omronhealthcare.com/wp-content/uploads/BP629N-ES_IM.pdf)

## **COMO TOMAR CORRECTAMENTE LA MEDIDA**

Antes de iniciar cualquier medición conecte el cable blanco y verifique el Bluetooth se encuentra encendido, una vez este encienda usted vera como una luz roja se enciende. Ver Figura 52.

Figura 52. Modulo Bluetooth del tensiómetro



Fuente. Los autores

Encienda el dispositivo, una vez este encienda vera el mensaje de la Figura 53, esto indica que el dispositivo entra a la configuración inicial inmediatamente después la pantalla mostrara el mensaje de la Figura 54.

Figura 53. Mensaje inicial



Fuente. Los autores

Figura 54. Iniciación del dispositivo



Fuente. Los autores

Cuando el dispositivo haya terminado de realizar la configuración inicial, aparecerá en la pantalla un mensaje que dice encendido, como se muestra en la Figura 55.

Figura 55 Confinación de encendido



Fuente. Los autores

Una vez el dispositivo haya terminado el encendido, en la pantalla aparecerá el mensaje mostrado en la Figura 56.

Figura 56. Esperando datos

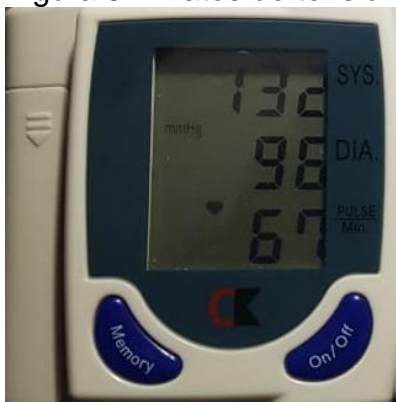


Fuente. Los autores

Esto significa que el dispositivo se encuentra esperando los datos de presión arterial y ritmo cardiaco del usuario. En ese momento el usuario puede proceder a colocarse el tensiómetro, como se indicó anteriormente. Una vez el usuario este usando el tensiómetro, se debe oprime el botón On/Off, en este momento se escuchará un pito el cual indica que la medida inicio y el brazalete empezará a inflarse.

La medida finaliza cuando los valores de tensor arterial y pulso cardiaco se muestren en la pantalla del tensiometro, como se muestra en la Figura 57.

Figura 57. Datos de tensión en la pantalla del tensiómetro



Fuente. Los autores

Posteriormente, en la pantalla del dispositivo aparecerá el siguiente mensaje (ver Figura 58)

Figura 58. Confirmación de datos recibidos



Fuente. Los autores

A partir de este momento, el usuario puede retirar el brazalete, mientras que los datos medidos estarán siendo procesados y analizados. En caso de que el valor de presión arterial medido sea anormal, usted vera en la pantalla la Figura 59.

Figura 59. Alerta de valores anormales



Fuente. Los autores

En este último caso, el dispositivo envía un mensaje de texto al número de celular registrado, donde se informa sobre la anomalía en la medición de presión arterial, durante este proceso se observar el siguiente mensaje en la pantalla (ver Figura 60).

Figura 60. Indicador de envío de SMS



Fuente. Los autores

Una vez enviado el mensaje se puede verificar el envío y usted vera en pantalla el mensaje de la Figura 61.

Figura 61. Confirmación envío de SMS



Fuente. Los autores

Terminado este proceso de envío de alerta, el dispositivo procede a enviar los datos a la página web para su visualización, usted podrá observar que el dispositivo está realizando el envío viendo texto en pantalla (véase figura 62).

Figura 62. Envío de datos



Fuente. Los autores

El usuario sabrá que sus datos de tensión arterial han sido enviados a la página web cuando el dispositivo muestre la confirmación del envío, mediante el siguiente mensaje. (Ver Figura 63)

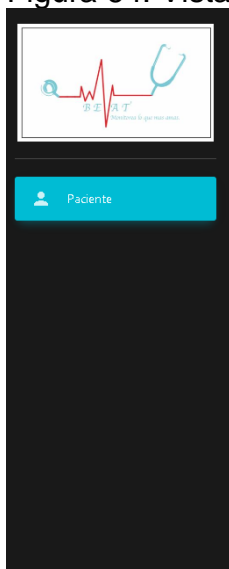
Figura 63. Confirmación de envío de datos a internet



Fuente. Los autores

Para visualizar los datos el usuario debe ingresar a su navegador desde un computador al siguiente enlace <https://beat11.azurewebsites.net>, y le aparecerá una pantalla como lo muestra la Figura 64.

Figura 64. Vista de datos del paciente



Fecha	Cedula	Sistole	Diastole	Pulso
2/05/2019 11:02:27 a.m.	1015465543	111	77	59
2/05/2019 11:03:43 a.m.	1015465543	90	63	71
2/05/2019 11:12:44 a.m.	1015465543	105	79	64
2/05/2019 11:23:46 a.m.	1015465543	120	80	86
2/05/2019 11:26:23 a.m.	1015465543	125	94	79
4/05/2019 12:16:34 a.m.	1015465543	118	80	70
4/05/2019 12:18:41 a.m.	1015465543	113	68	69
5/05/2019 2:15:26 a.m.	1015465543	132	96	67
5/05/2019 2:16:08 a.m.	1015465543	132	96	67
5/05/2019 2:19:41 a.m.	1015465543	131	97	68

Fuente. Los autores

Con esto se finaliza el proceso de medición de presión arterial. En la pantalla aparece el siguiente mensaje, en caso de que sea necesario tomar nuevamente la tensión arterial el usuario debe presionar el botón de reset (ver figura 65).

Figura 65. Mensaje finalización de muestra

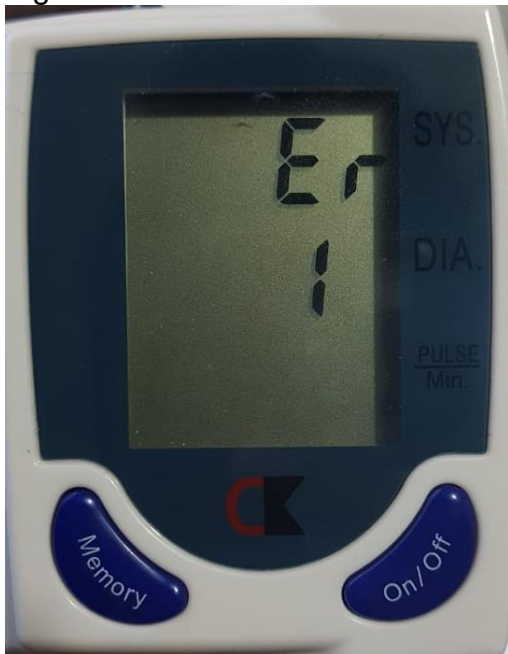


Fuente. Los autores

### POSIBLES FALLAS.

En caso que la pantalla del tensiómetro muestre un mensaje de error como el que se muestra en la Figura 66, verifique que el tensiómetro se encuentra bien colocado, como se indicó en “colocación de tensiómetro de muñeca” y siga las recomendaciones indicadas al inicio de este manual.

Figura 66. Error en la toma de datos



Fuente. Los autores



## ANEXO B. DISTRIBUCIÓN DE PINES EN LA TARJETA DE DESARROLLO.

```
                                Codigo final Beat 1.0

                                Distribucion de pines:

pin 0 - Rx del Bluetooth
pin 2 TX - Transmisor M95
pin 3 RX - Receptor M95
pin 4 PWR - Power Key M95
pin 5 E_O - Emergency Off M95
pin 6 STU - Status M95
pin 7 D7 LCD
pin 8 D6 LCD
pin 9 D5 LCD
pin 10 D4 LCD
pin 11 Enable LCD
pin 12 RS LCD
```

Fuente. Los autores.

## ANEXO C. LIBRERIAS Y VARIABLES DEFINIDAS.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SoftwareSerial.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 9, 8, 7); // ( RS, EN, d4, d5, d6, d7)
SoftwareSerial GSM_M95 (2, 3); // Crea nuevo puerto serial (PinRx, PinTx)

int led = 13; //led indicacion general
int pwrkey = 4; //salida, normalmente en 0 (con 0 en el pin, el transistor esta en corte y pwrkey esta en 1 por el M95)
int eoff = 5; //salida, normalmente en 0 (con 0 en el pin, el transistor esta en corte y eoff esta en 1 por el M95)
int stat = 6; //entrada, censar status del M95
int k=0;
int dato=0;
int Sistolica=0;
int Diastolica=0;
int Pulso=0;
```

Fuente. Los autores.

## ANEXO D. CONFIGURACION INICIAL TARJETA DE DESARROLLO.

```
void setup() {

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(4, 0);
  lcd.print("BEAT 1.0");
  delay(5000);
  pinMode(0, INPUT); //RX del arduino (Bluetooth)
  pinMode(1, OUTPUT); //TX del arduino (Bluetooth)
  pinMode(led, OUTPUT); digitalWrite(led, LOW); //led del arduino
  pinMode(pwrkey, OUTPUT); digitalWrite(pwrkey, LOW); //salida que opera el terminal PWRKEY del M95
  pinMode(eoff, OUTPUT); digitalWrite(eoff, LOW); //salida que opera el terminal E_OFF del M95
  pinMode(stat, INPUT_PULLUP); //entrada con pullup para censar el STATUS del M95
  delay(10);
  GSM_M95.begin(9600); //Configura velocidad del puerto serie para el SIM900
  Serial.begin(9600); //Configura velocidad del puerto serie para recibir datos por Bluetooth

  lcd.clear();
  lcd.print("INICIANDO CONFIG");

  if((digitalRead(stat))==LOW){ //revisar si el M95 esta apagado
    digitalWrite(pwrkey, HIGH); //prender el M95, acciona pwrkey hasta que status sea 1
    delay(10);
    while((digitalRead(stat))==LOW) delay(200);
    digitalWrite(pwrkey, LOW);
    Serial.println("STATUS OKACT, PWRKEY EN BAJO");
    delay(100);
  }
  delay(5000); //Tiempo para que encuentre una RED*/

  int cta=1;
  char q[64];
```

```

while (cta<=5)
{
  GSM_M95.println("AT");
  delay(1000);
  byte nb;
  nb=GSM_M95.available();
  if(nb>0)
  {
    k=1;
    while (k<=nb)
    {
      q[k]=GSM_M95.read();
      k++;
    }
    if ((q[3]='O' && (q[4]='K'))
    {
      cta=8;
    }
    else
    {
      cta++;
      if(cta==6) {

        while(1){
          lcd.clear();
          lcd.print("ERROR ENCENDIDO");
          delay(2000);
          lcd.clear();
          lcd.print("OPRIMA RESET");
        }
      }
    }
  }
  else
  {
    cta++;
    if(cta==6){
      while(1){
        lcd.clear();
        lcd.print("ERROR ENCENDIDO");
        delay(2000);
        lcd.clear();
        lcd.print("OPRIMA RESET");
      }
    }
  }
}
}

```

```
GSM_M95.println("AT+CFUN?");//verificar funcionamiento M95
delay(800);
while ((GSM_M95.read())!='1') Serial.println("Esperando verificacion de encendido y Funcional....."); //Espere '1' de +CFUN: '1'
delay(1000);

lcd.clear();
lcd.print(" ENCENDIDO ");
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.print("ESPERANDO DATOS.");
capturar();
delay(1000);
enviar_datos();
}
```

Fuente. Los autores.

## ANEXO E. FUNCION CAPTURAR DATOS.

```
void capturar(){  
  //leer datos del tensiometro  
  while(1){  
    if(Serial.available(>0){  
      dato=Serial.read();  
      delay(5);  
      if(dato==254){  
        dato=Serial.read();  
        delay(5);  
        if(dato==8){  
          dato=Serial.read();  
          delay(5);  
          if(dato>1){  
            dato=Serial.read();  
            delay(5);  
            if(dato==85){  
              dato=Serial.read();  
              delay(5);  
              if(dato==0){  
                dato=Serial.read();  
                delay(5);  
                Sistolica=dato;// dato de presión sistólica  
                dato=Serial.read();  
                delay(5);  
                if(dato==0){  
                  if(dato==0){  
                    dato=Serial.read();  
                    delay(5);  
                    Diastolica=dato;// dato de presión diastólica  
                    dato=Serial.read();  
                    delay(5);  
                    Pulso=dato;// dato pulso cardiaco  
                    break;  
                    delay(10);  
                  }  
                }  
              }  
            }  
          }  
        }  
      }  
    }  
  }  
  lcd.clear();  
  lcd.print("DATOS RECIBIDOS.");  
  delay(2000);  
}
```

Fuente. Los autores.

## ANEXO F. FUNCION ENVIAR INFORMACION A LA BASE DE DATOS.

```
void enviar_datos()
{
  lcd.clear();
  lcd.print(" ENVIANDO DATOS.");

  GSM_M95.println("AT+CPIN?");//Verificar si necesita PIN
  delay(1000);
  GSM_M95.println("AT+QIFGCN=0");//Definir el contexto de transmisión
  delay(1000);
  GSM_M95.println("AT+QICSGP=1,\"internet.comcel.com.co\", \"comcel\", \"comcel\");//comando configura el APN, nombre de usuario y contraseña."
  delay(500);
  GSM_M95.println("AT+QIDNSIP=1");//Habilita un dominio en el comando AT+QIOPEN
  delay(500);
  GSM_M95.println("AT+QINDI=1");//configura como se van a manejar los datos recibidos por TCP/IP
  delay(500);
  GSM_M95.println("AT+QIOPEN=\"TCP\", \"api.thingspeak.com\", \"80\");//Realiza una conexión TCP por puerto 80 con api.thingspeak.com
  delay(5000);
  GSM_M95.println("AT+QISEND");//Envía datos mediante protocolo TCP
  delay(500);

  //Se prepara el orden de envío según los requerimientos de Thingspeak
  String datos="GET https://api.thingspeak.com/update?api_key=QETG195U7BLEZLRD&field1=" + String(Sistolica) + "&field2=" + String(Diastolica) + "&field3=" + String(Pulso) ;
  GSM_M95.println(datos);//
  delay(500);
  GSM_M95.println((char)26);
  delay(500);
  GSM_M95.println();
  GSM_M95.println("AT+QICLOSE");//Cierra la conexión(Desactiva el contexto GPRS PDP)
  delay(500);

  lcd.clear();
  lcd.print(" DATOS ENVIADOS.");
  delay(3000);
}
```

Fuente. Los autores.

## ANEXO G. FUNCION ENVIAR SMS.

```
void mensaje_sms ()
{
  lcd.clear();
  lcd.print(" ENVIANDO SMS ");

  GSM_M95.print("AT+CMGF=1\r"); //Configura el modo texto para enviar SMS
  delay(1000);
  GSM_M95.println("AT+CMGS=\"3202166988\");//Numero al que vamos a enviar el SMS
  //3202166988 - #Juan
  delay(1000);
  GSM_M95.println("EMERGENCIA, favor revisar base de datos del paciente");// Texto del SMS
  delay(100);
  GSM_M95.println((char)26); //Comando de finalización
  delay(100);
  GSM_M95.println();
  delay(5000); // Esperamos un tiempo para que envíe el SMS

  lcd.clear();
  lcd.print(" SMS ENVIADO ");
  delay(2000);
}
```

Fuente. Los autores.

## ANEXO H. FUNCION ALERTA Y REINICIAR.

```
void loop() {
  if(Sistolica >= 150 || Diastolica >= 100){
    lcd.clear();
    lcd.print(" VALOR ANORMAL.");
    delay(2000);
    mensaje_sms();
  }
  mensaje_final();
}

void mensaje_final(){

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  delay(100);
  lcd.print(" PARA INICIAR ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  delay(100);
  lcd.print(" PRESIONE RESET ");

  while(1);
}
```

Fuente. Los autores.