

PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO NO INVASIVO DE PACIENTES
CRÓNICOS QUE PADECEN HIPERTENSIÓN, ASMA Y/O EPOC.

ESTUDIANTES - INVESTIGADORES:

Jorge Isaacs Chagüi Romero

Emmanuel de Jesús Martínez Franco



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
CARTAGENA DE INDIAS, 2018

PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO NO INVASIVO DE PACIENTES
CRÓNICOS QUE PADECEN HIPERTENSIÓN, ASMA Y/O EPOC.

TESIS DE GRADO

E-Soluciones

Línea E-Servicios

INVESTIGADORES:

Jorge Isaacs Chagüi Romero

Emmanuel de Jesús Martínez Franco

Director: Plinio Puello Marrugo, PhD.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
CARTAGENA DE INDIAS, 2018



Tesis de Grado: PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO NO
INVASIVO DE PACIENTES CRÓNICOS QUE
PADECEN HIPERTENSIÓN, ASMA Y/O EPOC.

Autores: JORGE ISAACS CHAGÜI ROMERO
EMMANUEL DE JESÚS MARTINEZ FRANCO

Director: Ing. PLINIO PUELLO MARRUGO, PhD

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, ____ de _____ del 2018

CONTENIDO

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. ANTECEDENTES	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. Descripción del problema.....	14
1.2.2. Pregunta problema.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS	19
1.4.1. Objetivo general	19
1.4.2. Objetivos específicos.....	19
1.5. ALCANCE.....	19
2. MARCO DE REFERENCIA	21
2.1. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1.1. Sistema de monitoreo.....	21
2.1.2. Plataforma IoT.....	22
2.1.3. Dispositivos IoT.....	23
2.1.4. Hipertensión arterial.....	23
2.1.5. EPOC.....	23
2.1.6. Asma.....	24
2.1.7. Factor de riesgo	24
2.1.8. UML.....	25
2.1.9. RUP	25
2.2. ESTADO DEL ARTE.....	25
2.2.1. A nivel internacional.....	25
2.2.2. A nivel Nacional.....	32
2.2.3. A nivel local.....	34
2.3. LIMITANTES DE LOS DOCUMENTOS REVISADOS.....	34

3.	METODOLOGÍA.....	35
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE.....	35
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	35
3.3.	FUENTES DE INFORMACIÓN.	35
3.4.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	36
3.5.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	36
3.6.	DESARROLLO GENERADO POR OBJETIVOS.....	37
3.6.1.	Fase de iniciación.....	37
3.6.2.	Fase de elaboración.....	38
3.6.3.	Fase de construcción.....	38
3.6.4.	Fase de transición.....	38
4.	RESULTADOS.....	39
4.1.	OBJETIVO 1.	39
4.1.1.	Términos de búsqueda.....	39
4.1.2.	Resultados de la búsqueda de publicaciones.....	40
4.1.3.	Resultados de la búsqueda de sensores y protocolos de comunicación.	56
4.2.	OBJETIVO 2.	59
4.2.1.	Requisitos.....	60
4.2.2.	Arquitectura.....	62
4.3.	OBJETIVO 3.	65
4.3.1.	Vista de Escenarios.....	65
4.3.2.	Vista lógica.....	66
4.3.3.	Vista de proceso.....	69
4.3.4.	Vista de desarrollo.....	75
4.3.5.	Vista física.....	76
4.3.6.	Componentes Hardware.....	77
4.4.	OBJETIVO 4.	80
4.4.1.	Hardware.....	80
4.4.2.	Software.....	83
4.4.3.	Condiciones para su funcionamiento.....	91

4.5. OBJETIVO 5.	92
4.5.1. Pruebas de valores	92
4.5.2. Pruebas funcionales.....	93
5. CONCLUSIONES	104
6. RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA	108
ANEXOS	119
ANEXO 1.....	119
ANEXO 2.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Términos de búsqueda en español.	39
Tabla 2. Términos de búsqueda en inglés.	39
Tabla 3. Resultados de la investigación.	42
Tabla 4. Características de los sensores de pulso y oxígeno.	56
Tabla 5. Características de las placas.	57
Tabla 6. Requisitos funcionales.	60
Tabla 7. Requisitos no funcionales.	62
Tabla 8. Experimento de prueba de presión arterial.	92
Tabla 9. Prueba funcional 1.	93
Tabla 10. Prueba funcional 2.	94
Tabla 11. Prueba funcional 3.	95
Tabla 12. Prueba funcional 4.	96
Tabla 13. Prueba funcional 5.	97
Tabla 14. Prueba funcional 6.	98
Tabla 15. Prueba funcional 7.	99
Tabla 16. Prueba funcional 8.	100
Tabla 17. Prueba funcional 9.	101
Tabla 18. Prueba funcional 10.	102
Tabla 19. Prueba funcional 11.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución según la base de datos de origen.....	41
Figura 2. Distribución según el grado de relación con el proyecto.	42
Figura 3. Esquema general del sistema.....	63
Figura 4. Arquitectura general del sistema.	64
Figura 5. Diagrama de casos de uso.....	65
Figura 6. Diagrama de componentes.	66
Figura 7. Diagrama de clases.....	67
Figura 8. Modelo Entidad-Relación.....	68
Figura 9. Diagrama de secuencia Autenticar Usuario.	69
Figura 10. Diagrama de secuencia Registrar dispositivo.....	70
Figura 11. Diagrama de secuencia de Registrar usuario.....	71
Figura 12. Diagrama de secuencia Asignar dispositivo.....	72
Figura 13. Diagrama de secuencia Asignar paciente	73
Figura 14. Diagrama de secuencia Monitorear paciente.....	74
Figura 15. Diagrama de paquetes.....	75
Figura 16. Diagrama de despliegue.	76
Figura 17. Diagrama de pines del ESP32, (Abreu Murta, 2018).....	77
Figura 18. Diagrama esquemático de ESP32, (Espressif Systems, 2018).....	78
Figura 19. Diagrama de pines del MAX30102.....	78
Figura 20. Diagrama funcional del MAX30102, (Maxim Integrated Products, 2015).....	79
Figura 21. Diagrama de pines del TP4056, (TP4056A Li-ion Battery Charging/Discharging Module, 2018).....	79
Figura 22. Diagrama esquemático del TP4056, (TP4056A Li-ion Battery Charging/Discharging Module, 2018).....	80
Figura 23. Esp32 y Max30102.....	82
Figura 24. Prototipo terminado.	82
Figura 25. Correo de alerta	85
Figura 26. Página de inicio de sesión.....	86

Figura 27. Página de Tabs.....	86
Figura 28. Perfil propio.....	87
Figura 29. Pacientes	87
Figura 30. Monitoreo	88
Figura 31. Historial de mediciones	88
Figura 32. Administrar.....	89
Figura 33. Registro de usuarios 1	89
Figura 34. Registro de usuarios 2	89
Figura 35. Listar usuarios	90
Figura 36. Desactivar usuario	90
Figura 37. Página 1 del acta de la entrevista.....	119
Figura 38. Página 2 del acta de la entrevista.....	120

RESUMEN

El presente proyecto fue realizado con el objetivo de desarrollar el prototipo de un sistema de monitoreo remoto para el seguimiento de la presión arterial y saturación de oxígeno en sangre de pacientes crónicos que padecen de hipertensión, asma y/o EPOC en Colombia, haciendo uso de software libre y tecnologías de Internet de las Cosas. Esto debido a que actualmente en el país no se han definido formas de monitorear constantemente los signos vitales de quienes padecen las enfermedades mencionadas, por lo que se creó el sistema CCFHAC para aplicar la telemetría buscando la mejora de la calidad de vida de estas personas, haciendo más fácil para quienes se encuentran a su cargo la identificación de anomalías en el estado de salud del paciente.

Para completar este proyecto se realizó una investigación aplicada dado que se utilizó un contexto real que se presenta entre las instituciones prestadoras de salud y el seguimiento de las variables de cambio de los pacientes con hipertensión, asma o EPOC. Para desarrollar el componente software se utilizó la metodología de desarrollo RUP y, según sus directrices, se dividió el desarrollo en 4 fases que producen sus artefactos respectivos.

Tras la culminación del proyecto se tuvo los componentes software y el hardware, trabajando en conjunto para la lectura y muestra de las mediciones de los signos vitales de los pacientes. A pesar de no estar certificado, CCFHAC sí se acerca a los valores de mediciones realizadas por dispositivos patentados y verificados que se encuentran en el mercado.

Según esto, se concluye que tras el desarrollo de este proyecto se presentó el prototipo de un sistema de monitoreo remoto cuyo funcionamiento proporciona resultados cercanos a los de dispositivos ya patentados y considerados confiables, pero, CCFHAC aún no puede tomarse como un producto totalmente terminado con el que se pueda definir con total certeza el estado de salud de una persona. Sin embargo, este proyecto sirve también como un paso adelante para la investigación usando el Internet de las Cosas para mejorar la calidad de vida de los pacientes en Colombia.

ABSTRACT

The present project was conducted with the objective of developing the prototype of the remote monitoring system for tracing blood pressure and oxygen saturation in the blood of chronic patients suffering from hypertension, asthma and/or COPD in Colombia, making use of free software and Internet of Things technologies. This is because currently the country has not defined ways to monitor the vital signs of those who suffer the mentioned diseases, which is the CCFHAC system was created to apply telemetry in the pursuit of improving the quality of life of these people, making it easier for those who are in charge of them to identify anomalies in the patient's health status.

To complete this project, an applied research has been carried out given that a real context has been used that is presented between the health care institutions and the monitoring of the change variables of patients with hypertension, asthma or COPD. To develop the software component, the RUP development methodology was used and, according to its guidelines, the development was divided into 4 phases that produce their relevant artifacts.

After the completion of the project, the software and hardware components were completed, working together to read and show the vital signs of the patients. Despite not being certified, CCFHAC comes close to the values of the measurements made by the patented and verified devices that are in the market.

According to this, it's concluded that after the development of this project the prototype of a remote monitoring system was presented, whose operation provides results close to those already patented and considered reliable, but, CCFHAC still can't be taken as a completely finished product with which the health status of a person can be defined with complete certainty. However, this project also serves as a step forward for research using the Internet of Things to improve the quality of life of patients in Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Colombia se está dedicando importantes sumas de dinero al desarrollo de proyectos de telemedicina, los cuales, sin importar su enfoque, convergen en el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pacientes. Es de conocimiento común que para que exista investigación debe haber un problema sin resolver y en el caso del presente proyecto este depende ampliamente de la forma en la que los signos vitales de los pacientes crónicos con hipertensión, asma y/o EPOC son monitoreados. Dichos signos pueden ser afectados por factores de riesgo. Ello con la finalidad de prevenir que sus estados de salud caigan en la inestabilidad, lo que podría llevarlos algunas veces hasta la muerte.

La forma en que estas personas deben monitorear sus signos vitales es discreta en el tiempo, es decir, que no siempre se está llevando a cabo, solo en algunos momentos de manera no tan regular o cuando algún síntoma imprevisto lo haga necesario. Es por ello que nació la idea de crear el prototipo de un sistema de monitoreo de estos signos vitales de tal forma que se pueda prevenir problemas causados por las variaciones de estas variables en ciertos momentos.

El proyecto se desarrolló usando microcontroladores, sensores y tecnología de cloud-computing para crear el prototipo de un sistema de monitoreo remoto que fuera capaz de enviar lecturas de datos a través de internet para ser vistos desde una Progressive Web Application (PWA). Este prototipo fue probado en familiares allegados a los investigadores para verificar el funcionamiento correcto de las partes de este.

La realización del proyecto, además, está incrustada en la línea de investigación de E-Health del grupo de investigación E-Soluciones, propiciando un aumento en el renombre de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cartagena debido al desarrollo y reformas que esta traería al ambiente de trabajo en las entidades prestadoras de salud y la vida cotidiana de las personas que padezcan las enfermedades ya mencionadas. Además, se debe recalcar que gracias a esta vinculación el proyecto simboliza un impulso para que la comunidad científica de Colombia se concentre en el desarrollo usando componentes electrónicos para la mejora de la calidad de vida de los pacientes.

1.1. ANTECEDENTES

Esta no es la primera vez que en Colombia se ejecuta un proyecto de este tipo. En el año 2014 en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá en una conferencia se presentó un proyecto llamado *Ambient Intelligence based Multi-Agent System for attend Elderly People*, donde se propuso un sistema, el cual incluye la automatización de los procesos domésticos y el uso de la información recopilada durante las actividades diarias de la persona con el fin de operar un sistema multiagente (SMA). Y, además, determinaron necesario dividir el problema en niveles de servicio de asistencia en el hogar. Estos niveles permiten la monitorización y modelación de la conducta de la persona en el tiempo, con lo cual se diseña una herramienta informativa que permita minimizar cierto tipo de riesgo vital para los pacientes (Agreda & González, 2014). Por otro lado, en un artículo de investigadores de Manizales, llamado *Salud electrónica para el autocuidado de pacientes con factores de riesgo asociados al síndrome metabólico*, publicado en el 2015 se muestra el propósito de identificar la evidencia científica sobre el uso de estrategias de salud electrónica en las intervenciones dirigidas a mejorar el autocuidado de pacientes con factores de riesgo cardiovascular asociado con la presencia de síndrome metabólico (Vélez-Álvarez, Vidarte-Claros, Álvarez-Rosero, & García-Navarro, 2016).

También se evidenció un artículo publicado el 2014 en la Revista Vínculos, llamado *Sistemas E-Health Para El Tratamiento De La Diabetes* (Montaña, Amado, & Eslava, 2015). En el cual se exponen los resultados de como la ingeniería contribuye a la prevención y el cuidado de pacientes con diabetes. Mencionan cuatro sistemas E-Health para el tratamiento de la diabetes; donde dos se relacionan directamente con este proyecto. El primero es el Wearable-Computing para el tratamiento y control de la diabetes. Y el segundo es el Sistema de control diario y monitoreo desde la casa de la diabetes (Montaña, Amado, & Eslava, 2015).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del problema

Las enfermedades crónicas se caracterizan por ser de larga duración y por lo general de progresión lenta. Las cardíacas, infartos, el cáncer, las respiratorias, y la diabetes son las principales causas de mortalidad en el mundo, siendo responsables del 63% de las muertes (Organización Mundial de la Salud, 2017). Debido a la naturaleza ya descrita de estas enfermedades quienes las padecen deben aprender a vivir con ellas de tal forma que se minimice el peligro que representan para su vida.

Como se dejó claro en la entrevista con el Doctor Luis Carlos Gaviria Orozco, médico internista de la EPS Salud Total, Clínica Crecer y la UCI Gestión Salud, y el Doctor David Eduardo Martínez Franco, médico general (Ver ANEXO 1) en Colombia, una vez alguien es diagnosticado con una enfermedad crónica se le cataloga de ahí en adelante bajo el término ‘paciente crónico’ y la entidad prestadora de salud a la que se encuentre adscrito se encarga de enviarlo a una evaluación con un psicólogo o trabajador social para prevenir o tratar un posible trastorno adaptativo.

Este trastorno usualmente se encuentra acompañado por síntomas emocionales o comportamentales en respuesta a un evento estresante identificable (American Psychiatric Association, 2013). En el caso descrito anteriormente, como se indica en el acta de la entrevista realizada al Doctor Gaviria y al Doctor Martínez (Ver ANEXO 1), la persona designada por la EPS debe buscar la mejor forma en que se pueda ayudar al paciente a entender que debe aceptar su situación para que le sea posible cambiar el estilo de vida que lleva, buscando que esta se ajuste a su nueva condición, mas no que la persona piense que por ella se limitará completamente su proyecto de vida.

Como ya se había mencionado, las enfermedades crónicas pueden forzar muchos cambios de estilo de vida potencialmente estresantes como, por ejemplo, dejar de hacer actividades que disfruta, adaptarse a nuevas limitaciones físicas y necesidades especiales, además de pagar

medicaciones y servicios de tratamiento costosos (American Psychological Association, 2015). Por ejemplo, quienes padecen de hipertensión arterial deben tener en cuenta que las consecuencias de ésta para la salud se pueden agravar por otros factores que aumentan las probabilidades de sufrir un infarto de miocardio, un accidente cerebrovascular o insuficiencia renal. Entre ellos cabe citar el consumo de tabaco, una dieta poco saludable, el consumo de alcohol, la inactividad física y la exposición a un estrés permanente, así como la obesidad, el colesterol alto y la diabetes (OMS, 2015). Las personas que son diagnosticadas con enfermedades crónicas respiratorias como el asma o el EPOC no son muy diferentes, ya que, si no afrontan un cambio en su forma de vida, esta podría desembocar en problemas como enfermedades cardíacas por la falta de oxígeno en la sangre.

A pesar de los problemas a los que potencialmente pueden llevar este tipo de enfermedades, y según lo concluido en la entrevista al Doctor Gaviria y al Doctor Martínez (Ver ANEXO 1) para las entidades prestadoras de salud que actualmente no es posible garantizar un monitoreo constante de los signos vitales que son claves para detectar anomalías en la condición de dichas enfermedades de los pacientes una vez se encuentran fuera de los hospitales.

Una disminución del nivel de oxígeno en la sangre, un alza de presión por un estímulo externo podría resultar fatales si no son tratados en un tiempo pertinente, sin embargo, según los Doctores Gaviria y Martínez la medición de todos estos es en muchos casos ampliamente circunstancial o periódico, pero no es constante, lo cual representa un problema que ha sido tratado desde algunos puntos de vista.

En Chile, la empresa AccuHealth, que se está encargando de crear un dispositivo con el que los doctores estén siempre al tanto del estado de salud de sus pacientes y que en caso de emergencia el médico pueda actuar en función de los protocolos establecidos. Por otra parte, los creadores del dispositivo MySignals (Libelium, 2017) mencionan que este es la plataforma de desarrollo de eHealth completa del mercado conectando más de 15 sensores de lectura biométrica. Sin embargo, el costo de este último se torna demasiado elevado debido al hecho de que cada

sensor se vende por separado y su precio total ronda los 1900 euros como se muestra en el portal de comercio electrónico de la compañía.

De igual manera el primero también presenta cabida para mejorar debido a que como lo menciona el gerente de desarrollo regional de la compañía (Rodríguez, 2017), “AccuHealth es el instrumento que permite al paciente y a su médico tratante, monitorear en tiempo real la evolución de su condición, empoderarlo en el manejo de la patología y encender las alarmas si es necesario tratar de inmediato y entregar una solución oportuna”, el sistema depende del médico que lo use.

Por lo anteriormente descrito, y con la finalidad de ayudar a aquellos pacientes que no pueden ser vigilados constantemente por las entidades prestadoras de salud, este proyecto desarrolló un prototipo de un sistema de monitoreo remoto no invasivo que recopila datos dependiendo de la enfermedad diagnosticada en el paciente de manera constante y estos se guardan como un historial en la nube. A partir de ello, pueden ser procesados y el sistema es capaz de alertar al médico y/o familiar encargado del paciente.

Con estas funcionalidades, el sistema está enfocado en mejorar la calidad de vida del paciente y contribuir al estado del arte con el prototipo de un sistema formado por un dispositivo hardware y un componente software con un costo más reducido que los actuales. De esta forma, este podría ser distribuido de una forma más eficiente entre las personas diagnosticadas con las enfermedades crónicas que este proyecto tiene previsto abordar, específicamente la hipertensión, el asma y el EPOC.

1.2.2. Pregunta problema

¿Por medio de qué sistema se puede monitorear de forma constante y no invasiva los signos vitales que son afectados por factores de riesgo para pacientes con hipertensión, asma, EPOC, o las posibles combinaciones de estas, cuando se encuentran en sus residencias?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La salud de los pacientes es una preocupación inherente al trabajo de un médico en cualquier lugar del mundo. Sin embargo, cada paciente es distinto, por lo que a pesar de tener protocolos estandarizados sobre el monitoreo de éstos, como citas programadas y visitas a sus hogares, no siempre funciona como debería, y en ocasiones donde la vida del paciente está en riesgo hasta un minuto puede hacer la diferencia.

El presente proyecto se centra en los posibles riesgos que corre la vida de pacientes crónicos en momentos en que los signos vitales asociados a su enfermedad no están siendo monitoreados. Como se sabe, las enfermedades crónicas, teniendo en cuenta su gran impacto en la forma en que los pacientes llevan sus vidas, son de un cuidado y seguimiento mucho más profundo que las que no lo son, haciendo que cambien su alimentación, su actividad física e incluso se vean obligados a buscar ámbitos más adecuados considerando la necesidad de minimizar estrés. Con el objetivo de mejorar la calidad de vida de estas personas se dedican cantidades considerables de dinero a la investigación en estos temas todos los años. Por ejemplo, un avance que marcó la diferencia desde el momento en que fue lanzado al mercado fueron los tensiómetros electrónicos, liberando la dependencia a alguien con una capacitación para usar los antiguos modelos que muchos de los pacientes diagnosticados con hipertensión no tienen.

Según los factores de riesgo que podrían alterar el estado de salud de un paciente crónico, como un alza repentina de la presión arterial para los hipertensos, así también existen distintas soluciones en la actualidad para su monitoreo y atención. Según lo definido en el acta de la entrevista a los Doctores Gaviria y Martínez (ver ANEXO 1), para el caso de las enfermedades dependientes de la presión arterial existen métodos invasivos y los que no lo son. Del primero es un ejemplo el dispositivo conocido como marcapasos cardiaco, el cual permite un mejor funcionamiento y seguimiento del bombeo de sangre que hace el corazón. De los otros se puede mencionar el Holter, que es un dispositivo normalmente usado por 24 a 48 horas para monitorear el funcionamiento del corazón ante las actividades cotidianas. Sin embargo, en el caso de este último se sabe que algunas afecciones pueden ser causadas debido a deficiencias del nivel de

oxígeno en la sangre, pero debido a que dicho dispositivo no está en la capacidad de monitorear este signo se hace necesario otro estudio para afrontar la sintomatología de dicho paciente.

Debido al gasto de recursos económicos y de tiempo tanto para las entidades prestadoras de salud como para los pacientes, causados por los estudios en el caso descrito anteriormente que se manejan de forma secuencial sin necesidad de ello, y contando además que un diagnóstico tardío podría significar la diferencia entre la vida y la muerte de estas personas, se decidió que para el desarrollo del presente proyecto las enfermedades crónicas elegidas serían las directamente relacionadas con el estado de los signos vitales presión arterial y saturación de oxígeno en sangre. Más específicamente, la hipertensión, a la cual corresponde el primero, el asma y el EPOC, las cuales corresponden al segundo.

Para el desarrollo del presente proyecto se pretende crear el prototipo de un sistema de toma de datos de la presión arterial y la saturación de oxígeno en la sangre que no sea invasivo. Este cuenta con un componente hardware, el cual monitorea los signos vitales ya mencionados usando sensores de bajo costo unidos por medio de una tarjeta programable que permitan enviar los datos recolectados del paciente periódicamente a la nube por medio de tecnología WiFi, una vez ahí manejar y procesar estos de manera que se les notifique a los familiares y/o médicos encargados de la persona del estado de salud en que se encuentran y se tomen medidas al respecto.

Para hacer esto realidad, el proyecto destaca en su viabilidad debido a que este no es económicamente exigente gracias al uso de plataformas basadas en software libre, lo cual simboliza una disminución significativa del costo de este y además una facilidad en la implementación del prototipo del producto.

Por otra parte, al tener varias funcionalidades a su alcance el dispositivo creado permite la reducción de costos para las entidades prestadoras de salud debido a la minimización de estudios a los pacientes que actualmente deben hacerse de manera independiente, lo cual resulta en un gasto de tiempo innecesario, mayor número de trámites y costos adicionales también para los que son atendidos al suplir la necesidad de una atención constante.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar el prototipo de un sistema de monitoreo remoto para el seguimiento de la presión arterial y saturación de oxígeno en sangre de pacientes crónicos que padecen de hipertensión, asma y/o EPOC en Colombia, haciendo uso de software libre y tecnologías de Internet de las Cosas (IoT).

1.4.2. Objetivos específicos

- Recolectar y analizar la información relacionada con el seguimiento de presión arterial y saturación de oxígeno en sangre e identificar los protocolos de comunicación que poseen los dispositivos tecnológicos para su medición.
- Plantear una arquitectura de software para una plataforma web que soporte la integración de servicios de medición anteriormente identificados de acuerdo con las tecnologías de IoT que provee el mercado, estableciendo los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de monitoreo.
- Construir los artefactos de diseño que se requieren al utilizar la metodología de desarrollo de software RUP.
- Desarrollar el prototipo de un sistema de monitoreo remoto no invasivo de pacientes que padecen de hipertensión, asma y/o EPOC.
- Documentar el proceso de desarrollo y realizar las pruebas funcionales del sistema de monitoreo.

1.5. ALCANCE

El alcance de este proyecto está delimitado por los siguientes factores:

Geográficamente el proyecto estuvo limitado para la construcción, por medio de su aplicabilidad, a cualquier sitio donde funcionara internet inalámbrico. Para el uso del dispositivo

se definió como lugar a Colombia y las entrevistas a expertos del mismo país fueron determinadas por los profesionales del área de la salud seleccionados a través de un muestreo por conveniencia.

Para cumplir con los objetivos planteados anteriormente se previó que serían necesarios 6 meses.

El proyecto se centró en la creación del prototipo de un sistema de monitoreo basado en dispositivo que se encarga de medir la presión arterial media y la saturación de oxígeno en la sangre, los cuales pueden ser aún más afectados por factores de riesgo en los pacientes crónicos y poder usar los datos recibidos para poder mostrar el historial del comportamiento de la variable que está siendo medida. Estos son distribuidos a los médicos a cargo de la persona o a los acudientes de esta.

Con la realización del presente proyecto se esperaba que se produjese el prototipo de un sistema de monitoreo de la presión arterial y la saturación de oxígeno en la sangre usando componentes hardware y software. Además de la documentación correspondiente al proceso de producción del mismo (manuales).

La investigación relacionada con este proyecto no produjo un dispositivo listo para salir al mercado y ser implementado inmediatamente en los centros de atención de cualquier entidad prestadora de los servicios de salud. Lo que fue producido es un prototipo funcional del dispositivo final.

Al no ser objetivo del presente proyecto, la creación del dispositivo final y mejoras al funcionamiento de este que surgieron como parte de la fase de pruebas del prototipo serán ambas partes del próximo paso a seguir en otro proyecto tras la finalización de este.

El producto que es entregado tras la finalización de este proyecto es el prototipo de un sistema formado por un dispositivo electrónico basado en las tecnologías del Internet de las Cosas (IoT) y un componente software que permite la medición constante de los signos vitales que pueden ser perturbados por factores de riesgo de aquellas personas que padecen hipertensión, asma y/o EPOC, además de la documentación que surgió como resultado del proceso. El prototipo del dispositivo fue probado en pacientes allegados al grupo investigador.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Sistema de monitoreo.

El concepto de sistema es ampliamente utilizado en muchas ramas del conocimiento, es por esto que se hace necesaria una especificación o punto de referencia para limitar la concepción de este con la que se trabajó en el presente proyecto. Una definición válida sería aquella que expresa que “un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente para alcanzar un objetivo específico” (Ogata, 1987). Siendo un componente una unidad particular en su función en un sistema. A partir de esto se puede ver que en la realidad todo hace parte de un sistema y es uno en sí mismo, así como un órgano es parte de un sistema funcional del cuerpo y a la vez en un conjunto de células con una funcionalidad específica.

Más específicamente, un sistema informático necesita que siempre existan 3 partes y estas son Hardware, Software y la misma información. El primero se refiere a la interconexión de dispositivos que hacen posible la existencia y el funcionamiento correcto del segundo, el cual maneja todos estos componentes según se programe. Sin embargo, el tercero no existe como un producto desde el inicio de la vida del sistema informático, debe ser creado a partir de un conjunto de datos. La diferencia entre información y datos es clara pero desconocida para muchos, por lo que erróneamente los catalogan como sinónimos. Los datos representan elementos en bruto (C. Laudon & P. Laudon, 2012), es decir, que aún no han sido procesados. Mientras que la información surge como el resultado de los procesos que han modelado esos elementos de manera que sea útil para los humanos.

Por otra parte, el concepto de monitoreo se refiere a un proceso sistematizado de recolección de información y de análisis, para el seguimiento de ciertos parámetros, cómo se está contextualizando en el ámbito de la salud estos parámetros se llamarán factores de riesgo.

Entonces en este proyecto un Sistema de Monitoreo se entiende cómo un conjunto de componentes que se interrelacionan entre sí para realizar un proceso sistematizado de recolección de información y análisis. Los componentes mencionados anteriormente son los siguientes: Plataforma IoT, Dispositivos IoT y Factores de riesgo.

2.1.2. Plataforma IoT.

Una plataforma en el contexto de la informática corresponde a un sistema que sirve como base para que puedan funcionar ciertos módulos Hardware o de Software con los que este sea compatible.

Por otra parte, el IoT o Internet of Things (Internet de las cosas), es mencionada por la empresa líder en TI a nivel mundial, la cual menciona que el IoT vincula objetos a internet, habilitando datos y tecnologías que nunca antes habían estado disponibles (Cisco, 2016). Si es cierto que los sistemas informáticos están limitados por los componentes que ya existan actualmente, también es cierto que cuando estos ya existen entonces los límites son los que las personas que los usan les den. Por ejemplo, con los conceptos tratados anteriormente y evidenciando una problemática específica se podría crear un sistema de monitoreo que permita medir los signos vitales de los pacientes con enfermedades crónicas que sea de gran impacto para las prácticas del cuidado de los pacientes usando las Tecnologías de la Información (TICs), conocido mundialmente como E-Health.

Entonces para que el presente proyecto funcione de la manera que se espera, debe existir algo que administre los Dispositivos IoT, que reciba los datos que obtengan estos, garantice la transmisión de datos y la interacción con los dispositivos, también se necesita que almacenen esos elementos en bruto, para luego realizar un procesamiento y análisis de los mismos y así generar la información deseada. Y luego de lo anterior, tenga la capacidad de generar una acción.

El párrafo anterior hace referencia a una Plataforma IoT, que según Brian Ray fundador y CTO de Link-Labs es el software de soporte que conecta el hardware de borde (en el caso del proyecto son los sensores), puntos de acceso y redes de datos a las aplicaciones de usuario final (Ray, 2016). Las tareas que suelen manejar las plataformas IoT suelen ser administración y visualización de datos, que permiten a los usuarios automatizar su entorno. En pocas palabras se puede pensar en estas plataformas como el intermediario entre los datos recogidos por los Dispositivos IoT y el cliente SaaS o aplicación móvil, que es utilizado generalmente por las personas encargadas del cuidado de los pacientes.

2.1.3. Dispositivos IoT.

Cómo se mencionó anteriormente para el desarrollo de este proyecto se usaron además de la Plataforma IoT, Dispositivos IoT, que son vinculados a esta, por lo que definir a que hace referencia es una necesidad. Estos dispositivos están compuestos principalmente por sensores, que se pueden entender simplemente como dispositivos que captan magnitudes, es decir, perciben las medidas de algo según una escala determinada, en el contexto del proyecto, son tensiómetro y pulxiómetro. Estos generan datos que pueden ser procesados en la tarjeta programable o enviados por esta vía internet para ser procesados en otro lugar. Ese otro lugar es la ya mencionada Plataforma IoT.

2.1.4. Hipertensión arterial

La Hipertensión arterial también conocida como la “asesina silenciosa”, se refiere al aumento de la presión arterial de forma crónica (Hipertensión Arterial, s.f.). También se considera “un trastorno en el que los vasos sanguíneos tienen una tensión persistentemente alta” (Preguntas y respuestas sobre la hipertensión, 2015).

Los síntomas de este trastorno dependen de las personas, existen algunas que no muestran ningún síntoma, y es por eso que se le conoce por el curioso nombre mencionado al inicio del punto. Pero en las ocasiones que muestra síntomas, estos son los siguientes: dolor de cabeza, dificultad respiratoria, vértigos, dolor torácico, palpitaciones del corazón y hemorragias nasales, pero no siempre.

Se sabe si la hipertensión no se controla, puede provocar un infarto de miocardio, un ensanchamiento del corazón y, a la larga, una insuficiencia cardíaca. Es por esta razón que es necesario un continuo monitoreo y seguimiento del parámetro llamado tensión arterial por medio de un tensiómetro.

2.1.5. EPOC

Esta enfermedad es definida por la OMS como “una enfermedad pulmonar caracterizada por una reducción persistente del flujo de aire. Los síntomas empeoran gradualmente y la disnea, que es persistente y al principio se asocia al esfuerzo, aumenta con el tiempo hasta aparecer en

reposo. Es una enfermedad que no siempre se llega a diagnosticar, y puede ser mortal.” (Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), 2016).

Esta enfermedad es principalmente causada por la exposición al humo de tabaco, otras causas no tan frecuentes pero que también influyen son la contaminación del aire, sea de interiores o del exterior, también la exposición laboral a polvos y productos químicos.

La EPOC es una enfermedad crónica puesto que esta no se cura, aunque en muchos casos puede ser prevenida. Sin embargo, con tratamiento farmacológico y fisioterapia se pueden aliviar los síntomas y así mejorar la calidad de vida.

Como el síntoma principal de la EPOC es la disnea, es decir, dificultad respiratoria, se produce evidentemente una hipoxia, que significa saturación de oxígeno baja. Es necesario el monitoreo de este parámetro para evitar las consecuencias de esta enfermedad.

2.1.6. Asma

Según la OMS el Asma es una enfermedad crónica que se caracteriza por ataques recurrentes de disnea y sibilancias, que varían en severidad y frecuencia de una persona a otra. Los síntomas pueden sobrevenir varias veces al día o a la semana, y en algunas personas se agravan durante la actividad física o por la noche. (OMS | Asma, 2013).

Las causas del Asma no están completamente claras, pero se considera que la combinación de una predisposición genética con la exposición ambiental a sustancias y partículas que pueden afectar las vías respiratorias.

Se puede dar cuenta que es muy similar a la EPOC, y por esa razón también se utiliza la saturación de oxígeno para determinar el grado de gravedad de un ataque de Asma.

2.1.7. Factor de riesgo

En los puntos anteriores se han mencionado ciertas causas, el nombre correcto de estas es “Factores de riesgo”, que según la OMS es “Un factor de riesgo es cualquier rasgo, característica o exposición de un individuo que aumente su probabilidad de sufrir una enfermedad o lesión”. (OMS | Factores de riesgo, s.f.)

2.1.8. UML

Es un lenguaje de modelado unificado respaldado por el OMG, ayuda a especificar, visualizar y documentar esquemas de sistemas de software, incluyendo su estructura y diseño, de manera que cumpla con todos estos requisitos (What is UML | Unified Modeling Language, 2005). Incluso se puede utilizar UML para el modelado de negocios y modelado de otros sistemas que no son de software también. El uso de cualquiera de la gran cantidad de herramientas basadas en UML en el mercado, puede analizar los requisitos de su aplicación en el futuro y diseñar una solución que les satisfaga, que representa los resultados utilizando trece tipos de diagramas UML estándar de 2.0.

En el presente proyecto se utilizó este lenguaje para especificar, modelar y documentar todos los artefactos de diseño necesarios para la posterior implementación del Sistema propuesto y de esta forma garantizar el correcto proceso de la metodología de desarrollo RUP.

2.1.9. RUP

En el presente proyecto se usó la metodología de desarrollo RUP, por esa razón es importante definirla. Se entiende RUP cómo un enfoque de desarrollo de software iterativo, centrado en la arquitectura y orientado a casos de uso. La información más completa se puede encontrar en el propio producto RUP, que contiene directrices detalladas, ejemplos y plantillas que cubren todo el ciclo de vida del software (Kroll & Kruchten, 2003).

El RUP también es un proceso de ingeniería de software bien definido y bien estructurado. Este define claramente quién es responsable de qué, cómo se hacen las cosas y cuándo hacerlo.

2.2. ESTADO DEL ARTE

2.2.1. A nivel internacional.

La computación en la nube y el internet de las cosas (IoT), paradigma y concepto que hacen posible el presente proyecto. Con la presente investigación se desarrolló un Sistema de Monitoreo Remoto, el paradigma mencionado es necesario para el desarrollo del proyecto ya que se

necesitaba una plataforma en la nube que administre la información. Además, el concepto mencionado, resuelve la parte del Monitoreo Remoto.

La Computación en la nube tuvo sus inicios en los grandes proveedores de servicios de Internet, se habla de Google, Amazon y otras más que construyeron su infraestructura. De allí surgió una arquitectura con ciertas características, pero realmente este modelo arquitectónico fue inmortalizado en octubre del año 2006, en un artículo de la revista Wired, llamado “Las Fábricas de Información” de George Gilder.

Por otra parte, para saber los inicios de lo que es IoT se debe remontar al Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), precisamente hablar de un grupo fundado en 1999, llamado Auto-ID Center. Las investigaciones del grupo mencionado trataban sobre la Identificación por radiofrecuencia (RFID) en red y tecnologías de sensores emergentes en la época.

Según Cisco, en 2003 había una población aproximada de 6.3 mil millones de personas en el mundo, y había alrededor de 500 millones de dispositivos conectados a internet. Y dada la definición del IoT, aún esta no existía. También mencionan que antes de llegar al 2010, efectivamente existía el IoT y era la primera vez en la historia, ya que en la tierra había aproximadamente de 6.8 mil millones de habitantes y cerca de 12.5 mil millones de dispositivos conectados a Internet. Y esto se debe al crecimiento exponencial de los Smartphones y las Tablet PC.

Estos dos avances de la tecnología han permitido que en todas las partes del planeta se estén desarrollando proyectos innovadores que den solución a ciertos problemas, ciertas necesidades de la sociedad. Estos proyectos están claramente basados en los dos avances mencionados, y uno de los enfoques más prometedores es el de la E-Health.

Para evidenciar lo anterior se realizó una búsqueda en bases de datos especializadas obteniendo diversos artículos que ayudaron a la comprensión del tema. Además, se realizaron consultas en el Buscador Académico de Google y en el Buscador Comercial Google permitiendo identificar documentación no científica válida para documentar el estado actual del Monitoreo Remoto en el ámbito de la salud a nivel internacional como nacional.

El primero que se evidenció tiene lugar en Australia en el año 2014, extraído de la revista *Future Generation Computer Systems*; el artículo es llamado *A platform for secure monitoring and sharing of generic health data in cloud*.

El artículo en cuestión de forma inicial menciona un gran aumento en la necesidad de cuidar de forma remota a pacientes que se encuentren en la comodidad de su hogar, sobre todo a los ancianos o los físicamente inhabilitados. Esto se debe según el artículo a que, así como la población mundial de ancianos aumenta, se hace oportuno aumentar su esperanza de vida, lo que presiona al gobierno a invertir en los ancianos, especialmente en el tema de la salud. En consecuencia, ha aumentado la demanda de reducción del costo de la asistencia sanitaria.

Otro de los puntos que tratan, es la popularidad que no para de crecer de los dispositivos móviles y su carácter omnipresente, que han dado como resultado el desarrollo de aplicaciones que permiten la tele asistencia móvil. Y mencionan que la combinación de la Nube con lo mencionado anteriormente, permite a los doctores monitorear y asistir la salud de sus pacientes mientras estos últimos están en la comodidad de su hogar.

Dado que existe la necesidad de compartir información de los pacientes entre doctores, enfermeras y familiares, para que sea efectivo el monitoreo y poder tomar acciones de forma temprana, se debió mencionar la protección de la confidencialidad y la integridad de la información de los pacientes, al que hacen referencia al hablar del estándar HIPAA también conocido como Ley de Portabilidad y Responsabilidad de Seguros de Salud (*Health Insurance Portability and Accountability Act*) de los EE. UU. Para lograr lo anterior, se menciona en el artículo que se usó ElGamal encryption, que es un sistema de criptografía de llave pública inventado por T. ElGamal, el cual tiene un algoritmo que provee una alternativa al RSA, sirve para generar firmas digitales, así como para cifrar y descifrar.

Una parte interesante del artículo es la mención de cuatro (4) soluciones tecnológicas que demuestra que este tipo de sistemas son una realidad. Una de estas es AliveCor, que es un Sistema de monitoreo de EKG remoto basado en aplicación móvil, inicialmente permite al paciente monitorear su EKG en un iPhone, y adicionalmente puede compartir la información.

Luego de presentar el desarrollo de su sistema terminan concluyendo que, las aplicaciones en la Nube para compartir información son un área emocionante y se está rápidamente haciendo factible en el futuro cercano. Se espera que más y más aplicaciones entren en el dominio de la salud, ya que actualmente se está incrementando la demanda del uso de la nube para propósitos relacionados con la medicina, así como compartir la información médica.

En China también se están desarrollando proyectos relacionados con el tema, evidenciado en el artículo llamado *A Health-IoT Platform Based on the Integration of Intelligent Packaging, Unobtrusive Bio-Sensor and Intelligent Medicine Box*, publicado en la revista *IEEE Transactions on Industrial Informatics* el año 2014.

Este proyecto es un poco más complejo, abarca gran cantidad de componentes y funcionalidades. Los autores notaron el gran potencial de negocio de los servicios médicos en el hogar basados en IoT, y determinaron que una plataforma comprehensiva faltaba en el mercado.

Lo que proponen e implementan los autores es una plataforma inteligente para el hogar, llamada *IHome Health-IoT*, la plataforma involucra tres (3) partes importantes. La primera 1) de estas es un botiquín inteligente basado en una plataforma abierta, llamado *IMedBox*, con conectividad mejorada e intercambiabilidad para la integración de dispositivos y servicios; el segundo componente 2) es un paquete farmacéutico inteligente, llamado *IMedPack*, con capacidad de comunicación gracias a RFID; y por último 3) un dispositivo sensor biomédico flexible y usable, llamado *Bio-Patch*, usando tecnología de impresión con tinta y sistema en chip.

Como se puede notar en el párrafo anterior, el proyecto al que se refiere el artículo es bastante ambicioso, y se trata principalmente de la parte del mismo que le compete al presente; la arquitectura de red del sistema en sí, que consta de tres (3) capas de red: Capa de servicios médicos inteligentes, capa de gestión de recursos médicos y capa de recogida de datos de sensores.

La capa de servicios de médicos inteligentes está directamente enlazada a hospitales, centros de emergencias y cadenas de suministros médicos. En esta capa es que los médicos actúan, usan sus respectivas aplicaciones móviles para estar al tanto del estado de sus pacientes.

En la capa de gestión de recursos médicos, que funciona como una capa auxiliar de transición, que involucra la administración y el manejo de los recursos médicos; en esta capa

involucra específicamente la computación en la nube y los servicios disponibles para recibir, procesar, almacenar y distribuir la información médica de los pacientes. Esta capa es el foco del proyecto que se desarrolló con la presente investigación.

Y por último la capa de recogida de datos de sensores es la base de toda la red, consiste en todos los dispositivos y sensores capaces de tomar toda la información especificada en el artículo, usando una gran cantidad de protocolos de comunicación, tanto cableados como inalámbricos.

Como conclusión dicen que, en las últimas décadas, el crecimiento de la población anciana ha sido un reto para los sistemas sanitarios mundiales. Muchos países han sido activos en la reestructuración de los hospitales a través de la optimización de los recursos médicos y el aumento del uso de la asistencia sanitaria en el hogar.

Por otra parte, en Rumania, en el año 2014, se evidencia un artículo llamado Adopting the Internet of Things Technologies in Health Care Systems. En este artículo inicialmente se refieren al IoT, dando definiciones, importancia, resaltando que es una innovación en diferentes sectores al permitir desarrollar entornos inteligentes haciendo converger cosas reales, virtuales y digitales; luego de esto mencionan la importancia del IoT junto con la tecnología de las redes y las telecomunicaciones respecto al cuidado de la salud.

Luego de haber dejado clara la importancia de estas tecnologías en el ámbito de la medicina, mencionan la importancia de desarrollar un sistema medico basado en IoT para asegurar e incrementar el cuidado de los pacientes, así como su calidad de vida; el sistema tiene como objeto hacer seguimiento y monitoreo de pacientes en las Unidad de Cuidados Intensivos (UCIs).

Teniendo en cuenta lo anterior proponen una arquitectura general de un Sistema del cuidado de la salud para el monitoreo de pacientes con riesgo en UCIs inteligentes; este sistema aconseja y alerta en tiempo real a doctores acerca de cualquier cambio de los signos vitales o el movimiento de los pacientes, incluso cambios del entorno para así poder tomar acciones preventivas.

Concluyen que las aplicaciones de IoT impulsan el desarrollo de plataformas para la implementación de sistemas vivos asistidos por el ambiente que ofrecerán servicios en las áreas

de asistencia en actividades diarias, monitoreo de salud, mejorando el acceso rápido a sistemas médicos y de emergencia.

Otro caso se encuentra en EEUU, en el año 2015, fue publicado un artículo llamado Health Monitoring and Management Using Internet-of-Things (IoT) Sensing with Cloud-based Processing Opportunities and Challenges. En el artículo no se evidencia el desarrollo de ningún sistema, sino como el nombre lo indica, muestra las oportunidades y los retos para el tema a tratar.

Inicialmente menciona sobre los sensores, su función que es la de obtener la información y mandarla por medio de algún protocolo de comunicación hacia el Internet; también se habla un poco de la importancia de los mismos para el sistema.

Luego de hablar sobre los sensores, proponen una arquitectura para el sistema. Arquitectura que consta de tres (3) componentes, muy parecidos a las capas expuestas en párrafos anteriores sobre el artículo de China.

El primer componente que mencionan es el de la Adquisición de datos, claramente se refieren al componente formado por sensores que miden los signos vitales de los pacientes, estos sensores están conectados por medio de Bluetooth o Zigbee a una red gracias a un concentrador de información intermedio, que en el artículo se refieren a un Smartphone.

El segundo componente es el de Transmisión de datos, los sub-componentes de este se encargan de transportar la información de los pacientes hacia las organizaciones médicas, garantizando la seguridad y privacidad, y que sea en tiempo real. En ese orden de ideas los dos sub-componentes que proponen en este, es un concentrador, generalmente un Smartphone, y un Cloudlet, generalmente un computador de escritorio. El concentrador recibe la información de los sensores a través de las tecnologías mencionadas en el párrafo anterior, y este envía información directamente a la nube usando WiFi o datos del celular. El Cloudlet se utiliza como Almacenamiento y procesamiento temporal, es accedido por el concentrador por medio de la red WiFi; es efectivo su uso cuando existe conectividad a Internet limitada, posteriormente la información almacenada es enviada a la nube.

El último componente es de Procesamiento en la Nube, consta de tres (3) partes, Almacenamiento, Análisis y Visualización. La primera sirve para almacenar registros históricos

de los datos de los pacientes recolectados por los sensores del primer componente. La segunda es utilizar los datos recolectados, los procesa y genera información relevante, tal como diagnósticos. Y la tercera es la que finalmente permite a los médicos hacer revisión de la información de sus pacientes. En este componente es donde se desarrolla la computación en la nube.

Luego de explicar los componentes propuestos, se puede apreciar una tabla de sensores disponibles y futuros, y su aplicación para detectar ciertas condiciones de salud respecto a la categoría de enfermedad a la que pertenezca. También proponen cuatro (4) arquitecturas para el sistema, se puede leer sobre las mismas en el artículo en cuestión.

Al final del artículo concluyen que los sensores mencionados, ofrecen buenas opciones para permitir la observación y registro de datos en el hogar, durante periodos mucho más largos que las actuales visitas de servicio y consultoría. También recuerdan la importancia de los datos recogidos, recalcando que cuando se analiza y se presenta a los médicos, es fácil de asimilar y tiene el potencial de mejorar radicalmente la asistencia sanitaria y reducir los costos.

Y así como los artículos mencionados anteriormente, aún existen gran cantidad que se relacionan con el proyecto que se pretende desarrollar en esta investigación, como uno evidenciado en Reino Unido del año 2015, llamado Bridging eHealth and the Internet of Things: the SPHERE Project; el cual básicamente ofrece una visión general de la evolución actual en los campos de la detección, la creación de redes y el aprendizaje automático. Otro ejemplo de estos es en Dubái del año 2014; es un artículo muy interesante en el que se propone un marco para recolectar los datos de los pacientes en tiempo real, realizar un monitoreo no intrusivo apropiado. Este marco, que se basa en la Arquitectura Orientada a Servicios (SOA) y la Nube, permite una integración perfecta de diferentes tecnologías, aplicaciones y servicios. También integra tecnologías móviles para recolectar y comunicar con facilidad datos vitales de los biosensores portátiles de un paciente. El artículo en cuestión fue llamado Novel cloud and SOA-based framework for Ehealth monitoring using wireless biosensors.

2.2.2. A nivel Nacional.

En Colombia también existen aportes significativos respecto al proyecto a desarrollar. Un ejemplo de estos es el perteneciente a la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá el 2014, el nombre es Ambient Intelligence based Multi-Agent System for attend Elderly People.

El acta de conferencia inicia mencionando las personas mayores, principalmente que sus cambios físicos y fisiológicos dificultan el desempeño y control de las obras básicas de la casa. Hacen hincapié también respecto a la probabilidad de abandono total o parcial cada vez más alta, lo que limita el control adecuado de la salud de la persona, lo que podría evitar muchos de los problemas típicos del envejecimiento generando alertas y acciones apropiadas. Por lo cual se hace necesario proporcionar asistencia a las personas mayores en las acciones cotidianas.

A partir de lo anterior proponen un sistema, el cual incluye la automatización de los procesos domésticos y el uso de la información recopilada durante las actividades diarias de la persona con el fin de operar un sistema multi agente (SMA). Primero hacen un análisis del ambiente inteligente, donde determinan necesario dividir el problema en niveles de servicio de asistencia en el hogar. Estos niveles permiten la monitorización y modelación de la conducta de la persona en el tiempo, con lo cual se diseña una herramienta informativa que permita minimizar cierto tipo de riesgo vital para los pacientes.

Al final concluyen que analizar el problema mediante SMA facilita encontrar una buena aproximación, ya que existen muchas ventajas como: distribución de procesos, nivel de escalamiento y de cooperación logrando una mejor organización en las respuestas del sistema. Y al final mencionan que en un futuro trabajo del proyecto se tendrá la implementación del SMA.

Por otro lado, existe evidencia de un artículo en Manizales, llamado Salud electrónica para el autocuidado de pacientes con factores de riesgo asociados al síndrome metabólico, publicado el 2015. El propósito del artículo es el de identificar la evidencia científica sobre el uso de estrategias de salud electrónica en las intervenciones dirigidas a mejorar el autocuidado de pacientes con factores de riesgo cardiovascular asociado con la presencia de síndrome metabólico.

En este artículo mencionan puntos sobre como las TIC pueden mejorar las condiciones de vida de ciertos pacientes que padecen enfermedades crónicas como: Sobrepeso y obesidad,

diabetes, hipertensión arterial y síndrome metabólico. Y al final concluyen que el uso de E-Health es importante para el manejo de los factores de riesgo del mencionado Síndrome Metabólico ya que muestran un efecto positivo sobre la calidad de vida cuando se aplican correctamente.

También se evidenció un artículo publicado el 2014 en la Revista Vínculos, llamado SISTEMAS E-HEALTH PARA EL TRATAMIENTO DE LA DIABETES. En el cual se exponen los resultados de como la ingeniería contribuye a la prevención y el cuidado de pacientes con diabetes.

Al inicio de la publicación tratan de evidenciar que tan inmensa es la población del mundo que padece diabetes, posterior a esto hablan un poco del tema, mencionando como se diagnostica y ciertos tratamientos para esta enfermedad crónica. Luego se habla del control de la misma y hasta las consecuencias de no tratarla.

Ya el cuarto título del artículo habla sobre la Telemedicina, dan una definición y otros conceptos ligados a esta como son M-Health y E-Health. Mencionan cuatro sistemas E-Health para el tratamiento de la diabetes; pero solo se destacan dos que se relacionan directamente con este proyecto.

El primero es el Wearable-Computing para el tratamiento y control de la diabetes. Para el cual menciona ciertos elementos que aún son ideas en investigación como un Glucómetro en lente de Google o el reloj iWatch de Apple.

Y el segundo es el Sistema de control diario y monitoreo desde la casa de la diabetes. Es básicamente lo que se quería desarrollar en este proyecto referente al monitoreo remoto, ya que mencionan sobre que la diabetes requiere un acompañamiento continuo del profesional de la salud, entonces este sistema sirve de apoyo para que el paciente pueda tomar sus niveles de azúcar y enviarlas al correo del médico.

Para finalizar con este artículo concluyen que los grandes avances de los wereables, permitirían un mejor monitoreo y mucho más especializado, al desarrollar dispositivos implantados dentro del cuerpo. También mencionan que los sistemas de comunicación y las grandes redes de telemedicina no serán solo temas de los países desarrollados, estás pasaran a ser

una necesidad para la vida digna, haciendo énfasis si se vive en lugares apartados, donde estos sistemas pueden ofrecer servicios y atención oportuna.

2.2.3. A nivel local.

Se realizaron búsquedas para el monitoreo remoto de parámetros fisiológicos basados en la nube y el Internet de las Cosas en el Departamento de Bolívar y la ciudad de Cartagena de Indias, los cuales no dieron resultados satisfactorios. De acuerdo a lo anterior, se hace necesaria la realización de este proyecto y de la puesta en marcha de una herramienta de esta índole a nivel local para beneficio de todos los bolivarenses.

2.3. LIMITANTES DE LOS DOCUMENTOS REVISADOS.

Haciendo una revisión general del estado del arte se encontró que en la mayoría de los proyectos revisados es común encontrar limitantes respecto a los tipos de sensores utilizados, tales como sensores de presión, pulso, temperatura, niveles de glucosa, entre otros. En el presente proyecto se pretende implementar el producto con sensor de presión. Otro de los problemas encontrados es con la interfaz gráfica de usuario (GUI), ya que en los artículos se manifestó que no eran muy amigables con el usuario final. Una GUI que no sea amigable con el usuario afecta directamente al factor de calidad de la Usabilidad según McCall. Por otra parte, a nivel local no se evidenció ningún proyecto similar al presentado en el presente trabajo. Lo que hace pertinente el desarrollo de este proyecto de investigación.

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN Y ENFOQUE.

Para completar este proyecto se llevó a cabo un tipo de investigación aplicada dado que se utilizó un contexto real que se presenta entre las instituciones prestadoras de salud y el seguimiento de las variables de cambio de los pacientes con enfermedades crónicas, más específicamente, los que padecen hipertensión, asma o EPOC. Aportando a las soluciones de los inconvenientes presentados en dicho contexto se beneficiaron no sólo ambas partes sino también los encargados de los pacientes crónicos, debido a que hacen uso de las ventajas que presentan los sistemas de seguimiento. Por otra parte, el enfoque utilizado es cuantitativo debido a que se muestra información deducida a partir de los datos que son recolectados por los sensores según cumplan ciertas condiciones predefinidas y el punto en que se encuentren las variables de cambio en los rangos estipulados.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.

Como población específica de este proyecto se eligieron a aquellos pacientes crónicos que padecieran enfermedades específicas, como lo son la hipertensión, el asma y/o EPOC. Sin embargo, para la realización del proyecto se tomó de muestra a un pequeño grupo de pacientes de este tipo que estaban entre los integrantes de las familias de los investigadores.

3.3. FUENTES DE INFORMACIÓN.

Para obtener la información referente al estado en que se encontraba el problema desarrollado entre las entidades prestadoras de salud y los pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC se tuvieron en cuenta para el presente proyecto como fuentes

primarias a dos profesionales en el área de la medicina cercanos al grupo investigador, los cuales tienen experiencia tratando con pacientes que presentan problemas de presión arterial alta y baja.

Por otra parte, para obtener información acerca de las partes electrónicas que conformarían al dispositivo y como podrían interactuar estas para darle el funcionamiento deseado como finalidad del proyecto se tuvo en cuenta información recopilada en el tema de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés).

Conforme a las fuentes secundarias se buscaron publicaciones de investigaciones relacionadas con dispositivos de e-health que hicieran lecturas de signos vitales propensos a ser alterados por factores de riesgo o cuya temática sea a fin con el objetivo general del proyecto.

3.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

La recolección de información desde las fuentes primarias se hizo por medio de entrevistas teniendo en cuenta un cuestionario predefinido según la experticia de la persona en los temas de las enfermedades. Todo el proceso de estas fue registrado en actas que se anexaron al presente documento.

Del mismo modo se hicieron búsquedas en las bases de datos que tenía contratada la Universidad de Cartagena sobre las publicaciones mencionados anteriormente, las cuales se consideran como aportes al estado del arte del presente proyecto.

3.5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Tras obtener la información de la entrevista a las fuentes primarias y las publicaciones provenientes de bases de datos pertinentes se hizo un análisis para poder definir las directrices que tomó el desarrollo del proyecto como tal, teniendo en cuenta las necesidades reales de los pacientes especificados y los aportes que se pueden hacer para mejorar la calidad de vida de estos. Además de la elección de los componentes electrónicos que necesarios para el correcto funcionamiento del prototipo.

3.6. DESARROLLO GENERADO POR OBJETIVOS.

Este proyecto utilizó la metodología de desarrollo de software RUP, articulada con los objetivos específicos de la siguiente manera:

3.6.1. Fase de iniciación

En esta fase se realizó el primer objetivo específico que indica “Recolectar y analizar la información relacionada con el seguimiento de presión arterial y saturación de oxígeno en sangre e identificar los protocolos de comunicación que poseen los dispositivos tecnológicos para su medición”. Para llevarlo a cabo primero se utilizaron bases de datos indexadas para realizar una consulta bibliográfica sobre dispositivos y sensores que permitían la lectura de la presión arterial y el oxígeno en sangre. Luego se identificaron y evaluaron las funcionalidades de otros dispositivos que comparten finalidades parecidas al prototipo que es el resultado del presente proyecto. Lo anterior se realizó para elaborar un marco conceptual y bibliográfico sólido. Después se revisaron los datos recolectados para compararlos e interpretarlos, y de esta forma poder elegir los sensores adecuados y continuar con el siguiente objetivo.

Igualmente se cumplió con el segundo objetivo “Plantear una arquitectura de software para una plataforma web que soporte la integración de servicios de medición anteriormente identificados de acuerdo con las tecnologías de IoT que provee el mercado, estableciendo los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de monitoreo.”. Para poder diseñar una arquitectura que permitiera crear un prototipo funcional del dispositivo era necesario recopilar y analizar ejemplos de estas que se pudieran adaptar las necesidades del presente proyecto. Además, también se debió consultar la forma en que se comunicarían las distintas partes del dispositivo y el funcionamiento que le sería programado.

Todo esto debía realizarse debido a que cumplir con este objetivo requería de una clara noción de la arquitectura que debe seguir un software que necesite interactuar con componentes electrónicos y las necesidades de monitoreo de los pacientes que padezcan las enfermedades ya puntualizadas para delimitar el alcance y las funcionalidades del mismo.

3.6.2. Fase de elaboración

En esta fase se le cumplió con el objetivo “Construir los artefactos de diseño que se requirieren al utilizar la metodología de desarrollo de software RUP”. Para esto se usó la herramienta de diseño Enterprise Architect, la cual permite modelar software usando el lenguaje gráfico UML.

3.6.3. Fase de construcción

En esta fase se le cumplió con el objetivo “Desarrollar el prototipo de un sistema de monitoreo remoto no invasivo de pacientes que padecen de hipertensión, asma y/o EPOC”. Con el ideal de completar este objetivo conforme a los anteriores, se creó un dispositivo electrónico capaz de recolectar datos de las variables de cambio de los pacientes crónicos según la enfermedad que padecieran entre las especificadas. Además de las alertas si se encuentra cierta anomalía en los datos que están siendo recolectados.

3.6.4. Fase de transición

En esta fase se cumplió con el objetivo “Documentar el proceso de desarrollo y realizar las pruebas funcionales del sistema de monitoreo”. Para poder completar esto se realizaron pruebas de funcionalidad al prototipo del sistema y corregir los errores que surjan en el proceso, para que el producto fuera de calidad. Además, desde el inicio del proyecto se documentaron los procesos que se siguieron hasta la finalización de este, incluida la información interna del funcionamiento y manejo del software y del dispositivo.

4. RESULTADOS

4.1. OBJETIVO 1.

“Recolectar y analizar la información relacionada con el seguimiento de presión arterial y saturación de oxígeno en sangre e identificar los protocolos de comunicación que poseen los dispositivos tecnológicos para su medición”

4.1.1. Términos de búsqueda

A continuación se pueden ver la Tabla 1 y Tabla 2 donde se muestran los términos combinados para la creación de las cadenas usadas en la búsqueda en línea a través de los motores seleccionados.

Tabla 1. Términos de búsqueda en español.

Términos para especificar el campo de la salud	Términos para especificar el hardware
Signos vitales	Monitoreo remoto
Estado de salud	
Hipertensión	
Asma	
EPOC	

Tabla 2. Términos de búsqueda en inglés.

Términos para especificar el campo de la salud	Términos para especificar el hardware
Health	Monitoring System
Vital Signs	
Hypertension	
Asthma	
COPD	

4.1.2. Resultados de la búsqueda de publicaciones.

De las diferentes combinaciones de los términos de búsqueda en español y en inglés que se usaron en los motores de búsqueda de Google Scholar, ScienceDirect y PubMed.

En Google Scholar se hizo la búsqueda de las 5 posibles combinaciones organizadas de tal forma que la cadena de texto a buscar contara con sentido lógico. Se tuvieron en cuenta las primeras 10 páginas de resultados debido a que se evidenció que más allá de este límite los artículos viraban lejos de las publicaciones a las que se apuntaba encontrar. Dado que por defecto el motor de resultados académicos de google muestra 10 artículos por página se tiene que fueron 100 resultados por combinación. De los 1000 en total, se eligieron los que poseían palabras en el título o que en este hubiese frases equivalentes o aproximadas a la información que se estaba buscando para el desarrollo del presente proyecto y que no supusieran duplicados para los artículos ya elegidos. De esta selección se tomaron como potencialmente útiles 160 resultados de Google Scholar.

En ScienceDirect, por otra parte, no se encontraron más que, literalmente, un par de resultados con las combinaciones en español. Mientras que en inglés se tuvieron 781 resultados preliminares, de los cuales, al aplicar el proceso de selección por los términos presentes en los títulos y/o el sentido de estos, se tomó como válidos 60 artículos como aptos para la siguiente etapa del proceso.

Para la búsqueda realizada en PubMed se vieron un total de 680 publicaciones, de las cuales fueron admitidas 21 por sus títulos para la siguiente fase.

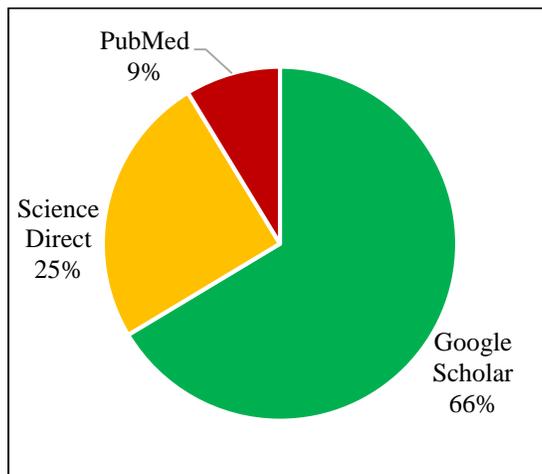


Figura 1. Distribución según la base de datos de origen

Posteriormente, se hizo un análisis de los resúmenes (abstract) de los 241 artículos recopilados, de los cuales se aceptaron en total 72. De estos a su vez se hizo una clasificación según el grado de relevancia y afinidad que tenían con el presente proyecto. Con el objetivo de que esta fuera lo más precisa y aceptable posible se definieron 3 grados: alto, medio y bajo.

Más específicamente, se definió que las publicaciones que se encuentran en un grado alto son aquellas que dentro de la temática tratada abordan aspectos técnicos de los dispositivos y el monitoreo de las 3 enfermedades en las que se enfoca el presente proyecto. Los que se encuentran en medio son aquellos que sí hacen un acercamiento técnico a los dispositivos, pero se centran en otras enfermedades. Por último, los que se encuentran en la categoría de bajo son aquellos que tienen un acercamiento a los temas que se tratan en este proyecto, pero no con el mismo enfoque, es decir, que se asemejan más a estudios o antecedentes de investigación.

Según dicha clasificación se tiene que, del total de los artículos admitidos, 13 tienen un grado alto, 32 se encuentran en medio y 27 corresponden a bajo. La representación de estos según su relevancia para el presente proyecto se puede evidenciar en la Figura 2.

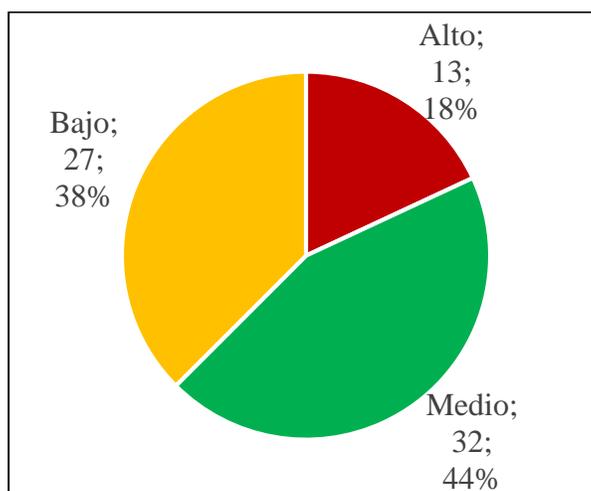


Figura 2. Distribución según el grado de relación con el proyecto.

De toda la información que contienen estos artículos de gran importancia para el proceso de la revisión bibliográfica, se preparó la

Tabla 3 con los aspectos que aportan a esta investigación y al campo en general, sin embargo, sólo se tuvieron en cuenta para esto los referentes bibliográficos que estuvieran en los 2 niveles que tienen más trascendencia para la presente investigación.

Tabla 3. Resultados de la investigación.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(Vargas Escobar & Salinas, 2016)</i>	Implementar un prototipo de un SMR para pacientes que necesiten monitoreo del pulso cardiaco.	Hardware: E-Health Sensor Platform Shield, linkIt ONE. Software: UBIDOTS.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Antecedente de implementación. • Selección de tecnologías Software.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(Chooruang & Mangkalakeeree, 2016)</i>	Implementar un SMR para pacientes con problemas cardiacos.	Hardware: usan sensores, tarjeta Arduino y Raspberry Pi para probar que se puede medir, enviar y recibir datos del ritmo cardiaco en tiempo real.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Antecedente de implementación.
<i>(Abinayaa & Raja, 2016)</i>	Implementar un SMR para pacientes con asma.	Hardware: usan sensores de temperatura, flujo de aire, acelerómetro y una tarjeta Raspberry Pi 2. Software: Envío de las lecturas a una base de datos a base de SQLite. El historial puede ser accedido por el médico encargado a través de una aplicación móvil.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software. • Antecedente de implementación.
<i>(Vaibhav & Ahmad, 2018)</i>	Diseñar e implementar un sistema inalámbrico de monitoreo de parámetros biomédicos.	Hardware: usan sensores de temperatura e infrarrojo, módulo de conexión WiFi y una tarjeta Arduino UNO	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.

Autores	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(Saha, Paul, Chaudhury, Haldar, & Mukherjee, 2017)</i>	Proponer e implementar un SMR de parámetros de salud, cuyos datos son enviados por WiFi.	Software: usan la tecnología de computación en la nube. Hardware: usan una tarjeta Arduino UNO con sensores de temperatura, ECG, latidos del corazón y un módulo WiFi.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software.
<i>(Yang, Zhou, Lei, Zheng, & Xiang, 2016)</i>	Diseñar e implementar un SMR con tecnología IoT de punta.	Software: usan tecnología de computación en la nube ligada a IoT. Hardware: Sensor de ECG, módulo Wi-Fi.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software. • Arquitectura.
<i>(Khoi, Saguna, Mitra, & Áhlund, 2015)</i>	Diseñar una arquitectura para un SMR basado en IoT e implementar dicho sistema.	Software: usan computación en la nube. Hardware: usan sensores RFID, de ECG, de pulso cardiaco.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software. • Arquitectura.
<i>(Arias Juárez, 2017)</i>	Diseñar e implementar un SMR para medir	Software: crearon una aplicación para Android, software para	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
	saturación de oxígeno en sangre y pulso cardiaco.	la gestión de los datos en C# y usan SQL Server. Hardware: usan módulos Bluetooth, sensores de pulso cardiaco y saturación de oxígeno en sangre.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de tecnologías software. • Arquitectura. • Diseño.
<i>(Gutiérrez Cisternas & others, 2016)</i>	Desarrollar un sistema de monitoreo continuo de variables fisiológicas clínicas con sensores no invasivos y transmisión inalámbrica de datos.	Software: crearon un programa en Python para recibir y procesar los datos. Hardware: usan sensores de ECG, actividad respiratoria, temperatura, un microcontrolador ATmega328P y un módulo Bluetooth.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software. • Arquitectura. • Diseño.
<i>(Ghosh, Halder, & Hossain, 2016)</i>	Implementar un SMR para pacientes. Donde los doctores y familiares encargados de ellos puedan ver sus signos vitales.	Hardware: Acelerómetro, sensor táctil, de luz, de humedad, temperatura, ECG, microcontrolador Arduino UNO.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Arquitectura.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
		Software: Interfaz de escritorio y web.	
<i>(Londoño, Duque, & Valdivieso, 2015)</i>	Diseñar e implementar un prototipo del SMR usando una red inalámbrica de área personal.	Hardware: usan un monitor de presión arterial en una tarjeta electrónica.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software.
<i>(Panicker & Kumar, 2015)</i>	Desarrollo de un sistema de monitoreo inalámbrico.	Hardware: uso de PIC microcontrolador, sensores, módulo de bluetooth y PC/Smartphone. Software: aplicación de escritorio en java. App móvil con Android studio.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores. • Selección de tecnologías.
<i>Jiménez Caicedo, Ramírez Quintero (2016)</i>	Implementar un sistema de gestión de seguridad de la información aplicado al telemonitoreo médico	Hardware: SMR con Arduino UNO, sensores eHealth y módulo wifi. Software: Sistema de seguridad de la información.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura del hardware. • Selección de sensores.
<i>(Xu, Gao, Lee, Yamada, Yavari,</i>	Proponer un sistema de análisis de bioimpedancia para	Hardware: Electrodos de conducción, electrodos de detección.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>Lubecke, Boric-Lubecke, 2016)</i>	monitoreo de pulso cardiaco.		<ul style="list-style-type: none"> • Antecedente de implementación.
<i>(Lin, Wong, & Tseng, 2016)</i>	Implementar un SMR cardiovascular.	<p>Hardware: Electrodo en un chaleco, modulo bluetooth.</p> <p>Software: Módulos de información médica de los pacientes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores
<i>(Kalyan, Chugh, & Anoop, 2016)</i>	Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de ritmo cardiaco usando el sensor de Magneto-Resistencia gigante.	Hardware: sensor de Magneto-Resistencia gigante, osciloscopio.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.
<i>(Chetelat, y otros, 2015)</i>	Diseñar un chaleco que permita la monitorización de signos vitales.	Hardware: Sensor de oxígeno en sangre, sensor de temperatura, sensor de ECG.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores
<i>Gilbert, Vickberg, Schwab, Haider, Kantarci, Croghan y Sainati (2015)</i>	Implementar un SMR para pacientes que necesiten monitoreo desde sus hogares.	<p>Hardware: Body-worn Unit para la toma de signos vitales y un Home Gateway para recibir los datos del body-worn unit y luego</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura del hardware.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(Guano, Alulema, & Carrera, 2015)</i>	Un SMR para pacientes mayores.	transmitirlos a la clínica. Hardware: uso Arduino Uno, GSM/GPRS y sensores para monitorear el estado de salud de las personas mayores. Software: uso de PHP y HTML para mostrar la información.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.
<i>(Herreria Grijalva & Navarrete Vallejos, 2016)</i>	El diseño y construcción de una red de monitoreo de signos vitales en adultos mayores con deficiencia de movilidad.	Hardware: Red de sensores de presión arterial, frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno, microcontrolador. Software: Desarrollo del software del microcontrolador y del sistema de análisis de datos.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software.
<i>(Kumar & Rajasekaran, 2016)</i>	Implementar un SMR usando IoT para reducir costos.	Hardware: Raspberry Pi, sensor de temperatura,	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(Tsukiyama, 2015)</i>	Crear un SMR para ancianos.	respiración, latidos de corazón y acelerómetro. Hardware: usa sensores sistemáticamente posicionados en las tuberías de agua de la cocina, cuarto de lavado y baño.	• Selección de sensores.
<i>(Chirakanphaisarn, Thongkanluang, & Chiwpreechar, 2016)</i>	Recolectar y analizar la información obtenida a partir de sensores de pulso cardiaco durante un experimento en personas entre 20 y 80 años.	Hardware: ATMEGA 2560, ADK R3, LCD, memoria SD. Software: Algoritmo embebido.	• Selección de sensores.
<i>(Nandy & Barman, 2018)</i>	Monitorear el pulso cardiaco de una persona con bajos costos.	Hardware: ELVIS II board, sensor piezoeléctrico. Software: LabVIEW.	• Selección de sensores.
<i>(Ortiz Lima, 2016)</i>	Crear e implementar un SMR y mostrar los valores de las mediciones en un aplicativo web.	Hardware: Arduino UNO, WiFiShield, MPX5100, válvula KSV05B, P54A02R.	• Selección de sensores.

Autores	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(López, López, & Sanabria, 2015)</i>	Desarrollar una arquitectura de biotelemedicina operativa y funcional a corto alcance.	Hardware: basada en plataforma Arduino Mega ADK. La arquitectura utiliza sensores y las tecnologías Bluetooth y ZigBee.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores.
<i>(Kasundra & Shirsat, 2015)</i>	Crear un SMR flexible y escalable.	Hardware: Uso de Raspberry PI, sensores de signos vitales, módulo Zigbee o de bluetooth.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores.
<i>(Lounis, Hadjidj, Bouabdallah, & Challal, 2016)</i>	Proponer una arquitectura para coleccionar y acceder a grandes cantidades de datos proporcionadas por las redes de sensores médicos.	Software: usan tecnología de computación en la nube.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de tecnologías software
<i>(Harous, El Meshawy, Serhani, & Benharref, 2018)</i>	Proporcionar una arquitectura para un sistema de apoyo para bajar de peso a los pacientes que padecen de obesidad.	Hardware: Sensor de pulso, azúcar en sangre, presión arterial, peso y actividad física (pedómetro).	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de tecnologías software • Selección de sensores.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
		Software: JSON, Python, MATLAB, Servicios Web.	
<i>(Hossain & Muhammad, 2016)</i>	Proponer un Framework de monitoreo habilitado por HealthIoT donde los datos de atención médica se recopilan y se envían de manera segura a la nube para un acceso sin interrupciones por los profesionales de la salud.	Hardware: Sensor de ECG.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores.
<i>Pinil, Mantilla y Rodriguez (2017)</i>	Proponer un sistema electrónico encargado de realizar monitoreo remoto mediante el envío de datos de parámetros fisiológicos usando redes móviles y visualización Web a través de internet	Hardware: OEM multiparámetros que incluyen BPM, ECG, saturación de oxígeno, frecuencia respiratoria y temperatura. Software: Web Socket.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Arquitectura.

Autores	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(Serhani, Menshawy, & Benharref, 2016)</i>	Proveer una arquitectura end-to-end novedosa para monitorización y visualización de enfermedades de por vida.	Hardware: Emotiv EPOC neuroheadset, Muse™, Mindwave Mobile. Software: MySQL, Restful, JSON.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de tecnologías software • Selección de sensores.
<i>(Mahmud, Wang, Esfar-E-Alam, & Fang, 2017)</i>	Diseñar y hacer un prototipo de un sistema de monitoreo de salud inalámbrico utilizando accesorios para teléfonos móviles.	Hardware: RFduino con BLE, sensores de ECG. Software: Aplicación Android.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores.
<i>(Ahmed, Millat, Rahman, Alam, & Zishan, 2015)</i>	Construir un dispositivo simple que pueda transferir datos de los signos vitales de los pacientes a un dispositivo remoto.	Hardware: Arduino UNO, LM35 IC, módulo BT HC-05 y LM358.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.
<i>(Li, Lin, Wang, Yang, & Lin, 2017)</i>	Diseñar e implementar un sistema capaz de transmitir	Hardware: Sensor de ECG y de oxígeno en sangre.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
	información sobre la saturación de oxígeno en sangre, el ECG y la caminata del 6MWT.	Software: Consta de una GUI, un THREAD y un BUFFER.	
<i>(Li, Hu, & Zhang, 2017)</i>	Proponer un sistema de monitoreo generalizado que pueda enviar señales físicas de los pacientes a aplicaciones médicas remotas en tiempo real	Hardware: Sensores de ECG y de saturación de oxígeno en sangre. Software: Aplicación en Android.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura. • Selección de sensores.
<i>(Gia, Ali, Dhaou, Rahmani, Westerlund, Liljeberg, Tenhunen, 2017)</i>	Diseñar e implementar una arquitectura para un sistema de monitoreo de glucosa en tiempo real y muestra de resultados en formas entendibles para los usuarios finales.	Hardware: transmisor y receptor nRF, ATMEGA328P, nodos de sensores.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.
<i>(Tuna, Das, & Tuna, 2015)</i>	Proponer un sistema de monitoreo de	Hardware: Arduino UNO, ATmega328P,	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
	salud basado en la red de sensores inalámbricos para personas mayores y discapacitadas	acelerómetro triaxial, sensor de ECG, sensor de flujo de aire y sensor de temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura.
<i>(Khan, Hai, Sawand, Khuzema, & Tariq, 2016)</i>	Crear un SMR para enviar los datos de los signos vitales de los pacientes vía Bluetooth al SmartPhone.	Hardware: Arduino UNO, LM35, sensor SEN-11574 y módulo BT HC-05 Software: Aplicación Android.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Arquitectura. • Selección de tecnologías software.
<i>(Colmenares-Guillen, Ruiz, & Niño, 2015)</i>	Presentar una alternativa viable, para tener un monitoreo eficiente y no invasivo, mediante la utilización de software y hardware libre.	Hardware: Arduino UNO, GPS, pulsioxímetro, acelerómetro y de respuesta galvánica. Software: Aplicación Android.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Arquitectura.
<i>(George & Mathew, 2016)</i>	Proponer un sistema donde la salud del paciente se monitorea continuamente usando diferentes	Hardware: Sensores LM35, de ECG, de latidos del corazón y acelerómetro. Software: Aplicación Android.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
	sensores que están conectados a la placa Arduino.		
<i>(Yauri Rodriguez, 2016)</i>	Diseñar, desarrollar y construir un sistema de monitoreo remoto, basado en IOT, para la adquisición, procesamiento, envío y visualización de datos de señales electrocardiográficas .	Hardware: Circuito integrado AD8232, microcontrolador PIC2432KA302, módulo de comunicación ESP8266, módulo GPRS Sim808. Software: NodeJS.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Arquitectura.
<i>(Hassanalieragh, Page, Soyata, Sharma, Aktas, Mateos, Kantarci, Andreescu, 2015)</i>	Mostrar las oportunidades y riesgos de la IoT en el telemonitoreo tras la implementación de un SMR.	Hardware: Tarjetas Zigbee, modulo Bluetooth.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Arquitectura.
<i>(Sendra, Parra, Lloret, & Tomás, 2018)</i>	Presentar una arquitectura inteligente para el monitoreo de enfermedades crónicas de los niños	Hardware: Sensor de lugar, temperatura, pulso cardiaco, de movimiento, módulo BT HC-05.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Arquitectura. • Selección de tecnologías software.

<i>Autores</i>	Propósito de la investigación	Solución	Aportes al presente proyecto
<i>(Gómez, Oviedo, & Zhuma, 2016)</i>	que permitirá a los cuidadores controlar de forma remota la salud de estos.	Software: Muy bien construida aplicación Android.	
	Desarrollar un robot social en el área de la telemedicina para el monitoreo remoto y diagnóstico de enfermedades cardiovasculares en el adulto mayor.	Hardware: Arduino UNO, tarjeta GSM Shield, Sensor de pulso, infrarrojo, LM35 Software: PostgreSQL.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de sensores. • Selección de tecnologías software.

4.1.3. Resultados de la búsqueda de sensores y protocolos de comunicación.

Según lo que se evidenció en la búsqueda de información realizada a las publicaciones del ítem anterior se procedió a buscar características importantes de los sensores y placas que competen al desarrollo del presente proyecto, los resultados de esto se pueden observar en la Tabla 4 y Tabla 5 respectivamente.

Tabla 4. Características de los sensores de pulso y oxígeno.

<i>Referencia del Sensor</i>	Precio	Invasivo	Información Adicional
<i>SEN-11574</i>	\$24.95 (fuente: Sparkfun)	No	Sólo pulso. Está armado en forma de “electrodo”

Referencia del Sensor	Precio	Invasivo	Información Adicional
<i>SPO2 for e-Health Platform</i>	€20.7 (fuente: Cooking-Hacks)	No	Es compatible con el e-Health Platform, trae Display.
<i>MAX30100</i>	\$2.3 + \$1.63(envío) (Aliexpress)	No	Pulso y Oxímetro, interfaz I2C. A diferencia de los anteriores, es el módulo independiente.

Tabla 5. Características de las placas.

Referencia de la placa	Precio	Info Adicional
<i>Arduino Uno</i>	\$6.37 + \$2.57(envío) (fuente: Aliexpress)	Pines digitales I/O 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM) Pines de entrada analógica 6
<i>e-Health Platform</i>	€379 (fuente: Cooking-hacks)	Necesita Arduino Uno
<i>Raspberry PI</i>	\$37.38 (fuente: Aliexpress)	BT y WIFI integrado, 1gb memoria, quad-core, 40 GPIO pins, microsd slot, etc.
<i>Arduino® MEGA ADK</i>	\$26.80 + \$2.63(envío) (fuente: Aliexpress)	Puertos digitales: 54 (14 puertos de salida PWM) Puertos analógicos: 16
<i>ESP8266</i>	\$3.06 + \$0.32(envío) (fuente: Aliexpress)	BT y WIFI integrado. Módulo integra 3.3 V regulador, gpio, PWM, CII y ADC todos en un tablero.
<i>Arduino Mega 2560</i>	\$12.00 + \$2.73(envío) (fuente: Aliexpress)	Pines digitales I/O 54 (de los cuales 14 proporcionan salida PWM)

		Entrada analógica Pasadores 16
ESP32	\$7.20 + \$2.97 (envío) (fuente: Aliexpress)	BT y WIFI integrado, dual core. Mejora del ESP8266.

Comunicar dos o más circuitos integrados es una tarea necesaria en el desarrollo de este proyecto, ya que se están utilizando dos dispositivos electrónicos, uno de ellos es el cerebro que debe comunicarse con el otro dispositivo que sirve para capturar los datos necesarios. Respectivamente los dispositivos son: un microcontrolador SoC (System on a Chip), de referencia ESP32, creado y desarrollado por Espressif Systems y el circuito integrado MAX30102, creado por Maxim Integrated. Según el Datasheet de ESP32, este posee un módulo WIFI, Bluetooth y memoria flash integrada, además de varias interfaces periféricas para varios protocolos, entre ellos destacamos: I2C (Inter-Integrated Circuit) y SPI (Serial Peripheral Interface).

Ambos protocolos de comunicación sirven para la comunicación serial síncrona entre dos o más circuitos integrados, siguiendo la arquitectura de maestro-esclavo. Soportando incluso varios maestros y/o varios esclavos. La principal diferencia de estos protocolos es la cantidad de cables de su bus, mientras el I2C utiliza con dos cables, el protocolo SPI es más complicado, pero básicamente tiene un bus serial de cuatro cables.

Por otra parte, según el Datasheet del sensor de saturación de oxígeno en sangre (RCWL-0531, tiene integrado el MAX30102) es únicamente compatible con el protocolo de comunicación I2C, lo cual se torna conveniente debido a la cantidad de cables del bus, ya que es más cómodo que se envíen desde la muñeca hasta el dedo cuatro cables (dos del bus I2C, uno para alimentarlo y uno para la tierra), que seis del protocolo SPI.

Habiendo resuelto la comunicación entre los circuitos integrados, se debe tratar el tema de IoT (Internet of Things), es decir, la conexión y comunicación del dispositivo con el internet. En este ámbito existen diversas opciones, entre ellas están: MQTT, MQTT-SN, CoAP, XMPP y REST API.

El más popular de los mencionados anteriormente es MQTT (Message Queue Telemetry Transport), el cual es un protocolo de mensajería ligera para sensores pequeños o dispositivos móviles, optimizado para redes con alta latencia o no confiables. Este permite la comunicación en dos vías y se recomienda para dispositivos de bajo consumo alimentados con batería (MQTT, 2018).

Su variante MQTT-SN (Message Queue Telemetry Transport – For Sensor Networks), es prácticamente equivalente a MQTT, pero con el potencial de escalar hasta 10 veces más en dispositivos, gracias a que este protocolo funciona sobre UDP. Por ello está diseñado para redes de sensores.

CoAP, es muy similar a MQTT-SN, con varias adiciones y cambiando la arquitectura de “orientada a mensajería” a “orientada a servicios web”. Otro protocolo es el XMPP, el cual se destaca por su masiva escalabilidad en tiempo real, de alrededor de más de cien mil nodos, se recomienda cuando el tráfico de los mensajes es grande y potencialmente complicado por dispositivo, además cuando se requiere seguridad extra.

Y por último el protocolo de comunicación REST API, el cual permite comunicación de una vía, de dispositivos a la nube. Se recomienda cuando solo se necesite que el dispositivo haga peticiones al API, sin que este tenga recibir mensajes de otros dispositivos.

Se escogió trabajar con el protocolo de comunicación MQTT por su simplicidad y optimización para dispositivos pequeños, de bajo consumo y alimentados con batería; Además de su gran popularidad, variedad de ejemplos en internet y librerías en varios lenguajes de programación para clientes MQTT. También por lo fácil que resulta implementar un bróker o alquilarlo.

4.2. OBJETIVO 2.

“Plantear una arquitectura de software para una plataforma web que soporte la integración de servicios de medición anteriormente identificados de acuerdo con las tecnologías de IoT que

provee el mercado, estableciendo los requisitos funcionales y no funcionales del sistema de monitoreo”.

4.2.1. Requisitos

Basándose en las conclusiones del acta de entrevista, evidenciada en el ANEXO 1 y en la descripción del problema del proyecto, se expresa que los pacientes crónicos son catalogados como tal cuando son diagnosticados con alguna enfermedad crónica, se les asigna apoyo psicológico para que estos puedan afrontar la situación y adoptar un nuevo estilo de vida adecuado sin dejar atrás su proyecto de vida.

A pesar del cambio de estilo de vida, por uno que ayude a prevenir los síntomas de la enfermedad crónica que padezca el paciente, siempre existen estímulos externos que puedan causar una alteración en los signos vitales del paciente. Normalmente cuando esto ocurre, pueden suceder dos cosas: que la alteración sea leve o que sea grave. Si la alteración es grave en el peor de los escenarios el paciente podría morir.

Lo ideal sería tener conocimiento en tiempo real de los signos vitales de los pacientes crónicos, para así, de presentarse una situación preocupante respecto a la salud de estos, se pueda actuar con celeridad para tratar a tiempo y evitar que el problema escale a un estado peor.

En la entrevista también se evidenció que actualmente en los centros médicos de la ciudad de Cartagena no cuentan con la tecnología para poder monitorizar a los pacientes cuando estos están en sus hogares. Por lo descrito anteriormente, en la Tabla 6 se expresan los requisitos funcionales definidos para el sistema y en la Tabla 7 se prepararon los no funcionales.

Tabla 6. Requisitos funcionales

Número	Requisito	Descripción
	Funcional	
<i>RF1</i>	Recibir datos	El software deberá recibir los datos que fueron enviados desde el componente hardware.

<i>RF2</i>	Guardar datos	El software deberá guardar correctamente los datos que llegaron desde el componente Software.
<i>RF3</i>	Analizar datos	El software deberá evaluar los datos para verificar si los valores de los signos vitales se encuentran dentro de los límites permitidos para el paciente y ubicarlos en listas como historial de las medidas.
<i>RF4</i>	Mostrar datos	El software deberá mostrar los datos que se pidan sobre un paciente determinado al encargado o médico de este.
<i>RF5</i>	Telemonitorear	El sistema debe permitir a los roles de Médico y Encargado monitorear remotamente al paciente asignado.
<i>RF6</i>	Enviar notificación	El sistema debe enviar notificaciones a los Encargados y Médicos asignados al Paciente cuando el dispositivo envíe una señal cerca de los límites vitales.

Tabla 7. Requisitos no funcionales.

Número	Requerimiento No-Funcional	Descripción
<i>RNF1</i>	Usabilidad	El sistema debe ser fácil de usar para cualquier usuario.
<i>RNF2</i>	Rendimiento	El sistema debe soportar una gran cantidad de peticiones.
<i>RNF3</i>	Seguridad	El sistema debe asegurar la información médica de los pacientes, ya que esta es considerada información sensible.
<i>RNF4</i>	Portabilidad	El sistema debe ejecutarse en varios sistemas operativos y plataformas.
<i>RNF5</i>	Disponibilidad	El sistema debe permanecer disponible para los usuarios.

4.2.2. Arquitectura

De acuerdo a los requerimientos del sistema, el enfoque que se le dio a la solución y como se piensa implementar, se produjeron los siguientes artefactos correspondientes a esquemas generales que sirvan como apoyo para la explicación del sistema a usuarios que no estén familiarizados con los componentes de este. De esto, en la Figura 3, se puede ver un esquema general del sistema que será usado para explicar superficialmente las principales partes de este a usuarios que no manejen términos técnicos y a los que no sea necesario explicarles a profundidad.

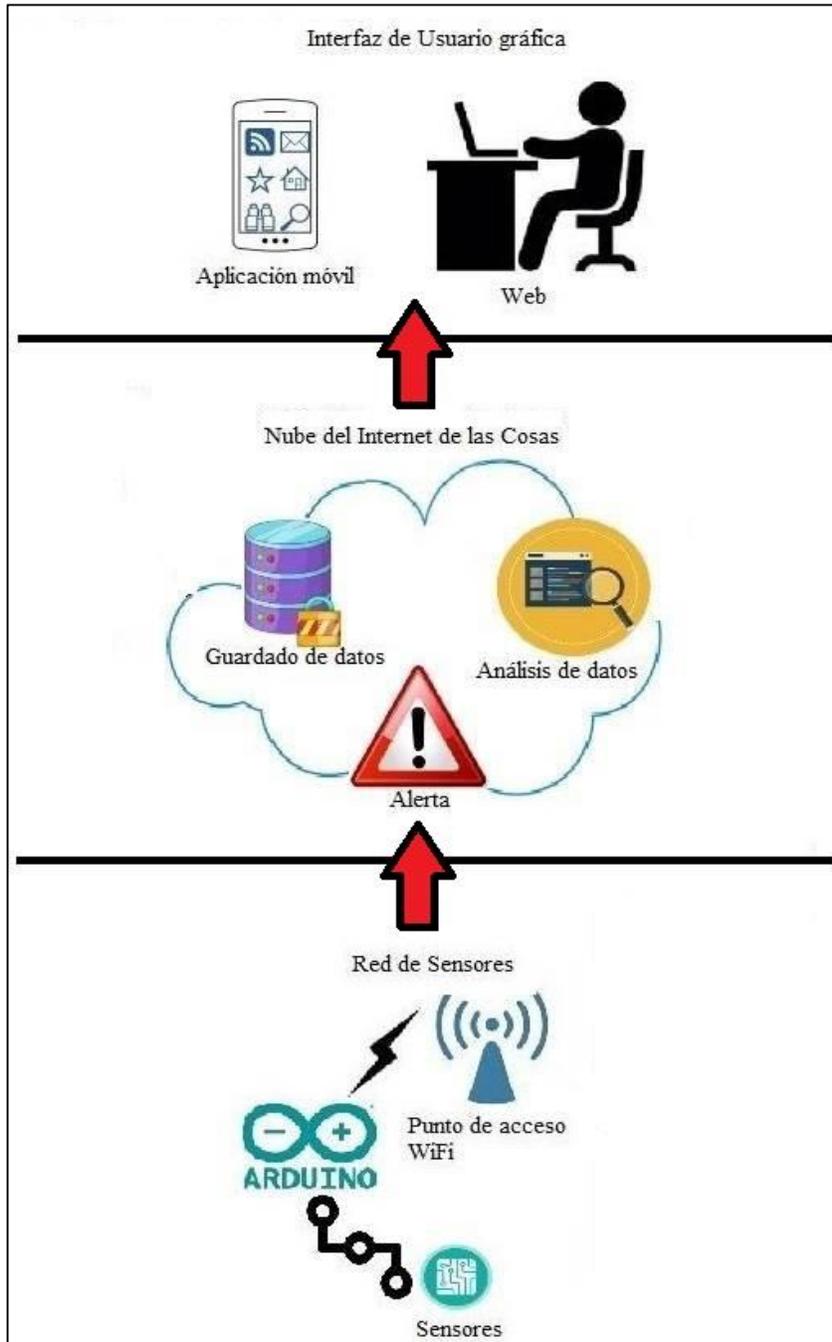


Figura 3. Esquema general del sistema

Por otra parte, en la Figura 4 se muestra una arquitectura más técnica del sistema, elaborada y estructurada para personas que estén familiarizadas con los componentes usados en este proyecto.

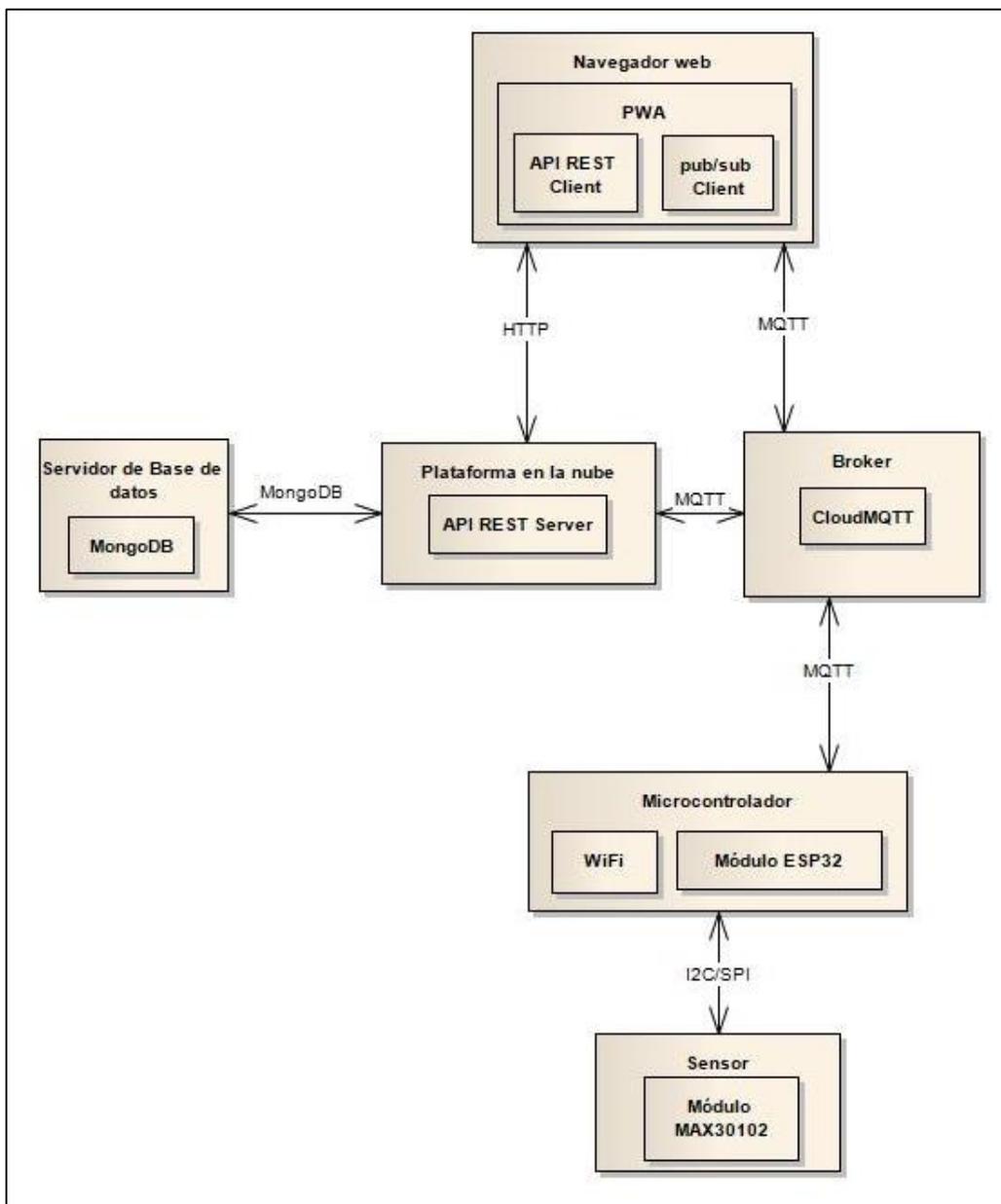


Figura 4. Arquitectura general del sistema.

4.3. OBJETIVO 3.

“Construir los artefactos de diseño que se requieren al utilizar la metodología de desarrollo de software RUP.”

A continuación, se muestran los diagramas elaborados en UML para diseñar el sistema y establecer la forma como sus partes iban a ser implementadas.

4.3.1. Vista de Escenarios

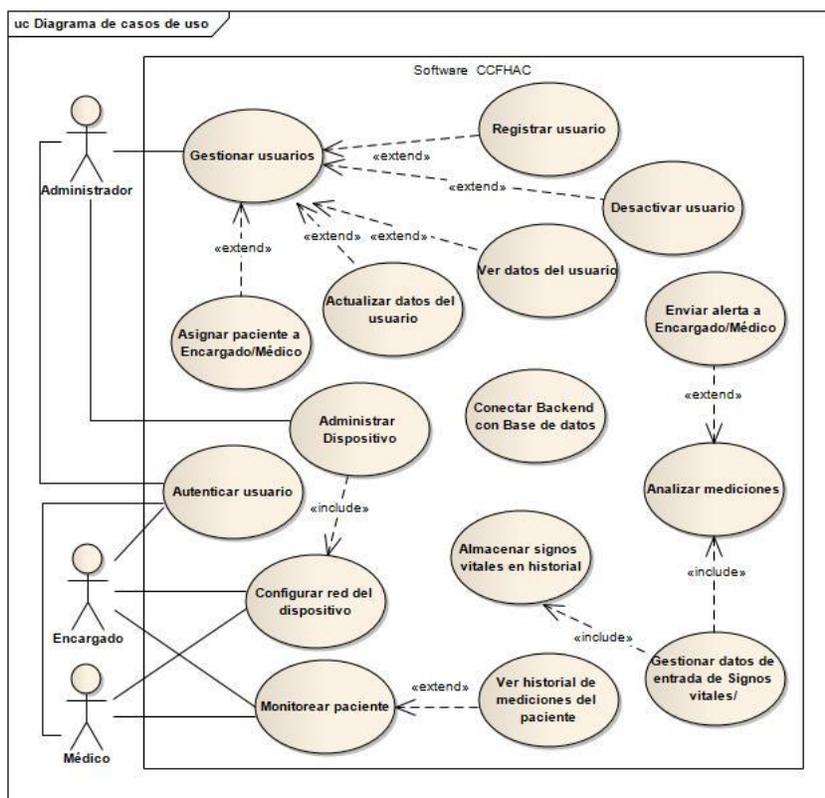


Figura 5. Diagrama de casos de uso.

En la Figura 5 se puede ver las funcionalidades definidas del sistema y los actores que intervienen en los procesos de estas. En la secuencia normal de actividades y acciones de algunos casos se puede ver que se ejecutan otros (inclusión), mientras que se da el caso de que se ejecuten en las secuencias alternativas también (extensión). Existen casos que son ejecutados por el sistema sin necesidad de que los usuarios finales participen.

4.3.2. Vista lógica

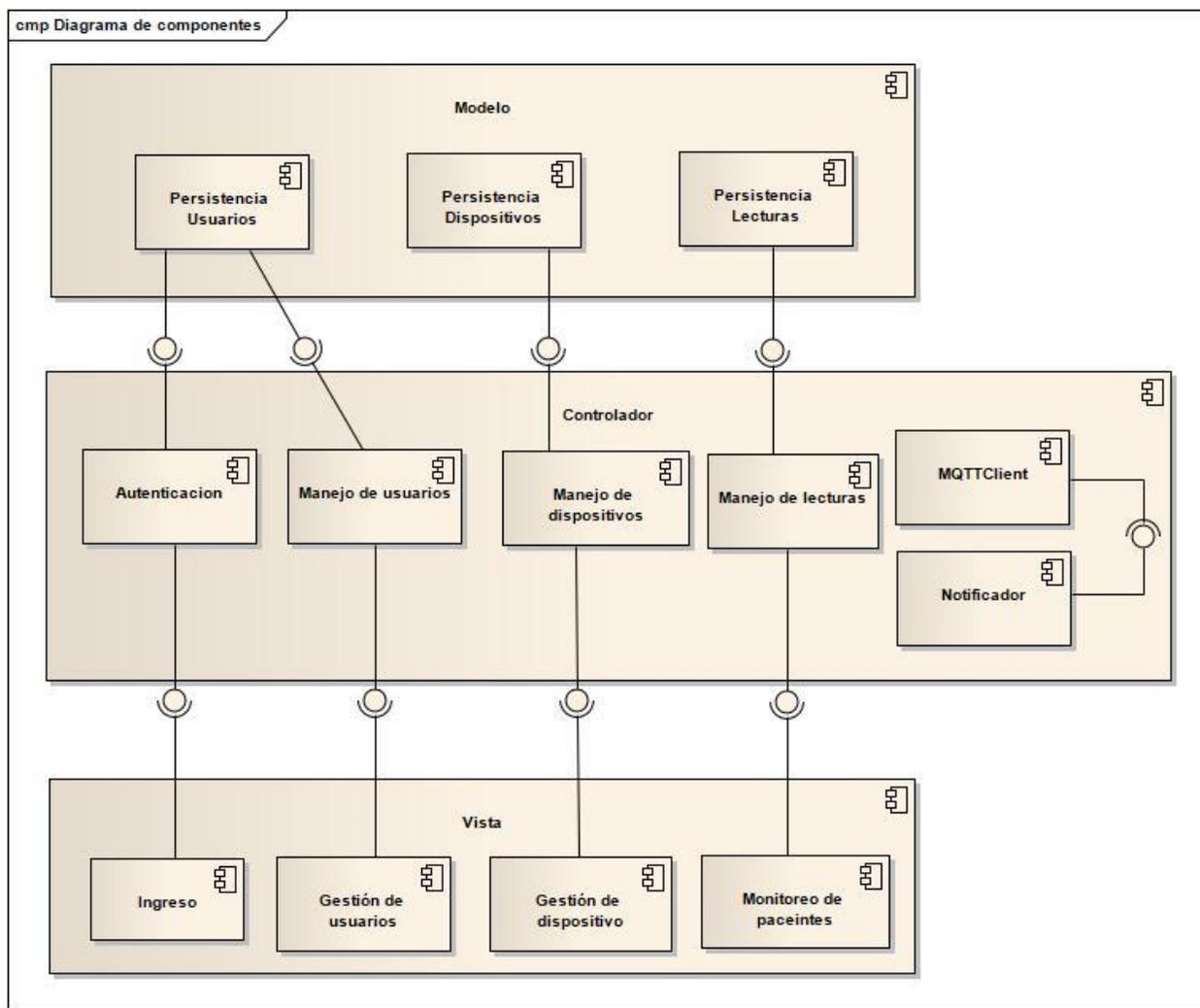


Figura 6. Diagrama de componentes.

En la Figura 6 se puede ver como se representa la arquitectura del software que está basada en Modelo-Vista-Controlador, donde los modelos poseen las ventajas de la tecnología NoSQL de MongoDB. Y se puede ver como el Frontend y el Backend del software se comunican entre sí.

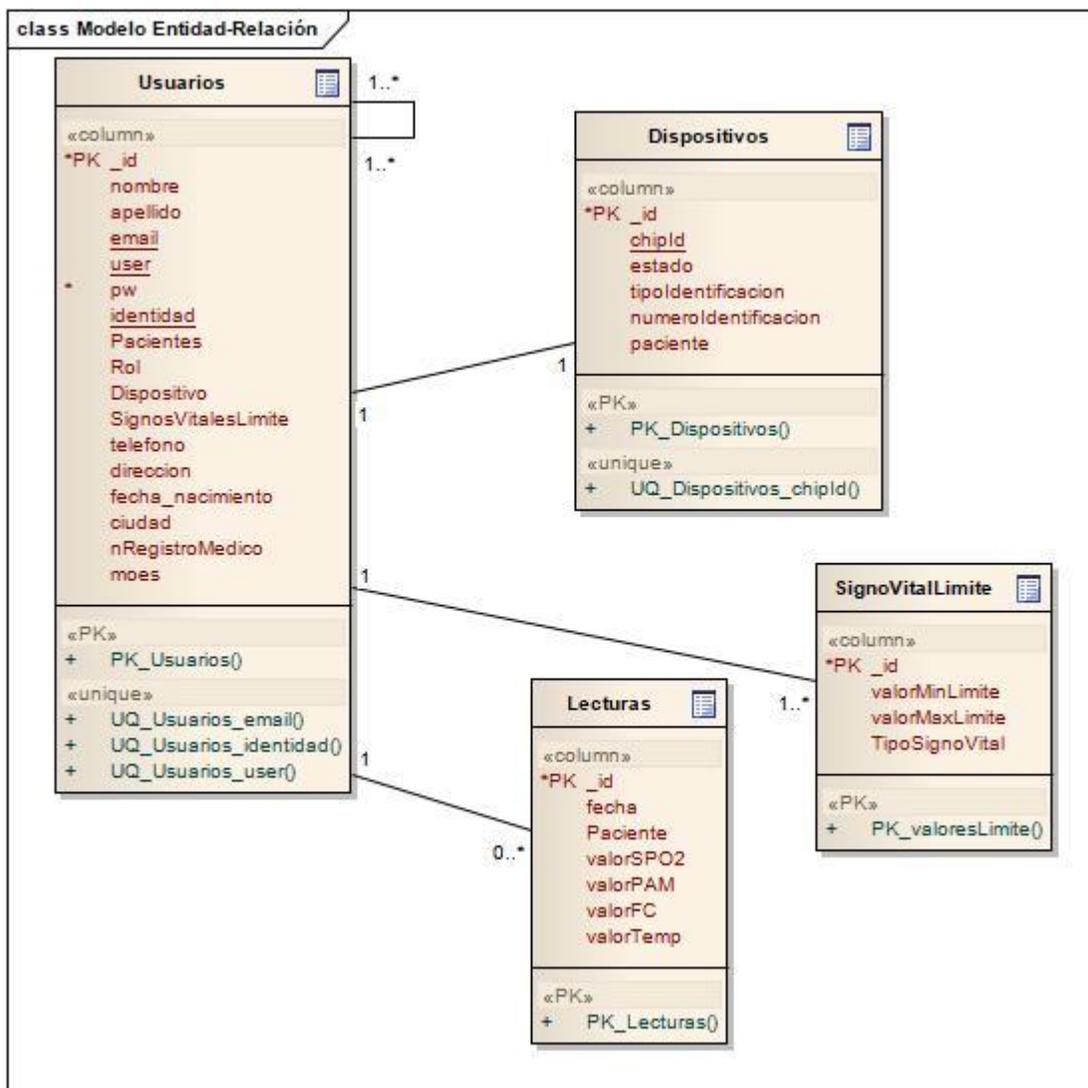


Figura 8. Modelo Entidad-Relación

En la Figura 8, se puede ver la estructura que se planteó para el modelado Entidad-Relación de la base de datos.

4.3.3. Vista de proceso

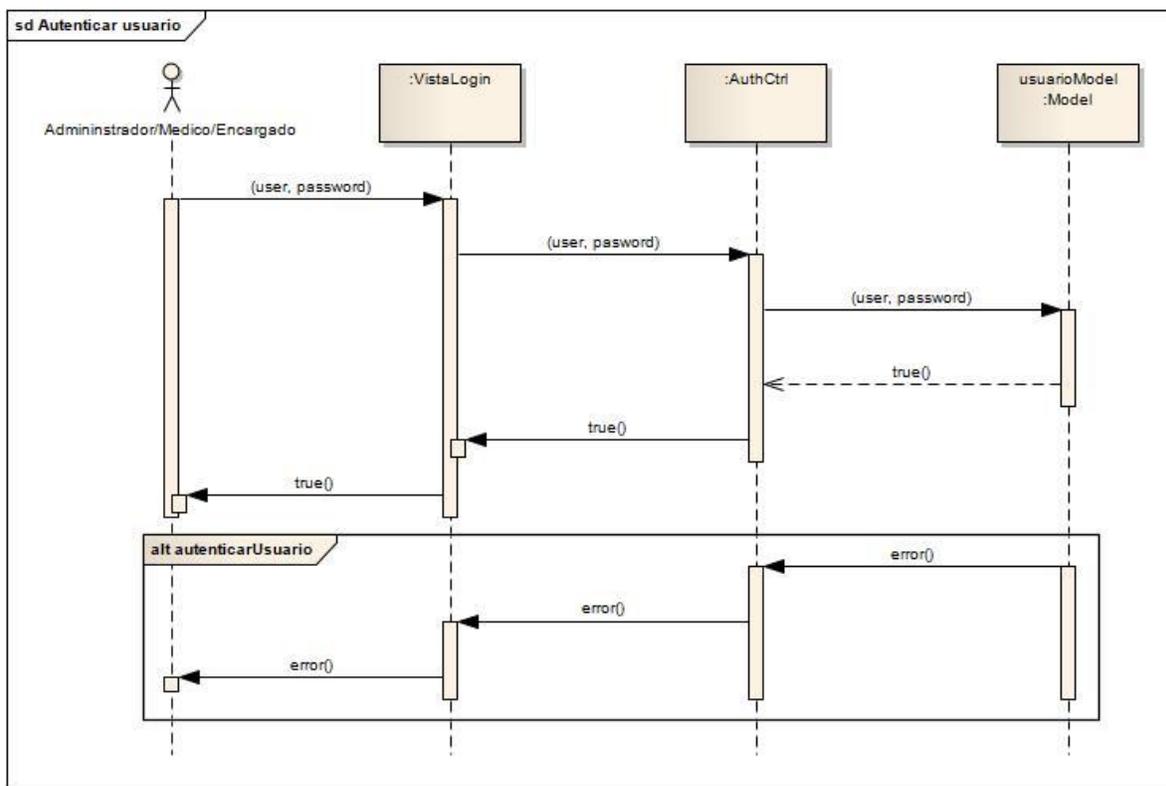


Figura 9. Diagrama de secuencia Autenticar Usuario.

En la Figura 9, se muestran los procesos internos del sistema para llevar a cabo la funcionalidad de autenticar un usuario.

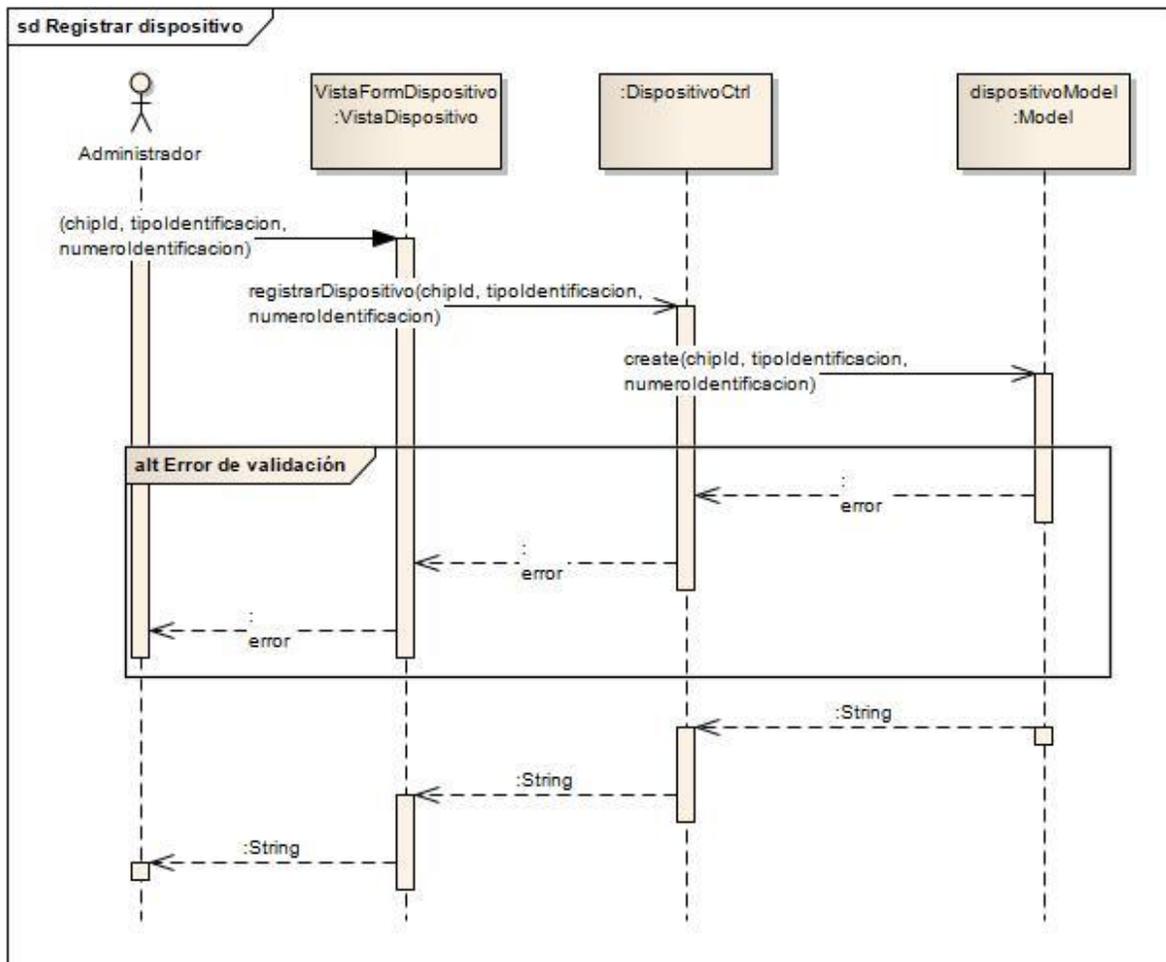


Figura 10. Diagrama de secuencia Registrar dispositivo

En la Figura 10Figura 9, se muestran los procesos internos del sistema para llevar a cabo la funcionalidad registrar un nuevo dispositivo en el software.

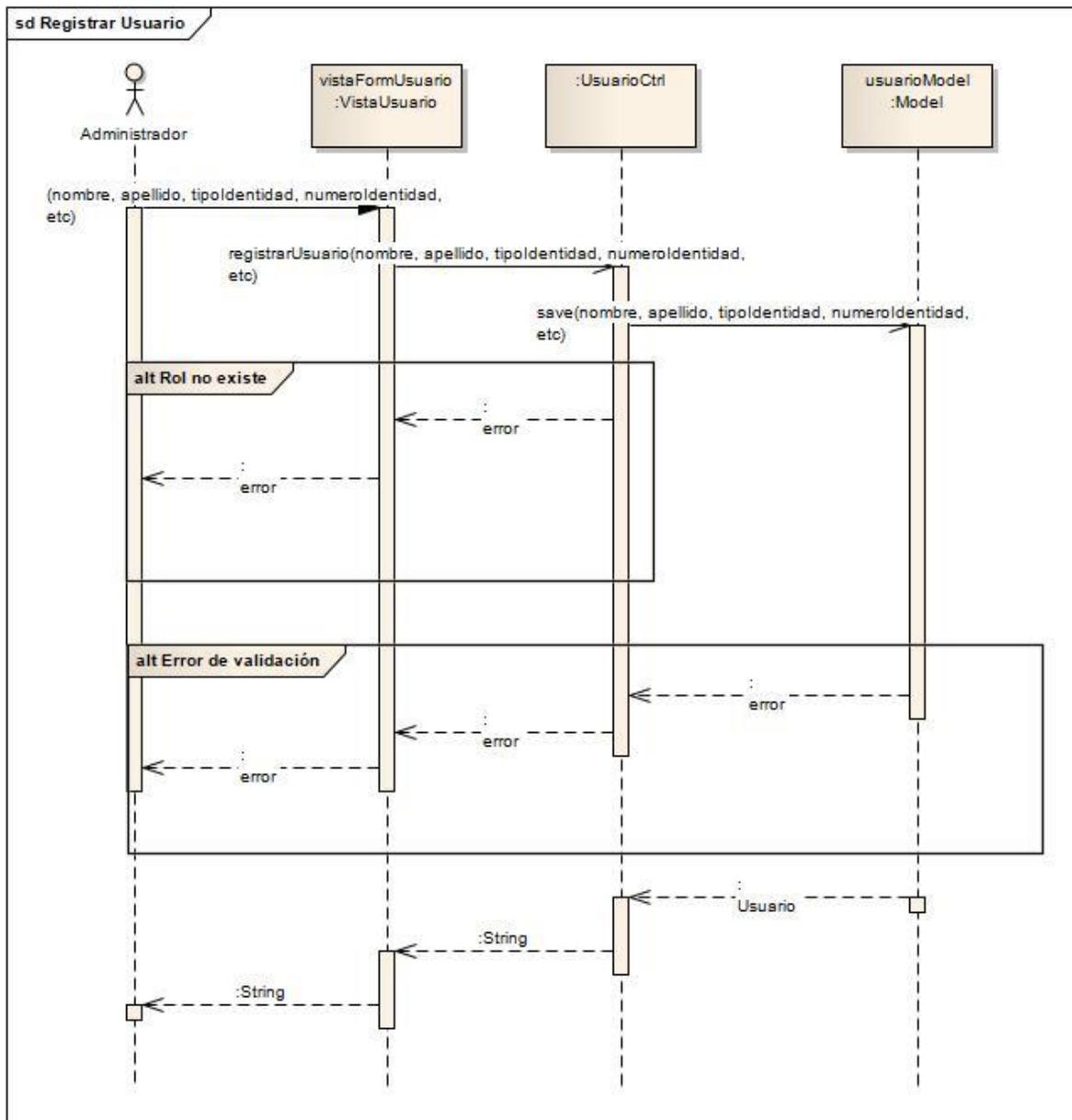


Figura 11. Diagrama de secuencia de Registrar usuario.

En la Figura 11 se muestran los procesos que se llevan a cabo en el sistema para poder registrar un nuevo usuario.

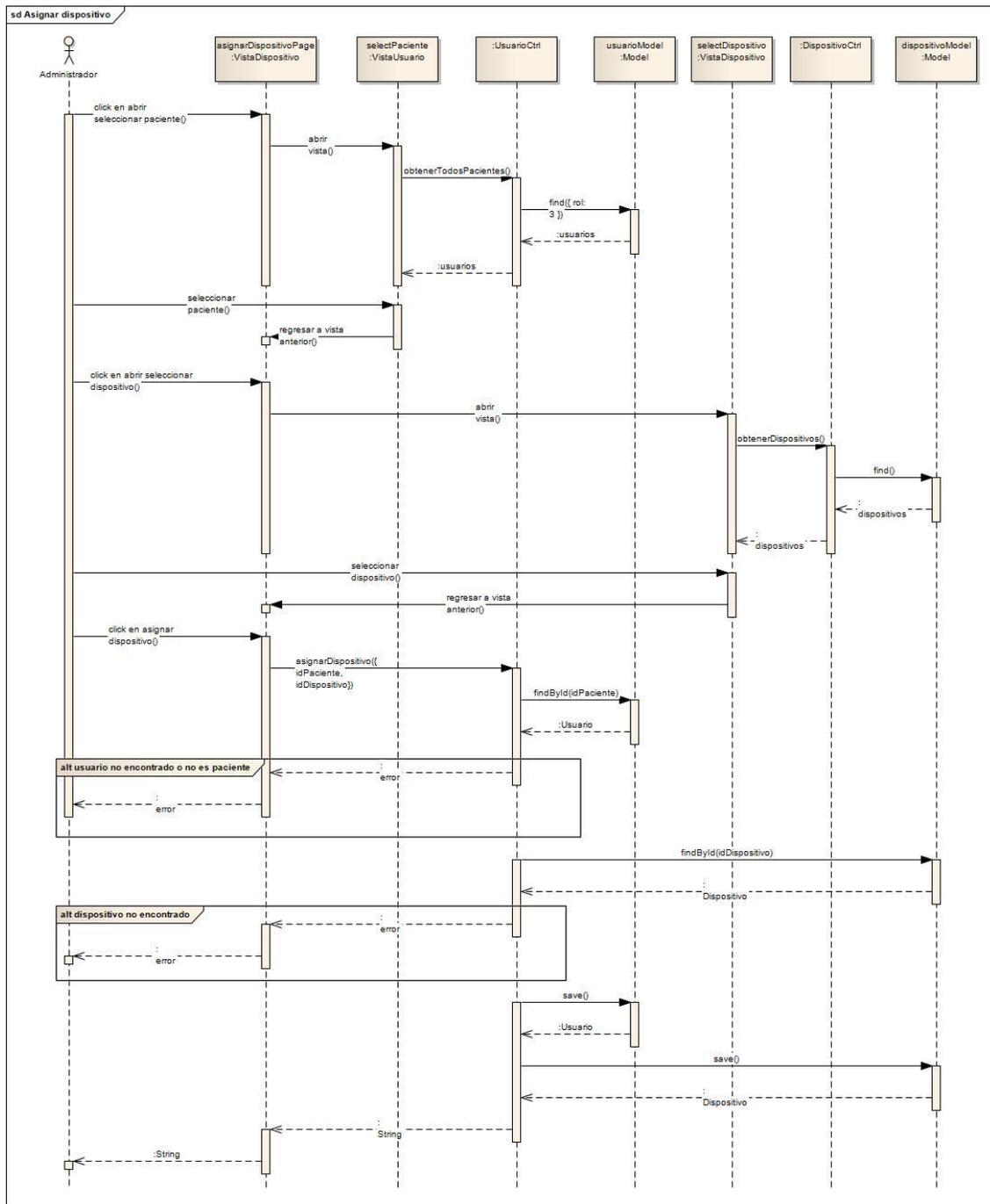


Figura 12. Diagrama de secuencia Asignar dispositivo

En la Figura 12. Diagrama de secuencia Asignar dispositivo se muestran los procesos que se llevan a cabo en el sistema para poder asignarle un dispositivo ya registrado a un paciente.

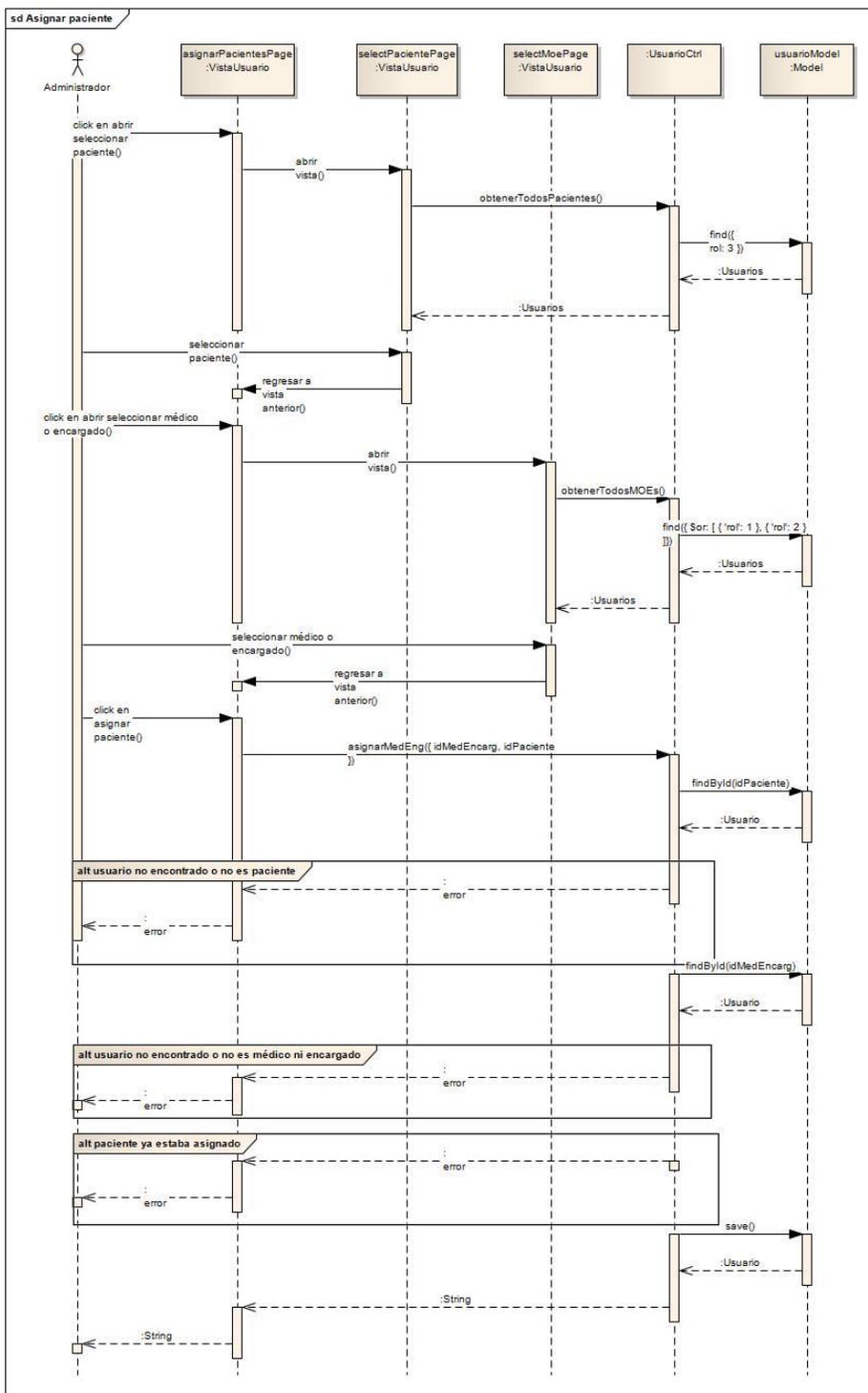


Figura 13. Diagrama de secuencia Asignar paciente

En la Figura 13 se muestran los procesos que se llevan a cabo en el sistema para que un Administrador pueda asignarle un paciente a un Médico o Encargado.

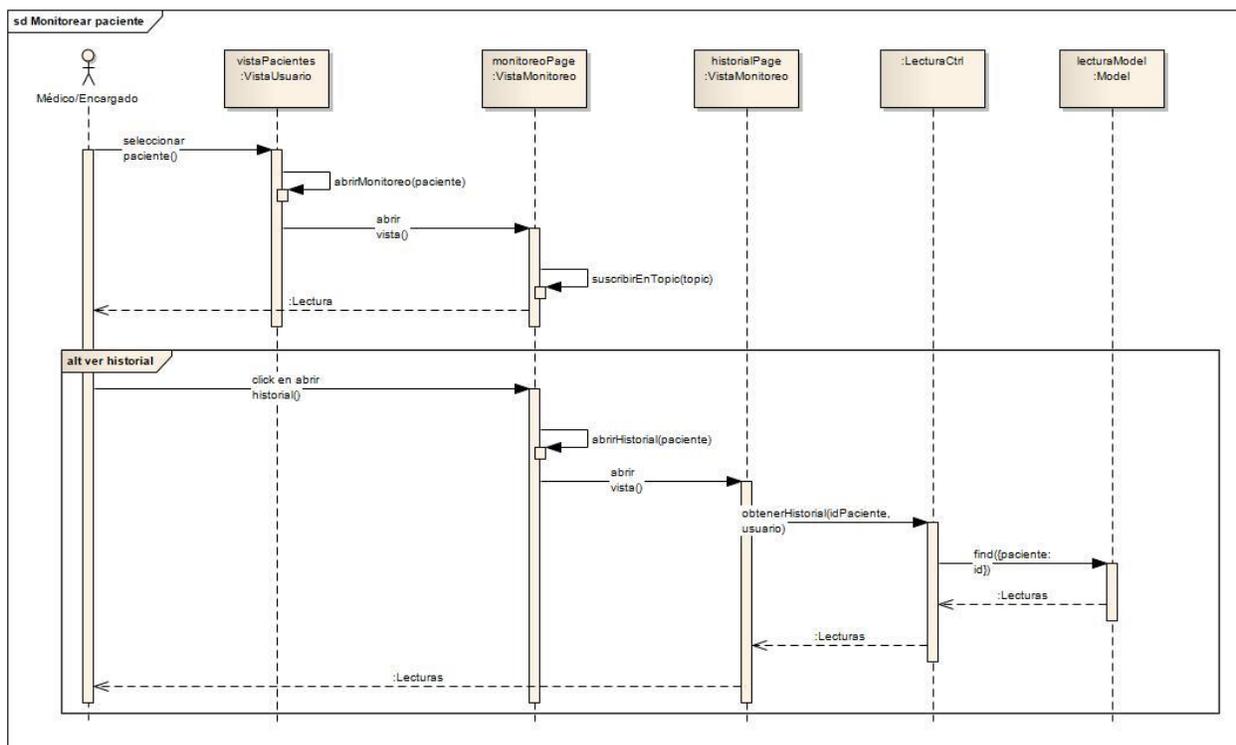


Figura 14. Diagrama de secuencia Monitorear paciente

En la Figura 14 se muestran los procesos que se llevan a cabo en el sistema para que un Médico o Encargado pueda monitorear los signos vitales de un paciente que tiene asignado.

4.3.4. Vista de desarrollo

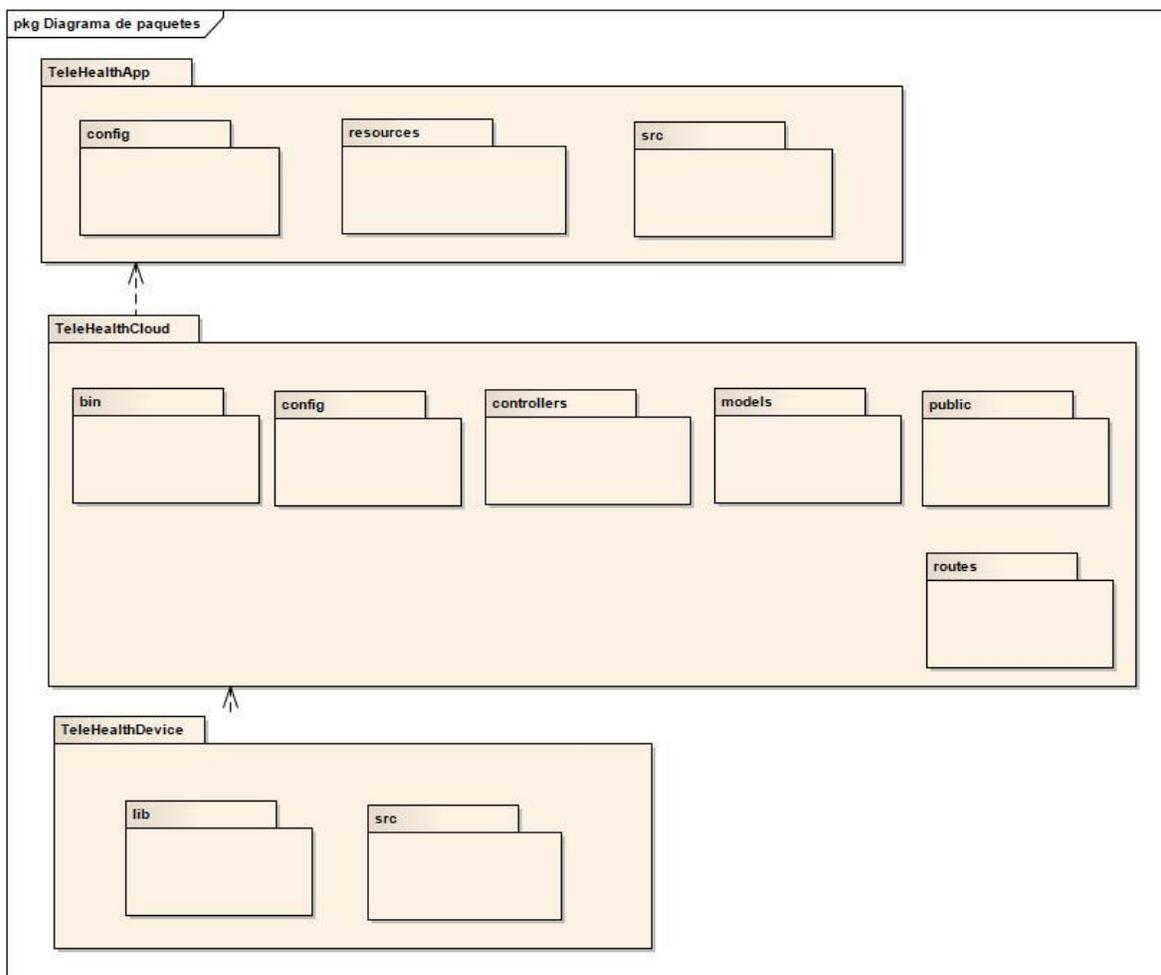


Figura 15. Diagrama de paquetes.

En la Figura 15 se puede ver una vista más generalizada de los paquetes que conforman la parte software del sistema.

4.3.5. Vista física

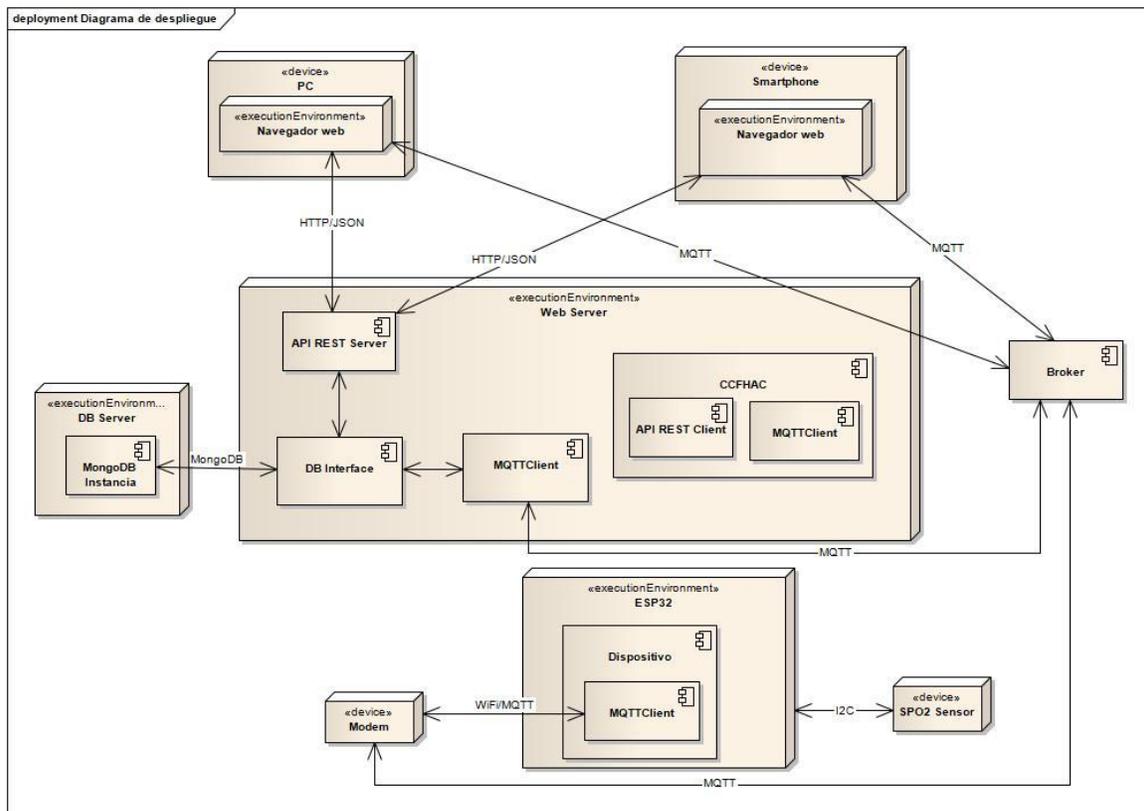


Figura 16. Diagrama de despliegue.

En la Figura 16, se puede ver la forma como se planeó hacer el despliegue total del sistema. Más específicamente, se pueden ver las tecnologías usadas y cuáles son las interacciones directas e indirectas de los componentes del sistema.

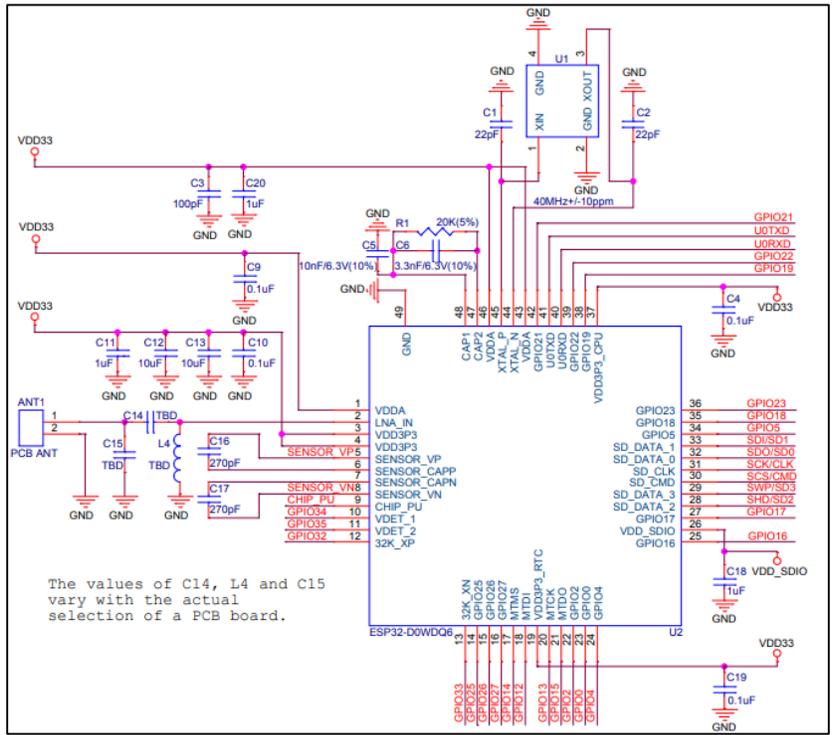


Figura 18. Diagrama esquemático de ESP32, (Espressif Systems, 2018).

En la Figura 18 se puede ver la representación esquemática del microcontrolador mostrado en la Figura 17.



Figura 19. Diagrama de pines del MAX30102

En la Figura 19 se pueden ver los puertos del pulsioxímetro MAX30102. Se eligió esta versión debido a que posee una protección al Infrarrojo y al LED lo cual se consideró una ventaja al momento del ensamblaje del prototipo.

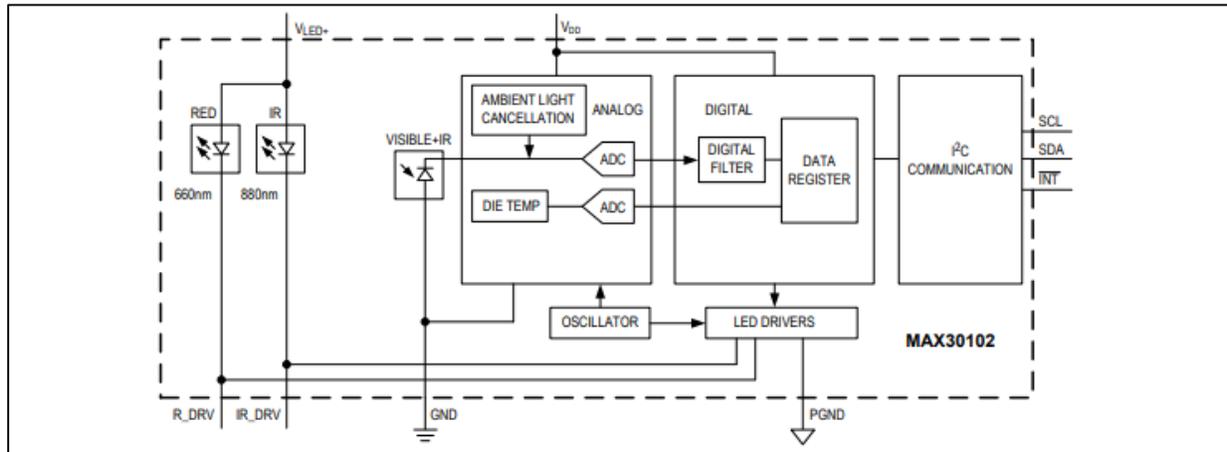


Figura 20. Diagrama funcional del MAX30102, (Maxim Integrated Products, 2015).

En la Figura 20 se puede ver la representación esquemática del sensor de pulsioxímetro mostrado en la Figura 19.

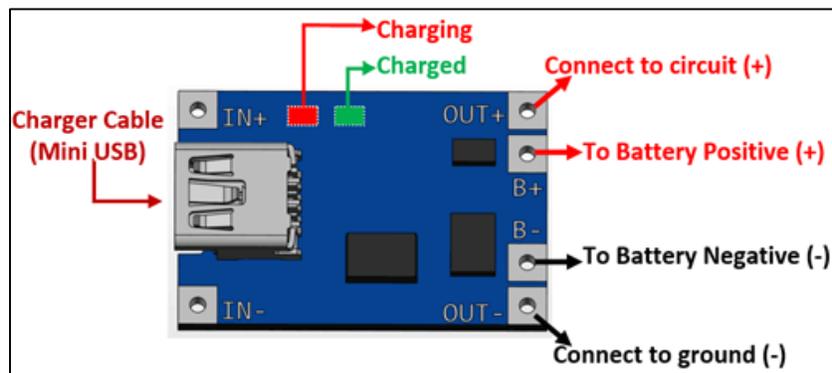


Figura 21. Diagrama de pines del TP4056, (TP4056A Li-ion Battery Charging/Discharging Module, 2018).

En la Figura 21 se pueden ver los pines del módulo TP4056 y para qué se usa cada uno de ellos.

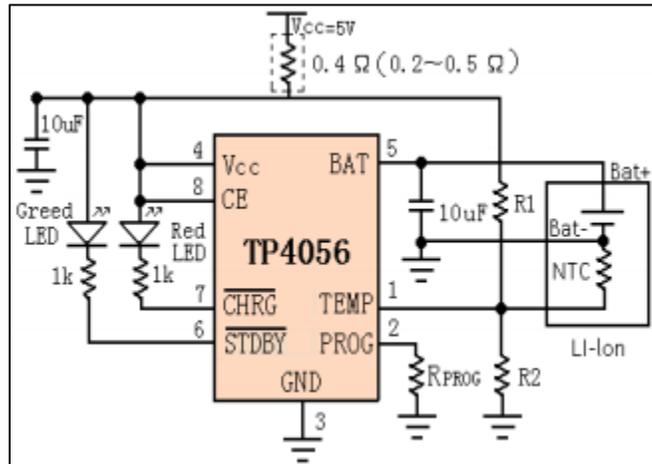


Figura 22. Diagrama esquemático del TP4056, (TP4056A Li-ion Battery Charging/Discharging Module, 2018).

En la Figura 22 se puede ver la representación esquemática módulo de carga mostrado en la Figura 21.

4.4. OBJETIVO 4.

“Desarrollar el prototipo de un sistema de monitoreo remoto no invasivo de pacientes que padecen de hipertensión, asma y/o EPOC.”

A continuación, se explica todo lo referente al desarrollo del prototipo del Sistema de monitoreo remoto de pacientes crónicos con hipertensión, asma y/o EPOC, CCFHAC. Se mencionará información como herramientas, librerías, módulos, frameworks, plataformas y configuraciones.

4.4.1. Hardware

Como eje central del dispositivo se utilizó el ESP32, un módulo de bajo consumo de Espressif, sucesor del ESP8266. Integra WiFi y Bluetooth, pines para protocolo I2C, SPI, etc. Este componente sirvió para proporcionar la conexión WiFi, almacenado de los parámetros de configuración gracias a su memoria flash interna y la integración de los otros componentes necesarios, como el MAX30102, que es un sensor pulsioxímetro de bajo consumo que se comunica por el protocolo I2C, que sirve para tomar las mediciones de los signos vitales correspondientes.

Por último, se tiene al componente TP4056, que es un cargador de baterías Li-Ion, que es usado para que el ESP32 se alimente de dicha batería.

El código se hizo con PlatformIO, un ecosistema open-source para el desarrollo de Internet of Things (IoT), este se compone de distintas plataformas y librerías, compatibles con distintos frameworks como Arduino, ESP-IDF o Simba. En el caso de este proyecto se eligió trabajar con Arduino, por ende, se debió buscar librerías compatibles con esto y la Plataforma Espressif 32.

Para la configuración de WiFi se utilizaron las librerías ESPAsyncWifiManager y ESP Async WebServer, las cuales permiten configurar un Servidor Web para ingresar las credenciales de una red WiFi cercana para establecer conexión. Además de esto se pueden ingresar parámetros personalizados, tales como los datos necesarios para conectarse al bróker y poder publicar sus lecturas.

Para la conexión MQTT se utilizó la librería AsyncMqttClient, que encapsula el manejo de la publicación y suscripción en topics del bróker, sólo se debe ingresar los parámetros de conexión, tales como, URL del bróker, puerto del bróker, usuario y contraseña para autenticación al bróker.

La librería ArduinoJson se utilizó en conjunto de la librería SPIFFS, para cargar del archivo de configuración o guardar en este.

Y, por último, se utilizó la librería SparkFun MAX3010x Pulse and Proximity Sensor Libra para realizar las lecturas de saturación de oxígeno en sangre del oxímetro MAX30102 y presión arterial media por medio de las lecturas del sensor infrarrojo y después de validar los valores enviarlos por MQTT al Broker.

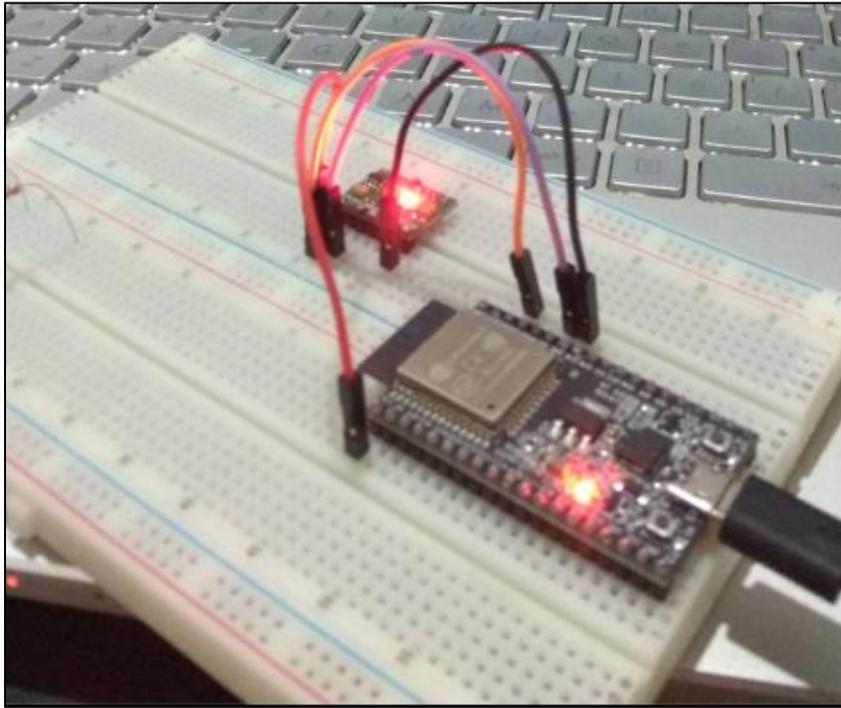


Figura 23. Esp32 y Max30102.

En la Figura 23 se puede ver el sistema en sus etapas tempranas de desarrollo, donde se puede apreciar el Esp32 y el Max30102 conectados y funcionando en una prueba en la protoboard.

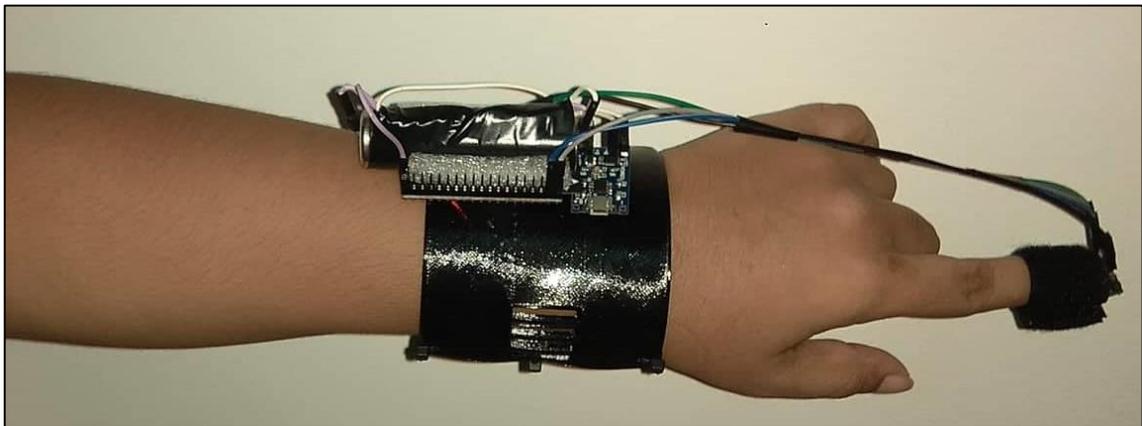


Figura 24. Prototipo terminado.

En la Figura 24 se puede ver el prototipo ya terminado. Figura 23. Esp32 y Max30102.

4.4.2. Software

Backend:

Está desarrollado sobre la plataforma Node JS, que permite el desarrollo modular y basado en eventos usando el lenguaje de programación JavaScript. Para desarrollar el API se utilizó un framework de aplicaciones web minimalista y flexible llamado ExpressJS que proporciona un conjunto sólido de características para aplicaciones web, con miles de métodos HTTP y middlewares a su disposición, permitiendo la rápida y fácil implementación de APIs robustas. Para la persistencia de los datos se escogió MongoDB y por ello se usó el ODM (Object Document Mapper) MongooseJS, que permite definir los modelos con un esquema fuertemente tipado para el aplicativo. Incluye tipos de datos, validaciones, armado de consultas y más.

El conjunto de todos los componentes mencionados anteriormente forma las bases de todo el Backend. La arquitectura MVC es utilizada. Los controladores son una serie de Middlewares de ExpressJS, es decir, funciones que tienen acceso al objeto de petición (req), el objeto de respuesta (res) y la función next en el ciclo petición-respuesta de la aplicación. Los Middlewares pueden realizar varias tareas, entre ellas:

- Ejecutar algún código.
- Hacer cambios a los objetos de petición y respuesta.
- Finalizar el ciclo petición-respuesta.
- Llamar el siguiente Middleware de la pila.

Los controladores usados en este proyecto se encargan de recibir las peticiones de un usuario, realizar alguna acción sobre la base de datos de ser necesario, dar respuesta al usuario finalizando el ciclo o dirigir al Middleware de manejo de errores. Básicamente existe un Controlador por colección en la base de datos. Cómo se puede ver, la API REST está íntimamente relacionada con los modelos de la base de datos, tal cual como muestra la arquitectura utilizada. Los controladores son utilizados por las rutas en Express, que se refieren a un endpoint (URIs) de la aplicación que responde a las peticiones de los clientes. Estas se definen usando los métodos del objeto app Express que corresponden a métodos HTTP. Pueden recibir uno o varios middlewares como parámetros, o primero recibir una ruta y luego uno o varios callback.

Los modelos se implementaron gracias a Mongoose, estos modelos tienen las funciones necesarias para interactuar con las colecciones de la base de datos, que facilitaron la realización de consultas. También proporciona los métodos necesarios para establecer la conexión entre el backend y MongoDB, sólo se debe indicarle el URI de conexión.

El Sistema permite a los Usuarios autenticarse con el Sistema, y protege las rutas para que solo sean accesibles por los usuarios con los Roles permitidos. Para lograr esta funcionalidad varios módulos son necesarios, además de contar con los modelos terminados, sobre todo el de usuarios.

Los módulos necesarios son los siguientes:

- Passport: Es un Middleware de autenticación para Node JS, extremadamente flexible y modular. Permite fácil integración con aplicaciones web basadas en Express. Tiene un conjunto de estrategias para la autenticación.
- Passport-local: Una estrategia de autenticación con Passport, permite identificarse con usuario/email y contraseña.
- Passport-jwt: Una estrategia de autenticación con Passport, permite autenticarse con JSON Web Token (JWT).
- bcrypt-nodejs: Módulo que permite usar un algoritmo de Hash para asegurar las contraseñas en la base de datos.
- Jsonwebtoken: Módulo que permite crear, firmar y leer JWT.

El Backend tiene una funcionalidad casi separada de la arquitectura MVC, y es el Cliente MQTT, ya que el Sistema permite la comunicación a través de un Broker, es decir, como nodo central de la topología estrella que se forma al utilizar el protocolo MQTT. Esto se utiliza para permitir el envío de mensajes en tiempo real desde el dispositivo a la aplicación web. Pero como el Broker ejecuta separado del Backend, este último debe participar en la comunicación para analizar datos y almacenarlos en la base de datos. Para suplir esa necesidad se utilizó el módulo MQTT. Básicamente funciona como un controlador para los mensajes MQTT que pasen por el Broker.

En la Figura 25 se muestra la prueba de un mensaje de alerta enviado al correo electrónico, para realizar el envío de estos a Médicos o Encargados de los Pacientes se usó el módulo NodeMailer que ayuda a enviar correos por distintos medios.



Figura 25. Correo de alerta

Frontend:

Por otra parte, las vistas se desarrollaron con el Framework para aplicaciones híbridas Ionic, para consumir el API REST se utiliza el Módulo de Angular HttpClientModule en su versión 5.2 ya que es la que utiliza el Framework Ionic en su versión 3.9.2. Y para la comunicación con los dispositivos IoT por medio de MQTT a través del bróker se utilizó el módulo ngx-mqtt en su versión 5.4.0, ya que las versiones mayores o iguales a la 6 sólo son compatibles con Angular en su versión mayor o igual a la 6.

La mayoría de las páginas tienen funciones claras y específicas, pero la lógica más complicada de estas se da con respecto a la autenticación, ya que intervienen las siguientes páginas: Tabs, Login y App, además del Provider de Autenticación. Un Provider es una clase especial que se encarga de proveer un servicio a las páginas de la aplicación que la necesiten, generalmente ese servicio se encarga de hacer peticiones HTTP al API REST, utilizando el módulo HttpClientModule.

La “página” principal de la mayoría de las aplicaciones en Ionic o Angular es App, esta página es un Shell que engloba toda la aplicación, y lo hace usando en su Template la etiqueta ion-nav, que es un componente de Ionic que se encarga de la navegación, la página que esta etiqueta reciba por medio de property binding al atributo root es la página que se muestra. Para afrontar la autenticación, la página que se envía como root es la de Login.

En la Figura 26 se muestra la página de Login, la cual realiza varias operaciones, primero por medio del Provider de Autenticación envía un JWT (si lo posee) a un endpoint del API REST dedicado para validar el token. Si el API responde correctamente, cambia el root con el NavController (sirve para trabajar sobre el componente ion-nav) y coloca la página de Tabs que vendría siendo la de la aplicación como tal, así se realiza la correctamente la Autenticación por JWT. Si el token no es válido, permanece en la página de Login, permitiendo ingresar email y password para realizar la Autenticación por esos valores.

Una vez autenticado el usuario el funcionamiento de las páginas es trivial, cada una tiene su función específica. A continuación, una explicación de algunas páginas:

En la Figura 27 se ve la página Tabs, la cual sirve para obtener el funcionamiento de la navegación usando pestañas.

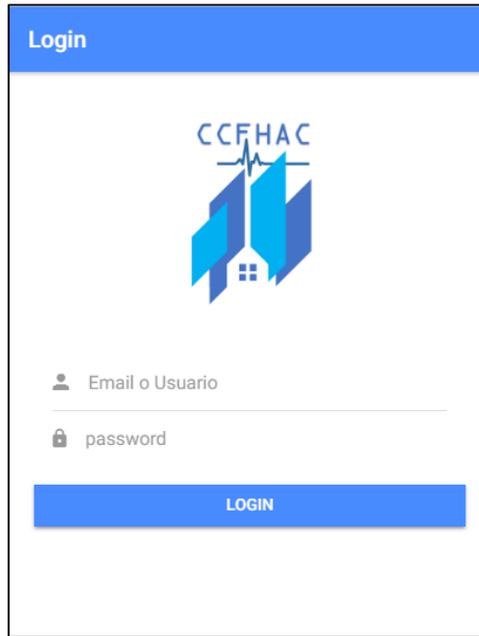


Figura 26. Página de inicio de sesión



Figura 27. Página de Tabs.

En la Figura 28 se ve la página de Perfil, donde el usuario ya autenticado por el sistema puede ver su información básica.

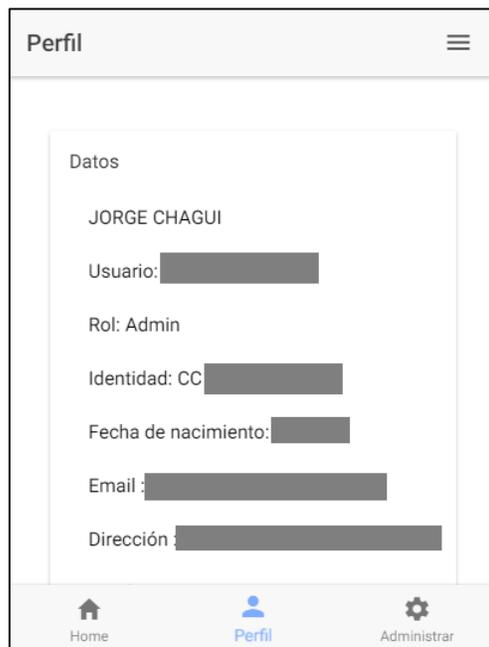


Figura 28. Perfil propio.

En la Figura 29 se muestra la página Pacientes esta carga todos los pacientes de un Médico o Encargado, aquí ellos pueden seleccionar la opción para monitorear al paciente que deseen.

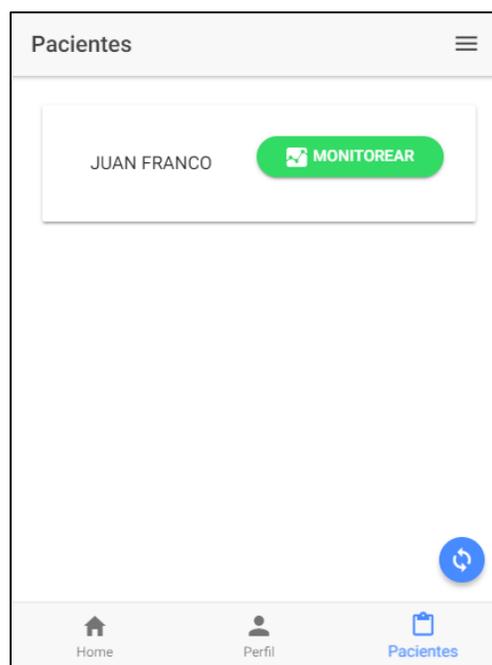


Figura 29. Pacientes

En la Figura 30 se muestra la página Monitoreo esta es la que utiliza el módulo ngx-mqtt para obtener lecturas en tiempo real del dispositivo del paciente seleccionado. Y pueden seleccionar ver el historial del paciente especificado.

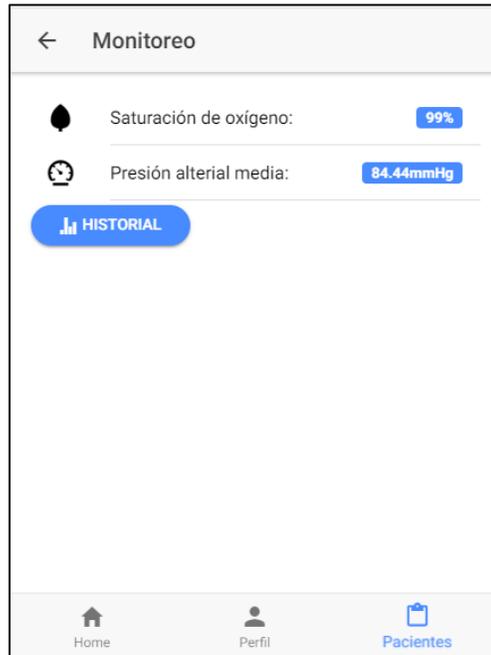


Figura 30. Monitoreo

En la Figura 31 se muestra la página Historial esta carga los datos de los signos vitales que el paciente seleccionado tiene guardados en la base de datos.

Fecha	SPO2	PAM
6/9/18, 5:16 AM	98%	91mmHg
6/9/18, 5:17 AM	99%	93mmHg
14/9/18, 10:37 AM	94%	84mmHg
16/9/18, 1:09 AM	94%	90mmHg
16/9/18, 1:17 AM	94%	90mmHg
16/9/18, 1:19 AM	94%	90mmHg
16/9/18, 1:22 AM	94%	90mmHg
16/9/18, 1:25 AM	94%	40mmHg
16/9/18, 10:40 PM	94%	90mmHg
16/9/18, 10:41 PM	96%	90mmHg
16/9/18, 10:45 PM	94%	90mmHg
16/9/18, 10:49 PM	94%	90mmHg

Figura 31. Historial de mediciones

En la Figura 32 se muestra la página Administrar: Esta le muestra al administrador las opciones que tiene para gestionar usuarios, dispositivos, hacer asignaciones, para ellos se puede acceder a las páginas especializadas en eso.

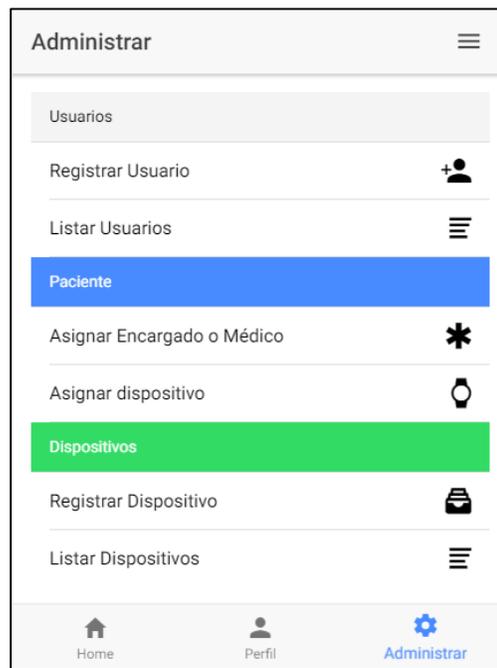


Figura 32. Administrar

En la Figura 33 y Figura 34 se muestran las partes de la página de Registro de usuarios en la que se puede ver un formulario que permite al Administrador crear los usuarios del sistema.

Figura 33. Registro de usuarios 1

Figura 34. Registro de usuarios 2

En la Figura 35 se puede ver la página Lista de usuarios esta le muestra al Administrador todos los usuarios del sistema para realizar operaciones como actualizarlos o eliminarlos.

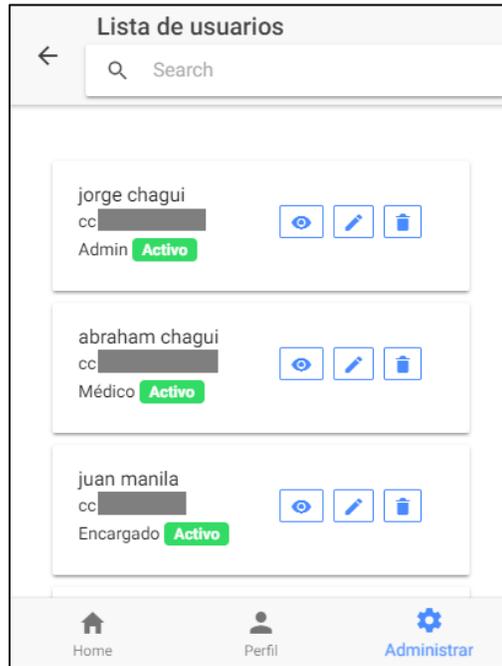


Figura 35. Listar usuarios

En la Figura 36 se puede ver la forma cómo se realiza la Eliminación de usuarios, no es una página como tal, más bien es una alerta que permite la confirmación de parte del Administrador si desea eliminar el usuario indicado.

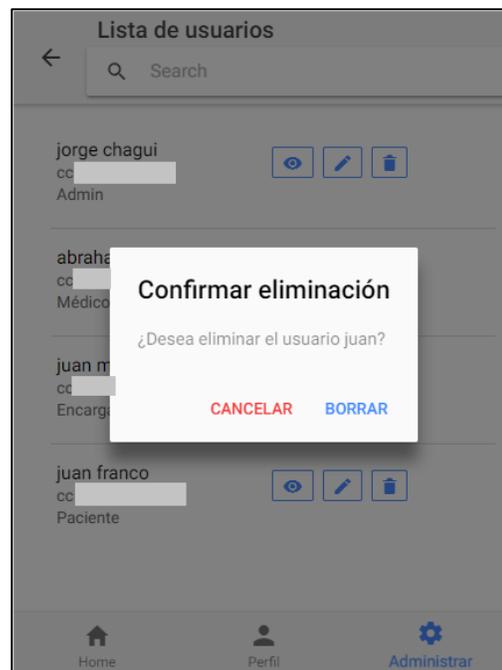


Figura 36. Desactivar usuario

4.4.3. Condiciones para su funcionamiento

El módulo MAX30102 posee un sensor Infrarrojo y uno de luz. Para el correcto uso de la lecturas de los valores del sensor el grupo investigador se basó en el proceso seguido por un conjunto de investigadores de Shivajinagar, India donde convertían los valores del sensor de Infrarrojo en lecturas de la Presión Arterial Media (Karambelkar, Balkawade, Kapgate, & Adoni, 2017) dividiéndolos por un factor que depende de las lecturas promedio que obtiene el sensor en su tiempo de uso. Por esto se realizó un experimento para encontrar dicho factor y además comparar las lecturas del sensor conforme a las de un tensiómetro digital. Se puede encontrar la evidencia de esto en la sección RESULTADOS en el OBJETIVO 5.

Por otra parte, en la mayoría de fuentes encontradas la medida de la presión de los pacientes se daba según la Sistólica y la Diastólica, que corresponden a los movimientos que hace el corazón al momento del ciclo cardiaco. Y en mayor parte, los riesgos a la salud de un paciente se definen según esas debido a que el uso más prominente de la Presión Arterial Media (PAM) es como un indicador de la buena facultad que tiene el cuerpo para irrigar oxígeno a los órganos y tejidos.

En el libro *Manual de neurología clínica* se expresa que la PAM elevada puede llevar a incrementos en la demanda de oxígeno por el corazón, remodelamiento ventricular, daños en los vasos, daños en los órganos e infartos fulminantes (Wehrwein & Joyner, 2013). Esta información fue tomada en cuenta para asegurar de la existencia del peligro de altos valores de la PAM y no descartarla inmediatamente por no ser usada de forma convencional.

Para encontrar estos valores de riesgo, se buscó en GlobalRPH, una página de referencias clínicas que cumple con el *estándar para la información médica confiable* (HONcode, 2018) propuesto por la *Health On the Net Foundation* (Fundación de la Salud En la Red, en español), a la cual se le fue otorgado el status de ONG por el *Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas* en el 2002. De esta fuente se tomaron los valores límite de la presión arterial media, estos son de 70-110 mmHg (GlobalRPH, 2018).

Para definir los valores límite de la saturación de oxígeno en sangre se tomó como referencia la información encontrada en la página web de la *British Lung Foundation* (Fundación

Pulmonar Británica en español), la cual cuenta con la marca de calidad del estándar de información británico de la NHS de Reino Unido, la cual se les otorga solamente a aquellas organizaciones que demuestren su compromiso a la información confiable sobre la salud y el cuidado. De esta fuente se definió que el valor normal de la saturación de oxígeno en sangre es de 94%-99% en personas sin enfermedades respiratorias. Y para aquellos que si sean pacientes que padezcan de estas entonces los niveles deberían estar entre 92-94, posiblemente más alta si se le realizan tratamientos de oxígeno (Pulse oximetry test, 2017). Un valor más bajo amerita que se solicite una revisión más rigurosa de los gases en sangre, por riesgo a hipoxia.

4.5. OBJETIVO 5.

“Documentar el proceso de desarrollo y realizar las pruebas funcionales del sistema de monitoreo.”

La documentación del presente proyecto se encuentra dividida en: este documento, documento de especificación de requisitos, manual del sistema y manual del usuario. Algunos de estos se pueden encontrar en la sección ANEXOS, el resto están en la carpeta Documentación.

4.5.1. Pruebas de valores

Tabla 8. Experimento de prueba de presión arterial.

PAM-D	PAM-A	Diferencia aritmética	Diferencia porcentual
80,66	80,42	0,24	0,298%
84,33	90,24	5,91	7,008%
88,33	83,56	4,77	5,400%
93	86,34	6,66	7,161%
91,66	87,36	4,3	4,691%
91	90,47	0,53	0,582%
87,38	86,40	0,98	1,121%

En la Tabla 8 se muestran los valores tomados del experimento. Las siglas de las columnas se definen como sigue: PAM-D: Presión Arterial Media Digital, PAM-A: Presión Arterial Media

Análoga. Se obtuvieron valores de luz infrarroja con el sensor del dispositivo para obtener el factor de conversión y a la vez comparar los datos de Presión Arterial Media de este con los de un grupo de pacientes cercano a los investigadores, incluidos ahí 3 personas hipertensas, de las cuales 1 también padecía EPOC. Se le realizó una prueba de presión arterial usando un tensiómetro digital preciso, certificado y patentado a estos pacientes se obtuvieron valores de la presión sistólica y diastólica para luego calcular la Presión Arterial Media de forma digital. Con estos datos se halló el factor de cada uno y posteriormente, tras hallar la media aritmética, se usó el factor hallado para transformar nuevas lecturas del infrarrojo en la Presión Arterial Media de forma análoga. Además, se puede ver que la diferencia es alrededor de 7 mmHg, por lo que se podría decir que es un valor bastante aproximado al real en la mayoría de casos.

Para efectos de un caso real, el sistema es un prototipo para toma de decisiones, pero no está avalado por una entidad. Los módulos usados son de bajo costo y por ello las lecturas tienen un grado de variación alta con respecto a aquellos que han sido certificados y diseñados expresamente con fines de Telehealth. Sin embargo, estos componentes electrónicos son de alto costo a pesar de que pueden proporcionar lecturas más confiables.

4.5.2. Pruebas funcionales

Las siguientes tablas no hacen parte de un plan de pruebas, sino que son los resultados de las pruebas funcionales para verificar la correcta ejecución de los procesos del sistema. Desde la Tabla 9 hasta la Tabla 19 se utilizó una plantilla donde se puede apreciar lo siguiente: el nombre del proyecto, el nombre del caso, el subsistema específico puesto a prueba, descripción del caso, las pre-condiciones que debe cumplir el sistema para la ejecución, las acciones que se realizaron, los resultados esperados y el resultado de la prueba.

Tabla 9. Prueba funcional 1.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.	
Caso N° 1	Ejecución N°1

Nombre del caso: Conectar Backend con Base de datos.		Nombre: Conectar Backend con Base de datos.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para conectarse con la base de datos			
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018		Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema conecta el Backend con la Base de datos y mantiene la comunicación hasta que el primero se apague			
Pre-condiciones - El backend tiene la configuración establecida para conectarse a la base de datos.			
Acción		Resultados esperados	Estado
1. El módulo de conexión usa la configuración establecida para iniciar la comunicación.			
2. Mantiene la conexión con la base de datos.		Se inicia y mantiene la comunicación.	Exitoso

Tabla 10. Prueba funcional 2.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.	
Caso N° 2	Ejecución N°1
Nombre del caso: Autenticar usuario	Nombre: Autenticar usuario.
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para iniciar sesión.	

Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco		Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco	
Fecha: 05/09/2018		Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un usuario iniciar sesión			
Pre-condiciones - El usuario conoce sus credenciales para el ingreso al sistema.			
Acción		Resultados esperados	Estado
1. Llena los campos de usuario y contraseña con sus credenciales.			
2. Envía los datos para intentar iniciar sesión.		Se inicia y mantiene la sesión de usuario.	Exitoso

Tabla 11. Prueba funcional 3.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.			
Caso N° 3		Ejecución N° 1	
Nombre del caso: Registrar usuario		Nombre: Registrar un nuevo usuario al sistema.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para registrar un nuevo usuario			
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco		Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco	
Fecha: 05/09/2018		Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un administrador registrar un nuevo usuario.			

Pre-condiciones - El Administrador conoce la información que va a ingresar del usuario.		
Acción	Resultados esperados	Estado
1. Llena un formulario con la información del nuevo usuario.		
2. Envía la información del formulario	Se registra al usuario correctamente.	Exitoso

Tabla 12. Prueba funcional 4.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 4 Nombre del caso: Desactivar a un usuario.	Ejecución N°1 Nombre: Desactivar a un usuario del sistema.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para desactivar a un usuario del sistema.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un administrador desactivar a un usuario.		
Pre-condiciones - El Administrador conoce el usuario que va a desactivar.		
Acción	Resultados esperados	Estado

1. Muestra una lista de los usuarios según su tipo y para cada uno da la opción de desactivarlo.		
2. Elige el usuario a desactivar		
3. Pide confirmación.		
4. Desactiva al usuario(s).	Recibir la respuesta del servidor de que se desactivó el usuario.	Exitoso

Tabla 13. Prueba funcional 5.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 5	Ejecución N°1	
Nombre del caso: Ver datos de un usuario.	Nombre: Ver datos de un usuario del sistema.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para ver datos de un usuario del sistema.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un administrador ver datos de los usuarios.		
Pre-condiciones - El Administrador conoce el usuario al que va a verle los datos.		
Acción	Resultados esperados	Estado
1. Llena un campo con el cual se buscarán los datos del usuario correspondiente.		

2. Busca de la información del usuario.		
3. Muestra la información del usuario.	Muestran los datos del usuario	Exitoso

Tabla 14. Prueba funcional 6.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 6	Ejecución N° 1	
Nombre del caso: Actualizar datos de un usuario.	Nombre: Actualizar un usuario del sistema.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para actualizar datos de un usuario del sistema.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un administrador actualizar de los usuarios.		
Pre-condiciones - El Administrador conoce el usuario al que va a actualizarle los datos.		
Acción	Resultados esperados	Estado
1. Llena un campo con el cual se buscarán los datos del usuario correspondiente.		
2. Muestra lista de usuarios ordenados por tipo.		
3. Elige el usuario a editar.		
4. Cambia el dato del usuario		
5. Envía los cambios a los datos del usuario.		

6. Pide confirmación.	Realiza los cambios en los datos del usuario.	Exitoso
-----------------------	---	---------

Tabla 15. Prueba funcional 7.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 7	Ejecución N°1	
Nombre del caso: Asignar paciente a encargado o médico.	Nombre: Asignar paciente a encargado o médico.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para asignar paciente a encargado o médico.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un administrador asignar paciente a encargado o medico		
Pre-condiciones - El Administrador conoce los datos del paciente que le va a asignar a un encargado del que también sabe sus datos.		
Acción	Resultados esperados	Estado
1. Muestra lista de pacientes.		
2. Selecciona el paciente.		
3. Muestra lista de encargados y médicos identificados.		
4. Selecciona al Encargado/Médico.		
5. Asigna el Paciente al Encargado.	Muestra mensaje de éxito.	Exitoso.

Tabla 16. Prueba funcional 8.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 8	Ejecución N°1	
Nombre del caso: Administrar dispositivo	Nombre: Administrar dispositivo.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para administrar un dispositivo.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco	
Fecha: 05/09/2018	Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un administrador ajustar los datos del dispositivo y asignarlo a un paciente.		
Pre-condiciones - El Administrador conoce el código del dispositivo al que le va a cambiar los datos y va a asignar a un usuario.		
Acción	Resultados esperados	Estado
1. Enciende el dispositivo		
2. Intenta conexión a red Wifi con la configuración en memoria.		
3. No logra conectarse a la red Wifi.		
4. Configura la red del dispositivo.		
5. Intenta conexión con red Wifi.		
6. Logra conexión con Wifi.		
7. Intenta conectarse al bróker por MQTT.		
8. Se suscribe a un topic para recibir la respuesta del servidor.		

9. El dispositivo publica sus datos en otro topic.		
10. Busca un paciente al cual asignarle el dispositivo y lo selecciona.		
11. Valida disponibilidad del paciente.	Asigna el dispositivo al paciente	Exitoso

Tabla 17. Prueba funcional 9.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 9	Ejecución N°1	
Nombre del caso: Configurar red del dispositivo	Nombre: Configurar red del dispositivo.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para configurar red del dispositivo.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un Médico/Encargado configurar red del dispositivo.		
Pre-condiciones - El Médico/Encargado conoce sus credenciales para el ingreso al sistema y para conectarse a la red Wifi.		
Acción	Resultados esperados	Estado
1. Enciende el dispositivo.		
2. Al no haber red configurada se inicia un Access Point.		

3. Ingresar a la URL del Gateway a través de un navegador.		
4. Completar el formulario con los datos de la red.		
5. Enviar los datos.		
6. Guardar los datos.	Muestra mensaje de éxito.	Exitoso.

Tabla 18. Prueba funcional 10.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 10	Ejecución N°1	
Nombre del caso: Monitorear paciente.	Nombre: Monitorear paciente.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para monitorear paciente.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un Médico/Encargado monitorear los signos vitales.		
Pre-condiciones - El Médico/Encargado conoce a qué paciente quiere verle los signos vitales		
Acción	Resultados esperados	Estado
1 Muestra la GUI de inicio.		
2. Elige ver la lista de pacientes que tiene asignado.		

3. Muestra los pacientes que tiene asignado.		
4. Selecciona el paciente al que quiere ver los signos vitales.	Muestra los signos vitales del paciente especificado.	Exitoso.

Tabla 19. Prueba funcional 11.

Nombre de proyecto: Prototipo de sistema de monitoreo no invasivo de pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC.		
Caso N° 11	Ejecución N°1	
Nombre del caso: Ver historial de paciente.	Nombre: Ver historial de paciente.	
Subsistema bajo prueba - Componente del sistema para ver historial de paciente.		
Escrito por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	Ejecutado por: Emmanuel de Jesús Martínez Franco Fecha: 05/09/2018	
Descripción del caso de prueba El propósito del caso de prueba es validar que el sistema permite a un Médico/Encargado ver el historial de mediciones de un paciente.		
Pre-condiciones - El Médico/Encargado conoce a qué paciente quiere ver el historial de mediciones de un paciente.		
Acción	Resultados esperados	Estado
1. Muestra la lista con los signos vitales del paciente especificado.		
2. Selecciona el paciente al que quiere ver los signos vitales.	Muestra los signos vitales del paciente especificado.	Exitoso.

5. CONCLUSIONES

Tras el desarrollo del presente proyecto se puede llegar a varias conclusiones como se presentan a continuación:

- La búsqueda de información se realizó de la manera estipulada. Realizando la entrevista a las fuentes primarias y efectuando una búsqueda exhaustiva de fuentes secundarias se llevaron a cabo los procesos de la etapa de recolección de información de manera exitosa, extrayendo de cada una de estas la información relevante para el proyecto y mostrándola en la
- Tabla 3.
- Se estableció la arquitectura del sistema resumida y los requisitos funcionales y no funcionales de este. Para poder definir los componentes del sistema a crear y la forma como estos se iban a comunicar entre sí se formularon los 2 esquemas de la sección 4.2.2, además de la información descrita sobre los requisitos en esta misma y en las Tabla 6 y Tabla 7.
- Se crearon los artefactos de diseño. Para definir un modelado efectivo del sistema antes de su implementación se realizaron los diagramas que se pueden ver en la sección 4.3, donde se especifican las partes de este, los comportamientos de estas y como se relacionan entre sí.
- Se implementó el sistema como se había planeado y diseñado, los componentes de este tuvieron un funcionamiento acorde con lo que se les programó y se realizó el prototipo del sistema de monitoreo remoto de signos vitales para pacientes con hipertensión, asma y/o EPOC.
- La documentación del sistema se realizó en los documentos de Manual del Sistema, Manual de usuario y Especificación de requisitos que se encuentran en la carpeta Anexos. De las pruebas se puede concluir que efectivamente a pesar de que las lecturas del sensor no son 100% confiables, no pueden ser descartadas inmediatamente como erróneas puesto

que los valores estuvieron dentro de un margen de error prudente. Además, las pruebas de las funcionalidades del sistema permiten afirmar que el desarrollo de este fue exitoso.

- Como resultado se creó un sistema capaz de realizar el monitoreo de la Saturación de oxígeno en sangre y la presión arterial media de un paciente, comparándolo con el sistema E-Health llamado “Sistema de control diario y monitoreo desde la casa de la diabetes”, mencionado en el artículo *Sistemas E-Health Para El Tratamiento De La Diabetes* (Montaña, Amado, & Eslava, 2015). El cuál sirve de apoyo para que el paciente pueda tomar sus niveles de azúcar y enviarlas al médico por correo, el sistema que se tuvo como resultado es en esencia muy parecido, pero como trata enfermedades distintas, se monitorean signos vitales enfocados a estas. Por otra parte, como investigación y desarrollo posterior a este proyecto, se podría integrar el monitoreo de la diabetes y otras enfermedades al sistema resultado de este proyecto.
- El presente proyecto se suma a las investigaciones que se concentran en el desarrollo usando componentes electrónicos en la comunidad científica de Colombia para la mejora de la calidad de vida de los pacientes.
- Los datos que recolecta el prototipo actual no son completamente confiables. Debido a que el dispositivo utiliza sensores y algoritmos no certificados, los datos obtenidos durante las pruebas de recolección de estos no son exactamente iguales. Sin embargo, se puede evidenciar que la mayor diferencia entre los recolectados por un tensiómetro digital y el prototipo es de 7.16%. Por otra parte, se encontraron problemas con las versiones del pulsioxímetro que inicialmente se había seleccionado para el desarrollo del proyecto, donde se recalentaba desmedidamente después de un tiempo de uso. A pesar de que el margen de error de las lecturas no es grande y que se optó por cambiar el sensor a una versión más reciente, estos se consideran como resultados inesperados.

6. RECOMENDACIONES

Durante la ejecución del presente proyecto se evidenció que existen ciertas limitaciones del mismo, las cuáles se mencionarán a continuación junto con la estrategia para abordar cada una.

1. La primera limitación encontrada fue la necesidad de enviar datos en tiempo real desde un dispositivo IoT hasta la aplicación web progresiva en el celular/PC de un usuario con rol de médico o encargado. Al ser muchos mensajes por minuto se realizó una búsqueda de protocolos de comunicación para este caso de uso, que permitiera enviar mensajes ligeros, que no supongan mucha carga al ancho de banda; que pudiera ser utilizado por dispositivos con pocos recursos; también que se pudieran realizar mensajes de multicast. Para abordar esta limitación se realizó una búsqueda de protocolos de comunicación para proyectos de IoT, y como resultado se escogió el protocolo MQTT.
2. La elección del protocolo MQTT llevó a buscar librerías que cumplieran con el funcionamiento de clientes MQTT, una para ESP32 escrita para Arduino y otra para Angular, es decir navegador web. Cada uno de los tipos de librerías presentó diferentes limitaciones. Las librerías para ESP32 en Arduino solo sirven como clientes MQTT sobre TCP, es decir usan el puerto de esa interfaz en el bróker, y las librerías para el navegador web solo sirven como clientes MQTT sobre websockets, es decir, usan el respectivo puerto de esa interfaz en el bróker. Por ello se recomienda que el Broker utilizado exponga ambos puertos.
3. A raíz de las limitaciones anteriores y las decisiones tomadas, se hizo necesario implementar un Broker en el proyecto, inicialmente se intentó implementar uno como modulo del backend, el cuál es un módulo de NodeJS llamado Mosca. La limitación evidenciada de este bróker fue que no se consiguió desplegar y exponer las interfaces requeridas, únicamente se logró exponer la interfaz sobre websockets a través del mismo puerto del servidor web. Para solucionar esta limitación se decidió utilizar un bróker externo, se buscaron varios y al final se decantó a usar el CloudMQTT, el cual tiene una

modalidad gratuita. Se recomienda usar un Broker privado que exponga las interfaces requeridas y que permita autenticación y encriptación, ya que se manejan datos sensibles.

4. Al realizar la búsqueda de los sensores que se utilizarían para el desarrollo del proyecto se encontró sin problemas un oxímetro con interfaz I2C, pero no fue posible encontrar un tensiómetro que se pudiera conectar por medio de los protocolos de comunicación utilizados por el microcontrolador ESP32. Por ello se realizó una búsqueda en la literatura para determinar otras alternativas para la medición de la presión sanguínea. La alternativa encontrada fue utilizar un led infrarrojo y un sensor de luz digital.
5. Otra de las limitaciones fue la calidad de los sensores a utilizar, ya que sensores certificados son muy costosos y se salen del alcance del proyecto, por ello se recomienda usar este tipo de sensores certificados cuando se quiera usar en un entorno de producción, para así garantizar la calidad de las lecturas sobre los pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

- Abawajy, J., & Hassan, M. (2017). Federated internet of things and cloud computing pervasive patient health monitoring system. *IEEE Communications Magazine*, 55(1), 48-53.
- Abinayaa, B., & Raja, A. (2016). Smart Portable Monitoring Device for Asthma Patients. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24(S1), 136-142.
- Abreu Murta, J. G. (5 de Febrero de 2018). *ESP-WROOM-32 DEVKIT V4 pinout*. Obtenido de Flickr: <https://www.flickr.com/photos/jgustavoam/40089095211>
- Agreda, J. A., & González, E. (2014). Ambient intelligence based multi-agent system for attend elderly people. In *Computing Colombian Conference (9CCC), 2014 9th* (págs. 115-120). Bogotá: IEEE.
- Ahmed, S., Millat, S., Rahman, M., Alam, S., & Zishan, M. (2015). Wireless health monitoring system for patients. *Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), 2015 IEEE International WIE Conference on*, (págs. 164-167).
- American Psychiatric Association. (2013). *Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales*. Washington, DC: American Psychiatric Publishing.
- American Psychological Association. (2015). *Enfermedades crónicas*. Obtenido de American Psychological Association Web Site: <http://www.apa.org/centrodeapoyo/cronicas.aspx>
- Arias Juárez, O. (2017). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para la medición del pulso cardiaco y saturación de oxígeno en la sangre*. Quito: Universidad de las Américas, 2017.
- Barillaro, S., De Luca, G., Valiente, W., Carnuccio, E., García, G., Volker, M., . . . Pérez, M. (2016). Diseño de sistema IoT de monitoreo y alarma para personas mayores. *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2016, Entre Ríos, Argentina)*.
- Bedra, M., & Finkelstein, J. (2015). Introducing Home Blood Pressure Telemonitoring for Children with Hypertension. *Studies in health technology and informatics*, 216, 889.

- Benharref, A., & Serhani, M. A. (2014). Novel cloud and SOA-based framework for E-Health monitoring using wireless biosensors. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 18(1), 46-55.
- Bharathan, M., Nadar, M., & Wayal, M. (2017). Remote Health Monitoring Using IOT.
- C. Laudon, K., & P. Laudon, J. (2012). *SISTEMAS DE INFORMACIÓN GERENCIAL*. México: Pearson Educación.
- Chetelat, O., Ferrario, D., Proenca, M., Porchet, J.-A., Falhi, A., Grossenbacher, O., . . . Sartori, C. (2015). Clinical validation of LTMS-S: A wearable system for vital signs monitoring. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2015*, 3125-3128.
- Chirakanphaisarn, N., Thongkanluang, T., & Chiwpreechar, Y. (2016). Heart rate measurement and electrical pulse signal analysis for subjects span of 20–80 years. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*.
- Chiuchisan, I., Costin, H. N., & Geman, O. (2014). Adopting the internet of things technologies in health care systems. *Electrical and Power Engineering (EPE), 2014 International Conference and Exposition on* (págs. 532-535). Iasi: IEEE.
- Chooruang, K., & Mangkalakeeree, P. (2016). Wireless Heart Rate Monitoring System Using MQTT. *Procedia Computer Science*, 86, 160-163.
- Cisco. (10 de Marzo de 2017). *Internet de las cosas (IoT)*. Obtenido de Internet de las cosas (IoT): http://www.cisco.com/c/es_co/solutions/internet-of-things/overview.html
- Colmenares-Guillen, L., Ruiz, M., & Niño, E. (2015). APLICACIÓN DE CÓMPUTO MÓVIL Y PERVASIVO PARA EL MONITOREO NO INVASIVO DE LA DIABETES EN TIEMPO REAL. *European Scientific Journal, ESJ*, 11(33).
- De Paz, J., Bohorquez, C., Rivera, E., Castillo, F., & Velázquez, F. (2018). SISTEMA DE TELEASISTENCIA MÉDICA TIPO SCADA PARA EL MONITOREO DE PACIENTES UTILIZANDO TECNOLOGÍA GSM. *Pistas Educativas*, 39(127).

- ElGamal, T. (1985). A public key cryptosystem and a signature scheme based on discrete logarithms. *IEEE transactions on information theory*, 31(4), 469-472.
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)*. (Noviembre de 2016). Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs315/es/>
- Espressif Systems. (Agosto de 2018). *Esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf*. Obtenido de Espressif Systems: <https://wiki.newae.com/CW308T-ESP32>
- Evans, D. (2011). *Internet de las cosas Cómo la próxima evolución*. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG).
- Farahani, B., Firouzi, F., Chang, V., Badaroglu, M., Constant, N., & Mankodiya, K. (2018). Towards fog-driven IoT eHealth: Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare. *Future Generation Computer Systems*, 78, 659-676.
- Fortino, G., Parisi, D., Pirrone, V., & Di Fatta, G. (2014). BodyCloud: A SaaS approach for community Body Sensor Networks. *Future Generation Computer Systems*, 35, 62-79.
- Franz, B., Schuler, A., & Kraus, O. (2015). Applying FHIR in an integrated health monitoring system. *EJBI*, 11(2), en61--56.
- George, M., & Mathew, N. (2016). Patient Health Monitoring System using IOT and Android. *Journal for Research/ Volume*, 2(01).
- Ghosh, A., Halder, D., & Hossain, S. (2016). Remote health monitoring system through IoT. *Informatics, Electronics and Vision (ICIEV), 2016 5th International Conference on*, (págs. 921-926).
- Gia, T., Ali, M., Dhaou, I., Rahmani, A., Westerlund, T., Liljeberg, P., & Tenhunen, H. (2017). IoT-based continuous glucose monitoring system: A feasibility study. *Procedia Computer Science*, 109, 327-334.
- Gilbert, B., Vickberg, M., Schwab, D., Haider, C., Kantarci, O., Croghan, I., & Sainati, R. (2015). System Architecture and Implementation of a Wireless-Based Home Health Care Monitoring System Intended for Use in a Medical Center Environment. *American Journal of Biomedical Engineering*, 5(4), 116-129.

- GlobalRPH. (7 de Agosto de 2018). *Mean Arterial Pressure - MAP Calculator*. Obtenido de GlobalRPH: <http://www.globalrph.com/map.htm>
- Gómez, J., Oviedo, B., & Zhuma, E. (2016). Patient Monitoring System Based on Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 83, 90-97.
- Gregoriano, C., Dieterle, T., Dürr, S., Arnet, I., Hersberger, K., & Leuppi, J. (2017). Impact of an Electronic Monitoring Intervention to Improve Adherence to Inhaled Medication in Patients with Asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Study Protocol for a Randomized Controlled Trial. *JMIR research protocols*, 6(10).
- Guano, G., Alulema, D., & Carrera, E. (2015). A portable electronic system for health monitoring of elderly people. *Communications and Computing (COLCOM), 2015 IEEE Colombian Conference on*, (págs. 1-6).
- Gutiérrez Cisternas, C., & others. (2016). *Sistema de monitoreo continuo de signos vitales con sensores no invasivos y transmisión inalámbrica de datos*. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Harous, S., El Menshawy, M., Serhani, M., & Benharref, A. (2018). Mobile health architecture for obesity management using sensory and social data. *Informatics in Medicine Unlocked*, 10, 27-44.
- Hassanaliyagh, M., Page, A., Soyata, T., Sharma, G., Aktas, M., Mateos, G., . . . Andreescu, S. (2015). Health monitoring and management using Internet-of-Things (IoT) sensing with cloud-based processing: Opportunities and challenges. *Services Computing (SCC), 2015 IEEE International Conference on*, (págs. 285-292).
- Herreria Grijalva, P., & Navarrete Vallejos, J. (2016). *Diseño y construcción de una red de monitoreo de signos vitales en adultos mayores con deficiencia de movilidad*. Quito, 2016.
- Hipertensión Arterial*. (s.f.). Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de Msal.gob.ar: <http://www.msal.gob.ar/ent/index.php/informacion-para-ciudadanos/hipertension-arterial>
- HONcode. (2018). Obtenido de Health On the Net Foundation: <https://www.hon.ch/HONcode/Patients/>

- Hossain, M., & Muhammad, G. (2016). Cloud-assisted industrial internet of things (iiot)--enabled framework for health monitoring. *Computer Networks, 101*, 192-202.
- Hua, J., Zhang, H., Liu, J., Xu, Y., & Guo, F. (2018). Direct Arrhythmia Classification from Compressive ECG Signals in Wearable Health Monitoring System. *Journal of Circuits, Systems and Computers, 27*(06), 1850088.
- Jiménez Caicedo, F., & Ramírez Quintero, M. (2016). *Implementación de un sistema de gestión de seguridad de la información aplicado al telemonitoreo médico*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Kaimakamis, E., Perantoni, E., Serasli, E., Kilintzis, V., Chouvarda, I., Kayyali, R., . . . others. (2018). Experience of Using the WELCOME Remote Monitoring System on Patients with COPD and Comorbidities. En E. Kaimakamis, E. Perantoni, E. Serasli, V. Kilintzis, I. Chouvarda, R. Kayyali, . . . others, *Precision Medicine Powered by pHealth and Connected Health* (págs. 97-102). Springer.
- Kakria, P., Tripathi, N., & Kitipawang, P. (2015). A real-time health monitoring system for remote cardiac patients using smartphone and wearable sensors. *International journal of telemedicine and applications, 2015*, 8.
- Kalyan, K., Chugh, V., & Anoop, C. (8 de 2016). Non-invasive heart rate monitoring system using giant magneto resistance sensor. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2016*, 4873-4876.
- Karambelkar, K., Balkawade, S., Kapgate, J., & Adoni, K. (2017). Non-invasive Optical Blood Pressure Sensing and Measurement. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 252-256.
- Kasundra, C., & Shirsat, A. (2015). Raspberry-Pi Based Health Monitoring System. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 4*(8), 7147-7154.

- Khan, N., Hai, M., Sawand, M., Khuzema, A., & Tariq, M. (2016). Real Time Monitoring of Human Body Vital Signs using Bluetooth and WLAN. *IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(10).
- Khoi, N., Saguna, S., Mitra, K., & Åhlund, C. (2015). IReHMo: An efficient IoT-based remote health monitoring system for smart regions. *E-health Networking, Application & Services (HealthCom), 2015 17th International Conference on*, (págs. 563-568).
- Kroll, P., & Kruchten, P. (2003). *Rational Unified Process Made Easy: A Practitioner's Guide to the RUP*. Addison-Wesley Professional.
- Kumar, R., & Rajasekaran, M. (2016). An IoT based patient monitoring system using raspberry Pi. *Computing Technologies and Intelligent Data Engineering (ICCTIDE), International Conference on*, (págs. 1-4).
- Li, C., Hu, X., & Zhang, L. (2017). The IoT-based heart disease monitoring system for pervasive healthcare service. *Procedia Computer Science*, 112, 2328-2334.
- Li, S.-H., Lin, B.-S., Wang, C.-A., Yang, C.-T., & Lin, B.-S. (2017). Design of wearable and wireless multi-parameter monitoring system for evaluating cardiopulmonary function. *Medical Engineering and Physics*, 47, 144-150.
- Libelium. (25 de Febrero de 2017). *MySignals - eHealth and Medical IoT Development Platform*. Obtenido de MySignals: <http://www.my-signals.com/>
- Lin, B.-S., Wong, A., & Tseng, K. (4 de 2016). Community-Based ECG Monitoring System for Patients with Cardiovascular Diseases. *Journal of medical systems*, 40(4), 80.
- Londoño, J., Duque, J., & Valdivieso, A. (2015). Diseño de un dispositivo portátil e inalámbrico para el monitoreo ambulatorio de la presión arterial no invasiva. *Revista Politécnica*, 6(11), 121-131.
- López, L., López, A., & Sanabria, Y. (2015). Aplicación de la biotelemedicina para tres signos vitales. *Ciencia y Poder Aéreo*, 10(1), 179-186.
- Lounis, A., Hadjidj, A., Bouabdallah, A., & Challal, Y. (2016). Healing on the cloud: Secure cloud architecture for medical wireless sensor networks. *Future Generation Computer Systems*, 55, 266-277.

- Mahmud, M., Wang, H., Esfar-E-Alam, A., & Fang, H. (2017). A Wireless Health Monitoring System Using Mobile Phone Accessories. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), 2009-2018.
- Maxim Integrated Products. (2015). *MAX30102.pdf*. Obtenido de Maxim Integrated Products: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30102.pdf>
- Moatamed, B., Shahmohammadi, F., Ramezani, R., Naeim, A., Sarrafzadeh, M., & others. (2016). Low-cost indoor health monitoring system. *Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), 2016 IEEE 13th International Conference on*, (págs. 159-164).
- Montaña, A., Amado, C., & Eslava, H. (2015). SISTEMAS E-HEALTH PARA EL TRATAMIENTO DE LA DIABETES. *Revista Vínculos*, 11(2), 111-126.
- MQTT*. (2018). Obtenido de MQTT: <https://mqtt.org/>
- Nandy, S., & Barman, S. (2018). Design of a Low-Cost Heart Rate Monitoring System. *Proceedings of the International Conference on Microelectronics, Computing & Communication Systems*, (págs. 207-219).
- Ogata, K. (1987). *Dinámica de sistemas*. (J. Pecina Hernandez, Trad.) Naucalpan de Juarez: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Recuperado el 10 de Marzo de 2017
- OMS / Asma*. (Noviembre de 2013). Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de Who.int: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs307/es/>
- OMS / Factores de riesgo*. (s.f.). Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de Who.int: http://www.who.int/topics/risk_factors/es/
- Organización Mundial de la Salud. (25 de Febrero de 2017). *Enfermedades crónicas*. Obtenido de Who.int: http://www.who.int/topics/chronic_diseases/es/
- Ortiz Lima, F. (2016). *Diseño de un sistema inalámbrico para monitoreo de pacientes ambulatorios, utilizando sensores de presión arterial y ritmo cardiaco e implementación de un prototipo de prueba*. Quito, 2016.
- Panicker, N., & Kumar, A. (2015). Development of a blood pressure monitoring system for home health application. *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2015 International Conference on*, (págs. 1-4).

- Pinill, J., Mantilla, O., Rodríguez, L., & Rangel, S. (2017). Desarrollo de un sistema de telemonitorización vital usando hardware reconfigurable. *Puente*, 9(2), 15-21.
- Preguntas y respuestas sobre la hipertensión*. (Septiembre de 2015). Recuperado el 11 de Marzo de 2017, de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/features/qa/82/es/>
- Privacy, H. I. (9 de Marzo de 2017). *HHS.gov*. Obtenido de Health Information Privacy: <https://www.hhs.gov/hipaa/index.html>
- Pulse oximetry test*. (Enero de 2017). Obtenido de British Lung Foundation: <https://www.blf.org.uk/support-for-you/breathing-tests/pulse-oximetry-test>
- Ray, B. (3 de Agosto de 2016). *IoT Platforms: What They Are & How To Select One*. Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de Link-labs.com: <https://www.link-labs.com/blog/what-is-an-iot-platform>
- Risso, N., Neyem, A., Benedetto, J., Carrillo, M., Farías, A., Gajardo, M., & Loyola, O. (2016). A cloud-based mobile system to improve respiratory therapy services at home. *Journal of Biomedical Informatics*, 63, 45-53.
- Rodríguez, J. C. (25 de Febrero de 2017). *AccuHealth aterriza en Colombia con servicio de Telemonitoreo*. Obtenido de AccuHealth: <https://www.accuhealth.cl/noticias/el-telemonitoreo-aterriza-en-colombia-de-la-mano-de-accuhealth/>
- Saha, H., Paul, D., Chaudhury, S., Haldar, S., & Mukherjee, R. (2017). Internet of Thing based healthcare monitoring system. *Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), 2017 8th IEEE Annual*, (págs. 531-535).
- Sakr, S., & Elgammal, A. (2016). Towards a Comprehensive Data Analytics Framework for Smart Healthcare Services. *Big Data Research*, 4, 44-58.
- Sendra, S., Parra, L., Lloret, J., & Tomás, J. (2018). Smart system for children's chronic illness monitoring. *Information Fusion*, 40, 76-86.
- Serhani, M., Menshaw, M., & Benharref, A. (2016). SME2EM: Smart mobile end-to-end monitoring architecture for life-long diseases. *Computers in Biology and Medicine*, 68, 137-154.

- Shah, S., Velardo, C., Farmer, A., & Tarassenko, L. (2017). Exacerbations in chronic obstructive pulmonary disease: identification and prediction using a digital health system. *Journal of medical Internet research*, 19(3).
- Sharif-Khodaei, Z., Ghajari, M., & Aliabadi, M. (2015). Impact damage detection in composite plates using a self-diagnostic electro-mechanical Impedance-based structural health monitoring system. *Journal of Multiscale Modelling*, 6(04), 1550013.
- Spanò, E., Di Pascoli, S., & Iannaccone, G. (2016). Low-power wearable ECG monitoring system for multiple-patient remote monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 16(13), 5452-5462.
- Sundharakumar, K., Dhivya, S., Mohanavalli, S., & Chander, R. (2015). Cloud Based Fuzzy Healthcare System. *Procedia Computer Science*, 50, 143-148.
- Syed, H., Gani, A., Ahmad, R., Khan, M., & Ahmed, A. (2017). Cloud monitoring: A review, taxonomy, and open research issues. *Journal of Network and Computer Applications*, 98, 11-26.
- Thilakanathan, D., Chen, S., Nepal, S., Calvo, R., & Alem, L. (2014). A platform for secure monitoring and sharing of generic health data in the Cloud. *Future Generation Computer Systems* 35, 102-113.
- TP4056A Li-ion Battery Charging/Discharging Module. (2018). Obtenido de Components101: <https://components101.com/tp4056a-li-ion-battery-chargingdischarging-module>
- Tsukiyama, T. (2015). In-home Health Monitoring System for Solitary Elderly. *Procedia Computer Science*, 63, 229-235.
- Tuna, G., Das, R., & Tuna, A. (2015). Wireless sensor network-based health monitoring system for the elderly and disabled. *International Journal of Computer Networks and Applications (IJCNA)*, 2(6), 247-253.
- Vaibhav, A., & Ahmad, I. (2018). IoT-Based Patient Health Monitoring System. En A. Vaibhav, & I. Ahmad, *Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications* (págs. 177-183). Springer.
- Vargas Escobar, L., & Salinas, S. (8 de 2016). e-Health prototype system for cardiac telemonitoring. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE*

- Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2016*, 4399-4402.
- Vargas Quinzo, I., & Pérez Reyes, E. (2017). *Desarrollo de un robot social en el área de la telemedicina para el monitoreo remoto y diagnóstico de enfermedades cardiovasculares en el adulto mayor*. Universidad Nacional de Chimborazo, 2017.
- Velardo, C., Shah, S., Gibson, O., Clifford, G., Heneghan, C., Rutter, H., . . . Tarassenko, L. (2017). Digital health system for personalised COPD long-term management. *BMC medical informatics and decision making*, 17(1), 19.
- Vélez-Álvarez, C., Vidarte-Claros, J. A., Álvarez-Rosero, R. E., & García-Navarro, J. A. (2016). Salud electrónica para el autocuidado de pacientes con factores de riesgo asociados al síndrome metabólico. *Universidad y Salud*, 18(1), 170-181.
- Wang, X. (2015). The architecture design of the wearable health monitoring system based on internet of things technology. *International Journal of Grid and Utility Computing*, 6(3-4), 207-212.
- Wang, Y., Liu, M., & Li, J. (2015). Application of android mobile platform in remote medical monitoring system. *system*, 9(4).
- Wehrwein, E., & Joyner, M. (2013). *Regulation of blood pressure by the arterial baroreflex and autonomic nervous system*. Elseiver.
- What is UML | Unified Modeling Language*. (Julio de 2005). Recuperado el 21 de Marzo de 2017, de Uml.org: <http://www.uml.org/what-is-uml.htm>
- Xu, J., Gao, X., Lee, A., Yamada, S., Yavari, E., Lubecke, V., & Boric-Lubecke, O. (8 de 2016). Wrist-worn heartbeat monitoring system based on bio-impedance analysis. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2016*, 6294-6297.
- Yan, M., & Or, C. (2017). A 12-week pilot study of acceptance of a computer-based chronic disease self-monitoring system among patients with type 2 diabetes mellitus and/or hypertension. *Health informatics journal*, 1460458217724580.

- Yang, G., Xie, L., Mäntysalo, M., Zhou, X., Pang, Z., Da Xu, L., & Zheng, L. R. (2014). A health-iot platform based on the integration of intelligent packaging, unobtrusive bio-sensor, and intelligent medicine box. *IEEE transactions on industrial informatics*, *10*(4), 2180-2191.
- Yang, Z., Zhou, Q., Lei, L., Zheng, K., & Xiang, W. (2016). An IoT-cloud based wearable ECG monitoring system for smart healthcare. *Journal of medical systems*, *40*(12), 286.
- Yauri Rodriguez, R. (2016). Sistema de Monitoreo remoto basado en IOT para el monitoreo de señales electrocardiográficas mediante un módulo sensor utilizando websockets.
- Zanjali, S., & Talmale, G. (2016). Medicine Reminder and Monitoring System for Secure Health Using IOT. *Procedia Computer Science*, *78*, 471-476.
- Zhu, N., Diethe, T., Camplani, M., Tao, L., Burrows, A., Twomey, N., & Craddock, I. (2015). Bridging e-health and the internet of things: The sphere project. *IEEE Intelligent Systems*, *30*(4), 39-46.

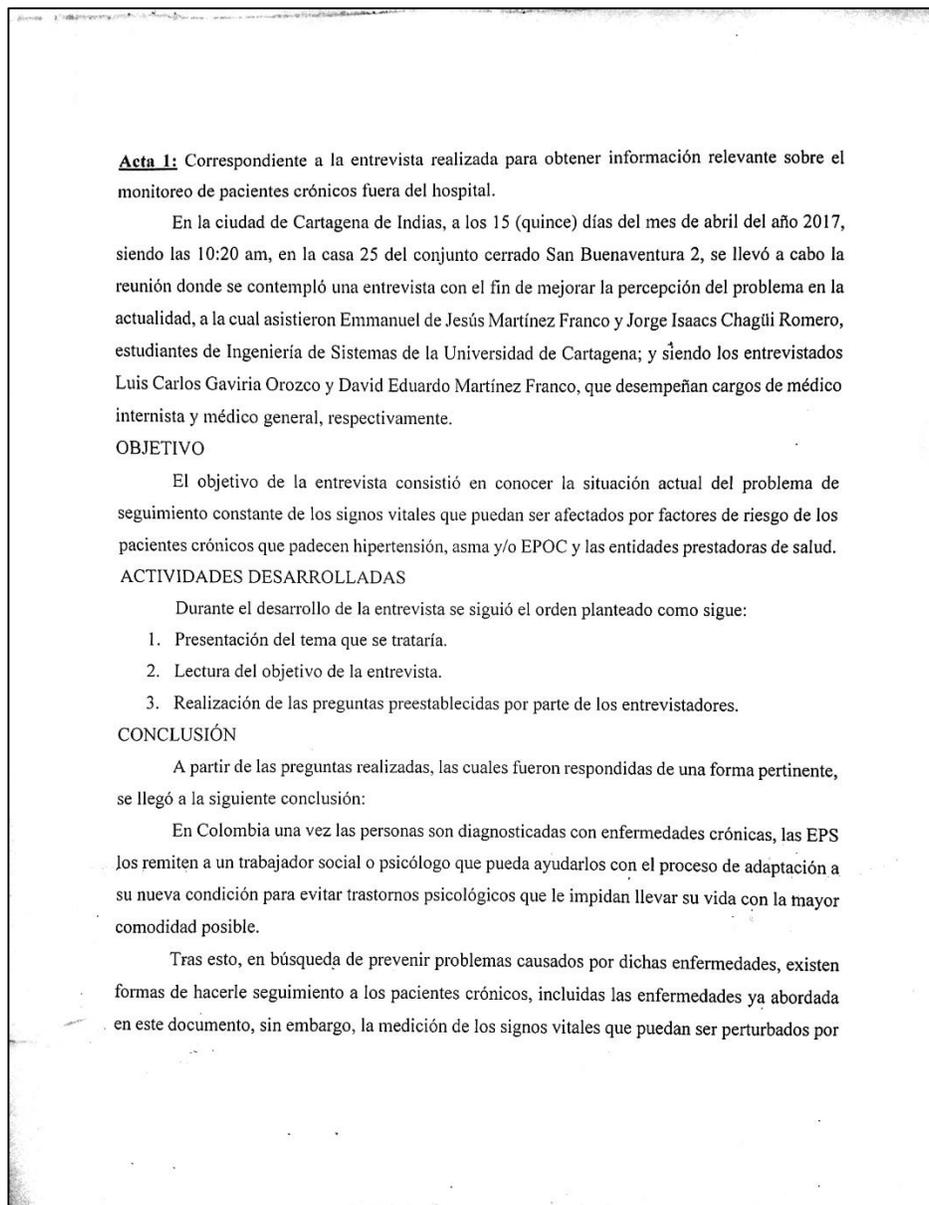
ANEXOS**ANEXO 1**

Figura 37. Página 1 del acta de la entrevista.

factores de riesgo se hace de manera circunstancial, mas no constante. Es decir, que la medición de estos se hace solamente en momentos del día que dichos pacientes tengan establecidos en forma mecánica o cuando presenten algún síntoma alarmante, pero para entonces podría ya ser tarde, y no existe una forma más constante de mantener vigilancia sobre estas variables además del Holter, el cual solo puede ser usado durante un tiempo máximo de 2 días por prescripción médica tras una cirugía vascular y únicamente puede medir la presión arterial.

Por otra parte, se definió que la saturación de oxígeno permitiría saber cuándo existen problemas en los sistemas, por ejemplo, aquellos pacientes que padezcan EPOC tienen problemas pulmonares que podrían afectar directamente la circulación sanguínea. Sin embargo, a pesar de esto, un resultado bajo de la saturación de oxígeno en sangre no necesariamente produce una falla cardíaca.

FIRMAS

Para constancia de lo anterior se firma en Cartagena de Indias D.T. y C. a los 15 (quince) días del mes de abril del año 2017 por:



Emanuel Martínez Franco

Estudiante de Ingeniería de Sistemas

Entrevistador



Jorge Chagüi Romero

Estudiante de Ingeniería de Sistemas

Entrevistador



Luis Carlos Gaviria Orozco

Médico Internista - Entrevistado

Entrevistador



David Martínez Franco

Médico General - Entrevistado

Entrevistador

Figura 38. Página 2 del acta de la entrevista

ANEXO 2

Entrevista realizada para obtener información relevante sobre el monitoreo de pacientes crónicos fuera del hospital

OBJETIVO

Conocer la situación actual del problema de seguimiento constante de los signos vitales que se puedan tomar como factores de riesgo de los pacientes crónicos que padecen hipertensión, asma y/o EPOC y las entidades prestadoras de salud.

ENCUESTADOS

Luis Carlos Gaviria Orozco, Médico internista.

David Eduardo Martínez Franco, Médico general.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es el procedimiento con los pacientes tras el diagnóstico de una enfermedad crónica?
2. ¿Existe una forma de monitorear de los signos vitales de pacientes con enfermedades crónicas cuando se encuentran fuera del hospital?
3. ¿Toda enfermedad crónica genera dependencia total o parcial?
4. ¿La saturación de oxígeno en sangre es un factor que solo se tiene en cuenta en pacientes crónicos para los que presentan fallas cardíacas