



Facultad de Ingeniería en
Electricidad y Computación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“TELEMEDICINA: DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN
PROTOTIPO DE DISPOSITIVO PARA EL MONITOREO
DE PACIENTES CON COVID19”

EXAMEN DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

JORGE LUIS RAMÍREZ GÓMEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2020

AGRADECIMIENTOS

Mi primer agradecimiento siempre a Dios y a las oraciones de mi familia por mí y por qué pueda alcanzar mis metas, desde mi primer logro académico hasta este que alcanzo con la presentación de este documento, ellos han sido cimiento y pilar fundamental en todas mis metas.

Agradezco a mis amigos que siempre están presentes pese al tiempo o la distancia, nunca tienen un no como respuesta cuando he necesitado de su ayuda.

Finalmente, un agradecimiento especial a mi novia Joselyn, quien fue mi brazo y ayuda esencial en la realización de este proyecto, gracias por tanto amor y por ser mi complemento y mi compañera en todo aspecto.

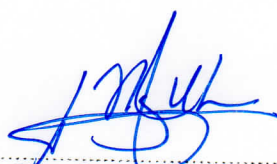
Jorge Luis Ramírez Gómez

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico de todo corazón a mi familia, amigos y a mi novia, sin ellos esto no hubiera sido posible, porque con todos sus mensajes y palabras de apoyo, de nunca rendirse y de siempre meterle ganas hoy puedo conseguir otro logro en mi carrera académica, que es tan mío como de ellos.

Jorge Luis Ramírez Gómez

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



.....
Alfredo Nuñez, MSc.

PROFESOR EVALUADOR

.....
María Antonieta Álvarez, Ph.D.

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Jorge Luis Ramírez Gómez

RESUMEN

El presente proyecto tiene como propósito el diseño de un prototipo de gadget de telemedicina direccionado a la medición de parámetros que permitan conocer y monitorear posibles síntomas de COVID19. Esta enfermedad que se produce por el virus SARS-COV2 se ha convertido en la problemática más relevante desde fines del año 2019, lo que ha puesto a prueba todas las ramas de la ciencia y en especial de la medicina, para poder contrarrestarla, encontrar formas eficientes de combatirla y vencerla.

En base a esto, se definen los signos vitales que deben ser medidos para poder analizar posibles síntomas de COVID, estas variables serán sensadas a través del prototipo, el cual a su vez se basa en el uso de sensores y tarjetas de desarrollo OpenSource, lo cual garantiza alta fiabilidad a bajo costo. Como siguiente paso se envían los datos a través de protocolo MQTT vía internet hacia un servidor montado en AWS, en donde se disponen los dashboards de monitoreo gracias a Grafana.

Todos los datos se encuentran almacenados en esta plataforma y configurados mediante bloques programables de Node-Red (se habilitan los servicios necesarios para el funcionamiento de la plataforma de monitoreo). Con todos los servicios y reglas de funcionamiento definidas, se diseñan los dashboards de visualización para monitorear apropiadamente las variables estudiadas en tiempo real, mismas que en caso de estar fuera del umbral, notificará inmediatamente a través de Telegram las anomalías encontradas a la casa asistencial más cercana para tomar las medidas del caso y salvaguardar la vida del paciente o la persona que haga uso del gadget.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

IOT	Internet of Things – Internet de las cosas
COVID	Coronavirus Disease – Enfermedad por Coronavirus
AWS	Amazon Web Services
AI	Artificial Intelligence – Inteligencia Artificial
TAC	Tomografía Axial Computarizada
MQTT	Message Queing Telemetry Transport
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
TCP - IP	Transmission Control Protocol – Internet Protocol
IR	InfraRed

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Metodología.....	3
1.5 Limitaciones y Alcance.....	3
1.5.1 Limitaciones.....	3
1.5.2 Alcance.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 IoT y Redes de Sensores.....	5
2.2 Inteligencia Artificial y COVID19.....	6
2.3 Roles de IoT en la situación de pandemia por COVID19.....	8
2.4 Impacto del IoT en los campos de la medicina.....	8
2.5 Signos vitales afectados por el COVID19.....	9

CAPÍTULO 3.....	11
3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	11
3.1 Escenario	11
3.2 Definición de Variables de estudio	12
3.3 Metodología.....	12
3.4 Esquema de comunicación.....	14
3.5 Configuración de la plataforma	15
3.6 Generación de datos para el prototipo	15
CAPÍTULO 4.....	16
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	16
4.1 Diagrama esquemático.....	16
4.2 Esquema de funcionamiento	16
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
BIBLIOGRAFÍA.....	25

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. ESQUEMAS DEL PROCEDIMIENTO DEL ENFOQUE CONVENCIONAL Y ENFOQUE AI FRENTE AL COVID19. [3]	7
FIGURA 3.1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA. .	13
FIGURA 4.1. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO PARA LA CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS IOT.....	16
FIGURA 4.2. DIAGRAMA DE CONFIGURACIÓN EN NODE-RED PARA LA RECEPCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE DATOS.....	17
FIGURA 4.3. DASHBOARD DEL PANEL DE CONTROL GENERAL DE LA SOLUCIÓN.....	18
FIGURA 4.4. DASHBOARD SEGMENTADO POR PACIENTE.	19
FIGURA 4.5. PROTOTIPO FUNCIONAL: RITMO CARDÍACO Y TEMPERATURA.	20
FIGURA 4.6. EJEMPLOS DE NOTIFICACIÓN DE ALERTA POR TELEGRAM.	21
FIGURA 4.7. EJEMPLOS DE NOTIFICACIÓN DE ALERTA POR CORREO ELECTRÓNICO.	22

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PULSACIONES POR MINUTO EN HOMBRES EN REPOSO. [9]	10
TABLA 2. PULSACIONES POR MINUTO EN MUJERES EN REPOSO. [9]	10
TABLA 3. RANGOS NORMALES DE % DE OXÍGENO EN LA SANGRE. [10]	10

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de salud actual en el país a partir del mes de marzo del 2020 sufrió un cambio radical en su historia debido a la enfermedad por coronavirus o COVID19. Dicha enfermedad que es catalogada hasta la fecha una pandemia a nivel mundial se convirtió en un hecho negativo y radical en todas las ciudades del Ecuador, pero más en las ciudades de Guayaquil y Quito en donde los afectados por el virus perdían la vida sin poder ser atendidos apropiadamente por el colapso del sistema sanitario que significó esta pandemia.

La pandemia tuvo su origen en la ciudad de Wuhan, provincia de Hubei en China central a finales del año 2019. Todos los esfuerzos por contener el agente patógeno en dicha ciudad y posteriormente en dicho país fue en vano, puesto que las fechas de aparición del foco infeccioso coincidieron con las del año nuevo chino lo que implicó un flujo masivo de visitantes extranjeros en toda China, propiciando un crecimiento exponencial en los portadores del virus.

El virus tiene un comportamiento particular, todos los síntomas se presentan luego de aproximadamente 15 días de estar expuesto al mismo, por lo que, la mayoría de las personas infectadas que al regresar a sus países de origen fueron portadores a diferentes zonas de Europa y Asia, desencadenando un crecimiento exponencial en los casos de COVID19. Finalmente, los contagios llegaron al continente americano en donde se esparció rápidamente en América del sur, central y del norte.

1.1 Descripción del problema

Debido a la problemática mencionada en el inciso anterior y sin duda alguna uno de los mayores inconvenientes que ha presentado la sociedad en el actual siglo es el coronavirus SARS-COV2 el cual produce la enfermedad llamada COVID19. Además, el impacto mundial a nivel socioeconómico que este ha generado, desencadenó buenos y malos eventos en el mundo.[1]

Una de las características negativas más relevantes es la falta de aforo en los centros hospitalarios para brindar atención a todos los pacientes afectados en

todos los niveles de gravedad que la enfermedad antes mencionada produce. Partiendo desde el control efectivo y temprano de la enfermedad hasta casos severos de pacientes con sintomatología positiva de COVID19, han generado que las casas asistenciales a nivel mundial sufran colapsos, por consiguiente, las personas que sufren esta enfermedad pierdan la vida.

1.2 Justificación

En base a lo descrito previamente y tomando como referencia las características positivas de cara a la pandemia mundial, el avance tecnológico en aras de brindar soporte a los especialistas de la medicina y centros de salud en general ha permitido incorporar muchos elementos de transformación digital, internet de las cosas y el internet propiamente dicho, para ser de gran ayuda al combatir la enfermedad.

Entonces, se propone como solución un gadget (dispositivo pequeño con propósitos y funciones específicas) el cual permita monitorear y alertar los signos vitales que se consideran importantes de cara a ser un paciente positivo de COVID19 o en etapa de recuperación de dicha enfermedad.

El gadget será un dispositivo inalámbrico que medirá el ritmo cardiaco, la saturación de oxígeno y la temperatura corporal, con lo cual se podrá controlar adecuadamente los signos vitales de un paciente con COVID19 o uno que ya se encuentra en fase de recuperación.

Todas estas variables serán medidas en intervalos de tiempo específicos (de acuerdo con la gravedad de la enfermedad) o en su defecto, cuando el paciente quiera verificar su estado de salud.

De presentarse alguna anomalía en una de estas 3 medidas, el gadget estará conectado vía internet hacia la plataforma de monitoreo, la cual alertará adecuadamente al centro hospitalario en donde se hace tratar el paciente para que durante la posible emergencia que se presente, pueda ser atendido y el riesgo de algún paro respiratorio o cardiaco sea mitigado lo más posible.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo de dispositivo IoT de telemedicina para el COVID19.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir las variables de estudio dentro de la enfermedad COVID19.
- Analizar el comportamiento de las variables de estudio y el impacto en la salud del paciente afectado por COVID19.
- Bosquejar un prototipo de conexión inalámbrica que mida las variables de estudio.
- Almacenar la información recibida de cada paciente para alertar al centro de salud donde se atiende en caso de presentarse deterioros graves en la salud del paciente.
- Diseñar una plataforma de visualización y control en tiempo real de la información de los pacientes de acuerdo con el centro de salud.

1.4 Metodología

Para el desarrollo del prototipo planteado como objetivo se usará el concepto del Internet de las cosas, en particular lo que respecta al software y hardware libre que permite la plataforma Arduino. En base a esta plataforma se desarrollarán los gadgets, los cuales serán programados y configurados de tal manera que realicen las funciones de sensado y comunicación hacia la red. Estos nodos podrán ser monitoreados en tiempo real a través de la plataforma Grafana, la misma que estará montada en AWS para ser accedida desde cualquier sitio, facilitando así la gestión de las partes interesadas.

1.5 Limitaciones y Alcance

1.5.1 Limitaciones

Las principales limitaciones de la presente solución hacen referencia al uso del software libre y los dispositivos asociados a esta tecnología, puesto que

existen sensores de variables corporales o médicas que no son compatibles con esta corriente tecnológica y son privativos, por ende, solo trabajan con una plataforma en particular. Así mismo, las limitaciones del prototipo a diseñar pueden incurrir en problemas de conectividad si el dispositivo móvil del paciente no cuenta con acceso a internet por lo que las variables de estudio no podrán ser visualizadas en la plataforma de monitoreo.

1.5.2 Alcance

El alcance que se tendrá tener con esta solución es el de poder desarrollar e implementar gadgets o “Smart Bracelets” los cuales se encargan específicamente del monitoreo de las condiciones médicas para personas que padecen del virus COVID19, garantizando que la casa asistencial tenga un monitoreo constante de los signos vitales, para que, en caso de ser necesario, se brinden los primeros auxilios correspondientes.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

Tomando como referencia los objetivos mencionados en el capítulo anterior, a continuación, se detallan cuáles han sido los avances tecnológicos y las prestaciones del Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, Machine Learning y BigData frente al COVID19. A su vez se muestra como estas tecnologías han contribuido positivamente al tratamiento y seguimiento de los pacientes.

2.1 IoT y Redes de Sensores

Debido a la actual pandemia a nivel mundial y su propagación como tal, el Internet de las Cosas y las redes de sensores han empezado a ser utilizadas con más frecuencia en este ámbito como medidas de prevención o control, produciendo aplicaciones y soluciones de primera necesidad enfocadas a reducir contagios, junto con el control del esparcimiento del virus.

Dentro de las principales aplicaciones que se han podido desarrollar en los últimos 6 meses de pandemia es el uso de robots y asistentes digitales que brindan guía y ayuda a las personas que por cuestión del confinamiento puedan llegar a presentar problemas para manejar el aislamiento obligatorio por el virus. Por otra parte, en muchos países se están empleando drones para el patrullaje de zonas consideradas de alto riesgo que permitan vigilar a los transeúntes de dichas zonas validando que porten sus mascarillas y eviten las aglomeraciones.[2]

Así mismo, los dispositivos IoT brindan capacidades de rastreo (dependiendo del tipo de aplicación) de focos infecciosos o brotes del virus, alertando adecuadamente a las autoridades respectivas, además de tomar las medidas de bioseguridad y contención necesarias. Del lado de los centros de salud y hospitales, todos los dispositivos IoT que se emplean les permiten dar seguimiento a sus pacientes para que estos puedan acatar todas las recomendaciones de salud necesarias que les permita sobrellevar y superar los síntomas o afecciones causados por el COVID19.[2]

2.2 Inteligencia Artificial y COVID19

Una de las primeras herramientas que han sido fuertemente utilizadas en el contexto de la pandemia es la Inteligencia Artificial (AI – Artificial Intelligence), la cual tiene como función principal el poder analizar y orientar caminos de prevención frente al COVID19 o cualquier otra pandemia. [3]

En base a esto la Inteligencia Artificial representa una tecnología de vanguardia en la industria médica capaz de monitorear la expansión del virus COVID19 en tiempo real y así mismo, brindar referencias o sugerencias de control en base a la información que se tenga de entrada. Se pueden trabajar predicciones de mortalidad, riesgos de contagio, propagación del virus, por otra parte, mejorar todo lo concerniente a la planeación, tratamiento y reportes de estado de salud de los pacientes que ya sufren de dicha enfermedad. [4]

En la Figura 2.1 se puede visualizar un esquema conceptual de cómo es aplicada la tecnología de Inteligencia Artificial AI para que los profesionales de la salud en las diferentes casas asistenciales puedan identificar, diagnosticar y tratar adecuadamente los síntomas del COVID19. En este diagrama de flujo se comparan los dos enfoques de cara a la enfermedad, es decir, empleando AI como enfoque tecnológico con el método convencional de validación de síntomas de COVID19, el cual en muchos casos es el triaje de los pacientes o su procesamiento por tomográficas de tórax TACs para determinar posibles indicios del virus.[3]

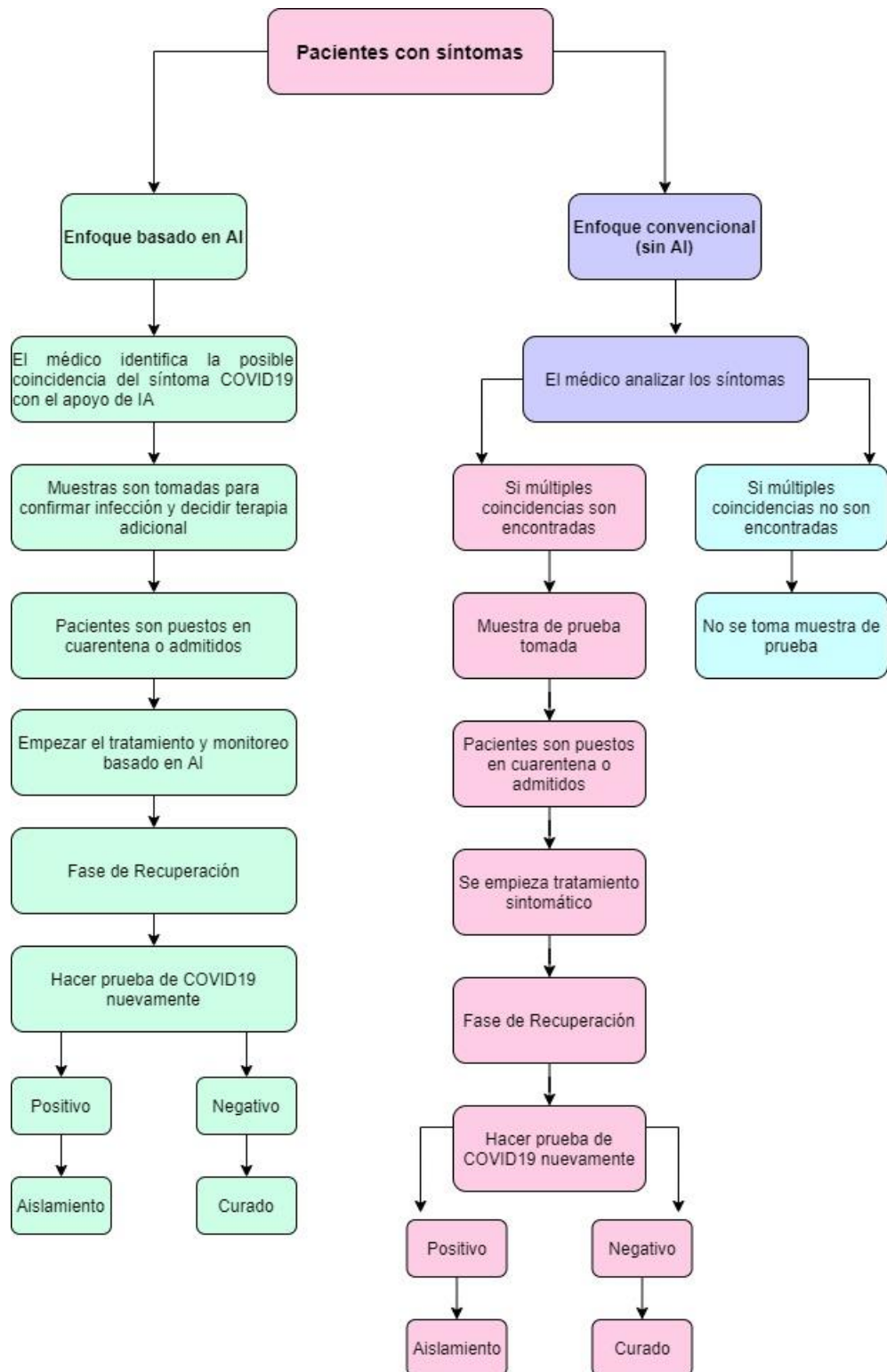


Figura 2.1. Esquemas del procedimiento del enfoque convencional y enfoque AI frente al COVID19. [3]

2.3 Roles de IoT en la situación de pandemia por COVID19

Como ya se ha indicado previamente, las aplicaciones y desarrollos asociados al uso del Internet de las Cosas en el área de la salud son muchas y dependen del enfoque que se les dé, además del tipo de solución que se desee implementar. Tomando como referencia esto, el campo de la medicina y los sistemas de salud no son la excepción, ya que, en esta rama los sistemas IoT actualmente desempeñan labores de sensado de datos, mismos que son transmitidos hacia internet para finalmente ser procesados y permitan la toma de decisiones. [5]

Ahora bien, en temas de la actual emergencia sanitaria que aqueja al mundo entero asociada al virus SARS-COV2 y la enfermedad COVID19, el internet de las cosas no ha sido la excepción para prestar sus avances a la batalla contra dicha enfermedad. Los sistemas IoT permiten el monitoreo constante y en tiempo real del estado de los pacientes, así como también de sus cambios de salud y posterior mejora en los resultados de exámenes y control frente a la enfermedad, es decir, las aplicaciones de IoT pueden ser empleadas efectivamente no solo para el control del COVID19 sino también para la prevención en sí. [5]

2.4 Impacto del IoT en los campos de la medicina

En base al distanciamiento social y a las normas de bioseguridad que se deben seguir obligatoriamente por el COVID19, las dispositivos y aplicaciones de IoT se acoplan perfectamente a las necesidades que afronta el cuerpo médico de los diferentes establecimientos de salud, ya que, estos elementos permiten al personal de las casas asistenciales monitorear a todos los pacientes afectados por COVID19 sean estos en el establecimiento o en cuarentena, ambos de forma remota, lo que en cierta forma compensa la diferencia abismal del personal y la cantidad total de contagiados. [6]

En todo caso, las aplicaciones del internet de las cosas, como toda solución basada en la red de redes, debe contar con niveles de seguridad de la información, los mismos que le darán credibilidad a dichas plataformas, es por esto por lo que las aplicaciones de IoT no se quedan atrás y brindan seguridad a

los datos que son transportados, lo que a su vez le permite a los especialistas médicos juntar todas las variables requeridas de los pacientes en un solo punto y con esto realizar la toma de decisiones.[7] Del otro lado del proceso se encuentran los pacientes, los mismos que también pueden o deben interactuar con los dispositivos o aplicaciones IoT, estos son de fácil uso y muy didácticos, por lo que a nivel de implementación los costos son relativamente bajos y aun así tienen un gran porcentaje de precisión en su funcionamiento y transporte de datos. [7]

2.5 Signos vitales afectados por el COVID19

En todo el tiempo de desarrollo y evolución del virus y de la pandemia que provocó, se han definido múltiples síntomas que pueden indicar que una persona es portadora o posible portadora de COVID19, entre estos se encuentran:[8]

Habituales

- Tos Seca
- Fiebre
- Cansancio

Comunes

- Molestias y dolores
- Malestar en la garganta
- Diarrea
- Conjuntivitis
- Pérdida del sentido del olfato o del gusto

Graves

- Dificultad para respirar o sensación de falta de aire
- Dolor o presión en el pecho
- Incapacidad para hablar o moverse

Tomando esto como referencia, los síntomas más comunes que aparecen en las personas son la fiebre, la falta de aire o hipoxia y posibles alteraciones en el

pulso cardiaco, esto debido a que la hipoxia o bajos niveles de oxigenación en la sangre causan problemas de arritmia en los pacientes.[8]

Edad	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Atletas	49-55	49-54	50-56	50-57	51-56	50-55
Ideal	56-61	55-61	57-62	58-63	57-61	56-61
Excelente	62-65	62-65	63-66	64-67	62-67	62-65
Bueno	66-69	66-70	67-70	68-71	68-71	66-69
Promedio	70-73	71-74	71-75	72-76	72-75	70-73
Debajo del promedio	74-81	75-81	76-82	77-83	76-81	74-79
Pobre	82+	82+	83+	84+	82+	80+

Tabla 1. Pulsaciones por Minuto en hombres en reposo. [9]

Edad	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Atletas	54-60	54-59	54-59	54-60	54-59	54-59
Ideal	61-65	60-64	60-64	61-65	60-64	60-64
Excelente	66-69	65-68	65-69	66-69	65-68	65-68
Bueno	70-73	69-72	70-73	70-73	69-73	69-72
Promedio	74-78	73-76	74-78	74-77	74-77	73-76
Debajo del promedio	79-84	77-82	79-84	78-83	78-83	77-84
Pobre	85+	83+	85+	84+	84+	85+

Tabla 2. Pulsaciones por Minuto en mujeres en reposo. [9]

En las Tabla 1 y Tabla 2 se muestran los rangos de pulsaciones por minuto en hombres y mujeres, diferenciando su nivel rango de edad y la calidad de su ritmo cardiaco, con lo cual se tendrán valores referenciales que servirán de ayuda para determinar posibles afecciones a causa del contagio del virus.

Por otra parte, en lo que respecta a la oxigenación en la sangre o el porcentaje de oxígeno presente en la sangre, se tienen los siguientes rangos:

Niveles de Oxigenación	
Normal	95% - 99%
Hipoxia leve	91% - 94%
Hipoxia moderada	86% - 90%
Hipoxia severa	<86%

Tabla 3. Rangos normales de % de oxígeno en la sangre. [10]

En la Tabla 3 se muestran los rangos normales de oxigenación en la sangre y los niveles a partir de los cuales se empieza a presentar hipoxia, que como se indicó, significará que se presenten arritmias o decaimiento en los valores de

pulsaciones por minuto, generando un estado de salud deteriorado y según el % de oxígeno hasta una dificultad para respirar grave.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

En el capítulo anterior se detallaron los alcances tecnológicos asociados al internet de las cosas y sus ramas asociadas de cara a la enfermedad por coronavirus COVID19.

Una vez que los objetivos tanto general como específicos se cumplan en su totalidad, el resultado del presente proyecto será una plataforma de control y monitoreo de los pacientes de diferentes centros hospitalarios que doten a sus enfermos de COVID19 (en cualquier nivel de gravedad) un gadget capaz de monitorear constantemente (de acuerdo con la frecuencia definida por el profesional de la salud) las variables de estudio definidas como primordiales de cara al control de la enfermedad.

Todos los datos medidos por los sensores incrustados en el gadget serán enviados al dispositivo móvil del paciente y estos a su vez mediante WiFi o red celular viajarán hacia la nube para ser almacenados y mostrados adecuadamente en una plataforma de control, la misma que manejará las alertas por deterioros en la salud de algún paciente para la rápida toma de decisiones que ayuden a salvaguardar la vida de quienes sufren esta enfermedad.

3.1 Escenario

En base a las definiciones hechas en secciones anteriores, los escenarios de trabajo para la presente solución son básicamente los hospitales y los hogares en donde se van a monitorear a pacientes infectados y posibles casos no confirmados de COVID19. Es importante mencionar que este Gadget puede ser utilizado por cualquier persona que desea monitorear sus signos vitales y saber

si tiene o no variaciones en estos parámetros que puedan dar indicios de un posible contagio si es que estuvo expuesta al virus.

3.2 Definición de Variables de estudio

Como ya se indicó previamente, la pandemia producida por el virus SARS-COV2 y la enfermedad que produce es el COVID19, poco a poco se fue esclareciendo cuales son los síntomas más comunes para esta enfermedad. Muchos estudios indican que dentro de los síntomas habituales se encuentran:[11]

- Fiebre
- Tos seca
- Cansancio

La fiebre es un síntoma para tomar en cuenta con la enfermedad COVID19 ya que ésta es una respuesta del cuerpo humano al activarse el sistema inmune por presencia de bacterias en el organismo. Conjuntamente el cansancio y posterior sensación de “falta del aire” está íntimamente relacionada a una afección por dificultades respiratorias asociadas a disnea o hipoxia en diferentes grados (dependerá del nivel de afección por COVID). [12]

En base a lo antes mencionado, conocer la temperatura corporal, la saturación de oxígeno en la sangre y por ende el ritmo cardiaco son un buen indicio de predicción para COVID 19 puesto que son parámetros del cuerpo humano que se afectan si se tiene dicha enfermedad. [13] Estas dos últimas variables tienen una correlación ya que un nivel adecuado de oxígeno en la sangre indica que la circulación de la sangre es eficiente y el corazón no se esfuerza para realizar esta actividad. [14]

3.3 Metodología

Para poder realizar adecuadamente la construcción del prototipo de gadget para telemedicina se creó un proceso secuencial tal como se muestra en la Figura 3.1, el mismo que también se lo definió por etapas para una mejor comprensión.



Figura 3.1. Diagrama esquemático de la metodología empleada.

La metodología de trabajo se ha dividido en etapas con la finalidad de mostrar secuencialmente el proceso que se siguió para lograr el correcto diseño del prototipo planteado como solución.

Etapas I

Previo al planteamiento de los elementos necesarios para la construcción del prototipo se necesita definir cuáles son las variables que se van a medir como parte del análisis de posibles síntomas del COVID19. Además, se deben establecer cuáles son los niveles normales de dichas variables para que sean tomados como referencia en el análisis de los signos vitales.

Etapas II

Una vez definidas las variables de análisis se deberán colocar las reglas de tratamiento de los datos, es decir, dado que las variables que se van a medir son susceptibles a cambios de movimiento (actividad física y reposo) se mostrará el análisis del comportamiento de los datos recibidos para determinar cuando la persona o paciente está realizando una actividad física y cuando está en reposo.

Etapas III

Como siguiente paso se construirá el prototipo del circuito en base a la plataforma Arduino con una tarjeta de desarrollo Wemos que cuenta con un chip ESP32 (mismo que permite conexión bluetooth y WiFi) para enviar los datos hacia internet.

Etapas IV

Con los datos dispuestos en la nube, se construirán los bloques programables en una plataforma de almacenamiento y tratamiento de datos, los mismos que serán configurados para mostrarlos en un Dashboard en tiempo real.

Etapas V

Como paso final, se validarán los rangos de funcionamiento y las reglas de la etapa II para confirmar en qué casos se debe enviar alertas por posibles problemas de salud en algún paciente o persona que haga uso del gadget.

3.4 Esquema de comunicación

Una vez que los datos son sensados y tomados por el gadget, es importante definir como estos datos serán enviados hacia la nube para su análisis, almacenamiento y tratamiento.

El prototipo hará uso del WiFi de la tarjeta de desarrollo seleccionada para comunicarse a través de internet con el protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) que por estar basado en TCP/IP y emplear el concepto de colas para los mensajes, permitirá que las conexiones se mantengan activas y

se reutilicen en cada intento de comunicación, lo que lo diferencia enormemente de otros protocolos como HTTP ya que en este de manera particular cada conexión es una transmisión.

El protocolo MQTT debe conectarse a un bróker que es el servidor central para el envío de mensajes con tópicos (modelo publish-subscribe), el cual por fines prácticos y de desempeño con el protocolo antes mencionado será MOSQUITTO, el cual es ligero y muy empleado en aplicaciones IoT para sensores de baja potencia y múltiples dispositivos móviles. [15]

3.5 Configuración de la plataforma

Luego de que la información se enviada a través de MQTT hacia la plataforma NODE-RED, se deben configurar las reglas de almacenamiento en la base de datos InfluxDB para que de aquí se tomen los datos y sean representados en dashboards dispuestos en Grafana.

Los pasos más importantes conllevan la configuración del protocolo de comunicación, para posteriormente definir cuál es la IP del servidor local y levantar las extensiones de InfluxDB, Grafana, MQTT y Telegram.

Finalmente se configurarán todas las notificaciones de los datos sensados hacia Telegram para que de ser necesario y ocurra una eventualidad con la salud de algún paciente o persona, los doctores o casas asistenciales a cargo de estas personas puedan tomar cartas en el asunto y atender de manera oportuna el deterioro en la salud de estos.

3.6 Generación de datos para el prototipo

La construcción del prototipo consta de 1 gadget, pero para efectos prácticos se utilizó un simulador IoT que trabaja con MQTT para la creación de dispositivos y tópicos para publicarse. Bevywise es una plataforma licenciada de simulación de plataformas IoT que permite crear de forma rápida dispositivos y configurarlos de tal manera que se comporten bajo eventos constantes o instantáneos.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se explicará el diseño del prototipo con todos sus elementos y, además, se explicarán los resultados obtenidos y en base a que consideraciones se definen los niveles de funcionamiento y rangos críticos para alertar a las partes involucradas.

4.1 Diagrama esquemático

El diagrama esquemático mostrado en la Figura 4.1 permite visualizar la conexión del sensor MAX30102 (sensor para el ritmo cardiaco, oxímetro y temperatura) y de la pantalla OLED para visualizar las mediciones en cada paciente.

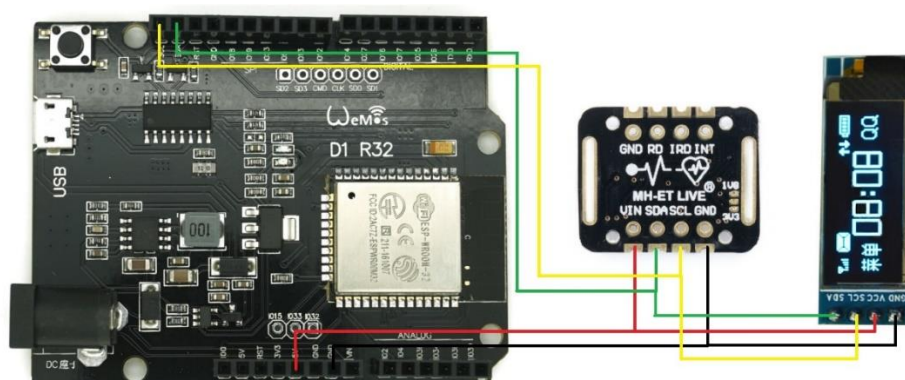


Figura 4.1. Diagrama esquemático para la conexión de los dispositivos IoT.

En la Figura 4.1 se muestra la tarjeta de desarrollo WEMOS D1 R32 la cual maneja un esquema similar al de una tarjeta Arduino, lo que permite programarlo de manera más sencilla a través del IDE.

4.2 Esquema de funcionamiento

El sensor que realiza las labores de medición del ritmo cardiaco, oxigenación en la sangre y temperatura tiene como elemento principal un LED que emite longitudes de onda para luz roja, verde e infrarroja o IR. Estas emisiones de longitudes de onda servirán para sensar las variables de estudio, es decir:

- **Luz IR:** Para medición del ritmo cardíaco.
- **Luz Roja+IR:** Para saturación de oxígeno.
- **Sin LEDs:** Para medir temperatura corporal.

En base a esto, se puede inferir que el sensor mide las variables con configuraciones internas diferentes por lo que las mediciones y los valores que viajarán hacia la nube de AWS serán se forma secuencial.

Con los datos empaquetados y enviados a través de MQTT, serán recibidos en el servidor y tratados mediante NODE-RED, el esquema que se maneja para los datos es el mostrado en la Figura 4.2.

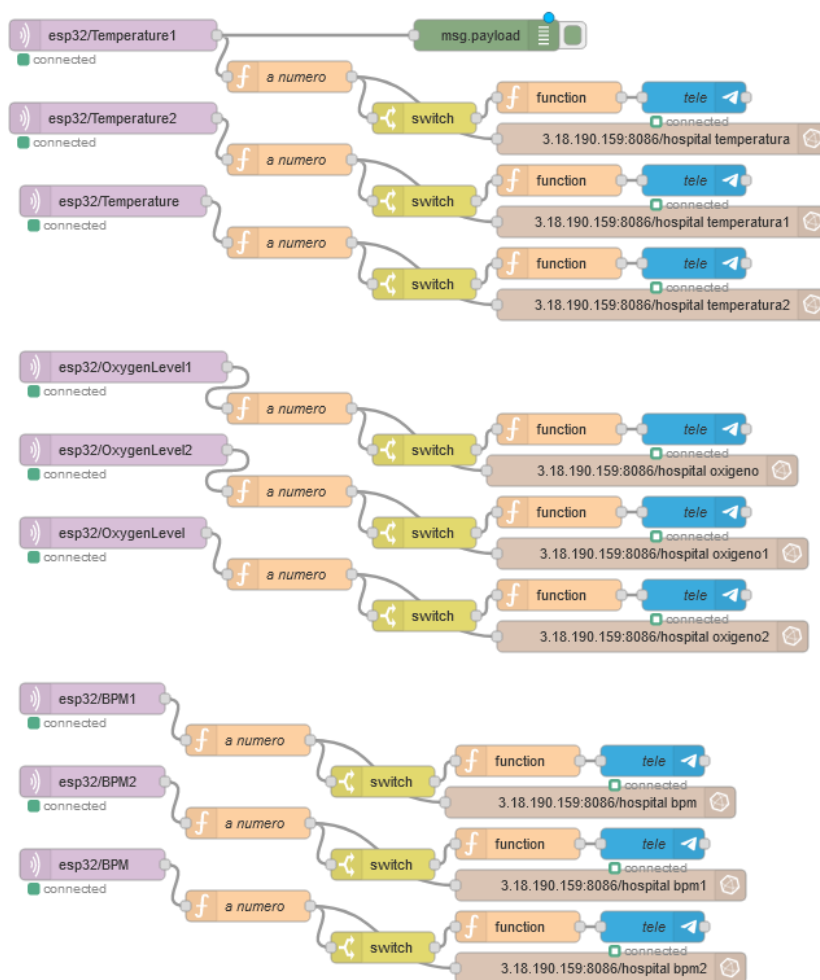


Figura 4.2. Diagrama de configuración en NODE-RED para la recepción y transformación de datos.

Como siguiente paso, cuando los datos ya fueron almacenados en la base de datos InfluxDB, estos son exportados al dashboards mediante “querys” y configurados para que luego de un período de tiempo se actualicen. Sin embargo, se pueden mostrar los datos en tiempo real con su respectiva marca de tiempo para que garantice la conciliación de los datos enviados desde el gadget hasta la plataforma de monitoreo.



Figura 4.3. Dashboard del panel de control general de la solución.

En la Figura 4.3 se muestra el panel de control general realizado en Grafana, plataforma que permite un nivel de customización de gráficas en base a lo que se necesite. Para efectos prácticos del prototipo es importante visualizar un histórico de las variables tanto como línea de tiempo, como un valor promedio, los cuales pueden ser segmentados de acuerdo con lo que el administrador del hospital o centro de salud crea conveniente.

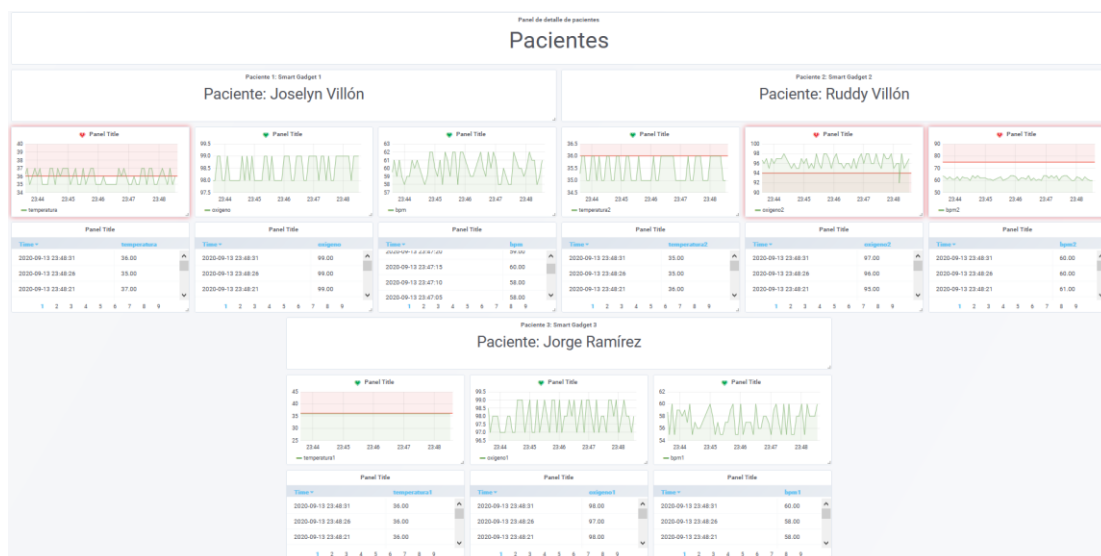


Figura 4.4. Dashboard segmentado por paciente.

En la Figura 4.4 se puede observar la información en tiempo de real por cada uno de los pacientes que tienen el Smart Gadget, en donde se representan las variables de estudio de forma temporal, garantizando que se pueda analizar el comportamiento de las variables de estudio.

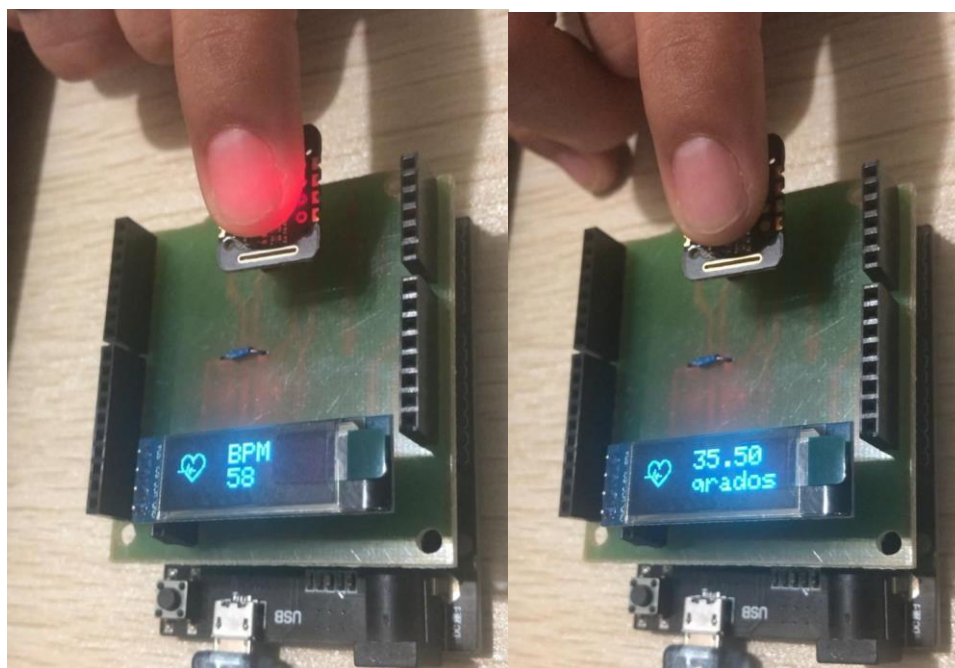


Figura 4.5. Prototipo funcional: Ritmo cardíaco y temperatura.

En la Figura 4.5 se puede observar el prototipo funcionando y mostrando los datos sensados de ritmo cardíaco y de temperatura. Es importante mencionar que para el correcto funcionamiento del sensor y de que los datos que están siendo tomados sean fidedignos, el sujeto de prueba debe estar en reposo y tranquilo, para que los valores medidos no estén fuera de los rangos normales de funcionamiento.

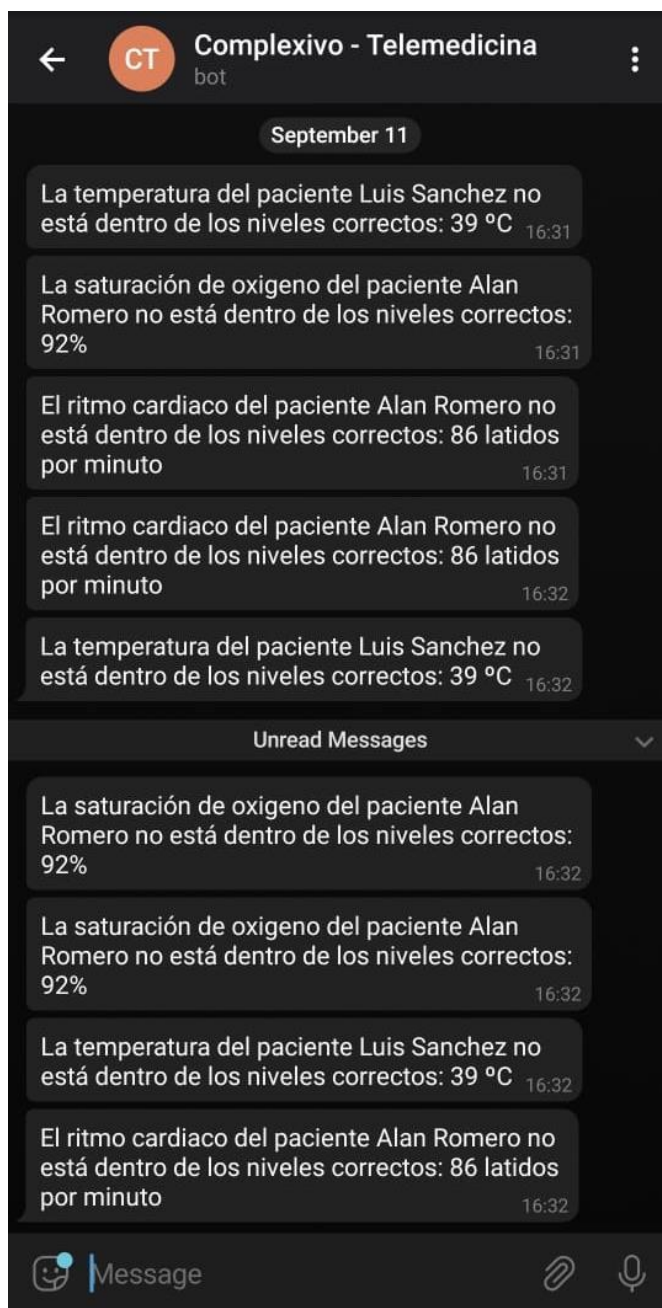


Figura 4.6. Ejemplos de notificación de alerta por Telegram.

En la Figura 4.6 se muestran los ejemplos de alertas a través de Telegram en donde se detalla que paciente está presentando afecciones en su salud y cuál es el parámetro o síntoma que está fuera de los rangos normales.

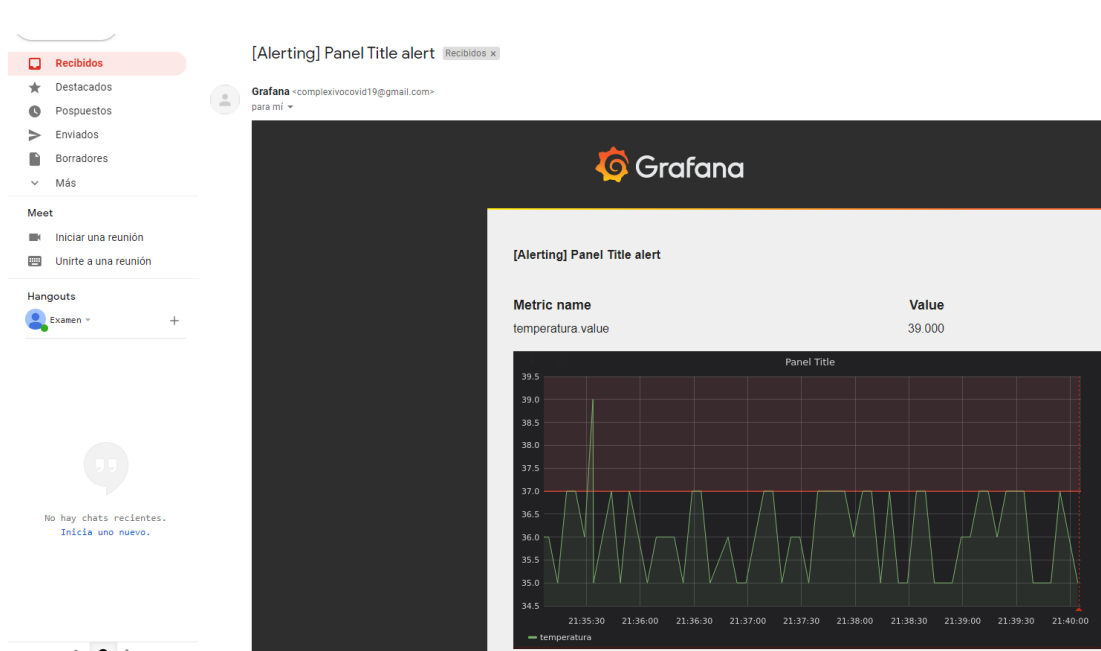


Figura 4.7. Ejemplos de notificación de alerta por correo electrónico.

En la Figura 4.7 se muestran los ejemplos de alertas a través de correo electrónico en donde se detalla que paciente está presentando afecciones en su salud y cuál es el parámetro o síntoma que está fuera de los rangos normales, tal como se hace a través de la plataforma Telegram.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La definición de las variables de estudio fue un proceso de análisis de diferentes parámetros del cuerpo humano y de los síntomas de COVID19, en donde se establecieron 3 variables importantes que pudieron brindar un gran nivel de entendimiento y de predicción respecto a la enfermedad antes mencionada.

Se pudo comprobar que, dentro de los meses de pandemia, los síntomas preponderantes son la falta de respiración y fiebres altas, motivo por el cual se puede inferir que cualquier paciente que presente temperaturas superiores a 37° y, además, tenga un ritmo cardíaco fuera de los niveles normales según su edad, tiene grandes posibilidades de presentar un cuadro de hipoxia leve o moderada (inferior al 95%), lo que, en reposo implicaría un posible contagio por COVID19.

El prototipo diseñado e implementado se basa en una conexión inalámbrica vía WiFi lo cual permitió una comunicación eficiente hacia la nube a través del protocolo MQTT, mismo que garantizó que los datos enviados estén segmentados en base a un tópico que los identifique plenamente, sin necesidad de desempaquetar o descifrar la información.

El uso del servicio de Grafana como plataforma de visualización permitió mostrar todos los datos medidos de los pacientes estudiados de manera ágil y sencilla, permitiendo niveles de customización bastante altos para definir que métricas mostrar y como se deberían ver, lo que dependería directamente de las necesidades de los profesionales de la salud para llevar a cabo un análisis adecuado de los síntomas de sus pacientes.

Recomendaciones

Es importante mencionar que para que las mediciones sean correctas y lo que esté siendo sensado se envíe apropiadamente, los pacientes que hacen uso del gadget deben estar en reposo y serenos, todo con el fin que las emisiones de luz en el sensor capten adecuadamente todos los pulsos y temperatura y que sean enviados finalmente hacia la plataforma de AWS.

Se recomienda que para el uso de sensores de variables médicas no se utilicen en primera instancia elementos como cables UTP o Protoboards en mal estado ya que al ser un dispositivo sensible y que requiere precisión, el ruido y pérdidas que pueden ocasionar los elementos antes indicados afectarán drásticamente las mediciones y la calibración de los sensores.

Para el uso del sensor MAX30102 se recomienda ajustar apropiadamente el dedo hacia el LED de dicho sensor, de preferencia con una pinza de dedo o algún otro elemento que sujete firmemente el dedo para las mediciones de temperatura, ritmo cardíaco y porcentaje de saturación de oxígeno.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] MSP, "Coronavirus COVID 19," 2020. [Online]. Available: <https://www.salud.gob.ec/coronavirus-covid-19/>.
- [2] S. Andreev and C. Dobre, "The Internet of Things and Sensor Networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 57, no. 9, pp. 70–70, Sep. 2019.
- [3] R. Vaishya, M. Javaid, I. H. Khan, and A. Haleem, "Artificial Intelligence (AI) applications for COVID-19 pandemic," *Diabetes Metab. Syndr. Clin. Res. Rev.*, vol. 14, no. 4, pp. 337–339, Jul. 2020.
- [4] Z. Hu, Q. Ge, L. Jin, and M. Xiong, *Artificial Intelligence Forecasting of Covid-19 in China*. 2020.
- [5] S. N. Chaudhari, S. P. Mene, R. M. Bora, and K. N. Somavanshi, "Role of Internet of Things (IOT) In Pandemic Covid-19 Condition."
- [6] L. Bai *et al.*, "Chinese experts' consensus on the Internet of Things-aided diagnosis and treatment of coronavirus disease 2019 (COVID-19)," *Clin. eHealth*, vol. 3, pp. 7–15, 2020.
- [7] A. Haleem, M. Javaid, R. Vaishya, and S. G. Deshmukh, "Areas of academic research with the impact of COVID-19," *Am. J. Emerg. Med.*, vol. 38, no. 7, pp. 1524–1526, Jul. 2020.
- [8] H. Rahmani *et al.*, "Comparing outcomes of hospitalized patients with moderate and severe COVID-19 following treatment with hydroxychloroquine plus atazanavir/ritonavir," *DARU J. Pharm. Sci.*, Aug. 2020.
- [9] J. Mortis, "Resting Heart Rate Chart | What is a Good, Normal, or High RHR," *Ageless Investing*, 2018. [Online]. Available: <https://agelessinvesting.com/what-is-a-good-resting-heart-rate/>.
- [10] S. Dugani *et al.*, "Evaluation of a Pulse Oximeter Sensor Tester," *J.*

Clin. Monit. Comput., vol. 25, no. 3, pp. 163–170, Jun. 2011.

- [11] MSP, “Coronavirus Ecuador,” 2020. .
- [12] F. Barón, “III Curso de Formación SEOM en Cuidados Continuos,” in *Disnea e Insuficiencia Respiratoria Agua*, 2007.
- [13] EL UNIVERSO, “Coronavirus: ¿Los oxímetros son útiles para detectar el COVID-19?,” *SALUD*, Guayaquil, 2020.
- [14] AMPEROR, “How to Interpret pulse oximeter readings,” 2005. .
- [15] R. Light, “Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol,” *J. Open Source Softw.*, vol. 2, May 2017.