

Sistema para la detección temprana de Covid-19 con base en las medidas de frecuencia respiratoria y temperatura corporal



SANTIAGO EDUARDO CORRALES MEDINA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

Director:

ING. LEONARDO JUAN RAMIREZ LOPEZ, PhD.

Universidad Militar Nueva Granada.

Facultad de Ingeniería.

Ingeniería en Telecomunicaciones

Bogotá, 2022

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Militar Nueva Granada, por brindar un apoyo completo a este trabajo de grado a través de materiales e instalaciones tanto en la sede villa académica como en la facultad de medicina.

Agradezco al proyecto de investigación ING-INV-3491 por permitirme hacer parte de este desempeñando labores completamente a fines con mi trabajo de grado y de esta manera poder interactuar directamente con todos sus miembros como personal médico y docente para fortalecer la parte teórica del trabajo.

Agradezco a mis padres por apoyarme para culminar este proceso de estudios profesionales el cual estuvo lleno de experiencias enriquecedoras y de nuevos conocimientos, ayudando a demostrar mis aptitudes frente a estas diferentes áreas de conocimientos brindando soluciones a nuevos retos médicos desde el ámbito de la ingeniería.

Agradezco al ingeniero Leonardo Juan Ramírez López por su apoyo incondicional y asesoría durante todo el desarrollo y la elaboración de este trabajo de grado.

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	2
Lista de figuras	5
Lista de gráficos	6
Lista de Tablas.....	7
Resumen	8
Introducción.....	9
Planteamiento del problema	10
Objetivos	10
Objetivo General	10
Objetivo Específico	10
Justificación.....	11
Marco de referencia.....	12
El Coronavirus COVID-19.....	12
Estructura del virus.....	12
Mecanismo de infección.....	13
Tipos de coronavirus	13
SARS-CoV	13
MERS-CoV	14
SARS-CoV-2.....	14
Reporte de contagios	14
Contagios a nivel mundial.....	14
Variantes del Covid-19.....	16
Delta	17
Ómicron.....	17
Presentación clínica.....	17
Sintomatología.....	17
Variables fisiológicas y signos vitales.....	18
Temperatura corporal	18
Generación de la fiebre.....	18
Causas.....	19
Frecuencia respiratoria	19
Afecciones respiratorias	20
Causas.....	20
Antecedentes	21
Materiales y método	22
Desarrollo	24
Implementación del de red de datos en escenarios médicos.....	24

Relación de variables.....	24
Parámetros de medición	24
Sensores.....	25
Red de sensores de signos vitales.....	26
Arquitectura propuesta	27
Visualización de los datos	27
Resultados	29
Relación de las variables	29
Validación de toma y visualización de datos.....	29
Conclusiones	35
Referencias:	36
Código	42

Lista de figuras

Figura 1. Estructura del coronavirus	12
Figura 2. Ubicación del hipotálamo en el cerebro.....	19
Figura 3. Sensor para frecuencia respiratoria KY037	25
Figura 4. Sensor para temperatura LM32.....	25
Figura 5. Tarjeta Arduino ESP8266	26
Figura 6. Datos crudos extraídos del simulador	29
Figura 7. Red física de sensores	30
Figura 8. Arquitectura digital de los sensores	31
Figura 9. Arquitectura final de la red de sensores	31
Figura 10. Pantalla principal DashBoard Power BI	32
Figura 11. Pantalla de visualización de temperatura corporal	33
Figura 12. Pantalla de visualización de frecuencia respiratoria	33
Figura 13. Pantalla de visualización de información general	34

Lista de gráficos

Gráfico 1. Avance de contagios a nivel mundial.....	15
Gráfico 2. Casos activos a nivel mundial	15
Gráfico 3. Avance de contagios en Colombia	16
Gráfico 4. Casos activos en Colombia	16
Gráfico 5. Representación gráfica de los datos en crudo del simulador.....	30

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de la temperatura corporal por edad.....	19
Tabla 2. Valores de frecuencia respiratoria por edad	20

Resumen

La pandemia del Covid-19 sigue en nuestra sociedad la cual continúa afectando completamente nuestra vida cotidiana. Los sistemas hospitalarios han reportado alrededor de 6 millones de infectados de los cuales 160.000 han fallecido. Basándose en este problema se planteó la pregunta ¿Qué variables fisiológicas permiten un rápido diagnóstico sobre el estado de contagio del Covid-19 y que tipo de monitoreo permite a los médicos tomar decisiones informadas?

Para darle respuesta a esta pregunta se planteó el diseño de un modelo funcional de prediagnóstico basado en el comportamiento respiratorio y la temperatura corporal el cual se aplicará a través de la formulación de diferentes escenarios en los que se puede presentar una persona con Covid-19.

Finalmente, para esto se presentará el diseño de una red de sensores funcional que monitoree a los pacientes de manera remota y los resultados de estas muestras se puedan visualizar desde cualquier parte del mundo de manera gráfica para que el personal médico pueda realizar un dictamen consecuente

Palabras Claves: Covid-19, simulador, arquitectura de sensores, pre diagnóstico, frecuencia respiratoria, monitoreo, temperatura corporal.

Introducción

La pandemia de covid-19 demostró que existe un déficit en la prevención de enfermedades pandémicas (Alagili, D. E, 2021), al verse colapsados todos los sistemas de salud del mundo al empezar a propagarse en 2020, generando un índice alto de mortalidad, no solo a causa del virus sino por los demás pacientes con otras afecciones que pudieron usar los recursos como UCI's o servicios especiales. Es por ello que la industria de la tecnología ha intervenido con nuevos proyectos de la industria 4.0 brindando soluciones para esta pandemia en tanto la nueva invención de hardware como nuevos software para evitar colapsos a nivel mundial (Cabieses, B, 2013).

Por su parte, una de las principales tecnologías utilizadas para cumplir con estas funciones son las redes de sensores, las cuales pueden definirse como la conexión de sensores a través de código y estos tienen capacidad de gestionarse a ellos mismos y de esta manera, captar, monitorear, almacenar y dar a visualizar todos los datos para así actuar y dar una solución a los estímulos del entorno (S.Naveen, 2020). Las redes de sensores llegan a suplir muchas necesidades, ya que se han desarrollado muchos y diferentes sensores que pueden ser utilizados perfectamente en el entorno médico actual (Javaid, M. 2021), gracias a que se conocen muchas tecnologías nuevas que ayudan a monitorizar el comportamiento respiratorio (Khriji, L. 2021), así como el comportamiento de la temperatura corporal (Zhu, N. 2020) (Li, M. 2010). Estudios en el área de la investigación que esta tecnología de red de sensores ayuda a mitigar la propagación del virus cuando se instala en sitios como terminales, aeropuertos o centros comerciales (Kumar, N. 2020), cuando se instala de forma individual ayuda a monitorear a las personas a través de sus signos vitales (Bassan, N. 2021), ya que estos sensores censan y guardan datos para posteriormente establecer una comunicación que notifica, según el comportamiento de unas variables estandarizadas por la medicina (Kristiani, D. G. 2019).

Planteamiento del problema

En medio de la actual crisis de salud, se evidencia que muchas personas no cuentan con un diagnóstico rápido de su estado de salud, lo que ocasiona saturación en los centros hospitalarios y en algunos casos, la muerte.

Para darle solución, se realizará la detección temprana del Covid-19 utilizando las principales variables fisiológicas afectadas al inicio de los síntomas presentados durante la enfermedad.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un modelo funcional de pre diagnóstico basado en el comportamiento respiratorio y la temperatura corporal para la detección temprana del Covid-19.

Objetivo Específico

- Analizar las variables de los signos vitales y su relación con la sintomatología relacionada al Covid-19.
- Diseñar la red de sensores y la arquitectura de red para lograr la toma de datos de los signos vitales.
- Desarrollar el modelo de seguimiento para el pre-diagnóstico de los síntomas previamente determinados.
- Validación del diseño propuesto

Justificación

A pesar de los nuevos mecanismos que se han desarrollado para la detección prematura de Covid-19, a día de hoy no se ha desarrollado un modelo o arquitectura que relacione las variables mencionadas anteriormente para, de esta manera, brindar al paciente un pre diagnóstico gracias al monitoreo que generan los sensores desde cualquiera parte del mundo (Eysenbach, G. 2011). Al no tener establecida este modelo, se genera que estas personas tengan que acudir a un hospital a recibir atención médica lo que hace que, las personas al moverse, fomenten la propagación del virus en los entornos en los que se vea envuelto (Chen, C. 2021).

Con el modelo de monitoreo para pre diagnóstico que se generó en este proyecto, se logra detectar de manera remota los primeros síntomas de Covid-19 así como también se logra llevar una revisión minuto a minuto en tiempo real del estado del paciente y así tomar medidas inmediatas, mitigando el impacto de la pandemia así como su fácil transmisión

Marco de referencia

El Coronavirus COVID-19

La enfermedad por coronavirus (Covid-19) es una enfermedad infecciosa causada por el virus SARS-COV-2

La mayoría de las personas infectadas por el virus experimentan una enfermedad respiratoria de leve a moderada y se recuperan sin requerir un tratamiento especial. Sin embargo, algunas personas enferman gravemente y requieren de atención médica. Las personas mayores y las que padecen enfermedades adicionales a esta, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedades respiratorias crónicas o cáncer, tienen más probabilidades de desarrollar una enfermedad grave. Cualquier persona, de cualquier edad, puede contraer la COVID-19 y enfermar gravemente o morir. (Who.int. 2020)

Estructura del virus

SARS-CoV-2 es un virus de ARN, (Ácido Ribonucleico) que participa en síntesis de proteínas y recibe este nombre por la apariencia característica de las proteínas de su cubierta ¹. Su genoma contiene 29891 nucleótidos que codifican para 9860 aminoácidos.

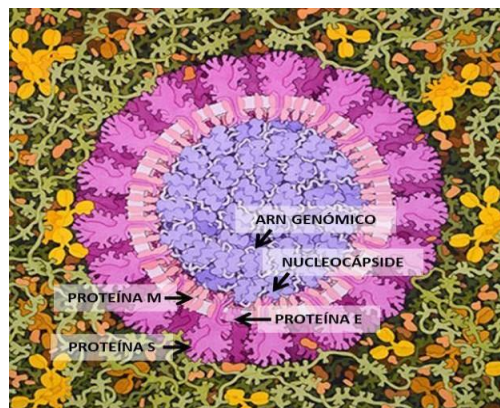


Figura 1. Estructura del coronavirus¹

El virión de SARS-CoV-2, su forma infectiva, consiste en una membrana con glicoproteínas dentro de la que se empaqueta el material hereditario compactado con proteínas. En la superficie destaca la presencia de la proteína S, denominada así por formar la espícula, estructura en forma de aguja que tiene un papel relevante en la infección.

¹ Estructura del coronavirus, obtenido de: https://genotipia.com/genetica_medica_news/coronavirus-estructura-infeccion-celulas

Mecanismo de infección

El primer paso de la infección es la entrada del virus en las células. El coronavirus SARS-CoV-2 entra en las células a través de la unión de una proteína en su superficie, la proteína S, con el receptor ACE-2 (enzima convertidora de angiotensina 2) de las células huésped. ACE-2 forma parte de una ruta bioquímica que interviene en la regulación de procesos como la inflamación o la presión sanguínea y su función habitual es modular la actividad angiotensina 2 para contrarrestar sus efectos dañinos.

La activación de la proteína S está mediada por la célula TMPRSS2, que suele localizarse cerca de ACE-2. TMPRSS2 corta la proteína S, lo que activa proteínas de la envoltura viral que favorecen la fusión con la membrana celular. De este modo, los virus entran en la célula rodeados de membrana celular, formando endosomas. En estas pequeñas bolsas celulares, se liberan catepsinas, otras proteínas que modifican de nuevo la proteína S, estas favorecen la liberación del ARN viran del citoplasma. Para este proceso son importantes las condiciones de pH en el interior de las vesículas (Tolosa, A. 2021).

Tipos de coronavirus

Actualmente se conocen 7 tipos de coronavirus que infectan a los seres humanos, HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-NL63 y HCoV-HKU1, estos son los más comunes y se presentan como un resfriado común, frente a estos se estima que una gran proporción de la población ha desarrollado defensas frente a ellos. Además de estos 4 mencionados anteriormente han aparecido tres más recientes.

SARS-CoV

Síndrome respiratorio agudo severo, este generó un brote en el sur de china en 2002 e infectó a más de 8400 personas en 26 países de Asia, Europa y América. Esta pandemia se vio controlada en poco más de 6 meses, dándose controlada en 2003 y no se reportaron nuevos casos de esta enfermedad.

MERS-CoV

Síndrome respiratorio de Oriente Medio, desde el punto de vista genético es un primo lejano del SARS-CoV, comparte el 80% de su genoma y apareció en 2012 infectando a menos de 2500 personas en 27 países de Asia, Europa y el Norte de América.

Se presentó un menor número de personas infectadas de este virus debido al bajo índice de contagio del virus entre humanos y también a su elevada letalidad.

SARS-CoV-2

En diciembre de 2019 se reportó la aparición más reciente de coronavirus infecciosos en humanos. Para el 25 de enero de 2022 se reportan 335 millones de contagiados y más de 5,6 millones de muertos.

Los números indican que SARS-CoV-2 es extraordinariamente eficaz en la transmisión entre humanos probablemente debido a su tiempo de incubación de 14 días, lo que le proporciona una gran transmisibilidad pre-sintomática (Mingarro, I. 2021)

Reporte de contagios

El primer reporte de los contagios empieza a surgir el día 31 de diciembre de 2019 después de que la Comisión Municipal de Salud de Wuhan notificara un conglomerado de casos de neumonía en la ciudad. Posterior a esto, se determina que este se está causando por un nuevo coronavirus (Who.Int., 2021)

Contagios a nivel mundial

A partir del día anteriormente mencionado, empezó el conteo de casos positivos de Covid-19 que hasta el día 24 de enero de 2022 se han reportado 355 millones de casos a nivel mundial de los cuales hay 3.5 millones activos.

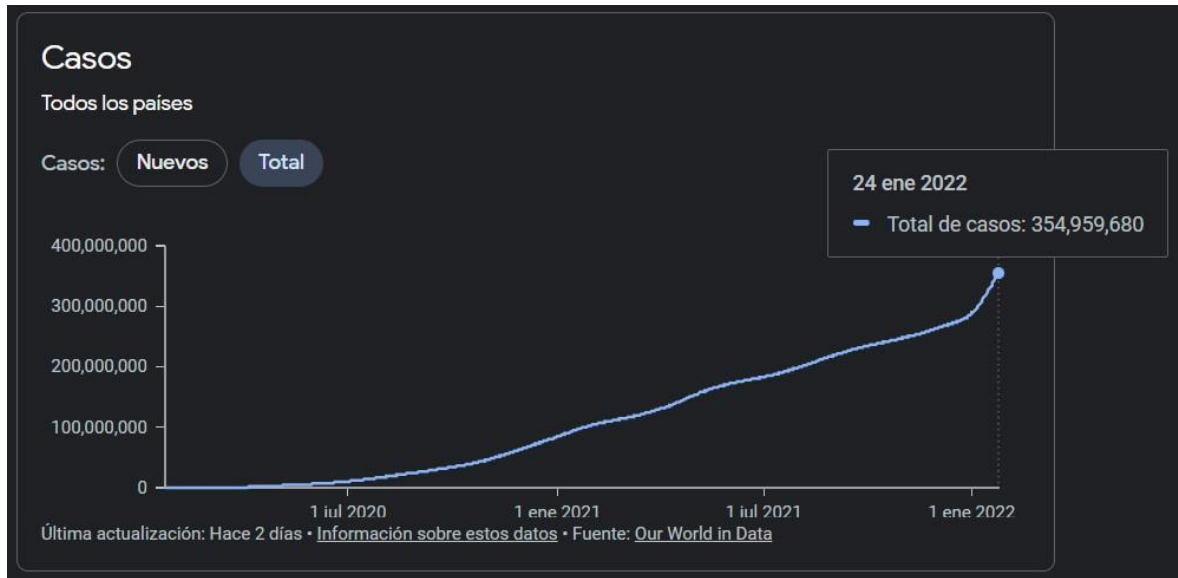


Gráfico 1. Avance de contagios a nivel mundial²



Gráfico 2. Casos activos a nivel mundial³

² Avance de contagios a nivel mundial, obtenido de: <https://news.google.com/covid19/map?hl=es-419&mid=%2Fm%2F02j71&gl=CO&ceid=CO%3Aes-419&state=1>

³ Casos activos a nivel mundial, disponible en: <https://ourworldindata.org/explorers/coronavirus-data-explorer>

Contagios en Colombia

Hasta el día **24 de enero de 2022** se han reportado un total de 5.7 millones de casos en Colombia³, de los cuales se reportan 21 mil casos activos para este día⁴.

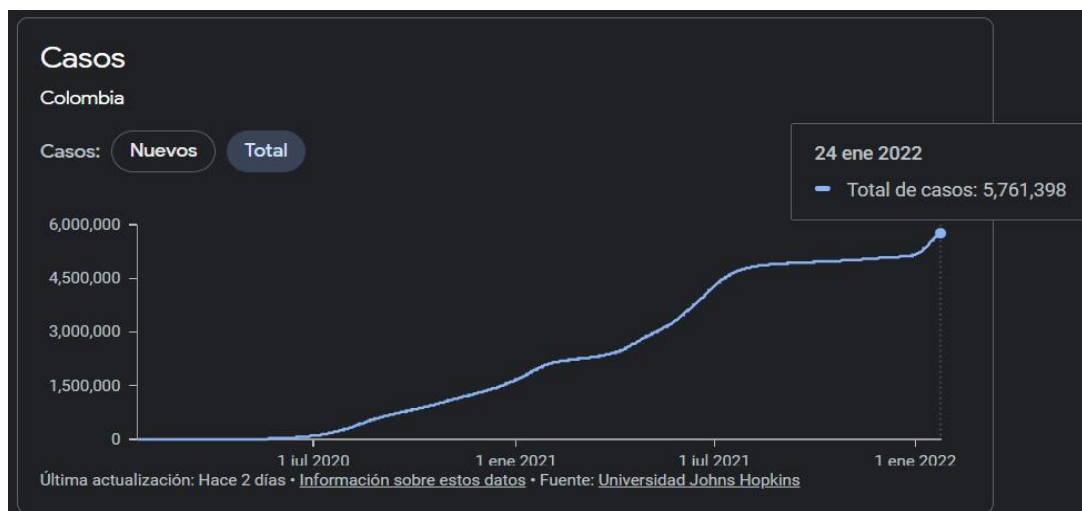


Gráfico 3. Avance de contagios en Colombia⁴



Gráfico 4. Casos activos en Colombia⁵

Variantes del Covid-19

Los virus están cambiando constantemente debido a la mutación, cuando un virus tiene una o más mutaciones con respecto al virus original, se le conocen como una variante del virus.

Actualmente se han determinado dos variantes del virus SARS-CoV-2 las cuales son la variante Delta y la variante Ómicron.

⁴ Avance de contagios en Colombia, disponible en <https://news.google.com/covid19/map?hl=es-419&mid=%2Fm%2F011s2&gl=CO&ceid=CO%3Aes-419>

⁵ Casos activos en Colombia, disponible en: <https://news.google.com/covid19/map?hl=es-419&mid=%2Fm%2F011s2&gl=CO&ceid=CO%3Aes-419>

Delta

Esta variante es ahora la más común del virus en los EE.UU. Es casi dos veces más contagiosa que las variantes anteriores y podría causar una enfermedad más grave. El mayor riesgo de transmisión se da entre las personas no vacunadas, parece que las personas vacunadas la transmiten durante un periodo más breve que las personas no vacunadas.

Ómicron

Esta variante se descubrió en varios países como una variante preocupante, sin embargo, no está claro si esta variante se transmite con más facilidad que otras como la Delta, aún se están realizando investigaciones.

Otras variantes como alfa, gamma y beta siguen bajo supervisión, pero se están transmitiendo a niveles mucho más bajos en países como EE.UU. (DeSimone, D. C. 2022)

Presentación clínica

Su manifestación más grave es la neumonía, que se manifiesta a través de fiebre, tos, disnea y opacidades pulmonares bilaterales visibles en la radiología de tórax.

En un estudio con más de 70.000 casos la enfermedad fue leve en 81% (Neumonía leve o sin ella), moderada en 14% (neumonía con hipoxemia) o grave en 5% (insuficiencia respiratoria que requiere ventilación mecánica, shock o falla multiorgánica). La letalidad general fue de 2,3% y de 49% en los casos graves.

Factores de riesgo: las comorbilidades más frecuentes entre 5.700 pacientes hospitalizados en Nueva York fueron hipertensión 57%, obesidad 42% y diabetes 34%. La obesidad es un factor de riesgo para intubación o muerte en menores de 65 años.

Sintomatología

El Covid-19 se puede presentar como una influenza con síntomas respiratorios bajos. La fiebre está presente entre el 30% y 90% de los pacientes, siendo más frecuente entre quienes se hospitalizan y menos entre pacientes ambulatorios y de mayor edad.

Entre los pacientes ambulatorios los síntomas que más frecuentan son cefalea, rinorrea y conjuntivitis. También se suelen presentar síntomas digestivos como náuseas, vómitos o diarrea antes de que aparezca la fiebre y los síntomas respiratorios inferiores junto a síntomas neurológicos como alteración de la conciencia, mareos, convulsiones y agitación.

Sin embargo, la enfermedad podría ser asintomática hasta en un 40%, si a esto agregamos el periodo de contagio se inicia previo a la aparición de síntomas en la población que los tiene, el control de esta infección se hace aún más difícil. (Gil, R. 2021)

Variables fisiológicas y signos vitales

Para el desarrollo de esta investigación, partiendo por el objetivo número uno, se tuvo en cuenta varios estudios con los que se comprueba cuáles son las variables fisiológicas que se ven afectadas durante el inicio de presentación de los síntomas causados por el virus del Covid-19 y de esta forma establecer los patrones y las correlaciones que se necesitan para realizar un pre-diagnóstico. Estas variables son:

- Temperatura corporal
- Frecuencia respiratoria

Temperatura corporal

La temperatura corporal normal varía según la persona, su edad, actividad física o la hora del día, sin embargo, el promedio normal de la temperatura corporal está establecido en 37 °C (98.6 °F). Algunos estudios han determinado un rango de temperatura corporal normal, el cual puede estar entre 36.1 °C (97 °F) y 37.2 °C (99 °F).

Una temperatura por encima de los 38 °C (100.4 °F) o más, representa una fiebre causada por infección o por alguna enfermedad.

Una temperatura por debajo de los 35 °C (95 °F) o menos, representa hipotermia (Vorvick, L. J. 2022).

Generación de la fiebre

La fiebre se produce cuando el hipotálamo, un área del cerebro que también se conoce como el termostato del cuerpo, aumenta el punto de referencia de la temperatura normal del cuerpo. Cuando esto sucede, lo más probable es que el sujeto en cuestión sienta frío y sensación de necesidad de abrigarse más ya que puede sentir escalofríos como consecuencia para generar más calor corporal.

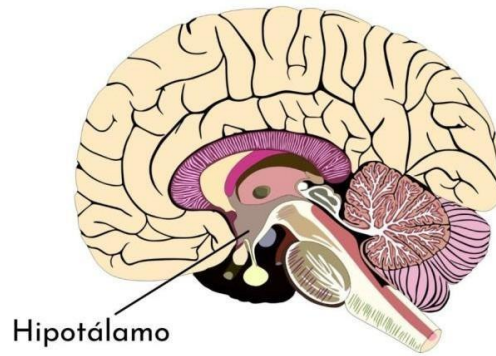


Figura 2. Ubicación del hipotálamo en el cerebro⁶

Causas

La fiebre o la temperatura corporal elevada puede ser causada por lo siguiente:

- Un virus.
- Una infección bacteriana.
- Agotamiento por calor.
- Algunas enfermedades inflamatorias, como la artritis reumatoide.
- Tumor maligno.
- Algunos medicamentos como antibióticos.

Es posible que los niños de entre 6 meses y 5 años sufran convulsiones provocadas por la fiebre que suelen suponer la pérdida del conocimiento y temblores en las extremidades a ambos lados del cuerpo. (Vorvick, L. J. 2021)

La temperatura varía según la edad de cada paciente y los valores normales son los siguientes:

Tabla 1. Valores de la temperatura corporal por edad⁷

EDAD	TEMPERATURA
< 2 años	34.7 °C - 37.3 °C
3 a 10 años	35.9 °C - 36.7 °C
11 a 65 años	35.2 °C - 36.9 °C
> 65 años	35.6 °C - 36.3 °C

Frecuencia respiratoria

La frecuencia respiratoria es la cantidad de respiraciones que una persona hace por minuto, esta se mide cuando una persona está en reposo y consiste en contar la cantidad de respiraciones

⁶ Ubicación del hipotálamo en el cerebro. Obtenido de <https://www.lifeder.com/hipotalamo/>

⁷ Valores de la temperatura corporal edad. Obtenido de: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001982.html>

durante un minuto cada vez que se eleva el pecho.

La frecuencia respiratoria puede aumentar con la fiebre, las enfermedades y otras afecciones médicas. Cuando se miden las respiraciones, es importante tener en cuenta también si la persona tiene dificultades para respirar.

La frecuencia respiratoria normal de un adulto en estado de reposo oscila entre las 12 y 20 ventilaciones por minuto. Esta cantidad de ventilaciones, varía según la edad del paciente, mientras más joven, más ventilaciones por minuto tendrá. (Meadows, A. 2021))

Tabla 2. Valores de frecuencia respiratoria por edad⁸

EDAD	VENTILACIONES POR MINUTO
< 6 Semanas	40 - 45
7 Semanas – 1 Año	20 - 30
1 Año - 2 Años	20 - 31
2 Años - 6 Años	20 - 32
6 Años - 10 Años	12 - 20
> 10 Años	12 - 20

Afecciones respiratorias

Taquipnea es un término el cual se utiliza para describir la respiración si está demasiado acelerada, particularmente si usted presenta una respiración rápida y superficial por una neumopatía u otra causa de salud.

El termino hiperventilación generalmente se utiliza si usted está tomando respiraciones profundas y rápidas. Esto puede deberse a una enfermedad pulmonar, ansiedad o pánico.

Causas

La respiración rápida y superficial tiene muchas causas posibles como son:

- Asma
- Coágulo de sangre en la arteria pulmonar
- Asfixia
- Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)
- Insuficiencia cardiaca
- Neumonía causada por Covid-19 u otra infección pulmonar
- Ansiedad y pánico (Hadjiliadis, D. 2021)

⁸ Valores de frecuencia respiratoria por edad. Obtenido de: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001982.htm>

Antecedentes

Dionisio, Delgado, Chanchi, Giron y Márcels. Mostraron como resultado un sistema de hardware- software para el monitoreo y la toma de signos vitales como la presión arterial, oxigenación y pulso (Delgado, D. 2019)

A través de este sistema integrado se genera alertas cuando se detecta que el paciente está padeciendo de estrés mental gracias al comportamiento del ritmo cardiaco. Este fue implementado sobre una tarjeta de desarrollo Arduino Mega, entregando un sistema portátil muy práctico que ayuda a que el monitoreo no sea incomodo pero no tiene habilitado un sistema de almacenamiento de datos

Mancodiya, Farahani, Baharoglu, Constant, Firouzi, Chang. Presentaron un sistema para un ecosistema de un centro de salud basado en el internet de las cosas (Farahani, B. 2018). Los autores proponen descentralizar la atención médica de las clínicas y hospitales por un enfoque mas centrado en la atención directa al paciente. En el documento se comenta que desarrollarán nuevos retos como gestionar los datos que se recopilan a través de este sistema así como la estabilidad hacia nuevos proyectos. Este sistema desarrollado en eHealth no revela detalles sobre el monitoreo y el análisis de las variables de los signos vitales.

Marín, Gutiérrez, Ardila, Piedrahita, Montenegro, González, Cubillos, Gaona, Calvachi Ardila y García. Presentaron un sistema de IoT que busca monitorear todo el comportamiento de los signos vitales para un diagnóstico preventivo (Gutierrez, C. 2019). Haciendo uso de una banda que monitorear a los signos vitales desde un dispositivo móvil, este sistema realiza chequeos que ayudan a prevenir enfermedades. Utiliza como método el análisis basado en probabilidades que genera un diagnóstico preciso de enfermedades o problemas cardíacos. Presenta tambien una nueva variedad de módulos de IoT en un ambiente hospitalario.

Kumar. Mostraron como resultado un sistema de IoT para las hospitales, clínicas y centros de salud utilizando Inter Curie, el cual es un módulo que convierte cualquier objeto en un objeto inteligente (Kumar, N. 2017). Con esto le brinda mayor atención a toda la parte del hardware, dando soluciones a muchas de las falencias que se encuentran en estos sistemas además de brindar aportes en revisión de escenarios típicos de tecnologías de aplicaciones para los sistemas de IoT lo cual permite desarrollar nuevos servicios a cargo de otros fabricantes promoviendo el desarrollo de nuevas arquitecturas.

Materiales y método

Para el principal desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología basada en principios ágiles (Winter, R. J. 2014), la cual funciona con ciclos iterativos que aumentan el proceso de desarrollo unificado relacionando referentemente las etapas que se encuentran en cada uno de los ciclos que se denomina Proceso Unificado de Rational – RUP (Kroll, P. 2003). De esta manera se busca generar una estrategia muy organizada y completamente medible de fácil adaptación a las fases que se soliciten.

Se hace uso de una metodología exploratoria para analizar todo el problema centrado en el prediagnóstico de los pacientes en ambientes virtualizados en la parte preliminar. Se realizó una previa investigación de bases de datos donde se encontraron patrones comunes dentro de los signos vitales medidos (Jain, G. 2021) de la misma forma que se identificaron los patrones inestables de alguna otra enfermedad o afección corporal en otras personas (Shahane, S. 2021), (S, L. H. 2020), esto con el fin de analizar a los pacientes y sus comportamientos con alguna enfermedad y profundizar más en las afecciones que genera el Covid-19 sobre los humanos (Pimentel, A. F. 2020) de esta manera se relacionan fácilmente los patrones recopilados tanto en la base de datos como en las demás variables recogidas de los signos vitales (Raji, A. 2016).

Las variables fueron relacionadas a través del método ANOVA, la cual analiza las varianzas de las diferentes variables para compararse con múltiples medidas (Rodrigo, J. A. 2016), para de esta forma hallar la relación que tiene directamente entre los signos del caso.

Desarrollo del sistema de red de sensores

Fase A: Desarrollo de arquitectura hardware

Se necesita de un análisis funcional de la arquitectura y para esto se utilizará la metodología GOMS (Huesmann, L. R. 2006), a través del cual se miden las Metas (Goals), los objetos (Objetivos), los métodos (Methods) y reglas de selección (Selection rules) de cada una de sus funciones y puntos débiles.

Ejercicio 1: Peticiones y declaraciones de diseño

Ejercicio 2: Red de sensores médicos

Ejercicio 3: Diseño de conexión de nodos

Fase B: Modelo de pruebas conceptual

Estos modelos conceptuales son ideales para replicar todo tipo de rasgos variantes en el sistema real. Estos son conocidos como simulaciones, las cuales se consideran a la hora de preparar un modelo de la situación real para realizar experimentos y solucionar todas las dudas sin correr ningún tipo de riesgo.

Se busca que durante el desarrollo de este proyecto se utilice únicamente laboratorios de simulación con simuladores de paciente para que de esta manera se realicen pruebas para validar todo el sistema que se está desarrollando sin comprometer pacientes reales en escenarios complejos todo esto con métodos de simulación (Castillo, A. 2012). Gracias a estos se generan nuevos ambientes desde el que se puede recrear de manera segura y precisa los diferentes escenarios, desde un escenario en parámetros normales hasta escenarios comprometedores. Gracias a estos se puede variar todos los parámetros de temperatura, pulso, oxígeno en sangre, frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca y presión para así suministrar datos precisos.

Gracias a la facultad de medicina de la Universidad Militar Nueva Granada se cuenta con la disposición de diferentes simuladores de paciente precisos para este tipo de investigación debido a que son completamente configurables. Estos simuladores en especial son adultos, algunos en excelentes condiciones aunque también se utilizan otros con diferentes escenarios como maternas, heridos en combate, bebés, niños, etc. Para este caso se hizo uso del SimMan 3G (Laerdal medical, 2020) y MegaCode Kelly (Laerdal medical, 2020). Estos dos simuladores permiten la configuración de tramas en las cuales se puede configurar la variabilidad de los signos vitales, así como el tiempo de duración de cada trama.

Los datos extraídos son muy valiosos debido a que estos son validados por herramientas de visualización que se utilizan para el manejo de Big Data (Wang, L. 2015) con los que fácilmente se puede graficar los datos generados y ver si corresponde con un paciente sano o un paciente afectado.

Desarrollo

Implementación del de red de datos en escenarios médicos

Gracias a la nueva industria 4.0 se le da un enfoque nuevo al desarrollo de hardware para mejorar en el entorno médico. Las redes de comunicación de sensores permiten desarrollar nuevos equipos que permiten la conectividad y el intercambio de datos entre estos para así generar información y análisis de gran calidad en los centros médicos. (Javaid, M. 2019).

Los principales sensores utilizados para esta investigación son bastante precisos, debido a que se hizo uso de una tarjeta ESP8266, esta tarjeta de desarrollo permite la utilización de estos sensores aptos para controles médicos y aplicaciones de eHealth (Cooking Hacks, 2017).

Para que este servicio de monitoreo se preste de manera óptima y completa, se hace uso de servicios de visualización y almacenamiento de los datos en un servidor local. A través de este sistema se pueden medir los parámetros de los signos vitales necesarios para el pre diagnóstico covid 19 y ser visualizados en cualquier parte, todo gracias al uso primordial de los sensores anteriormente mencionados como es el sensor de frecuencia respiratoria que mide el flujo de aire a través del aire que emite el paciente por la nariz y por la boca y el sensor de temperatura corporal que irá pegado al cuerpo midiendo todo en grados celsius (Libelium, 2016).

Relación de variables

Teniendo en cuenta toda la investigación previa realizada para el desarrollo de este modelo de monitoreo, se encontró gran información sobre cómo los signos vitales varían y sobre cómo se puede realizar un prediagnóstico teniendo en cuenta las principales variables afectadas al inicio de la enfermedad como son la frecuencia respiratoria y la temperatura (Zhu, N, 2020), esto debido a que los síntomas que manifiesta el cuerpo en principio son neumonía y fiebre.

Ya teniendo esta información se continuó con hallar la relación entre estas variables para encontrar el punto de inflexión entre ambas y ver como se afecta la una a la otra con el objetivo de desarrollar un DashBoard que pueda ser visualizado por un médico con conocimientos sobre el tema y se pueda darle una interpretación más clara. realizando el monitoreo.

Parámetros de medición

Los parámetros de medición utilizados para definir la medición de variables fueron estipulados por médicos de la facultad de medicina así como por los parámetros estándar de los sensores.

Este mide las variables a partir de la temperatura de cuerpo del individuo y si se agrega un segundo sensor, también se añadiría la opción de medir la temperatura del ambiente, en unidades de Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y en los rangos de menos setenta (-70) a trescientos ochenta (380) grados Celsius con una precisión de 0.5°C . Se tuvo en cuenta como referencia para la correcta medición de parámetros normales el promedio de grados Celsius según la edad del individuo.

Para el Core Central se hizo uso del módulo Arduino ESP8266, el cual es una tarjeta de desarrollo que integra WiFi y Bluetooth ideal para desarrollar sistemas de sensores. El uso del WiFi permite conectarse a una red LAN para la transmisión de datos en tiempo real por internet.

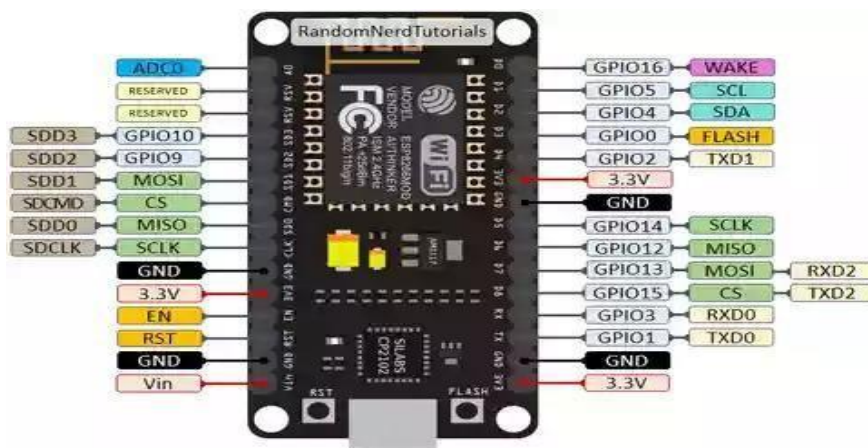


Figura 5. Tarjeta Arduino ESP8266¹¹

Red de sensores de signos vitales

Esta red de sensores de signos vitales va interconectada a través del Core de una tarjeta de desarrollo ESP8266 para, de esta forma, tener un sistema de conexión sólido y confiable debido a que se cuenta con parámetros de medición precisos ya que son tomados con sensores de alta fiabilidad.

Gracias a esto se logra la unificación de los sensores sin requerir de nuevos auxiliares del Core, gracias a los parámetros definidos a partir de código desde la misma tarjeta de desarrollo (Cooking hacks. 2017).

termometro-infrarrojo-gy-906-mlx90614esf/

¹¹ Tarjeta Arduino ESP8266. Obtenido de: <https://www.servotronik.com.co/index.php/producto/modulo-esp-32-wifi-bluetooth/>

Arquitectura propuesta

La arquitectura propuesta para este modelo se basa principalmente en el protocolo MQTT el cual es un protocolo muy famoso que se centra en la comunicación Machine to machine (M2M) el cual permite la conexión directa entre sensores y se logra de manera alámbrica o inalámbrica (DITEL. 2020). Es ideal para transmitir datos fiables debido a que este protocolo corre bajo TCP/IP que realiza confirmaciones para asegurarse que la información que se envió era la que se esperaba.

El protocolo MQTT es ideal para enviar este tipo de datos continuos en tiempo real debido a que utiliza un formato muy económico que ahorra recursos ya que los sensores no son especialmente potentes. Para que el protocolo MQTT sea correctamente utilizado se debe hacer uso de todos sus componentes, entre esos están:

Broker MQTT: Es el encargado de gestionar todos los datos que son emitidos por los sensores, es el administrador de esa información y de la misma manera se encarga de que los datos que son generados por los publicadores sean recibidos por los suscriptores interesados.

Publicador/suscriptor: Existen diferentes roles que se pueden asumir en la red MQTT como son los publicadores y suscriptores. El publicador es el encargado de enviar datos que serán gestionados por el bróker y el suscriptor será el encargado de recibir esta información e interpretarla a su manera, este debe indicar al bróker los datos que quiere recibir y este se los suministrará.

Temas: Son creados para simplificar la búsqueda de los datos, son como carpetas definidas por jerarquías que van dentro del bróker, esta manera organiza la publicación la consulta de los datos y permite definir los datos que se quieren visualizar y los que no.

Mensajes: Para realizar las diferentes investigaciones dentro del bróker se necesita utilizar los mensajes predeterminados de MQTT los cuales tienen sus respectivas confirmaciones como son connect, connack, publish, puback, entre otros.

Visualización de los datos

La visualización de esta información es una de las partes más importantes debido a que esta será la manera como los médicos podrán ver los datos de manera gráfica y dar su respectivo dictamen. Esta visualización se hará a partir de la herramienta Power BI de Microsoft, desde la cual se pueden realizar consultas muy fácilmente, así como realizar diferentes tipos de análisis de datos bastante importantes a la hora de dar un dictamen médico preciso

La visualización tiene que realizarse en tiempo real, debido a que se debe llevar un

monitoreo minuto a minuto del paciente en cuestión, para esto se realizó la virtualización de la base de datos que almacena toda la información de los sensores y así pueda suministrarle toda la información al DashBoard desde cualquier parte del mundo.

La herramienta Power BI también brinda un auxilio para la conexión de equipos MQTT permitiendo que sea usado como bróker administrador al adaptar la red de sensores a un funcionamiento más centrado y eficiente para no depender de software externo para la conectividad.

Para poder interpretar los datos crudos entregados por el simulador se hizo uso de Microsoft Power BI ya que esta toma las bases de datos y los grafica de diferentes formas. La idea principal es adecuar estos gráficos para que los médicos tengan una manera de interpretarlos más claramente y así poder un rápido dictamen del estado del paciente

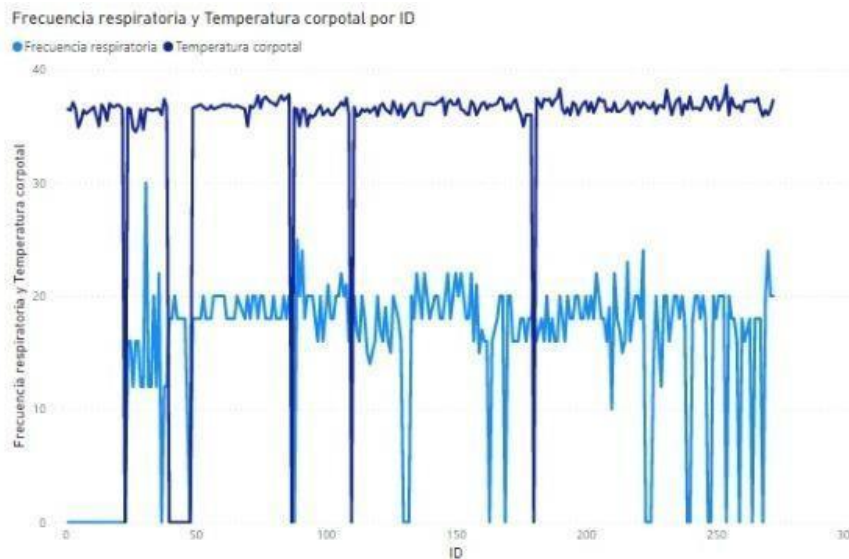


Gráfico 5. Representación gráfica de los datos en crudo del simulador

Para lograr una plena recopilación de los datos con los sensores de signos vitales, se realizó la implementación de una red de sensores como modelo físico para la recopilación de datos en tiempo real, este cuenta con sensores que miden los signos vitales más importantes para la monitorización remota.

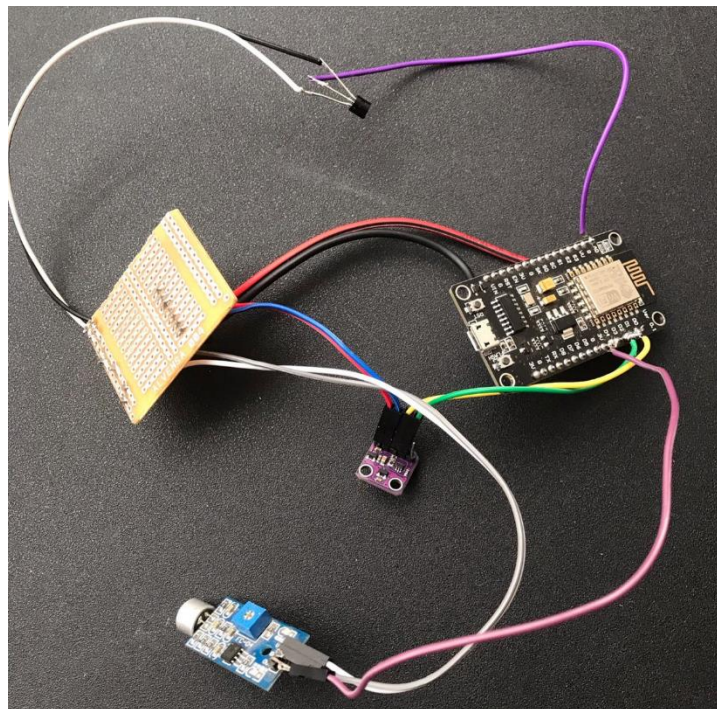


Figura 7. Red física de sensores

Para esa red de sensores fue necesario hacer uso de un Broker MQTT el cual fue creado mediante código y está alojado en la nube en la plataforma Google Cloud Platform debido a que se requiere que este tenga una IP pública para realizar consultas y cambios tanto de parte de los sensores como de parte de los médicos. Este Broker permite que los datos de cada uno de los sensores sean transmitidos al mismo tiempo y así mostrar el estado de todos los signos vitales del paciente para su posterior análisis.

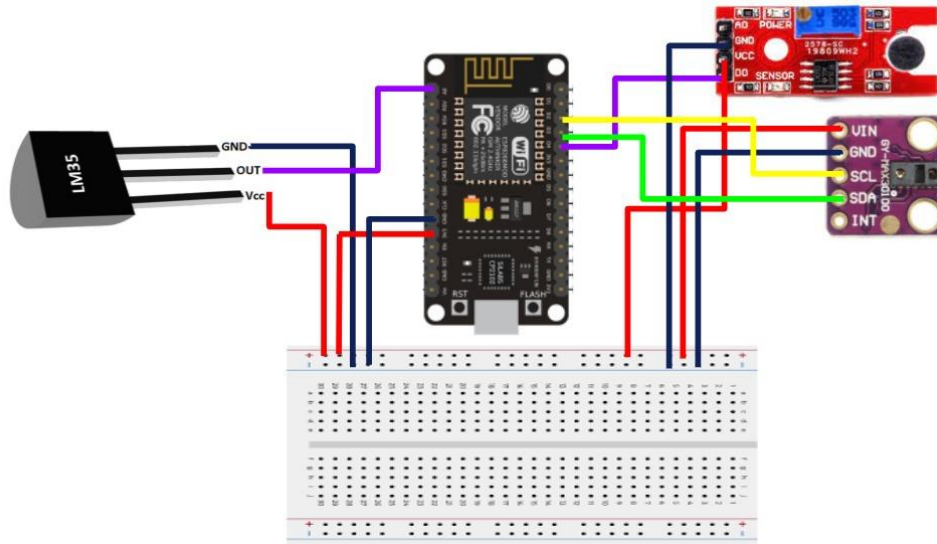


Figura 8. Arquitectura digital de los sensores

Teniendo en cuenta todos los conceptos manejados en el desarrollo del proyecto, se basó en PhpMyAdmin para lograr tanto la recopilación como el almacenamiento de la información, este servicio también está alojado en Google Cloud Platform para que la visualización de los datos de los sensores de temperatura y frecuencia respiratoria se pueda hacer desde cualquier parte del mundo a través de la plataforma Power BI.

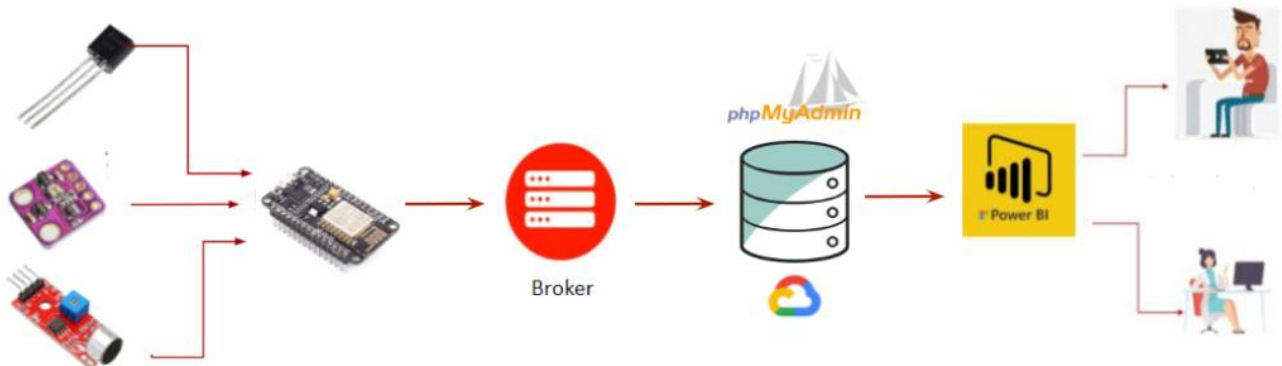


Figura 9. Arquitectura final de la red de sensores

El sensor de temperatura corporal LM35 y el sensor de flujo de aire KY037 son los encargados de la recopilación de los datos los cuales enviarán toda la información captada al bróker MQTT, ya que de esta manera se establecerá una conexión directa para el traspaso de datos entre el ESP8266 y el PhpMyAdmin.

Se adaptaron diferentes pantallas en el DashBoard de power BI, cada una con diferentes gráficas de fácil entendimiento para que el equipo médico pueda visualizar en tiempo real la información desde todo el mundo.

Para este futuro análisis podemos correlacionar diferentes variables en un entorno gráfico de fácil entendimiento para cualquier persona. Para este caso contamos con una pantalla principal en la cual se pueden visualizar los datos recopilados, un promedio de cada signo vital para una rápida deducción y unos botones que dirigen a nuevas pantallas donde se podrá encontrar información individual de cada signo vital.



Figura 10. Pantalla principal DashBoard Power BI

En las pantallas siguientes se pueden ver los datos de cada signo vital por separado con gráficas que permiten y facilitan su interpretación como en el caso de la temperatura corporal.

Esta cuenta con 4 gráficos con los que se puede identificar rápidamente la temperatura medida por hora, una comparación con el rango de BPM, el promedio máximo y mínimo de los datos tomados y adicionalmente cuenta con un filtro donde podemos acortar o alargar el rango de la temperatura mostrada y de la misma manera funcionan las demás pantallas como son las de frecuencia respiratoria.

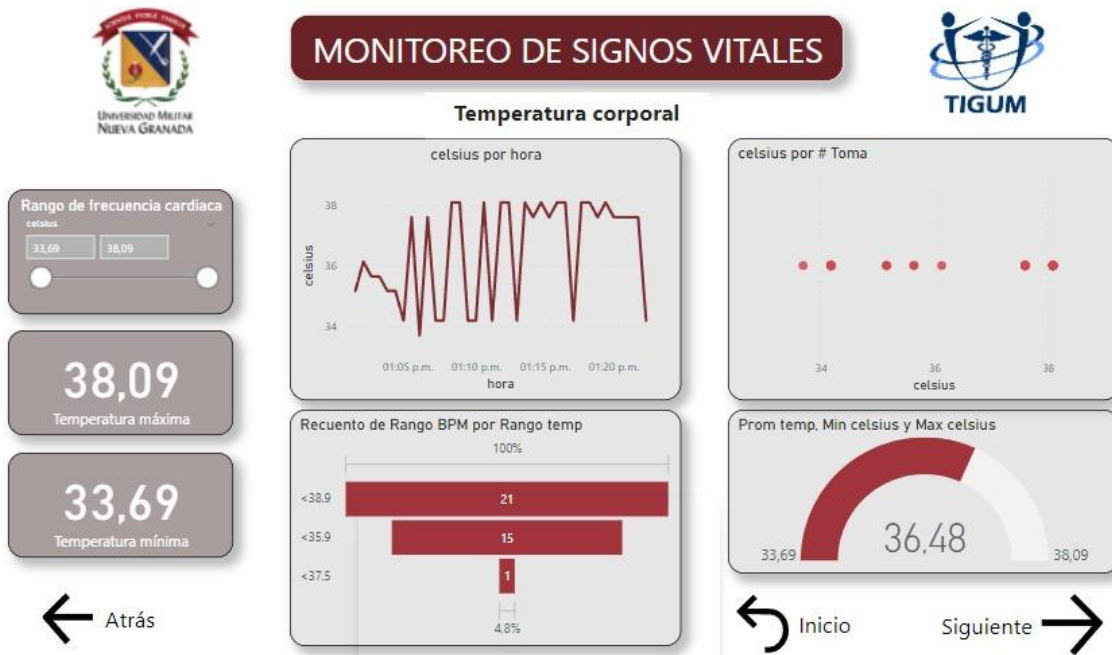


Figura 11. Pantalla de visualización de temperatura corporal

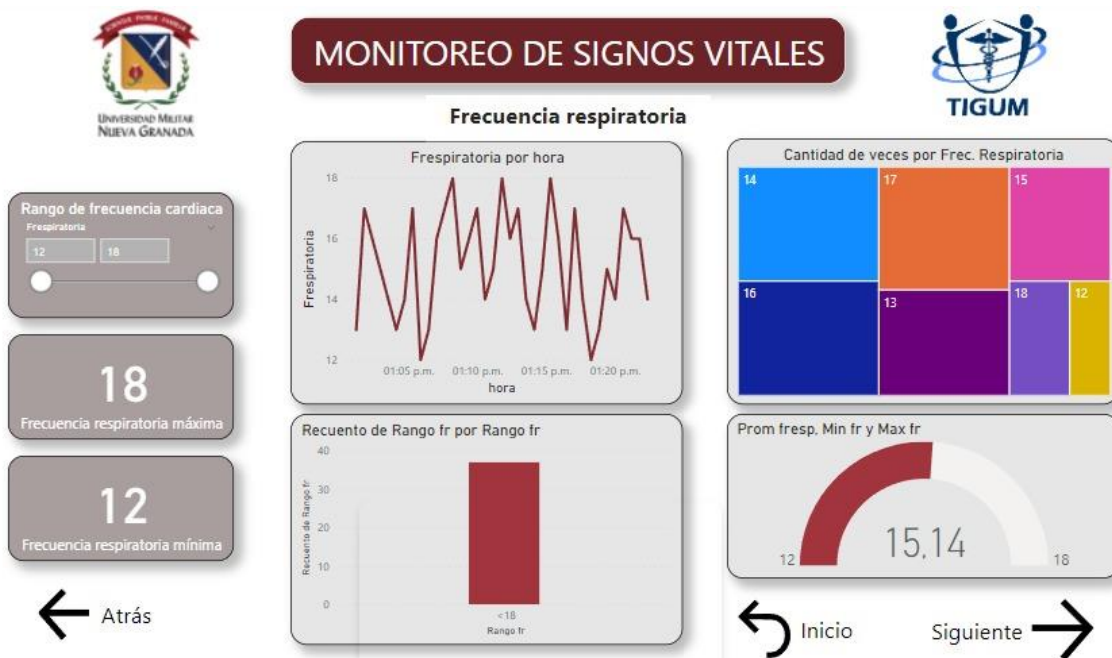


Figura 12. Pantalla de visualización de frecuencia respiratoria

Finalmente, en la última pantalla se puede visualizar información general de todos los signos vitales que nos ayudarán a realizar un análisis más claro, ya que mientras contemos con más variables, mejores predicciones podemos realizar debido a que se están evaluando más factores que pueden indicar si hay falsas alarmas o si realmente hay una emergencia.

En esta pantalla se pueden correlacionar fácilmente los signos vitales entre ellos, así como se pueden variar los rangos para que un especialista los pueda interpretar según lo que se

requiera.

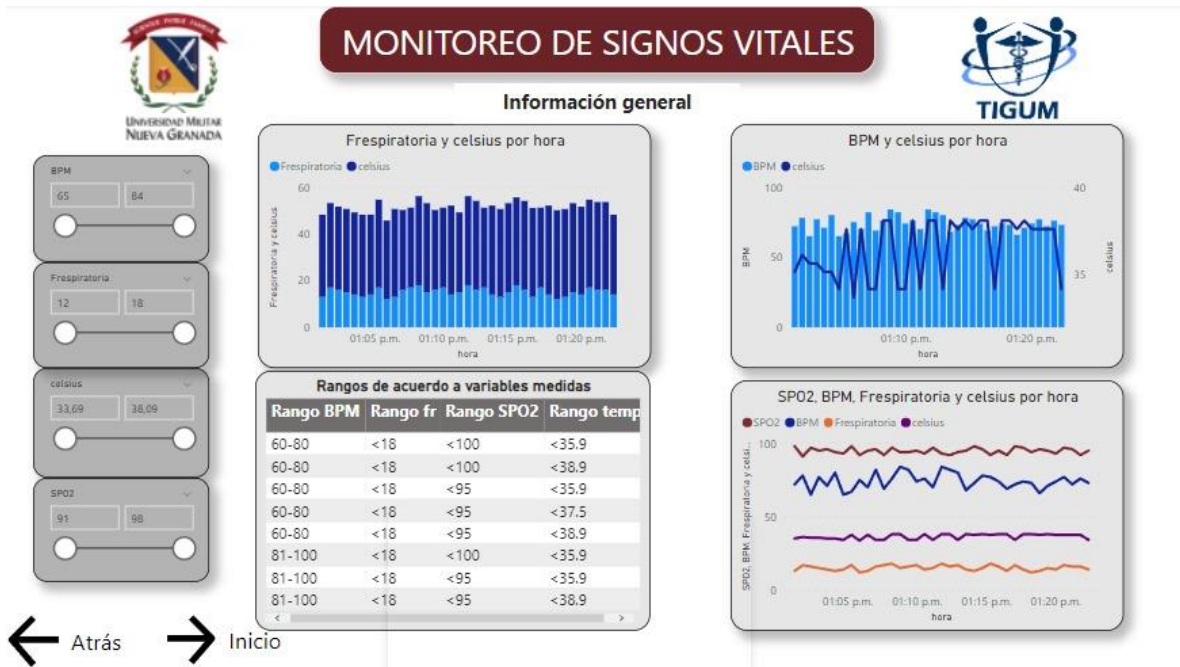


Figura 13. Pantalla de visualización de información general

Los médicos que cuenten con acceso a la plataforma podrán corroborar en tiempo real el estado de estos signos para determinar un diagnóstico para el paciente en cuestión y así realizar una fórmula médica para medicamentos o, en caso de necesitarlo, el traslado de este a una unidad de cuidados intensivos.

Conclusiones

Teniendo en cuenta que esta investigación se propuso como una ayuda al ámbito médico de los sistemas de salud en época de pandemia, se desarrolló un modelo diseñado a partir de una red de sensores corporales que logra la monitorización y el posterior análisis de la variabilidad de la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal para que un médico pueda dar un dictamen previo a que se desarrolle la enfermedad y poder realizar una asistencia en casa.

La idea de este aporte investigativo es brindar un sistema que se destaque por tener datos fiables, esto se logró a través de métodos certificados de relación de variables con asesoría directa de médicos inmersos en el campo, los cuales ayudaron con la generación de los escenarios de prueba con los simuladores de paciente para determinar cómo se comporta un paciente en estado normal o un paciente en estado crítico.

El impacto mas fuerte que se quiere combatir con este proyecto es el del daño generado por la pandemia, así que se empezó a trabajar con los síntomas presentados en el cuerpo humano infectado por el virus del Covid-19, lo más efectivo para determinar esto fue el uso de los simuladores de paciente debido a que con estos uno se mantiene en un entorno seguro, fuera de riesgo y sin tratar con pacientes que pueden estar en estado crítico. Estos escenarios fueron creados a partir de una sintomatología estándar de la enfermedad, esta se logró realizando cambios en las tramas de variación de signos vitales, esto se realiza de manera cíclica, modificando los parámetros a unos propios de un individuo portador de la enfermedad. El resultado entregado por este proceso nos deja una información muy valiosa debido a que empezamos a conocer cuáles son los síntomas corporales que presentan los pacientes infectados con el virus, lo que permitió el comienzo de la utilización de los sensores.

Para la utilización de los sensores se hizo una depuración de opciones para escoger la mas adecuada para el proyecto, estos extrajeron datos reales ya que fueron conectados a un paciente real (mi persona) para determinar el estado normal de un paciente lo cual nos permitió verificar la fiabilidad de los datos y la monitorización de los signos vitales.

Para continuar con la fiabilidad de la información suministrada por el sistema, fue de gran importancia realizar una comprobación de los parámetros de calidad en el envío de la información, esto se logró al implementar la arquitectura de la red de sensores bajo el protocolo de MQTT debido a que permite la comunicación M2M entre todos los equipos y sensores utilizados y así determinar de manera segura que los datos son correctos.

Referencias:

Alagili, D. E., & Bamashmous, M. (2021, 1 octubre). *The Health Belief Model as an explanatory framework for COVID-19 prevention practices*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876034121002434>

Cabieses, B., Faba, G., & Espinoza, M. (2013, 28 octubre). *The Link Between Information and Communication Technologies and Global Public Health: Pushing Forward*. liebertpub. www.liebertpub.com/doi/abs/10.1089/tmj.2012.0232?journalCode=tmj

S. Naveen and S. Hegde, "Study of IoT: Understanding IoT Architecture, Applications, Issues and Challenges," *Int. J. Adv. Netw. Appl.*, pp. 477–482, 2016, [Online]. Available: [http://www.ijana.in/Special Issue/ S105.pdf](http://www.ijana.in/Special%20Issue/S105.pdf). (S105.pdf (ijana.in))

Javaid, M., & Khan, I. H. (2021, 1 abril). *Internet of Things (IoT) enabled healthcare helps to take the challenges of COVID-19 Pandemic*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212426821000154>

Khriji, L., Ammari, A., & Bouaafia, S. (2021, 14 mayo). *COVID-19 Recognition Based on Patient's Coughing and Breathing Patterns Analysis: Deep Learning Approach*. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9435454>

Zhu, N., Zhang, D., & Wang, W. (2020, 20 febrero). *A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China*. *The New England Journal of Medicine*. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmoa2001017>

Li, M., Rozgić, V., & Thatte, G. (2010, 9 agosto). *Multimodal Physical Activity Recognition by Fusing Temporal and Cepstral Information*. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5545734>

Kumar, K., Kumar, N., & Shah, R. (2020, 1 enero). *Role of IoT to avoid spreading of COVID-19*. ScienceDirect.

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666603020300026?via%3Dihub# bib7](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666603020300026?via%3Dihub#bib7)

Bassan, N. A., Hussain, S. A., & Qaraghuli, A. A. (2021, 1 enero). *IoT based wearable device to monitor the signs of quarantined remote patients of COVID-19*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352914821000782>

Kristiani, D. G., Triwiyanto, T., & Nugraha, P. C. (2019, 28 octubre). *The Measuring of Vital Signs Using Internet Of Things Technology (Heart Rate And Respiration)*. IEEE Xplore.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8884312>

Eysenbach, G., & Jadad, A. R. (2011, 7 junio). *Evidence-based Patient Choice and Consumer health informatics in the Internet age*. PubMed Central (PMC).

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1761898/>

Chen, C., & Frey, C. B. (2021, 1 octubre). *Culture and contagion: Individualism and compliance with COVID-19 policy*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268121003140>

Coronavirus. (2020, 10 enero). who.int.

https://www.who.int/es/healthtopics/coronavirus#tab=tab_1

Coronavirus SARS-CoV-2: estructura, mecanismo de infección y células afectadas. (2021, 5 septiembre). Genotipia.https://genotipia.com/genetica_medica

[_news/coronavirus-estructura-infeccion-celulas/](https://genotipia.com/genetica_medica_news/coronavirus-estructura-infeccion-celulas/)

Conversation, M. I. (2021, 18 enero). National Geographic.

www.nationalgeographic.com.es.

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/siete-tipos-coronavirus-que-infectan-humanos_15353

COVID-19: cronología de la actuación de la OMS. (2020, 28 abril). who.int.

<https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid->

- 19Variantes de la COVID-19: ¿son causa de preocupación? (2022, 4 febrero). Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/coronavirus/expert-answers/covid-variant/faq-20505779>
- CUADRO CLÍNICO DEL COVID-19. (2021, 1 enero). ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864020300912>
- Body temperature norms. (2022). MedLine Plus. <https://medlineplus.gov/ency/article/001982.htm>
- Temperatura corporal normal. (2022). Medline Plus. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001982.htm>
- Meadows, A. (2021, 3 noviembre). Sleep Respiratory Rate. Sleep Foundation. <https://www.sleepfoundation.org/sleep-apnea/sleep-respiratory-rate>
- Respiración rápida y superficial. (2020). MedLine Plus. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007198.htm>
- D. Delgado, D. Girón, G. Chanchí, K. Márceles, and S. Dionizio, “*Sistema para la Detección y Seguimiento de Afecciones Cardíacas Soportado en SBC,*” Rev. Ibérica Sist. de Tecnol. Información, vol. E17, pp. 717–728, 2019, doi: 1646-9895
- B. Farahani, F. Firouzi, V. Chang, M. Baharoglu, N. Constant, and K. Mancodiya, “*Towards fog-driven IoT eHealth : Promises and challenges of IoT in medicine and healthcare,*” Futur. Gener. Comput. Syst., vol. 78, pp. 659–676, 2018, doi: 10.1016/j.future.2017.04.036
- C. Gutierrez-Ardila, J. Cubillos-Calvachi, J. Piedrahita-Gonzalez, C. Montenegro- Marín, and P. Gaona-García, “*Sistema IOT para el auto-diagnóstico de enfermedades del corazón usando la evaluación matemática de la dinámica cardiaca basada en la teoría de la probabilidad,*” Rev. Ibérica Sist. de Tecnol. Información, vol. 17, pp. 1–10, 2019, doi: 1646-9895.
- N. Kumar, “*IoT Architecture and System Design for Healthcare Systems,*” in International Conference On Smart Technology for Smart Nation, 2017, pp. 1118– 1123, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8358332>.

R. J. Winter, "Agile Software Development: Principles, Patterns, and Practices," Perform. Improv., 2014.

P. Kroll and P. Kruchten, Rational Unified Process Made Easy: A Practitioner's Guide to the RUP. 2003.

Jain, G. (2021, 18 febrero). *Mobile Health Human Behavior Analysis*. Kaggle. <https://www.kaggle.com/gaurav2022/mobile-health>

Shahane, S. (2021, 3 septiembre). *In Hospital Mortality Prediction*. Kaggle. <https://www.kaggle.com/saurabhshahane/in-hospital-mortality-prediction>

S.-L.H. (2020, 22 junio). *COVID-19 - Clinical Data to assess diagnosis*. Kaggle. <https://www.kaggle.com/S%C3%ADrio-Libanes/covid19>

Pimentel, A. F., Redfern, O. C., & Hatch, R. (2020, 1 noviembre). *Trajectories of vital signs in patients with COVID-19*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300957220304408>

Raji, A., & Jeyasheeli, P. G. (2016, 7 enero). *IoT based classification of vital signs data for chronic disease monitoring*. IEEE Xplore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8884312>

Rodrigo, J. A. (2016, enero). *ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias*. Ciencia De Datos. https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova

L. R. Huesmann, S. K. Card, T. P. Moran, and A. Newell, "The Psychology of Human - Computer Interaction," Am. J. Psychol., 2006.

Castillo, A. (2012, 27 enero). *Metodología de la simulación - Simulación*. Google Sites. <https://sites.google.com/site/angelicaarandacastillo/metodologia-de-la-simulacion>

Laerdal Medical. (2020). *SimMan 3G*. <https://laerdal.com/es/products/simulation> -

training/emergency-care--trauma/simman/

Laerdal Medical. (2020a). *MegaCode Kelly*.

<https://laerdal.com/es/products/simulation-training/emergency-care-trauma/megacode-kelly/>

Wang, L., Ranjan, R., & Kołodziej, J. (2015, 1 febrero). *Software Tools and Techniques for Big Data Computing in Healthcare Clouds*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X14002283>

Javaid, M., & Haleem, A. (2019, 1 mayo). *Industry 4.0 applications in medical field: A brief review*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352081719300418>

Cooking Hacks. (2017, febrero). *MySignals HW v2 - eHealth and Medical IoT Development Platform for Arduino*. <https://www.cooking-hacks.com/mysignals-hw-ehealth-medical-biometric-iot-platform-arduino-tutorial.html>

Libelium. (2016). *MySignals - eHealth and Medical IoT Development Platform*. MySignals.

<http://www.my-signals.com/>

Laerdal. (2014). *SimMan 3G Manual de usuario*.

http://cdn.laerdal.com/downloads/f3393/SimMan_3G_User_Guide_Spanish.pdf

Rondón, E. A., Ordoñez, M. E., & Ccorahua, M. S. (2019, 1 septiembre). *Saturación de oxígeno, frecuencia cardiaca y respiratoria en recién nacidos a término en poblaciones de altura*. SciELO.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75312019000300002&lang=es

DITEL. (2020, 13 octubre). *Protocolo MQTT*. Ditel Diseños y Tecnología S.A.

<https://www.ditel.es/protocolo-mqtt/>

Conceptos fundamentales para entender MQTT

Aprende sobre el mundo de la automatización. <https://www.vesterbusiness.com/cinco->

conceptos-fundamentales-para-entender-mqtt/

SmartNest. (2020). *4 Guía MQTT - Smartnest ES*.

<https://documentacion.smartnest.cz/guia-mqtt>

Microsoft. (2021). *Qué es Power BI | Microsoft Power BI*.

<https://powerbi.microsoft.com/es-es/what-is-power-bi/>

Código

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include "MAX30100_PulseOximeter.h"
#include "MAX30100.h"

MAX30100 sensor;
#define REPORTING_PERIOD_MS 3000
PulseOximeter pox;
uint32_t tsLastReport = 0;
void onBeatDetected()
{
  Serial.println("Beat!");
}

const char* ssid = "DonFGVR"; // SSID
const char* password = "2021Verin_Gito_"; // Password
const char* host = "192.168.1.9"; // IP serveur - Server IP
const int port = 80; // Port serveur - Server Port
const int watchdog = 5000; // Fréquence du watchdog - Watchdog frequency
unsigned long previousMillis = millis();
float celsius; // Variable para almacenar el valor obtenido del sensor (0 a 1023)
int pinLM35 = 0;
int Frespiratoria;
int aux;
float BPM=0;
float SPO2=0;

void setup(void) {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  pinMode(D4, INPUT);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  Serial.print("Initializing PULSE oximeter..");

  if (!pox.begin()) {
    Serial.println("FAILED");
    for(;;);
  } else {
    Serial.println("SUCCESS");
  }
  pox.setIRLedCurrent(MAX30100_LED_CURR_7_6MA);

  pox.setOnBeatDetectedCallback(onBeatDetected);
}
```

```

void loop() {

    if (digitalRead(D4)==LOW){
        Frespiratoria++;
        delay(100);
    }
    celsius = analogRead(pinLM35);

    // Calculamos la temperatura con la fórmula
    celsius = (5.0 * celsius * 100.0)/1024.0;

    // Envía el dato al puerto serial
    Serial.print(celsius);
    // Salto de línea
    Serial.print("\n");
    pox.update();
    if (millis() - tsLastReport > REPORTING_PERIOD_MS) {
        if (pox.getHeartRate() > 0) {
            Serial.print("f");
            Serial.println(pox.getHeartRate());}

        if (pox.getSpO2())>0){
            Serial.print("s");
            Serial.println(pox.getSpO2());
            //Serial.println("%")
        }
        tsLastReport = millis();

    }

    // put your main code here, to run repeatedly:
    unsigned long currentMillis = millis();

    if ( currentMillis - previousMillis > watchdog ) {
        previousMillis = currentMillis;
        WiFiClient client;

        if (!client.connect(host, port)) {
            Serial.println("Fallo al conectar");
            return;
        }

        String url = "/datos/index.php?SPO2=";
        url += SPO2;
        url += "&BPM=";
        url += BPM;
        url += "&Frespiratoria=";
        url += Frespiratoria;
        url += "&celsius=";
        url += celsius;

        // Enviamos petición al servidor
        client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +
            "Host: " + host + "\r\n" +
            "Connection: close\r\n\r\n");
        unsigned long timeout = millis();
        while (client.available() == 0) {
            if (millis() - timeout > 5000) {
                Serial.println(">>> Client Timeout !");
                client.stop();
                return;
            }
        }
    }
}

```

```
    }  
  }  
  
  // Leemos la respuesta del servidor  
  while(client.available()){  
    String line = client.readStringUntil('\r');  
    Serial.print(line);  
  }  
}  
delay(30000);  
}
```

Fuente del código para conexión a base de datos:

<https://drive.google.com/file/d/1tv8e0T6l7ZrKBn8VWLTfUJB9qhGe6rzL/view> e Drive

Fuente del código base para frecuencia respiratoria

<https://www.biomakersb.com/producto/frecuencia-respiratoria-1/>

Fuente del código base para temperatura

<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/leer-el-sensor-de-temperatura-lm35-en-arduino/>.