

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA MONITOREO DE COVID-19 EN ETAPAS  
TEMPRANAS**

**JUAN CAMILO ROMERO GARNICA  
DANIEL ORLANDO SEGURA CABALLERO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS  
BUCARAMANGA  
2021**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA MONITOREO DE COVID-19 EN ETAPAS  
TEMPRANAS**

**JUAN CAMILO ROMERO GARNICA  
DANIEL ORLANDO SEGURA CABALLERO**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.**

**MSc. Jessica Maradey  
DIRECTOR**

**MSc. Gianina Garrido Silva  
CO-DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS  
BUCARAMANGA  
2021**

## **DEDICATORIA.**

### **JUAN CAMILO ROMERO GARNICA.**

A Dios por permitirme llegar a este momento especial de mi vida, Él ha sido mi guía y mi fortaleza.

A mi familia en especial a mis padres y mi hermana, que me han brindado su amor, apoyo incondicional, esfuerzo, dedicación a pesar de los momentos difíciles que hemos pasado.

A la directora de Proyecto Jessica Maradey, quien sacó mi mejor potencial en este tramo final de la carrera y siempre fue un apoyo muy importante.

A los compañeros de estudio con los que compartí conocimientos y vivencias al pasar de los semestres, llegando a formar grandes lazos de amistad.

A cada uno de los docentes que hicieron parte de mi aprendizaje durante toda mi carrera.

### **DANIEL ORLANDO SEGURA CABALLERO.**

Este trabajo de grado está dedicado a mi madre, mi padre y mi hermana que se han convertido en mi pilar y más grande tesoro, que sin su esfuerzo y apoyo en los momentos duros no hubiera podido lograr lo que he conseguido hasta ahora. A nuestra directora de proyecto, la ingeniera y MsC Jessica Maradey, que desde que iniciamos esta etapa nos ha acompañado a lo largo de la carrera demostrando el amor a su vocación y apoyo de la forma más incondicional hacia sus estudiantes. Y por último a mi compañero Juan Camilo Romero, una persona comprometida, asertiva y muy profesional en sus quehaceres, como lo demostró en este trabajo culminado.

## **AGRADECIMIENTOS.**

### **JUAN CAMILO ROMERO GARNICA.**

Luego de dos semestres de investigación, de correcciones, de aprendizaje diario llega el momento de redactar finalmente este texto tan importante para finalizar el proyecto de grado. Ha sido un tiempo de aprendizaje académico y personal; el desarrollo de este proyecto ha tenido una gran influencia en mí, por esta razón quiero extender mi agradecimiento a cada persona que hizo parte de este proceso.

Agradezco primeramente a Dios por sostenerme, guiarme durante este difícil pero grato momento de aprendizaje, sin él no hubiese sido posible cumplir esta meta en mi vida.

Otras personas que han sido muy importantes para mí durante este proceso son mi madre Lidia Garnica quien siempre me ha apoyado y ha resaltado cualidades y capacidades que tengo, mi hermana que siempre ha sido mi apoyo y me hace ser mejor persona cada día, a mi padre por su apoyo económico en el transcurso de mi pregrado, a estas tres personas que son las más importantes en mi vida les agradezco por todo lo que han logrado en mí, Dios los bendiga siempre.

También agradezco a la directora de este proyecto Jessica Maradey quien desde un principio mostró toda su disponibilidad y ganas de guiarme a elaborar este proyecto, una gran directora, una gran profesora y por supuesto una gran persona, ella siempre me motivó a ser mejor y estuvo siempre pendiente que hiciéramos las cosas de la mejor manera posible, Gracias profe Jessica Dios la bendiga.

Por otra parte, quiero dar gracia a Daniel Segura, mi compañero de proyecto, con él formamos un gran equipo y nos apoyamos desde el primer momento en el que tomamos la decisión de llevar a cabo este proyecto, también quiero agradecer a cada uno de los compañeros con los que compartí aprendizajes y experiencias, gracias y bendiciones para ellos.

Gracias a los evaluadores de este proyecto de grado Oscar Rueda y Jeison Marín, quienes siempre mostraron su interés por nuestro proyecto, siempre dando consejos para mejorar mucho más en cada una de las presentaciones venideras, Dios los bendiga.

Quiero agradecer también a los docentes que hicieron parte de mi formación académica y me formaron como profesional y como persona, a mis familiares y amigos cercanos que siempre me dieron su cariño, me apoyaron para sacar adelante este proyecto, también quiero agradecer al SENA por prestarnos sus instalaciones y tener disposición desde el momento que les comentamos sobre nuestro proyecto de grado.

Finalmente, a cada uno de las personas que nos brindaron su ayuda para lograr tomar los datos de elaboración y alimentación del algoritmo.

¡Muchas gracias a todos y bendiciones!

## **DANIEL ORLANDO SEGURA CABALLERO.**

Me hará falta texto para agradecer a todas las personas que de forma directa o indirectamente han hecho parte de este trabajo, aunque haré una mención especial a mis padres, que gracias a ellos he podido cumplir varias de las metas que tengo en la vida y no desistir en los momentos más difíciles por los que he pasado.

De igual forma agradezco a mi directora de proyecto la ingeniera y MsC Jessica Maradey, que, gracias al interés, enseñanzas y el apoyo ofrecido por ella hacia nosotros, no haría este trabajo posible. El aprendizaje y ayuda que nos ha dado no solo a nosotros sino a todos los estudiantes de la carrera nos han formado como personas íntegras, éticas y profesionales en todo el sentido de la palabra.

A mi compañero de proyecto Juan Camilo Romero que gracias al haberme acompañado en esta etapa hemos logrado muchos avances, experiencias y una buena amistad, todo con la finalidad de cumplir lo planteado en este trabajo.

A mi familia, amigos y docentes que he conocido en estos años universitarios, donde me enseñaron que todos los días es un aprendizaje constante.

Y por último a las personas que de buena fe se ofrecieron a ayudarnos con la toma de datos para la elaboración del algoritmo.

¡Gracias a todos!

## TABLA DE CONTENIDO

### Contenido

1.	LISTA DE FIGURAS	10
2.	LISTA DE TABLAS	12
3.	INTRODUCCIÓN.	13
4.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
5.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	15
6.	MARCO TEÓRICO.	16
6.1.	¿Qué es la COVID-19?	16
6.2.	¿Síntomas de la COVID-19?	16
6.3.	¿Cómo se propaga la COVID-19?	16
6.4.	Formas de diagnóstico de la COVID-19	17
6.5.	¿Qué es monitoreo?	17
6.6.	¿Inteligencia artificial en la medicina?	17
6.7.	El modelo fuzzy o difuso	18
6.7.1.	Teoría de la lógica difusa	18
6.7.2.	¿Por qué utilizar la lógica difusa?	18
6.7.3.	¿Cómo funciona la lógica difusa?	19
6.7.4.	Funciones de membresía	19
6.7.5.	Sistemas de inferencia difusa de Mamdani.	19
6.7.6.	Sistemas de inferencia difusa de Sugeno	20
6.7.7.	Defusificación	20
6.7.8.	APP Designer.	21
6.8.	Vacunas contra el COVID-19	21
6.9.	Plan de vacunación colombiano	21
7.	ESTADO DEL ARTE.	21
7.1.	Tabla resumen del estado del arte	24
8.	OBJETIVO GENERAL.	25
9.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	25
10.	RESULTADOS ESPERADOS.	25
11.	DESARROLLO Y DISEÑOS.	26
11.1.	Modelo Devdas Shetty	26
11.2.	Recursos.	27
11.3.	Normativa para la elaboración de productos enfatizados en la salud humana.	27
11.4.	Sistemas de medición.	29
11.4.1.1.	Electrocardiograma.	29
11.4.1.2.	Lectura electrocardiográfica.	30
11.4.1.3.	ECG y el COVID-19.	31
11.4.1.4.	Electrocardiograma en el brazo.	31
11.4.1.5.	Electrocardiógrafos, referencias y normativas	32

11.4.2.	Oximetría.	32
11.4.2.1.	Cálculo de la oximetría.	33
11.4.2.2.	Principio de medición	33
11.4.2.3.	Oxímetro, referencias y normativa.	34
11.4.2.4.	Saturación del oxígeno y el COVID-19.	34
11.4.3.	Presión arterial.	35
11.4.3.1.	Medición de la presión arterial. [34]	35
11.4.3.2.	Presión arterial y el COVID-19.	35
11.4.3.3.	Dispositivos de medición y normativas.	36
11.4.4.	Temperatura.	37
	Toma de temperatura [53]	37
11.4.4.1.	Temperatura y Covid-19.	37
11.4.4.2.	Dispositivos de medición y normativas	37
11.4.5.	Espirometría.	38
11.4.5.1.	Referencias de para la medición.	38
11.4.5.2.	Interpretación y uso médico.	38
11.5.	Revisión de la instrumentación y selección de lenguaje de programación.	38
11.6.	Cotización de los componentes.	39
12.	Diagrama de bloques del sistema integral.	39
12.1.	Compra de los componentes.	40
12.1.1.	Protoboard.	40
12.1.2.	Cables para conexión.	41
12.1.3.	Arduino.	41
12.1.4.	Sensor AD8232	42
12.1.5.	Sensor MLX 90614	42
12.1.6.	Sensor MAX 30102.	43
12.1.7.	Smarthwatch	43
12.2.	Diseño en CAD del prototipo.	44
12.2.1.	Caja de control	44
12.2.2.	Sensor ECG	44
12.2.3.	Sensor de temperatura	45
12.2.4.	Sensor de oximetría	45
12.2.5.	Smartwhatch.	46
12.3.	Montaje eléctrico del sistema de diagnóstico.	46
12.3.1.	Diagrama de la conexión eléctrica del sensor AD8232.	46
12.3.2.	Diagrama de la conexión eléctrica del sensor MLX90614	47
12.3.3.	Diagrama de la conexión eléctrica del sensor MAX 30102	47
12.4.	Esquema de la implementación del sistema de monitoreo en las personas.	48
13.	RESULTADOS Y EVIDENCIAS.	49
13.1.	Validación de las variables monitoreadas.	49

13.2.	Sensores implementados para la planta del sistema de monitoreo.	50
13.3.	Gráficas de los resultados obtenidos en cada uno de los ítems de la base de datos.	54
13.4.	Registro de los datos obtenidos por medio de los sensores implementados en la planta.	58
13.5.	Sistema de inferencia de la lógica difusa para el monitoreo de COVID-19.	60
13.5.1.	Desarrollo del algoritmo.	60
13.5.2.	Sistema Fuzzy.	62
13.5.3.	Reglas establecidas en el modelo fuzzy.	62
13.5.4.	Funciones de pertenencia.	63
13.5.5.	Operadores de las funciones.	64
13.5.6.	Proyección en 3D de la relación de las variables.	64
13.5.7.	Salida del sistema.	66
13.6.	Montaje final del sistema para monitoreo de COVID-19.	67
14.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	70
15.	CONCLUSIONES.	71
16.	RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.	72
17.	REFERENCIAS.	73
18.	ANEXOS.	77
18.1.	DataSheet de los sensores implementados.	77
18.2.	Conocimiento informativo.	78
18.3.	Encuesta realizada a las personas que se les hacía la toma de datos.	78
18.4.	Planos del sistema	83



## 1. LISTA DE FIGURAS

- Figuras 1. Índices diarios de contagio en Colombia [7]
- Figura 2. Metodología Devdas Shetty
- Figura 3. Partes del corazón [22]
- Figura 4. Grafica que conforma un ECG
- Figura 5. Circulación sanguínea en el cuerpo.[27]
- Figura 6. Posicionamiento de electrodos en el antebrazo.
- Figura 7. relación HbO<sub>2</sub> y Hb en función de la longitud.
- Figura 8. métodos de medición
- Figura 9. Relación teórica y experimental de pruebas de oximetría
- Figura 10. imagen del tensiómetro digital [35]
- Figura 11. imagen del tensiómetro manual [36]
- Figura 12. Representación gráfica del funcionamiento y conexión del sistema integral.
- Figura 13. imagen de la protoboard a implementar en las pruebas primarias [autores].
- Figura 14. imagen de los cables de conexión del sistema [autores]
- Figura 15. imagen del microcontrolador (Arduino) [autores]
- Figura 16. imagen del sensor para ECG [autores].
- Figura 17. imagen del sensor infrarrojo para toma de temperatura [autores]
- Figura 18. imagen del sensor para la toma de oximetría [autores].
- Figura 19. imagen del Smartwatch para la toma de la presión arterial [autores]
- Figura 20. Imagen del diseño CAD de la Caja de control del sistema. [autores]
- Figura 21. Imagen del diseño CAD del electrodo utilizado para la toma electrocardiográfica del sistema integral. [autores]
- Figura 22. Diseño CAD realizado de la pistola para la toma de temperatura. [autores]
- Figura 23. Diseño CAD del sensor MAX 30102 [autores].
- Figura 24. Imagen del diseño CAD de un SmarthWatch 4 Pro [autores]
- Figura 25. Imagen del diagrama de conexión del sensor AD8232 [autores]
- Figura 26. Imagen del diagrama de conexión del sensor MLX90614 [autores]
- Figura 27. Imagen del diagrama de conexión del sensor MAX 30102 [autores]
- Figura 28. Imagen esquemática de la implementación del sistema de monitoreo [autores]
- Figura 29. Imagen esquemática de la implementación del sistema de monitoreo [autores]
- Figura 30. Esquemático simplificado de la topografía de filtrado usado en el AD8232
- Figura 31. Fotografía del sensor AD8232 (electrocardiograma) [autores]
- Figura 32. Fotografía del sensor MAX 30102 (saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca) [autores]
- Figura 33. Fotografía del Smartwatch (Presión arterial, temperatura.) [autores]

Figura 34. Fotografía del sensor AD8232 finalizado (electrocardiograma) [autores]

Figura 35. Fotografía del sensor MAX 30102 finalizado (saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca) [autores]

Figura 36. Fotografía de la caja de control Finalizado (microcontrolador) [autores]

Figura 37. Fotografía de la planta finalizada (toma de datos) [autores]

Figura 38 Imagen del diagrama implementado en la planta [autores]

Figura 39. Imagen de los rangos de edad de las personas a las cuales se les realizó la toma de datos con la planta [autores].

Figura 40. Imagen de los síntomas presentados por las personas a las cuales se les realizó la toma de datos con la planta [autores].

Figura 41. Imagen del porcentaje de personas que tienen algún problema cardiaco por las personas a las cuales se les realizó la toma de datos con la planta [autores].

Figura 42. Imagen del porcentaje de personas que tienen algún problema de presión arterial [autores].

Figura 43. Imagen del porcentaje de personas que fueron diagnosticadas con COVID-19, por medio de las pruebas realizadas por el estado. [autores].

Figura 44. Imagen del porcentaje y tiempo que las personas que fueron diagnosticadas con COVID-19, por medio de las pruebas realizadas por el estado. [autores].

Figura 45. Imagen del porcentaje de frecuencia cardiaca en las personas analizadas. [autores].

Figura 46. Imagen del porcentaje de saturación de oxígeno en las personas analizadas. [autores].

Figura 47. Imagen del porcentaje de saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca, código unitario para max30102. [autores].

Figura 48. Señal RQS de 60 latidos por minuto generada por el AD8232, graficado y filtrado en Matlab por medio del algoritmo de pan tompkins. [autores].

Figura 49. Imagen del SPO2, ritmo cardíaco y tiempo del segmento QT como forma final del sistema de diagnóstico en la impresión, [autores].

Figura 50. Proyección de cluster del modelo no-fuzzy, sin reglas establecidas. [autores].

Figura 51. Proyección de cluter del modelo fuzzy, con reglas establecidas. [autores].

Figura 52. Clasificación del modelo, sin las reglas establecidas. [autores].

Figura 53. Clasificación del modelo, con las reglas establecidas. [autores].

Figura 54. Diagrama fuzzy para el modelo establecido. [autores].

Figura 55. Gráfica de la función de pertenencia, clasificación de variables pertenecientes a cada una de sus clases. [autores].

Figura 56. Gráfica de la función de pertenencia, relación de síntomas con categorización “no tiene”, “tiene pocos” y “tiene muchos”. [autores].

Figura 57. Gráfica de la función de pertenencia, relación si el usuario tiene antecedentes o no”. [autores].

Figura 58. Gráfica de la función de pertenencia, relación de riesgo al que pertenece. [autores].

Figura 59. Proyección de riesgo entre la variable síntomas y la edad. [autores].

Figura 60. Proyección de riesgo entre la variable historial médico y la edad. [autores].

Figura 61. Proyección de riesgo entre historial médico y síntomas. [autores].

Figura 62. Proyección de riesgo entre las medidas del sensor y la edad. [autores].  
Figura 63. Proyección de riesgo entre la medición de los sensores y los síntomas. [autores].  
Figura 64. Proyección de riesgo entre las mediciones del sensor y la historia clínica. [autores].  
Figura 65. Interfaz diseñada mediante APP designer. [autores].  
Figura 66. CAD del sistema de monitoreo finalizado. [autores].  
Figura 67. CAD del sistema de monitoreo finalizado. [autores].  
Figura 68. CAD del sistema de monitoreo finalizado. [autores].  
Figura 69. Fotografía del sistema de monitoreo finalizado. [autores].  
Figura 70. Datasheet del sensor AD8232.  
Figura 71. Datasheet del sensor MAX 30102.

## **2. LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Síntomas del COVID-19 y porcentajes (World Health Organization)  
Tabla 2. diferencias de los sistemas de inferencia difusa  
Tabla 3. Aportes principales del estado del arte para el desarrollo del proyecto. autores  
Tabla 4. Recursos para la elaboración del proyecto  
Tabla 5. Normativas relacionadas en la construcción del sistema de monitoreo.  
Tabla 6. evaluación por medio del método QFD para la selección de instrumentación y programación para el sistema de monitoreo.  
Tabla 7. Cotización de los sensores a implementar en el sistema de monitoreo.

### 3. INTRODUCCIÓN.

El informe presentado en este libro consiste en el desarrollo de un sistema para monitoreo de COVID-19 en etapas tempranas, donde se realizó una investigación relacionada a la sintomatología, sistemas de detección del virus y métodos de medición de los síntomas presentados en las personas que eran infectadas; esta investigación fue adquirida mediante artículos, revistas e informes científicos referentes a este virus que afectó a la población mundial.

En base a la investigación se monitorea algunos síntomas relevantes presentados en las personas sintomáticas de SARS CoV-2, mediante un sistema integrado de sensores se realiza la adquisición de datos los cuales son registrados en una base de datos junto a algunos datos cualitativos.

Los sensores correspondientes al sistema integrado son puestos en las personas que autorizan el monitoreo de los síntomas, las personas deben encontrarse en un estado de reposo para lograr adquirir los datos con gran exactitud, de esta manera se ingresan los datos al sistema encargado de hacer el análisis.

Una vez es adquirida la información necesaria, es analizada por un modelo de inteligencia artificial (modelo fuzzy), el cual es encargado de dar un porcentaje de posibilidades de contagio de COVID-19, este resultado es analizado y ejecutado mediante reglas establecidas por targets, los cuales han sido adquiridos mediante investigaciones realizadas el proceso de elaboración del proyecto y el entrenamiento del sistema.

### 4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El 31 de diciembre del año 2019, de acuerdo con el reporte de la sociedad internacional de enfermedades infecciosas [1] los organismos de Wuhan (China) reportaron a la Organización Mundial de la Salud (OMS) que 27 individuos fueron diagnosticados con una neumonía con origen desconocido. Tras el primer brote de la enfermedad las autoridades dejaron de informar casos nuevos hasta el 19 de enero donde darían el valor de 49 infectados por COVID-19. Para esa misma fecha también se estaban registrando los primeros casos en otros países.

Las autoridades mundiales sanitarias publicaron que la enfermedad se caracterizaba por presentar los mismos síntomas a la gripe junto con un cuadro de complejidad donde en los casos más graves llegan a dar dificultad para respirar debido a la neumonía, sepsis y un choque séptico que puede conducir a la muerte.

El 30 de enero del 2020 Según la BBC [2] la OMS declara una emergencia sanitaria a la enfermedad debido a su rápida expansión en 15 países. El COVID-19 llega a Colombia el 6 de marzo del 2020, presentándose en una mujer de 19 años en la ciudad de Bogotá, procedente de Italia de acuerdo con el reporte presentado por Minsalud [3], donde pone el primer parte de alerta a las autoridades sanitarias llevando incrementar la seguridad en los aeropuertos, el 10 de marzo a tan solo 4 días de presentarse el primer caso de COVID ya se habían diagnosticado 9 casos en distintas ciudades del país preocupando al gobierno y contemplando la implementación de una cuarentena preventiva a lo largo del territorio Colombiano.

El 20 de marzo, el presidente Ivan Duque reporta 145 casos en varias ciudades lo cual lo lleva a declarar cuarentena preventiva en todo el país, afectando con el cierre parcial de establecimientos públicos y privados de distintos sectores económicos. Colombia presentó un total de 2'319.293, 61.631 fallecidos y 2'216.945 de personas recuperadas, de acuerdo con la revista Portafolio [4]. En esa misma fecha el país ya empezó a presentar distintos déficits en el sector económico a causa de la pandemia, el Dane confirmó [5] que el desempleo del país aumentó al 19.8% respecto a abril con una tasa de desempleo del 9.5%. Bogotá declara el aislamiento obligatorio en varias localidades incluyendo el Kennedy donde presentaba mayor número de contagios en la ciudad.

Los meses siguientes correspondientes a junio y julio marcaron un incremento grave en la curva del COVID-19 donen Colombia reportando el 28 de julio un total de 267.285 casos confirmados, 9.074 fallecidos y 136.690 recuperados. De acuerdo al sitio web de noticias BNN [6], el día viernes 19 de junio fue un día criticado en contra del gobierno nacional debido al día sin IVA decretado para estimular el comercio, donde se reportó una cifra récord de contagios a raíz del mismo de acuerdo con (Bristow, 2020)

a lo largo de julio se reportó en varios departamentos alertas en las unidades médicas en especial en las áreas de cuidado intensivo (UCI) debido al alto número de contagiados

A partir de esa fecha hasta el 16 de junio de 2021, de acuerdo con informe entregado por GOOGLE [7] se han presentado 3.9 millones de casos, 98.746 fallecidos y 3.88 millones de recuperados.



Figuras 1. Índices diarios de contagio en Colombia [7]

Con la alta tasa de contagio que está afectando a Santander y el resto del país, se ha evidenciado que el número de pruebas de diagnóstico son insuficientes, a pesar de que el número de laboratorios ha subido a 64 en total a lo largo del país, donde a comienzos de marzo Colombia solamente tenía capacidad para realizar 200 pruebas diarias, en abril subiendo la capacidad a 2.000, en mayo a 7.000 y con la actual capacidad de 12.000 según el ministerio de salud [3]; se estima que el número real de casos puede llegar a ser de 3 a 5 veces mayor al publicado diariamente por las autoridades debido a la falta disponibilidad de laboratorios para realizar pruebas[11].

En búsqueda de monitorear la propagación del virus y verificar un posible índice para identificar potenciales portadores de la enfermedad, la gobernación departamental y nacional ha implementado algunas estrategias como el análisis y cercos epidemiológicos con las personas cercanas al paciente que ha contraído el virus, logrando tener un mayor control y monitoreo del COVID-19 logrando mitigar su nivel de contagio. Otras alternativas implementadas han sido monitorear la toma de temperatura de las personas en los puestos de control que han instalado en las entradas de las ciudades, municipios, centros comerciales, bancos entre otros; sin embargo, no han sido suficientes, ya que una variación en el valor de la temperatura puede ser generada por otros tipos de virus diferentes al COVID 19 que ingresan al cuerpo [7].

Sistemas implementados para la toma de temperatura corporal como lo son las cámaras termográficas, termómetros digitales, además de la descripción de síntomas en las personas que analizan al momento de efectuar los cercos epidemiológicos no son suficientes, ya que manejan una baja precisión y aún no han sido implementados en Colombia a nivel masivo [9]. Los sistemas de monitoreo nombrados anteriormente, pueden llegar a ser ineficaces ya que no se están teniendo en cuenta otros síntomas y otras variables que puedan tener personas asintomáticas portadoras del virus y por lo tanto no se puede dar un pronóstico acertado de las personas monitoreadas.

## 5. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

De acuerdo con la librería nacional de medicina de los Estados Unidos [8], el COVID-19 en Colombia como país latinoamericano, tropical y con alta desigualdad económica, representa un reto debido a que las instituciones médicas ubicadas en los distintos departamentos suman 5845 camas en total, y el gobierno ha estado poniendo en ejecución la ampliación de 2500 camas UCI con capacidad para tratar casos moderados y graves, de acuerdo con estimaciones, Colombia a lo largo de la pandemia pasara por 550.600 casos severos [8], en términos generales Colombia cuenta aproximadamente con el 14% de disponibilidad de camas lo cual implica el manejo de varias estrategias para evitar el contagio rápido o aplicaciones de control y diagnóstico temprano del COVID-19 en las distintas poblaciones con la finalidad de evitar llevar al colapso de las Unidades de Cuidados Intensivos.

Distintas Alcaldías han decretado sistemas de aislamientos más estrictos que en otras poblaciones, de igual forma los centros de alta aglomeración poblacional se han extralimitado el acceso con el cierre parcial de establecimientos o tomas de medidas de mayor higiene. Centros comerciales, bancos y otros sitios públicos usan la medición de la temperatura con un termómetro infrarrojo como método para permitir el ingreso a el establecimiento, esto puede ser algo erróneo ya que a pesar de que puede controlar un poco el acceso a personas con enfermedades, la temperatura no está estrictamente asociado al COVID-19, varios factores implican el aumento de la temperatura corporal, la actividad física, la temperatura del ambiente, la fiebre entre otros.

Frecuente	Infrecuente (<50%)	Raro (<10%)
Fiebre (44-91%)	Producción de secreciones	Confusión
Tos (57-74%)	Dolor Muscular (11-44%)	Desmayos
Dificultad respiratoria (31-70%)	Diarrea (5-24%)	Manifestaciones en la piel
Perdida de apetito (39-84%)	Dolor de pecho (16-36%)	
Perdida del olfato y del gusto (54-88%)	Nausea/ Vomito (5-19%)	
Fatiga (31-70%)	Mareo(9-17%)	
	Dolor de garganta (11-13%)	
los síntomas entre los adultos mayores (65 años o más) y aquellos con condiciones médicas subyacentes pueden ser atípicos o sutiles; Por ejemplo, es más probable que se presenten sin fiebre ni síntomas respiratorios.		

Tabla 1. Síntomas del COVID-19 y porcentajes (World Health Organization)

La fiebre es un síntoma muy común en las personas sintomáticas debido a que se presenta un margen alto, pero no puede ser una variable discriminante ya que este síntoma se presenta como respuesta inmunológica ante la presencia de distintos virus y cuerpos extraños.

El uso de más síntomas como estudio puede aumentar la tasa de diagnóstico de la enfermedad, para ello es necesario el monitoreo ya que unos síntomas como la dificultad para respirar se analizan de forma temporal al igual que la frecuencia cardíaca.

La inteligencia artificial por medio de sus algoritmos y métodos, facilita el tratamiento de la información del monitoreo de tal modo que, con el entrenamiento, sistema de validación y test adecuado se puede crear un modelo con un porcentaje de acierto mayor a los métodos simples de control de acuerdo con A. Shakagianni [10]

Este proyecto se propone con el fin de contribuir en la mejora de métodos implementados actualmente para el monitoreo de un virus con un índice de contagio alto, según investigaciones elaboradas por epidemiólogos por cada paciente que se haya detectado con el COVID-19 hay una posibilidad alta que existan de 5 a 6 nuevos casos [11] los cuales no han sido diagnosticado.

Teniendo en cuenta esta problemática, se plantea el diseño de un sistema instrumentado el cual monitoree de forma continua los parámetros fisiológicos que son importantes a tener en cuenta con los pacientes sintomáticos de COVID-19, estos parámetros son: ECG (Electrocardiograma), saturación del oxígeno, presión arterial, temperatura corporal, gasto cardíaco por termodilución. Los datos arrojados por el dispositivo serán subidos a una base de datos la cual se encargará de clasificar a las personas según corresponda, teniendo en cuenta estas dos variables medidas se espera lograr una mayor efectividad para monitorear las personas potencialmente portadoras del virus.

## **6. MARCO TEÓRICO.**

### **6.1. ¿Qué es la COVID-19?**

La OMS [1] Cataloga la COVID-19 como una enfermedad de alta infectividad perteneciente específicamente por la familia del coronavirus, fue descubierta a finales del 2019 en la ciudad de Wuhan (China) donde se presentaron los primeros casos. En la actualidad el virus ha provocado una pandemia que ha afectado a la mayoría de los países en el mundo.

### **6.2. ¿Síntomas de la COVID-19?**

Los síntomas más frecuentes en personas sintomáticas del virus son la fiebre, la tos seca y el cansancio. El infectado puede sufrir otras afecciones como dolores generales, dolor de cabeza, dolor de garganta, diarrea, pérdida del gusto o el olfato y otros síntomas variantes en el individuo con respecto a la información recogida por Y Tang [20].

Alrededor del 80% de los infectados se recuperan sin intervención médica, pero el porcentaje restante sufre síntomas graves donde experimentarían problemas respiratorios y tienen un porcentaje alto de morir. La población más afectada por la COVID-19 es la tercera edad [1].

### **6.3. ¿Cómo se propaga la COVID-19?**

El virus se propaga muy fácilmente de persona en persona por medio de gotículas que son expelidas por las fosas nasales o la boca del infectado, las gotículas se caracterizan porque no pueden viajar muy lejos debido a su peso, pero al quedar en el ambiente es muy fácil que las personas que se desplacen en estos lugares adquieren el virus, aún más cuando las personas no usan los métodos de protección necesarios. [1]

#### 6.4. Formas de diagnóstico de la COVID-19

De acuerdo con Y, Tang [20], en la comunidad médica los métodos más usados para el diagnóstico de la COVID-19 en una persona consta de tres tipos de test con el cual ofrece una confiabilidad alta con respecto a otras formas experimentales, estos tipos de test son:

- **PCR**

La prueba molecular o PCR es un test realizado a través de una muestra de mucosa o saliva en la que se analiza el ARN del virus con el fin de comprobar su presencia en el infectado. La prueba puede durar unas horas en el análisis, pero el porcentaje de sensibilidad que presenta es del 90%. Hasta el momento es el test más confiable, pero ofrece una demora en el procesamiento de pruebas por lo cual es necesario usar estrategias de utilización de pruebas más rápidas como primer filtro. El test se realiza en laboratorio.

- **Test rápido- Prueba Antígeno**

La prueba de antígeno es un test realizado de forma muy similar al PCR debido a que se toma a través de mucosa o saliva del paciente, este se diferencia del PCR ya que se analiza la envoltura del virus en búsqueda de proteínas que caracterizan la COVID-19. El test ofrece una ayuda muy importante en el primer parte de diagnóstico masivo de personas gracias a que los resultados se obtienen en pocos minutos, pero presenta una falencia en la cual la sensibilidad es aproximadamente sobre el 70%. El test se realiza en laboratorio.

- **Test rápido- Prueba Serológica**

El test rápido de prueba serológica consiste en la toma de sangre del paciente a analizar, con el cual se estudia la presencia de anticuerpos IgM y IgG por medio de un dispositivo en el cual la sangre actúa con un reactivo, este test se puede realizar aproximadamente 7 días después de que el afectado ha contraído el virus, presenta una alta sensibilidad, pero no se puede definir si el usuario ha pasado por el coronavirus o está en la etapa de la enfermedad. Las instituciones médicas aplican este método como un primer filtro y optimización del tratamiento de pruebas. Una de las ventajas que presenta este método de diagnóstico es la facilidad de realización, el test se puede realizar domiciliariamente, aunque necesita de un profesional de la salud para su ejecución puede evitar aumentarse la tasa de contagio.

#### 6.5. ¿Qué es monitoreo?

El monitoreo utilizado en medicina es la observación y estudio de la enfermedad a través del tiempo. Esta forma de observación médica se puede llevar por medio de distintos métodos. Uno de los métodos es el análisis continuo de los parámetros a observar donde por lo general se utiliza un monitor de signos vitales, otra de los métodos es la revisión periódica de otros parámetros médicos dependiendo la afección presentada por el paciente.

#### 6.6. ¿Inteligencia artificial en la medicina?

La Inteligencia artificial ha dado la solución a muchos problemas de análisis en la cotidianidad, pero este no ha sido uno de los impactos mayores que ha podido ofrecer, la aplicación para el diagnóstico temprano y clasificación de enfermedades por distinta técnicas son uno de los aportes más prometedores de esta ciencia ya que muchas veces, los médicos para dar parte frente al diagnóstico de una enfermedad se deben basar en el empirismo y algunos casos menos frecuentes en la aleatoriedad, eso da como resultado arriesgar muchas vidas. La inteligencia artificial promete dar con porcentajes muy altos de clasificación y una gran respuesta a todas estas necesidades que la medicina presenta.



## 6.7. El modelo fuzzy o difuso

El modelo difuso o Fuzzy es un modelado interpretativo el cual desarrolla modelos estructurales de sistemas complejos y difusos, es una gran herramienta para modelar sistemas no lineales complejos [49]; este método discriminante difuso, hace uso de la estrategia de aprendizaje supervisado y utiliza la distancia euclidiana como medida de disimilitud, Las fórmulas que se proponen permiten resolver problemas de discriminación y clasificación de objetos en categorías que no pueden ser definidas con precisión pues tienen algún grado de solapamiento. [50].

### 6.7.1. Teoría de la lógica difusa

Los conjuntos difusos son caracterizados por ser valores continuos donde a diferencia de las lógicas ordinarias no cuentan con un claro límite que pueda diferenciar a una clase de otra. Los objetos de las lógicas ordinarias solamente pueden pertenecer a una clase mientras que un objeto regido bajo una clasificación por lógica difusa, tendrá cierto porcentaje de pertenencia al permanecer en cierta clase por medio de un 1 o un 0; el punto intermedio de pertenencia de igual forma puede ser clasificado por la siguiente ecuación.

En la ecuación se puede evidenciar que  $\mu_A$  representa una función de pertenencia donde A es la etiqueta x es el dominio, y X es una colección de objetos.

$$A = (x, \mu_A) / x \in X$$

*Ecuación 1. Representación de equipo difuso []*

En los últimos años, el número y la variedad de aplicaciones de la lógica difusa han aumentado considerablemente, las aplicaciones de aplicaciones van desde productos de consumo como cámaras, videocámaras, lavadoras y hornos de microondas hasta el control de procesos industriales, la instrumentación médica, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones y la selección de carteras.

La lógica difusa tiene dos significados diferentes en un sentido estricto, la lógica difusa es un sistema lógico, que es una extensión de la lógica multivaluada, sin embargo, en un sentido más amplio, la lógica difusa (FL) es casi un sinónimo de la teoría de los conjuntos difusos, una teoría que se refiere a clases de objetos sin límites nítidos y claramente definidos.

La lógica difusa se aproxima al razonamiento humano y hace un buen trabajo al equilibrar el compromiso entre precisión y significado. Por ejemplo, cuando se advierte a alguien de que un objeto está cayendo hacia él, no es necesario ser preciso sobre la masa y la velocidad exactas. [54]

### 6.7.2. ¿Por qué utilizar la lógica difusa?

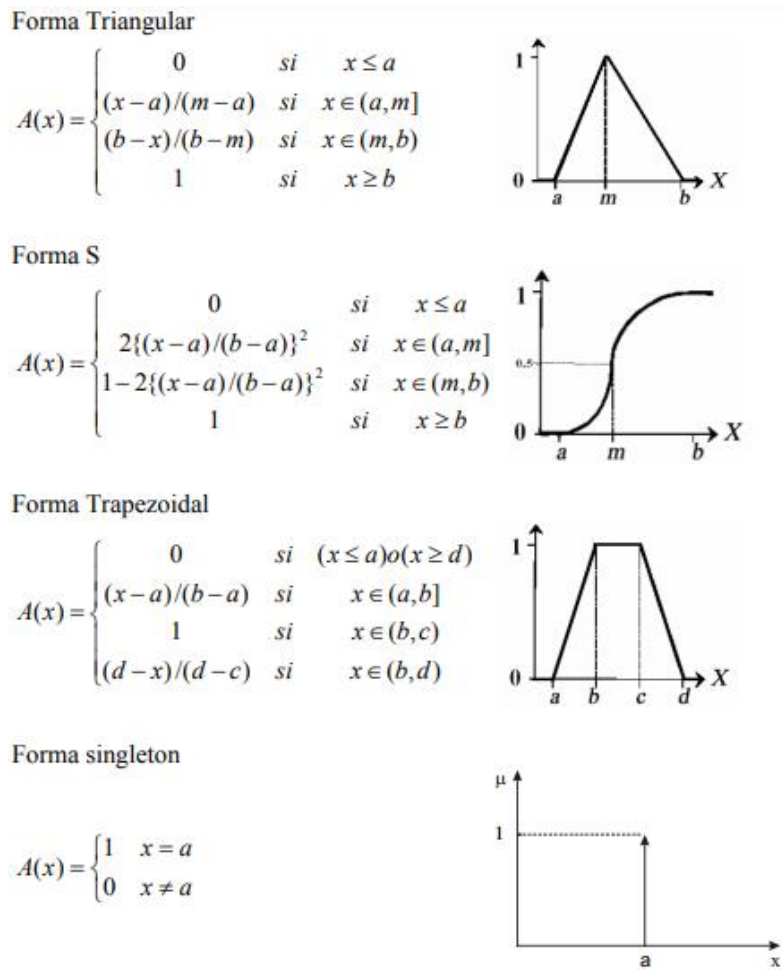
La lógica difusa es conceptualmente fácil de entender los conceptos matemáticos detrás del razonamiento difuso son muy simples, la lógica difusa es un enfoque más intuitivo, sin la complejidad que conlleva; también es flexible con cualquier sistema, es fácil añadir más funcionalidad sin tener que empezar de nuevo desde cero, por otra parte tolera los datos imprecisos, todo es impreciso si se mira con atención, el razonamiento difuso incorpora esta comprensión en el proceso en lugar de añadirlo al final. [54]

### 6.7.3. ¿Cómo funciona la lógica difusa?

En la lógica difusa, la verdad de cualquier afirmación se convierte en una cuestión de grado, cualquier afirmación puede ser difusa. La mayor ventaja que ofrece el razonamiento difuso es la posibilidad de responder a una pregunta con un "sí" o "no", el razonamiento en lógica difusa no es más que una generalización de la conocida lógica sí-no (booleana). Si se da a verdadero el valor numérico de 1 y a falso el valor numérico de 0, este valor indica que la lógica difusa también permite valores intermedios como 0,2 y 0,7453.[54]

### 6.7.4. Funciones de membresía

Las funciones de membresía son a nivel gráfico y matemático la representación de pertenencia que tiene un objeto sobre una etiqueta. Las funciones de membresía pueden ser categorizadas por el tipo de forma de la función en la cual está basada, entre las más comunes están representadas en la siguiente imagen [56].



Ecuación 2. Representación de límites de las distintas funciones de pertenencia [56]

### 6.7.5. Sistemas de inferencia difusa de Mamdani.

La inferencia difusa de Mamdani se introdujo por primera vez como un método para crear un sistema de control sintetizando un conjunto de reglas de control lingüísticas obtenidas de operadores humanos experimentados, en un sistema Mamdani la salida de cada regla es un

conjunto difuso, dado que los sistemas Mamdani tienen bases de reglas más intuitivas y fáciles de entender y la salida del sistema es un porcentaje de cada uno de los conjuntos obtenidos, son muy adecuados para aplicaciones de sistemas expertos en las que las reglas se crean a partir del conocimiento humano experto, como por ejemplo el diagnóstico médico. [54]

### 6.7.6. Sistemas de inferencia difusa de Sugeno

Utiliza funciones de pertenencia de salida que son constantes o una función lineal de los valores de entrada, el proceso de defuzzificación de un sistema Sugeno es más eficiente desde el punto de vista computacional que el de un sistema Mamdani, ya que utiliza una media ponderada o una suma ponderada de algunos puntos de datos en lugar de calcular un centroide de un área bidimensional.

Debido a la dependencia lineal de cada regla en las variables de entrada, el método de Sugeno es ideal para actuar como supervisor interpolador de múltiples controladores lineales que se van a aplicar, respectivamente, a diferentes condiciones de funcionamiento de un sistema dinámico no lineal. [54]

Sistema de inferencia difusa		Ventajas
Mamdani		Intuitivo; Bien adaptado a la entrada humana; Base de reglas más interpretable; Tienen una amplia aceptación
Sugeno		Eficiencia computacional; Funcionan bien con técnicas lineales como el control PID; Funcionan bien con técnicas de optimización y adaptación; Garantizan la continuidad de la superficie de salida; Se adaptan bien al análisis matemático

Tabla 2. diferencias de los sistemas de inferencia difusa.

### 6.7.7. Defusificación

La defusificación es un proceso en el que permite reinvertir el desarrollo de un grupo difuso a valor real. Este proceso es importante al momento de trabajar con la lógica difusa ya que los resultados que da son en términos difusos pero el dato de salida debe ser real, donde pueda ser correctamente relacionado con el valor inicial [56].

Actualmente hay varias técnicas muy usadas donde cada una ofrece un resultado distinto, pero entre los que más uso tienen y mayor confiabilidad ofrecen con respecto a los resultados y robustez del coste computacional son la defusificación por centro de gravedad y la defusificación por centro de área.

$$y_d = \frac{\int y \mu_Y(y) dy}{\int \mu_Y(y) dy}$$

Ecuación 3. Defusificación por centro de gravedad [56]

En la función anteriormente mencionada se puede detallar que  $\mu_y$  representa la función del conjunto de salida y  $s$  es el rango de integración al cual a operar

$$y_d = \frac{\sum_{l=1}^R \delta_l \mu_{B_l}(\bar{x})}{\sum_{l=1}^R \mu_{B_l}(\bar{x})}$$

*Ecuación 4. Desfusificación por centro de área [56]*

### 6.7.8. APP Designer.

App Designer es un entorno de desarrollo interactivo para diseñar el diseño de una aplicación y programar su comportamiento. Ofrece una versión totalmente integrada del editor de MATLAB y un amplio conjunto de componentes de interfaz de usuario interactivos. También ofrece un gestor de diseño de cuadrícula para organizar la interfaz de usuario y opciones de reflujo automático para que la aplicación detecte y responda a los cambios de tamaño de la pantalla. Le permite distribuir aplicaciones empaquetándolas en archivos de instalación directamente desde la barra de herramientas de App Designer. [55]

### 6.8. Vacunas contra el COVID-19

En el 2021 cerca de 10 diferentes tipos de vacunas han sido aprobadas por la Organización Mundial de la Salud (WHO) donde 5 han sido aprobadas y ordenadas por el gobierno nacional. 4 de las cinco vacunas cuenta con una aplicación de dos 2 dosis donde la vacuna Janssen solo requiere 1. La vacuna de mayor confiabilidad a nivel mundial es la Tozinameran desarrollada por Pfizer, teniendo una efectividad de 95%. Debido a la gran demanda global de copias los países tienen que pasar por meses de espera [51]

### 6.9. Plan de vacunación colombiano

El plan de vacunación colombiano, diseñado y puesto en marcha por el gobierno nacional, busca inmunizar a casi la totalidad de la población en el territorio. Este proyecto fue implementado el 17 de febrero cuando llegó el primer lote de 50.000 dosis solicitadas por la farmacéutica Pfizer.

El proyecto consta de 2 fases y ambas de 5 etapas en la cual ya está en ejecución hasta la 3ra etapa orientado a personas de 50 a 59 años sin morbilidad. la proyección del año 2021 en aplicación de primeras y segundas dosis es lograr dar 61.5 millones a la población cumpliendo la inmunización de rebaño y así contrarrestar el virus. [52]

## 7. ESTADO DEL ARTE.

A partir del brote de esta pandemia a nivel mundial se han realizado una gran cantidad de investigaciones referente al crecimiento de la misma, maneras de poder diagnosticarla, de monitorearla y poder controlarla.

Se realizó una recopilación y clasificación de los trabajos que presentan mayor importancia frente al tema central de este proyecto. Cronológicamente se presentan los detalles de las investigaciones y proyectos realizados, descubriéndose a continuación:

El 5 de Junio del año 2020, Marcus., et al [12] al en su artículo analizan la morbilidad y mortalidad sustancial que lleva la pandemia desde su brote desde diciembre del 2019 en Wuhan China, han tomado las precauciones determinada por cada una de las naciones para lograr la contención y lograr bajar el alto nivel de contagio del virus, por otra parte ellos empiezan a

monitorear y analizar los casos activos en un lapso de 7 semanas en una base militar de aproximadamente 10.579 aprendices y de esta manera evitar el índice de contagio.

Para el 20 de marzo del 2020 Mahapatra, S, et al **[13]** Elabora un artículo en el que indica que un estudio elaborado por la OMS determina que uno de los principales síntomas que presentaban las personas asintomáticas portadoras del virus era síndrome de respiración agudo el cual estaba siendo tratado con un tratamiento antiviral el cual contrarresta los síntomas presentados, por otra parte nombra que una de las maneras de poder controlar la alta elevación de contagios por COVID-19 era la realización de pruebas a las personas al momento de presentar alguna sintomatología referente al virus, pues de esta manera los tratamientos aplicados tenían una mayor efectividad en los pacientes, algunos de los métodos utilizados para la detección del virus es por medio de la detección molecular en oligonucleótidos, los inmuno diagnósticos de punto de atención detección radiográfica y los prototipos biosensores recientemente desarrollados que tienen viabilidad comercial y de esta manera tener un mayor control de las personas infectadas.

De igual manera en el año 2020 Ronal, LT., et al **[14]** realizaron un estudio en el cual encuestaron un total de 145 personas con COVID-19 positivo un 175 personas con Covid-19 negativo, mediante esta prueba ellos determinaron que la sintomatología que presentaban estos pacientes era la pérdida de olfato, el gusto y fiebre, el 75% de los pacientes que tenían esta sintomatología obtuvieron positiva la prueba a COVID-19, teniendo en cuenta estas dos variables, desarrollaron un modelo predictivo para diagnosticar si las personas eran portadoras del virus o no.

Por otra parte Huang, Z. et al. **[15]** en su artículo llamado Ultra-sensitive and high-throughput CRISPR-powered COVID-19 diagnosis hablan sobre una investigación en el cual expresan su preocupación con las personas asintomáticas portadoras del virus, ya que por cada persona asintomática puede infectar alrededor de 5 o 6 personas en promedio, bajo los estudios realizados, decidieron crear un método de diagnóstico denominado CRISPR un método sensible y de alto rendimiento pues su análisis demora aproximadamente 50 min, la eficacia que tiene este tipo de análisis de pruebas es muy similar al de PCR por hisopado.

En el informe realizado por Fernando Mejía, et al **[16]** durante el mes de Junio del 2020 el cual titularon Características clínicas y factores asociados a mortalidad en pacientes adultos hospitalizados por COVID - 19 en un hospital público de Lima, Perú, dan a conocer su estudio de monitoreo con un grupo de personas portadoras y sospechosos de portadores del virus, en el cual monitorean algunos síntomas provocados en los pacientes como lo son la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y saturación de oxígeno, teniendo en cuenta también algunas enfermedades y edad de los pacientes que estaban siendo atendidos, en su estudio determinaron que las personas que tenían un nivel de saturación de oxígeno menor del 90% se asocian a un cociente de muerte del 1.93 % y los pacientes que tienen una saturación de oxígeno mayor al 90% se asocian a un cociente de muerte del 9.13 %,por otra parte analizan que las personas mayores a los 60 años de edad que fueron monitoreadas elevaban su riesgo de muerte adicional del 7.44%.

En un artículo realizado por Tonatiuh Barrientos-Gutiérrez, et al. **[17]** en el que se enfocan en cómo están monitoreando posibles casos nuevos de covid-19 en México, Holanda y otros países a nivel mundial, el cual consiste en analizar todas las pruebas y donaciones de sangre que se realizan en las clínicas, hospitales y laboratorios, de esta manera lograr detectar posibles casos a temprana edad de contagio la detección de casos en personas asintomáticos, pues estos casos asintomáticos tienen un alto índice de transmisión del virus, otra metodología de monitoreo que indican ellos en su estudio es la toma de pruebas en las aguas residuales en las plantas de tratamiento de las localidades y ciudades de Holanda, pues unas de las maneras en las cuales el cuerpo elimina el virus es por la materia fecal y de esta manera pueden tener un balance y un monitoreo de los posibles casos activos en la comunidad que se analiza.

En Marzo del año 2020 en el informe realizado por Sandra Huenchuan nombrado COVID -19 Recomendaciones generales para la atención a personas mayores desde una perspectiva de derechos humanos, indica algunos síntomas presentados en los pacientes los cuales son: tos y dificultad para respirar, fiebre sobre 38 o mayor a esta cifra y en algunos casos síntomas

respiratorios agudos, de los cuales se intentan monitorear con mayor frecuencia principalmente la temperatura en este sector de personas que son los mayores a 60 de edad pues ellos son los más vulnerables al adquirir el virus y una manera de monitorearlos es tomándoles la temperatura en los lugares que asisten con frecuencia las personas.[18]

Una de las formas de monitoreo implementadas en los principales controles en ciudades, municipios, centros de comercio entre otros, ha sido las cámaras termográficas, en un artículo elaborado por Scherf L, et al, en el cual describe cómo estas cámaras termográficas son eficientes al momento de tomar un registro de temperatura más eficiente y más rápido que la toma de temperaturas con termómetros, pues es capaz de detectar con una buena exactitud (90%) la temperatura corporal estos sistemas son elaborados con sensores de temperatura infrarrojos, la ventajas que presentan estos sistemas es que monitorea un grupo de personas sin tener un contacto directo con ellos, lo cual en estos momentos en el que el virus tiene un alto nivel de contagio es lo más importante, pues se estaría cumpliendo el distanciamiento recomendado por la OMS.[20].

Según los estudios realizados por el colegio americano de cardiología en personas mayores de 18 años en diferentes poblaciones en alrededor de 200 países con la finalidad de buscar una medida media correspondiente a la presión arterial de las personas adultas (a partir de los 18 años), determinaron una presión arterial media en hombres y mujeres, estas mediciones fueron: para hombres la presión arterial media es de 127/78,7 y para las mujeres 122,3/76,7, aunque se estipula un rango promedio entre 120 o 140/ 80 o 90 estos datos tienen un intervalo de acierto de un 95%, los estudios fueron elaborados a una población de alrededor de 19,1 millones de personas. [43].

La frecuencia cardíaca (FC) humana es un rasgo cardiovascular integrado que ha adquirido importancia epidemiológica porque puede ser predictivo de mortalidad prematura (tanto cardiovascular como no cardiovascular) el colegio americano de cardiología mediante un estudio elaborado en un conjunto poblacional de alrededor de 2.500 personas, las cuales fueron analizadas en reposo y en un estrés de temperatura (frío), en este estudio se determinó que las personas que estaban en reposo lograban tener una frecuencia cardiaca media de 56 lpm, al momento de empezar a generar estrés en estas personas se empezaba a elevar la frecuencia cardiaca llegando alrededor de 70 lpm, las personas eran sometidas hasta lograr este tope de frecuencia cardiaca, ya que era el valor máximo al que sometían las personas sin tener ningún riesgo. [44].

El intervalo QT es un frecuente de la onda del electrocardiograma, el cual es fundamental al momento de detectar, inconsistencias o fallas y posibles enfermedades a nivel cardiaco, un estudio dirigido por el colegio americano de cardiología en personas jóvenes y adultas lograron determinar una medida media de este fragmento de onda QT, en el cual se determinó que este valor debe estar entre 400 ms y 430 ms, aunque en las mujeres este valor tiende a ser un poco más elevado, llegando hasta 470 ms este estudio fue elaborado en alrededor de 10.800 personas. [45].

La sociedad de neumología pediátrica española, por medio de sus investigaciones y estudios que han elaborado al pasar de los años han sacado un lectura promedio en la saturación de oxígeno en las personas que han pasado por esta entidad, los valores promedios que debe tener una persona en su saturación de oxígeno es de 97%, aunque hay casos que las personas pueden llegar a una saturación de 96% sin tener problemas, al momento que las personas están dormidas se han registrado saturaciones de oxígenos estables en 93%, el rango normal de estas mediciones están entre 96% y 100%,[46]. cuando estos valores disminuyen alrededor del 92 % es necesario empezar aplicar oxígeno al paciente y si sigue disminuyendo al punto de llegar al 70% se requiere intubación. [47].

La federación colombiana de infectología por medio de sus artículos publicados enfocados a los síntomas de COVID-19, determina que las personas que llegan a superar los 37,7 grados centígrados, son personas que se clasifican fiebre con indicio a una alta temperatura; esta alta temperatura es una reacción del sistema inmune para lograr eliminar cualquier tipo de virus o

bacterias que hayan ingresado al cuerpo, la temperatura corporal promedio se encuentra en un rango de 35,5 a 37,5 grados centígrados. [48].

### 7.1. Tabla resumen del estado del arte

Respecto a la información recolectada se pudo documentar el siguiente estado del arte

Referencia	Técnica de desarrollo	Principales contribuciones
[12]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de morbilidad y mortalidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Métodos de monitoreo implementados en una base militar.</li> </ul>
[13]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis sintomatología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios de los principales síntomas como lo es el síndrome de respiración aguda presentados en las personas asintomáticas portadoras del virus.</li> </ul>
[14]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis Sintomatología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis a un grupo de personas asintomáticas portadoras del virus, de las cuales el 75% de ellas presentan pérdida del olfato, pérdida del gusto y fiebre.</li> </ul>
[15]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Análisis de personas asintomáticas portadoras del virus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elaboración de un método de diagnóstico con un resultado similar al resultado arrojado por la prueba PCR por hisopado.</li> </ul>
[16]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Características y factores asociados a la mortalidad por COVID-19</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo en los pacientes adultos portadores del virus, teniendo en cuenta variables como: la frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria y saturación de oxígeno.</li> </ul>
[17]	<ul style="list-style-type: none"> <li>Métodos de monitoreo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoreo implementado en hospitales y laboratorios clínicos, el cual consiste en hacerle la prueba de COVID-19 a todas las personas donantes de sangre y las que necesitan un análisis de laboratorio, de esta manera evitar la propagación del virus.</li> </ul>

[18]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo en personas de edad avanzada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo de los síntomas presentados en personas de la tercera edad en el cual empiezan a tomar la fiebre como uno de los síntomas principales presentados en este sector de la comunidad.</li> </ul>
[20]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo de temperatura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitoreo por medio de cámaras termográficas para la toma de temperatura</li> </ul>

*Tabla 3. Aportes principales del estado del arte para el desarrollo del proyecto. autores*

## 8. OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar un sistema integral de monitoreo para la detección oportuna de COVID-19.

## 9. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Revisar el estado del arte, documentación e información relacionada al monitoreo y al diagnóstico del COVID-19 enfatizando en los síntomas, variables medidas y técnicas utilizadas.
2. Diseñar un sistema integral de monitoreo, recolección y procesamiento de datos de bajo costo capaz de medir variables corporales, así como la interfaz HMI para monitorear las variables seleccionadas para realizar la detección de COVID-19. (Etapa: Diseño, recolección de datos, interfaz y analítica de datos).
3. Construir el sistema teniendo en cuenta las variables corporales seleccionadas para monitorear a las personas, verificando el correcto funcionamiento de los sensores implementados (Etapa: "Calibración y Setup").
4. Implementar un algoritmo de Machine Learning que permita la detección y clasificación de grupos (Alto, Medio, Bajo riesgo) a partir de las muestras recolectadas y/o set de datos disponibles en la web de grupos portadores de COVID-19, con la aprobación de un especialista para la definición targets de cada grupo. (Etapa: Programación de algoritmo de Machine Learning).

## 10. RESULTADOS ESPERADOS.

1. Sistema instrumental para el monitoreo del COVID-19.
2. Manual de funcionamiento con documentación con las especificaciones, normas, planos y códigos correspondientes del sistema diseñado.
3. Base de datos a partir de las muestras recolectadas.
4. Algoritmo para la detección y clasificación de grupos potenciales del COVID-19.
5. Sistema integral para el monitoreo, diagnóstico de grupos potenciales del COVID-19.



## 11. DESARROLLO Y DISEÑOS.

### 11.1. Modelo Devdas Shetty

La metodología de trabajo en el que se decide trabajar, es el modelo Devdas Shetty, en el cual se describen la secuencia, la categorización en etapas de desarrollo y de los Sub-pasos importantes para su desarrollo. [21]

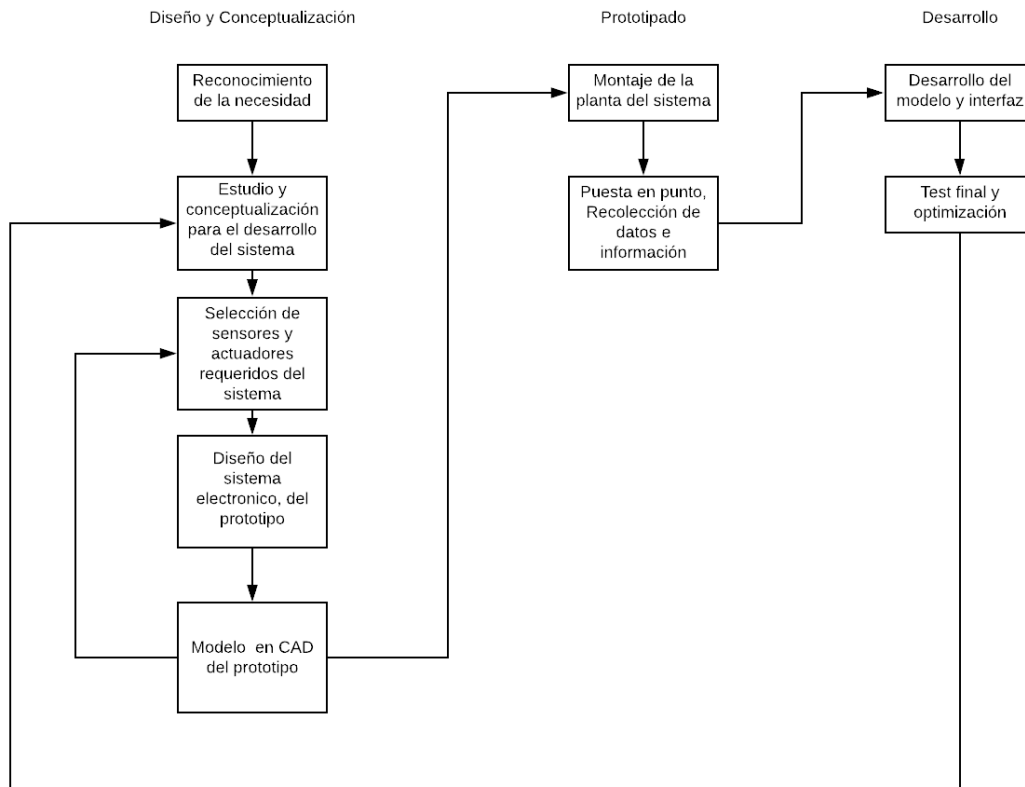


Figura 2. Metodología Devdas Shetty

11.2. **Recursos.**

RUBROS		Valor Unitario	Cantidad	Total
Equipos y Software	Equipos de computo	\$ 2,000,000	\$ 2	\$ 4,000,000
	software necesarias	\$ 5,040,000	\$ 1	\$ 5,040,000
Viajes y salidas de campo	Viajes	\$ -	\$ -	\$ -
	Salidas de campo	\$ 7,000	\$ 14	\$ 98,000
Materiales y suministros	temperatura	\$ 32,000	\$ 1	\$ 32,000
	Sensor ECG	\$ 35,500	\$ 1	\$ 35,500
	Sensor Oximetro	\$ 44,000	\$ 1	\$ 44,000
	Placa de desarrollo	\$ 80,000	\$ 1	\$ 80,000
	Otros	\$ 30,000	\$ 1	\$ 30,000
Materiales bibográficos	Scopus	\$ 51,000	\$ 2	\$ 102,000
	IEEE	\$ 567,000	\$ 2	\$ 1,134,000
Servicios tecnicos	Manufactura aditiva	\$ 50,000	\$ 1	\$ 50,000
	Otros	\$ 30,000	\$ 1	\$ 30,000
Otros	Presupuesto extra	\$ 100,000	\$ 1	\$ 100,000
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 10,775,500</b>

Tabla 4. Recursos para la elaboración del proyecto

11.3. **Normativa para la elaboración de productos enfatizados en la salud humana.**

Nombre de la norma	Expedida por	Año de expedición
IEC 60601-1-1 (1988-12). Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety	IEC	1988
ANSI/AAMI EC12-1991. 1991. Disposable ECG electrodes. 3rd edition	ANSI/AAMI	1991
IEC 60601-1-am1 (1991-11). 1991. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Amendment 1	IEC	1988
ANSI/AAMI EC11R-1991. 1991 (reaffirmed 2001). Diagnostic electrocardiographic devices.	ANSI/AAMI	1991

IEC 60601-1-1 (1992-06). 1992. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Collateral standard: safety requirements for medical electrical systems	IEC	1992
IEC 60601-2-25 (1993-03). 1993. Medical electrical equipment-part 2: particular requirements for the safety of electrocardiographs.	IEC	1993
ANSI/AAMI EC53-RC01.1995. ECG cables and leadwires.	ANSI/AAMI	1995
IEC 60601-1-1-am1 (1995-11). 1995. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Section 1. Collateral standard: safety requirements for medical electrical systems. Amendment 1.	IEC	1995
IEC 60601-1-am2 (1995-03). 1995. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Amendment 2.	IEC	1995
IEC 60601-2-25-am1 (1999-05). 1999. Medical electrical equipment-part 2: particular requirements for the safety of electrocardiographs. Amendment 1.	IEC	1999
IEC 60601-1-2 (2001-09). 2001. Medical electrical equipment — part 1: general requirements for safety. Section 2. Collateral standard: electromagnetic compatibility — requirements and tests.	IEC	2001
Resolución número 434 -Por la cual se dictan normas para la evaluación e importación de tecnologías biomédicas, se define las de portación controlada y se dictan otras disposiciones-	Ministerio de salud	de 2005

Resolución número 2535 -Desarrollar los lineamientos de identificación y clasificación de medicamentos, dispositivos médicos y tecnologías en salud que faciliten la vigilancia sanitaria y epidemiológica	Ministerio de salud	de 2013
Resolución número 4816-El objeto de la presente resolución es reglamentar el Programa Nacional de Tecnovigilancia a fin de fortalecer la protección de la salud y la seguridad disposiciones se aplicarán a los fabricantes e importadores de dispositivos médicos de uso en humanos- de los pacientes, operadores y todas aquellas personas que se vean implicadas directa o indirectamente en la utilización de dispositivos médicos	Ministerio de salud	de 2008
Decreto 4725 -Por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano	Ministerio de salud	de 2005

*Tabla 5. Normativas relacionadas en la construcción del sistema de monitoreo.*

#### 11.4. **Sistemas de medición.**

##### 11.4.1.1. **Electrocardiograma.**

En la medicina existe un área que se enfoca en el estudio del corazón, para ello requieren tener herramientas que puedan dar información del órgano, por medio de la electrocardiografía se puede obtener esta información con el uso de electrodos en partes específicas en el cuerpo y los resultados muestran a través de una representación gráfica temporal de la actividad eléctrica del corazón.

El corazón en el cuerpo humano representa la principal parte del sistema circulatorio teniendo como función principal el bombeo de la sangre a lo largo del cuerpo, se ubica en la caja torácica con un leve posicionamiento hacia el lado izquierdo y se compone de 4 cavidades: Aurícula izquierda, Aurícula derecha, Ventrículo izquierdo y Ventrículo derecho.

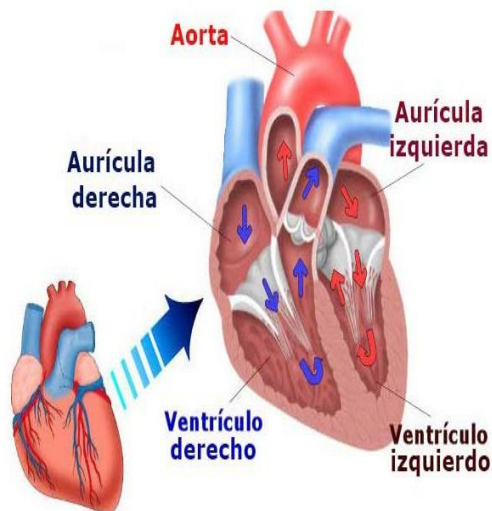


Figura 3. Partes del corazón [22]

#### 11.4.1.2. Lectura electrocardiográfica.

La lectura eléctrica del corazón es posible analizar sin tener contacto directo gracias a que los fluidos corporales presentan una alta conductividad. La señal que se obtiene, funciona con una amplitud de voltaje de 0.1 a 5mV y la frecuencia es de 300Hz.

La gráfica del electrocardiograma se compone por distintas ondas en las cuales son denominadas por P, Q, R, S, T y U. De acuerdo con W. Enthoven[23].

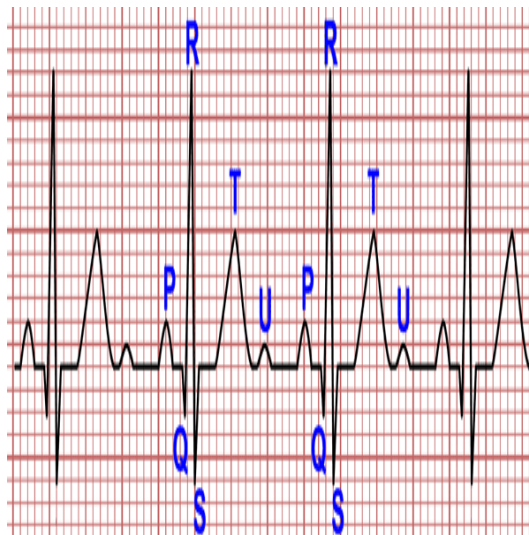


Figura 4. Gráfica que conforma un ECG

Según K.E Barret y asociados [25] y la revista de cardiología de Méndez editores [24], En las distintas partes que componen el electrocardiograma se tiene en cuenta las siguientes especificaciones:

- La onda P representa la activación auricular del corazón, su voltaje no pasa de los 0.25mV
- Los intervalos PR y QRS representan la despolarización auricular y ventricular del corazón.

- El intervalo QT abarca la despolarización ventricular y su repolarización y esta varía de forma inversa a la frecuencia cardíaca.
- El intervalo ST representa la repolarización ventricular durante la onda.
- La onda U se desconoce porque es producida, pero si se presenta de forma inversa se puede asociar a fallos cardíacos.

La gráfica puede ser analizada de forma distinta dependiendo la posición de los electrodos en el cuerpo, donde ponerlos se puede realizar en base al análisis vertical por medio de las Derivaciones y el triángulo de Einthoven.

#### 11.4.1.3. ECG y el COVID-19.

El COVID-19 se caracteriza por afectar principalmente las funciones respiratorias, a pesar de que el corazón no tiene mucha participación directa en el proceso de la oxigenación en la sangre, es el que realiza la circulación adicionalmente el corazón está directamente conectado al corazón por medio de las dos arterias pulmonares donde se realiza el proceso de oxigenación sanguínea [26].

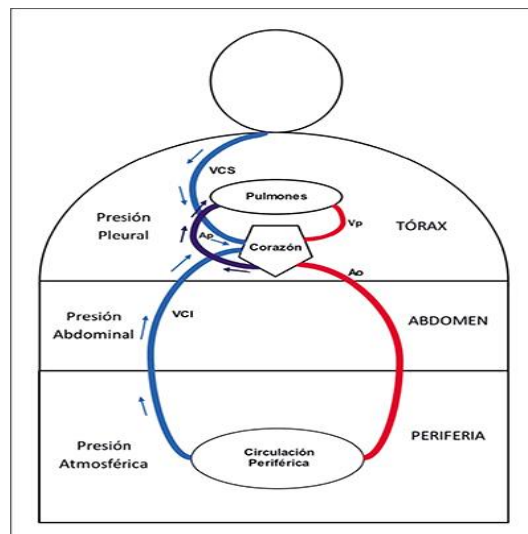


Figura 5. Circulación sanguínea en el cuerpo.[27]

Debido a que ambas funciones de estos órganos se encuentran asociados diversos estudios demuestran que el COVID-19 realmente afecta al corazón. La sociedad interamericana de cardiología sugiere que la prolongación del segmento QT puede ser causal de las arritmias ocasionadas por el virus.

La frecuencia cardíaca,[28] otra variable importante que se puede obtener del ECG puede también mostrar irregularidades en el cuerpo y se puede asociar al COVID-19 si se logra demostrar una relación fuerte con los otros síntomas.

#### 11.4.1.4. Electrocardiograma en el brazo.

Estudios han logrado demostrar que es posible la realización de ECG en el antebrazo de forma precisa, con electrodos en seco y poco invasiva. A pesar de que la amplitud se ve afectado, hay técnicas que pueden mejorar la medición de este, de acuerdo al estudio realizado por Angel Villegas y colegas [38], ubican los electrodos en la parte transversal y axial del antebrazo logrando una señal clara,

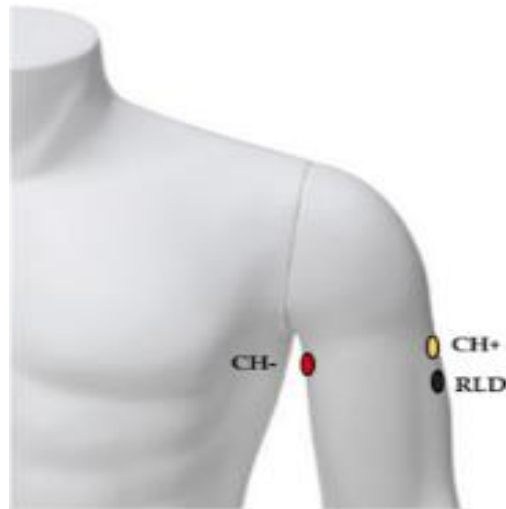


Figura 6. Posicionamiento de electrodos en el antebrazo.

#### 11.4.1.5. Electrocardiógrafos, referencias y normativas

Los ECG usados en Colombia deben estar regidos bajo las normas impuestas por la ANSI/AAMI (American National Standards Institute/ Association for the Advancement of Medical Instrument), El ministerio de salud y la IEC (International Electrotechnical Commission), estas normativas se encuentran citadas y expresadas en la *tabla 6*.

Las normativas anteriormente mostradas muestran los criterios necesarios para implementar de forma segura y comercializar los ECG, los electrocardiogramas pueden ser categorizados de acuerdo al nivel de canales que muestra y a la función que puede ofrecer.

Los electrocardiógrafos multicanales ofrecen la información de distintas derivaciones mientras el monocanal solo puede medir en un solo canal.

También se puede categorizar de acuerdo a la función que realiza:

- Electrocardiógrafos de diagnóstico: ofrecen una alta resolución para que pueda descubrir afecciones cardiacas y requiere que el paciente permanezca acostado y en reposo.
- Electrocardiógrafos Holter: usados durante largos periodos de tiempo, cuando la resolución no representa una característica relevante en ciertas enfermedades.
- Electrocardiógrafos de monitoreo: son utilizados en los hospitales como método de observación en los pacientes para prevenir riesgos.

#### 11.4.2. Oximetría.

La oximetría es una técnica no invasiva que permite la medición de la saturación del oxígeno en la sangre y puede tener igual importancia en la medicina como la toma de temperatura y la presión arterial.[29]

Esta técnica muestra el nivel de hemoglobina arterial en la composición de la oxihemoglobina el cual es la proteína de la sangre que transporta oxígeno, esta forma de medición permite el diagnóstico en etapas tempranas de algunas enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

### 11.4.2.1. Cálculo de la oximetría.

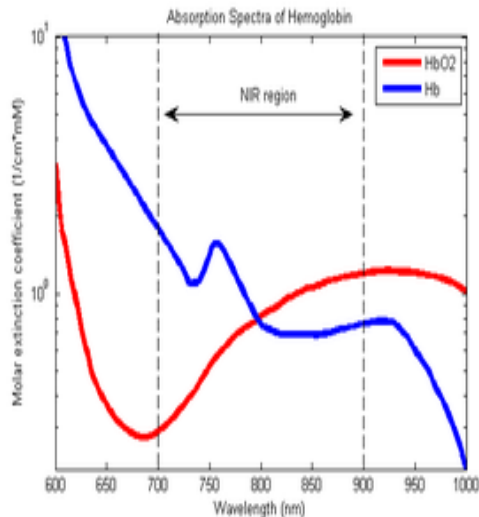
En el cálculo de los niveles de oxígeno de la sangre se obtiene de forma porcentual donde en las variables que se toman son las hemoglobinas funcionales (HbO<sub>2</sub>) ya que estas cuentan con la propiedad de enlazarse al oxígeno. [30] Cuando la hemoglobina lleva menos de cuatro cargas de oxígeno son denominados hemoglobinas reducidas (Hb) y de forma óptica con apoyo de la ecuación se puede medir la saturación periférica de oxígeno (SpO<sub>2</sub>)

$$\%SpO_2 = \frac{HbO_2}{Hb + HbO_2} \times 100$$

*Ecuación 5. Representación de la saturación del oxígeno [30]*

### 11.4.2.2. Principio de medición

La sangre tiene una característica óptica en la que su principal agente determinante es la cantidad de oxígeno que tiene. [31] El HbO<sub>2</sub> se caracteriza por tener una pigmentación diferente al color rojo y el coeficiente de absorción de luz es mayor al de Hb donde este valor puede variar dependiendo la longitud.



*Figura 7. relación HbO<sub>2</sub> y Hb en función de la longitud.*

En base a las características mencionadas en el párrafo anterior se aplica el principio de emisión y recepción de la luz con la implementación de un LED rojo y otro infrarrojo acompañado de un fotodiodo generalmente en el lado opuesto del dedo ya que también puede ser aplicado en otras partes del cuerpo. se implementan dos luces debido a que la luz visible en la región espectral de la sangre es de 400 y 700 nm aproximadamente mientras que en la luz infrarroja es de 700 a 1000 nm por eso a raíz de que el HbO<sub>2</sub> tiene una absorción de 940 nm aproximadamente y el Hb de 600 nm, se requiere estas dos LED's.

la configuración en la que se realiza el arreglo para que funcione el oxímetro viene dividido en dos tipos los cuales son, la forma transmisiva y la reflectiva, donde la primera posiciona el fotodiodo en el lado opuesto del dedo al de los LED'S y la reflectiva los posiciona de tal forma en la que el fotodiodo pueda tomar la variación de los Leds.



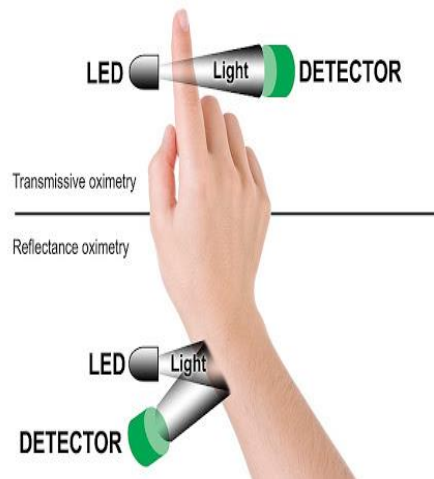


Figura 8. métodos de medición

#### 11.4.2.3. Oxímetro, referencias y normativa.

La norma ISO 80601-2-61 sugiere que antes de realizarse la salida al público de un oxímetro es necesario la realización de pruebas (in vivo). Estas pruebas se ejecutan en los sujetos de prueba donde ellos inhalan distintos gases y se encuentran expuestos a variaciones del oxígeno donde esta relación que se recoge del oxímetro en prueba se asocia al modelo beer-Lambert.

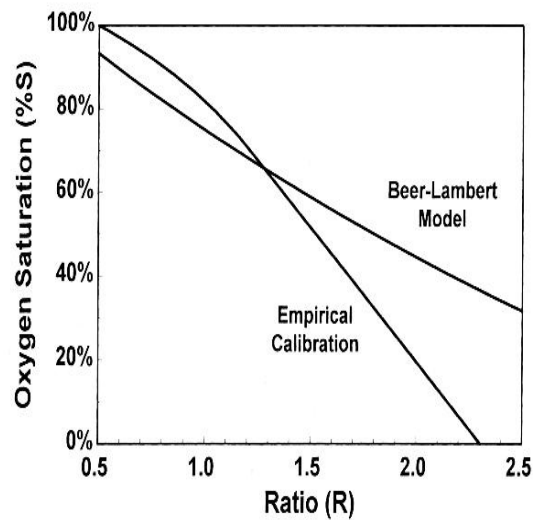


Figura 9. Relación teórica y experimental de pruebas de oximetría

#### 11.4.2.4. Saturación del oxígeno y el COVID-19.

El SARS-CoV-2 es asociado porque su principal afección que realiza en el cuerpo es la neumonía, pero en estudios reciente se ha podido demostrar que la enfermedad puede afectar en la unión entre el oxígeno y la hemoglobina a raíz de que una proteína puede causar esta disfunción, y eso puede generar descensos considerables en el SpO2 [32].

### 11.4.3. Presión arterial.

La presión arterial es la presión que ejerce la sangre sobre las arterias al momento de ser bombeada por el corazón, la presión arterial es más alta cuando el corazón late bombeando la sangre y es dominada presión arterial sistólica y cuando el corazón se encuentre en reposo entre latidos es llamada presión arterial diastólica.

La presión arterial es uno de los signos vitales que se deben mantener más estables ya que es el principal signo para empezar a tener problemas cardiovasculares, aunque al pasar de los años las personas son propensas a sufrir de presiones arteriales altas, otra manera en la cual se puede llegar alterar la presión arterial es por ingerir algún tipo de medicamento o tener alguna condición médica en especial.[33]

#### 11.4.3.1. Medición de la presión arterial. [34]

- **Medición manual:** Es la medición tradicional o más conocida actualmente que resultó de los trabajos de precursores como Harvey, Hales, Poiseuille, von Basch, Riva-Rocci y Korotkoff, este tipo de medición es realizada por medio de manómetros de mercurio, este tipo de manómetros se han ido cambiando por manómetros esfigmomanómetros aneroides los cuales no contienen mercurio tóxico y estos tipos de manómetros requieren de una calibración constante, las limitaciones que presenta este tipo de medición es que tiene una lectura única e instantánea en el tiempo normalmente durante las horas diurnas y en la posición sentada solamente.
- **Medición automática:** Es la medición de la presión arterial con un dispositivo totalmente automático mientras el paciente descansa tranquilamente y solo en una habitación, este tipo de medición es tomada en una sala en la cual el paciente está en reposo, esta medición de la presión arterial tiene una precisión más alta y el dato es obtenido de manera digital, también debe ser calibrado, pero no de una manera tan frecuente.
- **Monitoreo ambulatorio de presión arterial:** Este sistema de medición es realizado mediante un dispositivo que es el encargado de tomar datos de la presión arterial en un periodo de 24 horas y posteriormente realiza un promedio de los datos obtenidos y es el resultado final de la medición.

**Método ultrasónico/Doppler:** Este método utiliza el ultrasonido para determinar las presiones máxima y mínima de la sangre a su paso por las arterias. Los valores quedan registrados digitalmente, Se coloca la sonda arterial sobre la arteria a observar y por efecto Doppler se mide el valor de la tensión arterial máxima y mínima. El efecto Doppler se basa en la variación de la frecuencia de la onda debida al movimiento relativo entre el emisor y el observador.

**Método directo o intraarterial:** Consiste en medir la presión máxima, mínima y media dinámica de la sangre al paso por la arteria canalizada a través de un transductor que hace transformar dichas presiones en dígitos observables. Es necesario heparinizar las vías para su correcto funcionamiento. Es el único método exacto, pero es el más traumático. Sólo se utiliza en monitorizaciones en Unidades de Cuidados Intensivos.

#### 11.4.3.2. Presión arterial y el COVID-19.

La relación entre el COVID-19 y la presión arterial ha tenido una relación sigmoidea, en un principio se creía que su relación era muy mínima, pero al pasar de los días y los avances que se han tenido respecto a este virus en específico, se ha determinado que hay una alta relación ya que es conocido que la presión parcial de oxígeno en sangre arterial (SpO<sub>2</sub>) mantiene una relación con la saturación oxígeno (SaO<sub>2</sub>). Es decir, que los descensos de la (SpO<sub>2</sub>) desde la normalidad influyen la SaO<sub>2</sub>, y por lo tanto la cantidad de oxígeno que transporta la sangre arterial (CaO<sub>2</sub>) hacia los tejidos, por otra parte, el aumento de la temperatura corporal provoca también variaciones que alteran la presión arterial.

En general se utiliza como variable principal la PaO<sub>2</sub>, y el cálculo de la entre esta y la fracción inspiratoria de oxígeno (SpO<sub>2</sub>/ FiO<sub>2</sub> o PaFi). Este cociente se utiliza habitualmente para definir su gravedad (se considera grave a partir de la PaFi < 100).[32]

#### 11.4.3.3. Dispositivos de medición y normativas.

Para la realización de estos dispositivos no hay normas estipuladas, lo que se debe tener en cuenta es la calibración de los sensores para poder obtener las mediciones con una alta exactitud.

#### Tensiómetro digital para medición de la presión arterial



Figura 10. imagen del tensiómetro digital [35]

#### Tensiómetro manual para medición de la presión arterial



Figura 11. imagen del tensiómetro manual [36]

#### 11.4.4. Temperatura.

La temperatura corporal es una variable la cual cambia teniendo en cuenta el tipo de persona, la edad, las actividades que ejercen y el momento del día, la temperatura promedio está en el rango de 36,1 °C a 37,2 °C, Una temperatura de más de 38°C casi siempre indica que la tiene fiebre a causa de una infección o enfermedad, actualmente no se recomienda la utilización de termómetros de vidrio y mercurio, ya que el vidrio se puede romper y es tóxico.[37]

#### Toma de temperatura [53]

**La boca:** coloque el bulbo bajo la lengua y cierre la boca. Respire por la nariz. Utilice los labios para mantener el termómetro bien fijo en su lugar. Deje el termómetro en la boca

**El recto:** este método es para bebés y niños pequeños. Ellos no son capaces de sostener el termómetro en la boca con seguridad. Lubrique el bulbo del termómetro rectal con vaselina. Coloque al niño boca abajo en una superficie plana o sobre el regazo. Separe sus glúteos e introduzca el extremo del bulbo del termómetro un poco más de 1/2 a 1 pulgada (1 a 2.5 centímetros) en el canal anal.

**La axila:** coloque el termómetro en la axila, presione el brazo contra el cuerpo.

##### 11.4.4.1. Temperatura y Covid-19.

El aumento de la temperatura corporal es una de los síntomas principales en las personas sintomáticas portadoras del virus, pues es una de las reacciones que toma el cuerpo para poder atacar o eliminar el virus, Con respecto a las características clínicas de los casos confirmados de COVID-19 en la ciudad de Wuhan, China, una cohorte retrospectiva de 41 pacientes demostró que la edad promedio fue de 49 años, con una prevalencia masculina. Se consideraron signos y síntomas importantes de COVID-19: fiebre (98 %), tos seca (76 %), disnea (55 %), mialgia o fatiga (44 %) y linfopenia (63 %).

El inicio de COVID-19 se manifiesta principalmente como fiebre, pero en ocasiones solo se presentan escalofríos y síntomas respiratorios dado por tos seca leve y disnea gradual, además de fatiga e incluso diarreas.

##### 11.4.4.2. Dispositivos de medición y normativas

Para la elaboración de estos termómetros lo único que se exige es que no sean elaborados con mercurio o cualquier otro tipo de elemento que sea tóxico o nocivo para la salud de las personas.[39]

**Termómetro de vidrio o de líquidos:** El termómetro de vidrio, también conocido como termómetro de líquidos, es el tipo de termómetro más conocido y prototípico. También es llamado termómetro manual o de mercurio, dado que, tradicionalmente, iba relleno de este metal líquido y no requiere de baterías para funcionar

**Termómetros sin contacto:** El termómetro sin contacto, es un tipo de termómetro que trabaja sin que sea necesario tocar el objeto cuya temperatura se quiere medir, midiendo la temperatura mediante infrarrojos.

**Termómetros con lámina bimetálica:** Los termómetros con lámina bimetálica miden la temperatura por medio de un mecanismo que contiene dos tipos diferentes de metal, los cuales,

en función de cómo se contraigan o se dilaten, ayudarán a indicar la temperatura del objeto al que se le está tomando la temperatura.

Termómetros digitales: Los termómetros digitales son termómetros muy parecidos a los de vidrio, dado que se usan como un sustituto electrónico de los mismos

#### **11.4.5. Espirometría.**

La espirometría es un método no invasivo que mide la tasa y el volumen de la respiración, a parte de los gases arteriales es una de las pruebas de análisis pulmonar más usada en la comunidad médica. Los valores espirométricos pueden variar dependiendo las características de la persona como lo son la talla, la edad y el género, para saber si el valor tomado si coincide con los valores normales de la persona se hace uso de modelos de predicción de acuerdo a sus características. Toda la información recolectada sobre la espirometría aplicada en Colombia fue publicada por el Ministerio de Salud [41].

##### **11.4.5.1. Referencias de para la medición.**

Las ecuaciones que se usan para la definición del estado de la persona varían en los países y sus laboratorios, en los cuales se recomienda que los mismos laboratorios realicen sus pruebas y consideren cuál ecuación es la más adecuada para la población, hace unos años publicaron una ecuación universal donde se aplicaban en muchas etnias, pero en la elaboración de esta ecuación no fue desarrollada con latinoamericanos.

Un estudio realizado en la ciudad de Bogotá basada en la ecuación de hankinson México americanos mostró dar los mejores resultados en una población de 18 a 65 años y de acuerdo a un estudio también realizado en chile, esa ecuación es la más adecuada para predecir los valores de CVF y VEF1 donde el CVF representa la capacidad máxima forzada para captar y expulsar aire y el VEF1 representa la cantidad máxima de aire durante el primer segundo de espiración. El ministerio sugiere esta ecuación como la más acertada.

##### **11.4.5.2. Interpretación y uso médico.**

En la espirometría puede medir la capacidad ventilatoria y como una alteración puede afectar las funciones del pulmón, estas afecciones a pesar de que no son específicas para determinar una enfermedad se puede asociar distintas enfermedades, de acuerdo a los valores proporcionados por la gráfica generada se puede saber si tiene los siguientes casos:

La espirometría normal es cuando el IC es mayor al 95% y cuando el VEF/CVF es menor de 70.

La Espirometría obstructiva se presenta cuando el VEF/CVF es menor de 70 y su gravedad se mide en base al VEF1.

Espirometría restrictiva es cuando hay una disminución en el CVD es menor del IC a 95% y la relación de VEF/CVF es normal.

Espirometría mixta es cuando la relación VEF1/CVF es baja y el CVF también presenta una disminución.

#### **11.5. Revisión de la instrumentación y selección de lenguaje de programación.**

En la construcción del sistema integral se seleccionó a través de una matriz QFD, un número de sensores, métodos de tratamiento y análisis de datos, por medio de la evaluación de las mejores características para cada ítem.

En la siguiente gráfica se observa el análisis y evaluación realizada a cada ítem estudiado.

<b>Relationships:</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	
	Strong	Moderate	Weak	None

You need only to fill the white and blue cells.

Desired direction of improvement (+, 0, -)	SENSORS AND DATA ACQUISITION												FORMAT FOR DATA PROCESSING			PROGRAMMING LANGUAGE			SHOW INFORMATION				
	ELECTROCARDIOGRAM, BLOOD PRESSURE, OXYGEN SATURATION				BODY TEMPERATURE				ASPIROMETRY				Survey	Save in the cloud	Excel	Word/Note pad	MATLAB	PYTHON	ARDUINO	Display	PC	Smartphone	
<b>Functional Requirements</b>	AD8232	AS7024	AS7024	MAX30100	MAX 30102	AS7024	MLX90614	LM35	MAX30100	MAX 30102	MPX2010DP	QRD 1113/1114											
<b>Customer Requirements -</b>																							
MONITORING	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	1	9	9	9	9	9	9				
DATA BASE																							
PRE-DIAGNOSE																							
INVARIABLE TO THE ENVIRONMENT	3	3	9	9	9	9	9	3	9	9	3	3	9										
PORTABLE AND PRACTICAL	3	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9	3										
HIGH PRECISION	9	3	9	3	9	9	3	3	9	9	9	3	3										
USER-FRIENDLY INTERFACE																					3	3	9
ERGONOMICS WITH THE USER	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9										
Technical importance score	139	126	180	150	180	180	150	108	150	180	156	126	92	27	27	27	108	84	108	12	12	36	
Importance %	52%	48%	100%	45%	56%	23%	20%	14%	20%	23%	55%	45%	100%	33%	33%	33%	36%	28%	36%	20%	20%	60%	
Priority rank	1	2	1	2	1	1	3	5	3	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	2	2	1	
Current performance																							
Target																							
Benchmark																							
Difficulty																							
Cost and time																							
Priority to improve																							

Tabla 6. evaluación por medio del método QFD para la selección de instrumentación y programación para el sistema de monitoreo.

### 11.6. Cotización de los componentes.

SENSORS	VALUE ( DOLLARS )
AD8232	13
AS7024	95
MAX30100	7,8
MAX 30102	10,4
MLX90614	17
LM35	1,6
MPX2010DP	31,7
QRD 1113/1114	1,01

Tabla 7. Cotización de los sensores a implementar en el sistema de monitoreo

### 12. Diagrama de bloques del sistema integral.

Después de la selección de componentes y la cotización, se seleccionó a los mejores sensores con más alto puntaje los cuales son mostrados a c En la imagen mostrada a continuación se observará de forma gráfica,

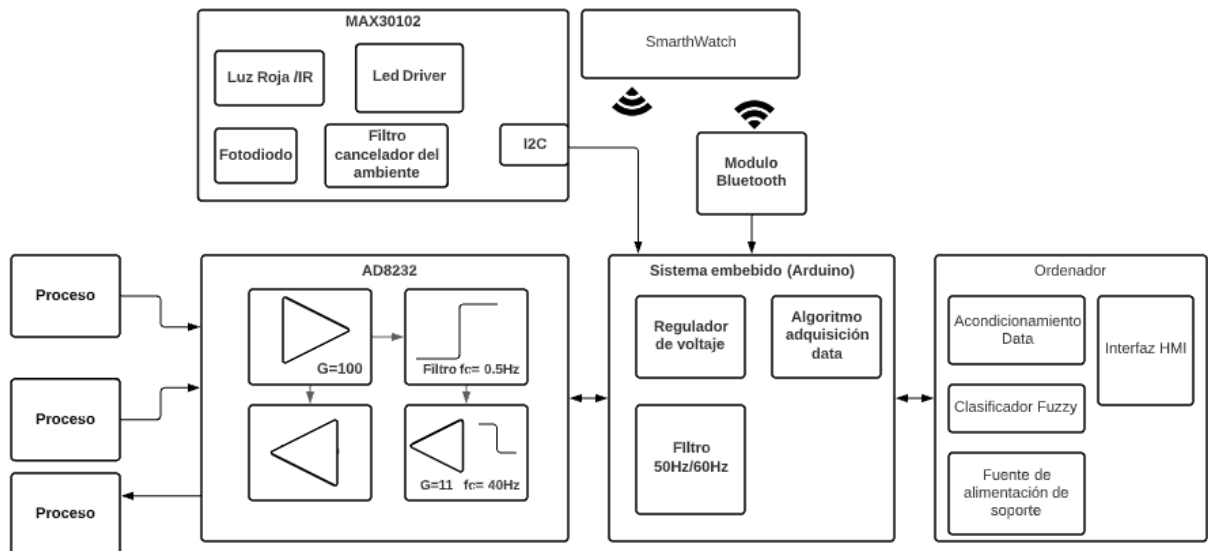


Figura 12. Representación gráfica del funcionamiento y conexión del sistema integral.

### 12.1. Compra de los componentes.

Después de la selección de componentes y la cotización, se seleccionó a los mejores sensores con más alto puntaje los cuales son mostrados a continuación.

#### 12.1.1. Protoboard.

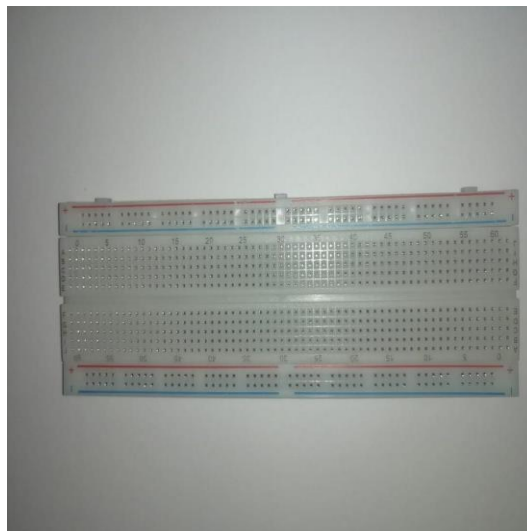


Figura 13. imagen de la protoboard a implementar en las pruebas primarias [autores].

### 12.1.2. Cables para conexión.



Figura 14. imagen de los cables de conexión del sistema [autores]

### 12.1.3. Arduino.

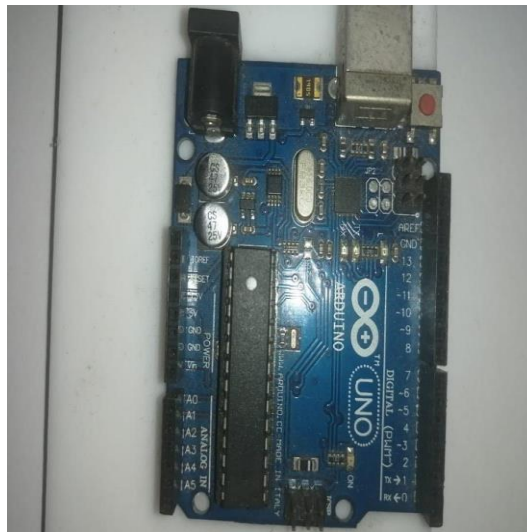
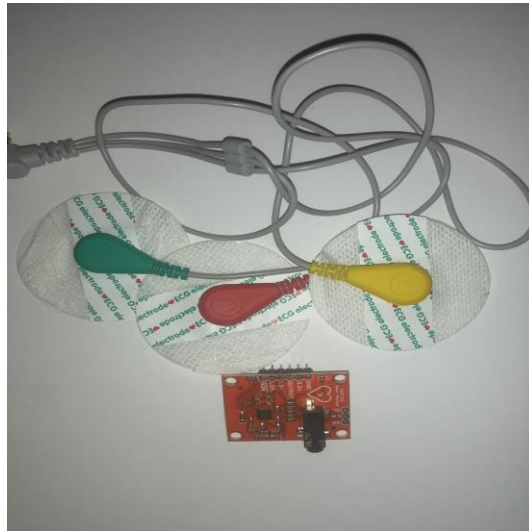


Figura 15. imagen del microcontrolador (Arduino) [autores]

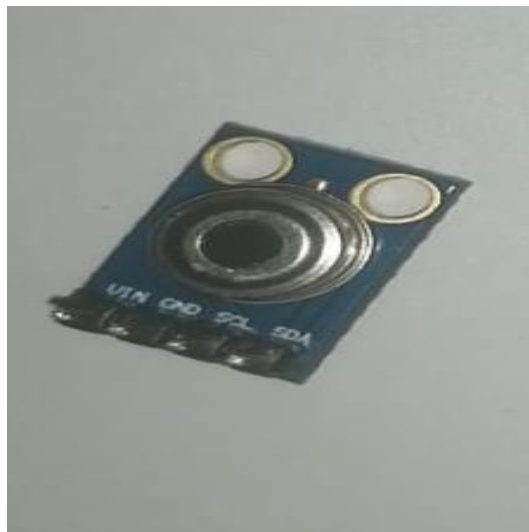


#### 12.1.4. Sensor AD8232



*Figura 16. Imagen del sensor para ECG [autores].*

#### 12.1.5. Sensor MLX 90614



*Figura 17. imagen del sensor infrarrojo para toma de temperatura [autores]*

#### 12.1.6. Sensor MAX 30102.



Figura 18. imagen del sensor para la toma de oximetría [autores].

#### 12.1.7. Smarthwatch



Figura 19. imagen del Smartwatch para la toma de la presión arterial [autores]

## 12.2. Diseño en CAD del prototipo.

### 12.2.1. Caja de control

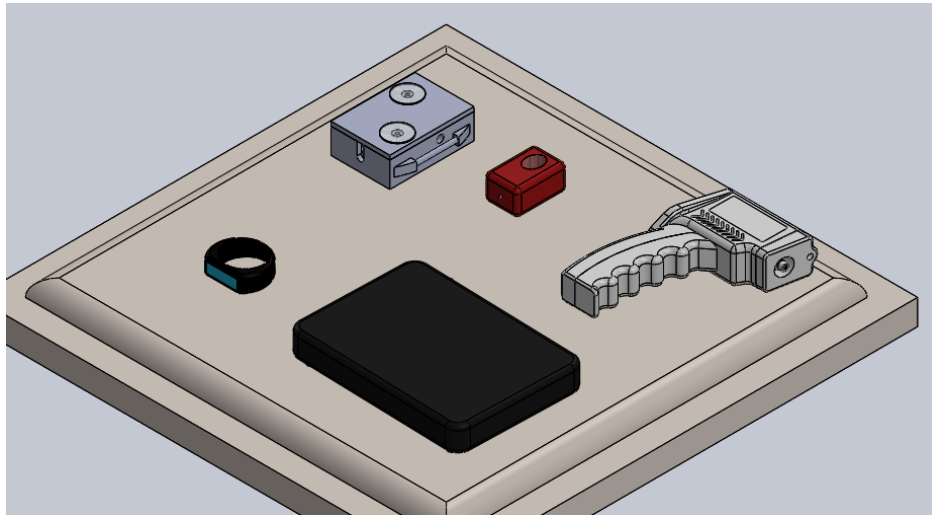


Figura 20. Imagen del diseño CAD de la Caja de control del sistema. [autores]

### 12.2.2. Sensor ECG

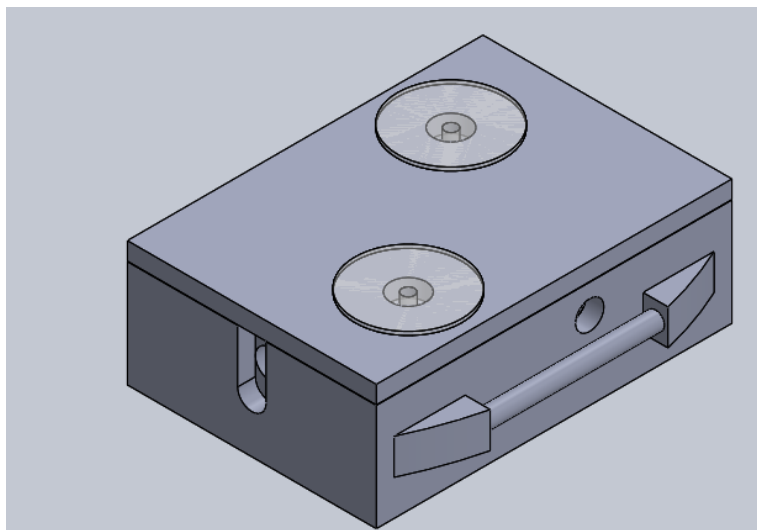


Figura 21. Imagen del diseño CAD del electrodo utilizado para la toma electrocardiográfica del sistema integral. [autores]

### 12.2.3. Sensor de temperatura

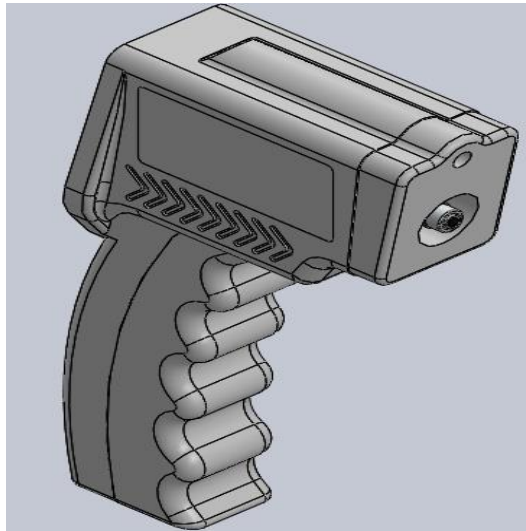


Figura 22. Diseño CAD realizado de la pistola para la toma de temperatura. [autores]

### 12.2.4. Sensor de oximetría

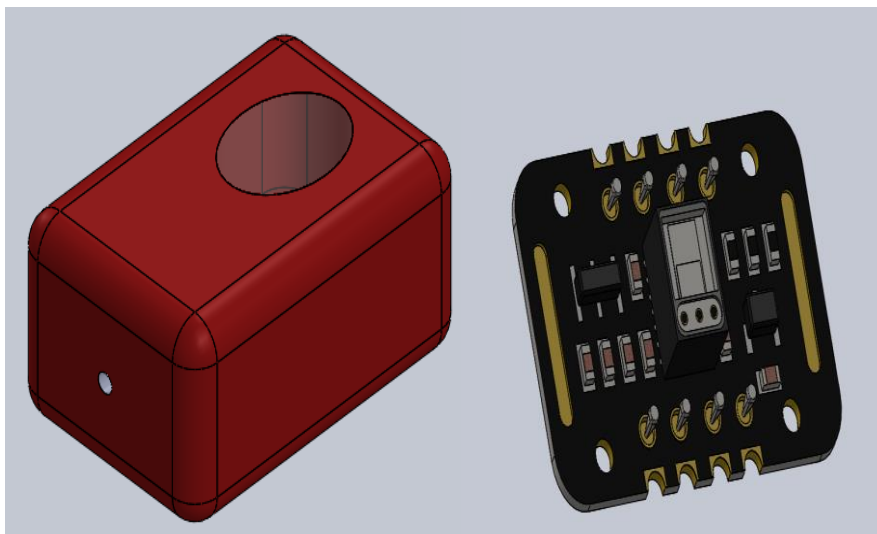


Figura 23. Diseño CAD del sensor MAX 30102 [autores].

### 12.2.5. Smartwhatch.

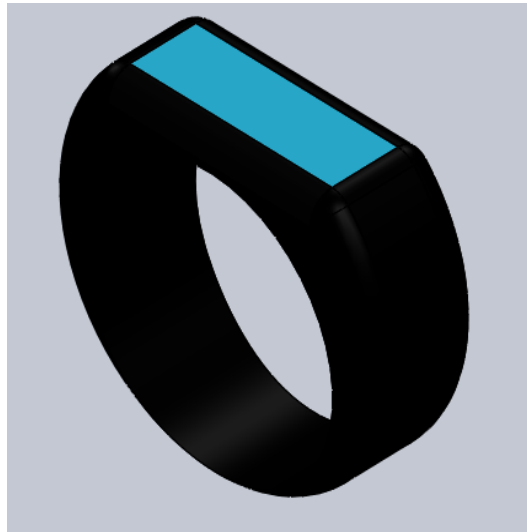


Figura 24. Imagen del diseño CAD de un SmarthWatch 4 Pro [autores]

### 12.3. Montaje eléctrico del sistema de diagnóstico.

#### 12.3.1. Diagrama de la conexión eléctrica del sensor AD8232.

A continuación, se observa el método de conexión que tiene el sensor con el microcontrolador.

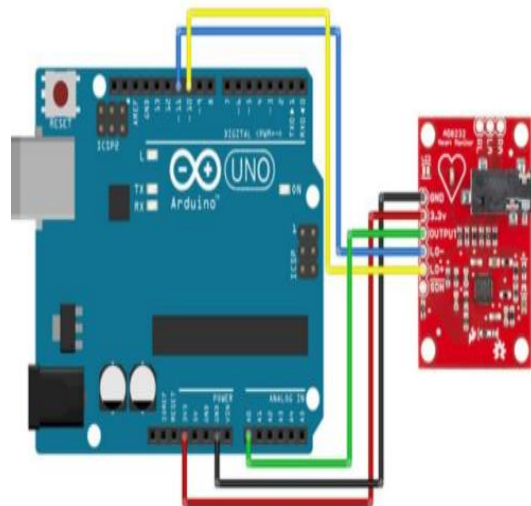


Figura 25. Imagen del diagrama de conexión del sensor AD8232 [autores]

En la siguiente tabla se puede observar los pines de conexión entre el controlador (Arduino) y el sensor AD8232.

AD8232	Arduino
GND	GND
3,3V	3,3V
OUTPUT	A0
LO-	11
LO+	10
SDN	No se usa

Tabla 8. Conexión AD8232 con Arduino

### 12.3.2. Diagrama de la conexión eléctrica del sensor MLX90614

A continuación, se observa el método de conexión que tiene el sensor con el microcontrolador.

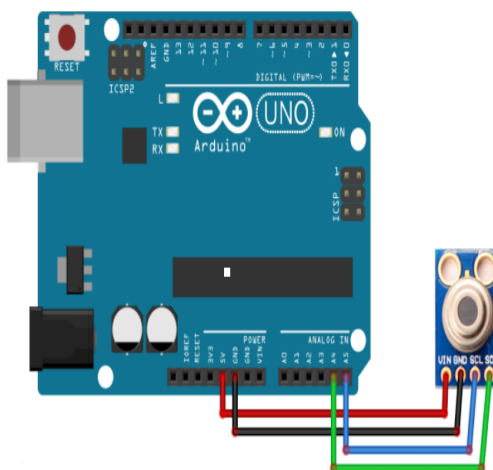


Figura 26. Imagen del diagrama de conexión del sensor MLX90614 [autores]

En la siguiente tabla se puede observar los pines de conexión entre el controlador (Arduino) y el sensor MLX90614.

MLX	Arduino
GND	GND
5V	VCC
SCL	A5
SDA	A4

Tabla 9. Conexión MLX90614 con Arduino

### 12.3.3. Diagrama de la conexión eléctrica del sensor MAX 30102

A continuación, se observa el método de conexión que tiene el sensor con el microcontrolador.

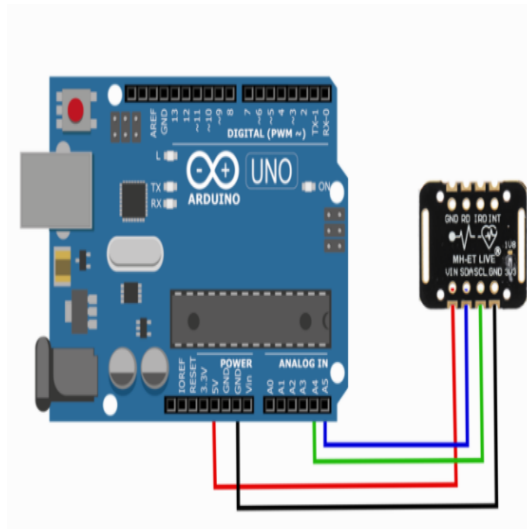


Figura 27. Imagen del diagrama de conexión del sensor MAX 30102 [autores]

En la siguiente tabla se puede observar los pines de conexión entre el controlador (Arduino) y el sensor MAX 30102.

MLX	Arduino
GND	GND
5V	VCC
SCL	A2
SDA	A3

Tabla 10. Conexión MAX30102 con Arduino

#### 12.4. Esquema de la implementación del sistema de monitoreo en las personas.

A continuación, se observa un diagrama de cómo se implementarán cada uno de los sensores de la planta al momento de realizar la recolección de datos.

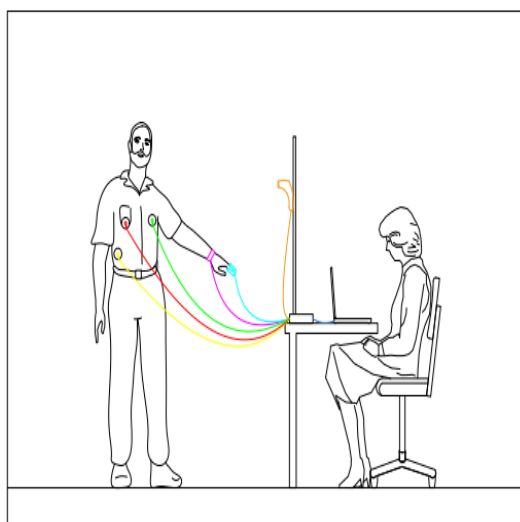


Figura 28. Imagen esquemática de la implementación del sistema de monitoreo [autores]

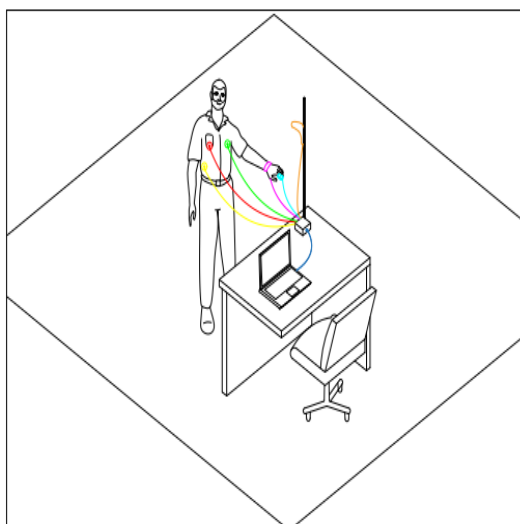


Figura 29. Imagen esquemática de la implementación del sistema de monitoreo [autores]

### 13. RESULTADOS Y EVIDENCIAS.

#### 13.1. Validación de las variables monitoreadas.

Las variables que se midieron con el sistema para monitoreo de COVID-19, son validadas y argumentadas por una serie de artículos, libros e investigaciones que se consultaron en el proceso de investigación realizado para la implementación de este proyecto, por otra parte logramos tener un acompañamiento de profesionales relacionados directamente con la pandemia presentada (COVID-19), como lo fueron Médicos, especialistas y una epidemióloga; con estos profesionales se logró validar los rangos o parámetros normales y fuera de lo normal de las medidas a tomar en cada una de las personas que se monitorearán, logrando obtener un monitoreo de síntomas viable y seguro con el cual se puede llegar a un posible diagnóstico de COVID-19.



### 13.2. Sensores implementados para la planta del sistema de monitoreo.

A continuación, se anexan las fotografías de cada uno de los sensores que se implementaron para la toma de datos del sistema de monitoreo de síntomas de COVID-19.

Uno de los sensores implementados en el sistema fue el sensor AD8232 el cual permite tomar los datos de un electrocardiograma y de esta manera lograr el análisis respectivo de la sección de la onda que se va analizar.

El sensor cuenta con su propio circuito de filtrado en el que se compone de 3 etapas, pasando por un filtro pasa baja, uno pasa alta y finalmente por un anti solapamiento como se muestra en el siguiente diagrama.

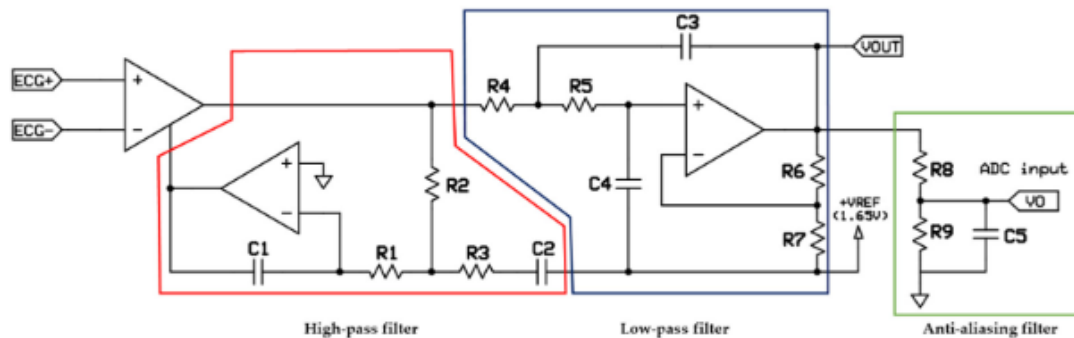


Figura 30. Esquemático simplificado de la topografía de filtrado usado en el AD8232

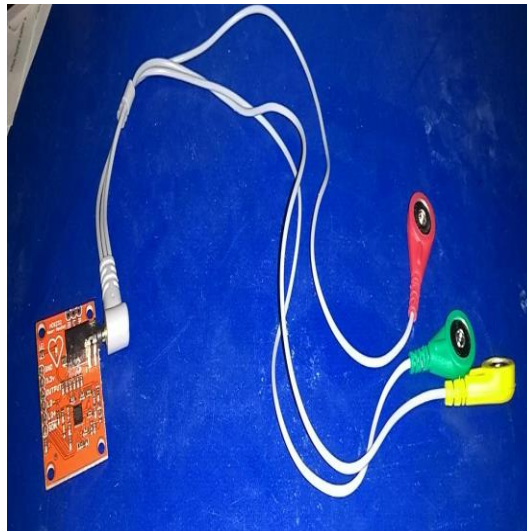
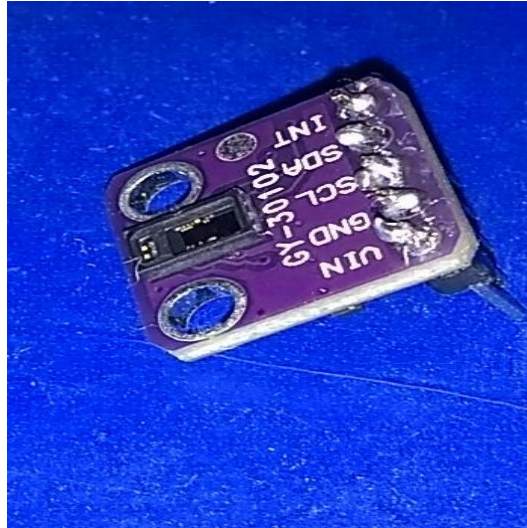


Figura 31. Fotografía del sensor AD8232 (electrocardiograma) [autores]

Por otra parte, se tiene el sensor MAX 30102 el cual permite por medio de su medición tener los valores correspondientes a la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca. El sensor cuenta con su propio circuito donde logra acondicionar la señal y establecer contacto con el arduino por medio de comunicación I2C



*Figura 32. Fotografía del sensor MAX 30102 (saturación de oxígeno y frecuencia cardíaca)  
[autores]*

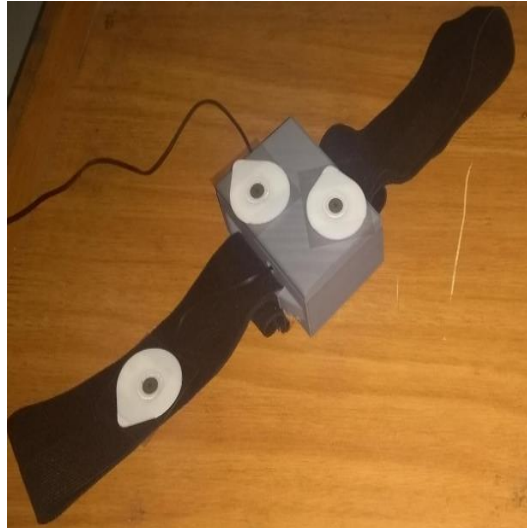
A continuación, se observa la fotografía de otro de los sensores implementados para la toma de datos, correspondiente a un Smartwatch con el cual se obtienen los datos de la presión arterial y la toma de temperatura, ya que el sensor mantendrá una postura igual en todas las tomas de datos que se realicen en las personas.



*Figura 33. Fotografía del Smartwatch (Presión arterial, temperatura.) [autores]*

En la siguiente fotografía se observa la implementación final del sensor AD8232, con su respectiva caja de protección impresa en 3D y las conexiones correspondientes, el sensor se ubica en el antebrazo izquierdo ya que hay tres puntos que cumplen con el triángulo de Einthoven para la medición básica, si se desea realizar uso del algoritmo de pan tompkins, se debe medir en la parte torácica para mayor sensibilidad.

Nota: Por conservación del higiene y protección contra el COVID-19 en la recolección de datos se usaron electrodos húmedos con la finalidad de que solamente una vez se pueda usar.



*Figura 34. Fotografía del sensor AD8232 finalizado (electrocardiograma) [autores]*

En la siguiente fotografía se observa la implementación final del sensor MAX 30102, en la caja de protección impresa en 3D y con lente de separación, la caja fue diseñada para que la presión ejercida sobre el sensor sea constante ya que el sensor tiene una distancia de lectura correcta de aproximadamente 3 mm y las conexiones correspondientes.



*Figura 35. Fotografía del sensor MAX 30102 finalizado (saturación de oxígeno y frecuencia cardíaca) [autores]*

En la siguiente fotografía se observa la implementación final de la caja de control donde se ubica como microcontrolador el Arduino Mega, batería de 9v como alimentación, a raíz de que los sensores trabajan con comunicación I2C se diseñó un circuito impreso PCB para la adaptación de un ECG de mayor precisión.



*Figura 36. Fotografía de la caja de control Finalizado (microcontrolador) [autores]*

En la siguiente fotografía se observa la implementación final de la planta para la toma de datos requerida, teniendo en cuenta cada una de las características necesarias (posicionamiento, protección y conexiones) de cada uno de los sensores implementados.



*Figura 37. Fotografía de la planta finalizada (toma de datos) [autores]*

En el siguiente diagrama se observa las conexiones que se realizaron entre los sensores y el microcontrolador.

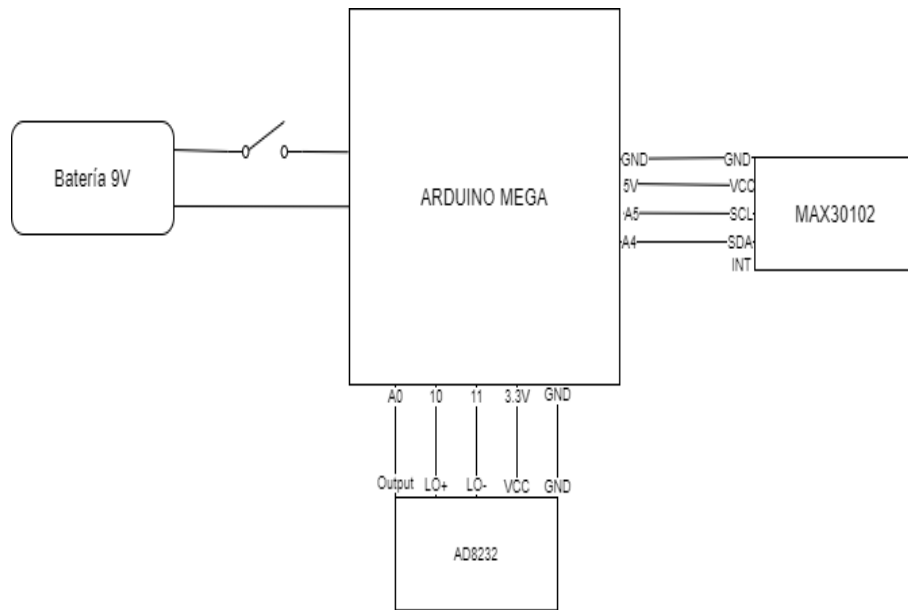


Figura 38. Imagen del diagrama implementado en la planta [autores]

### 13.3. Gráficas de los resultados obtenidos en cada uno de los ítems de la base de datos.

La base de datos adquirida mediante la tomas realizadas por la planta que se implementó arrojó los siguientes resultados, estos datos se tomaron en alrededor de 500 personas donde las personas fueron informadas de la procedencia de los datos mediante un consentimiento informativo, en esta base de datos se tuvieron en cuenta preguntas referentes a la edad, si presentaba algún síntoma relacionado al COVID-19, si tienen enfermedades referentes al sistema cardíaco, si tienen enfermedades referentes a la presión arterial, si han sido diagnosticados con COVID-19, el tiempo que ha transcurrido después de ser confirmado de portar el virus y finalmente las variables medidas por la planta (temperatura, presión arterial, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y onda QT) .

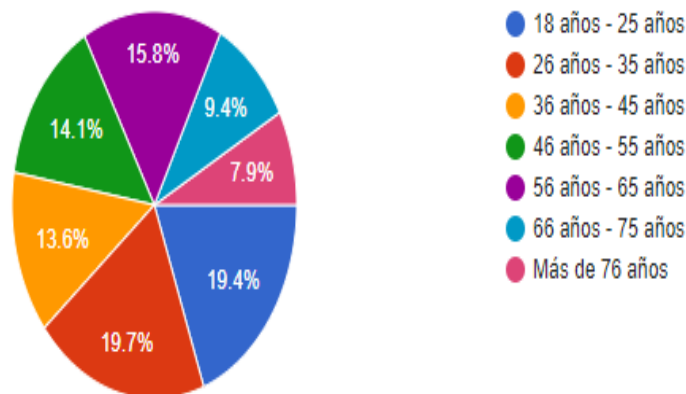


Figura 39. Imagen de los rangos de edad de las personas a las cuales se les realizó la toma de datos con la planta [autores].

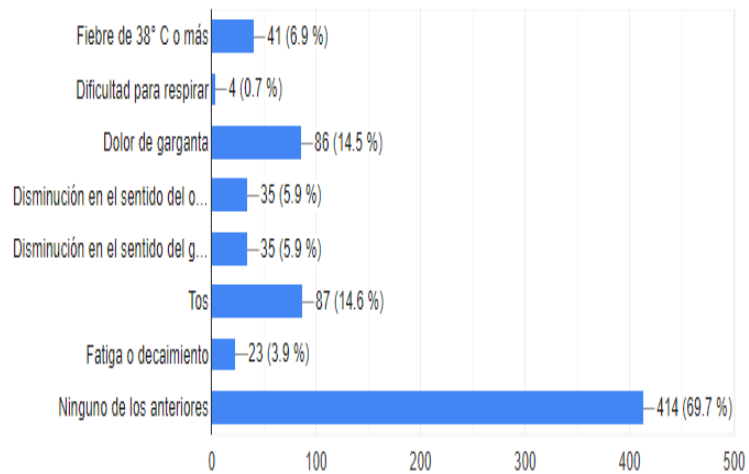


Figura 40. Imagen de los síntomas presentados por las personas a las cuales se les realizó la toma de datos con la planta [autores].

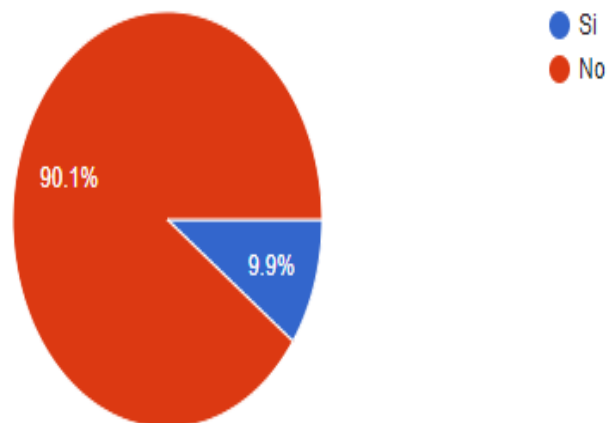
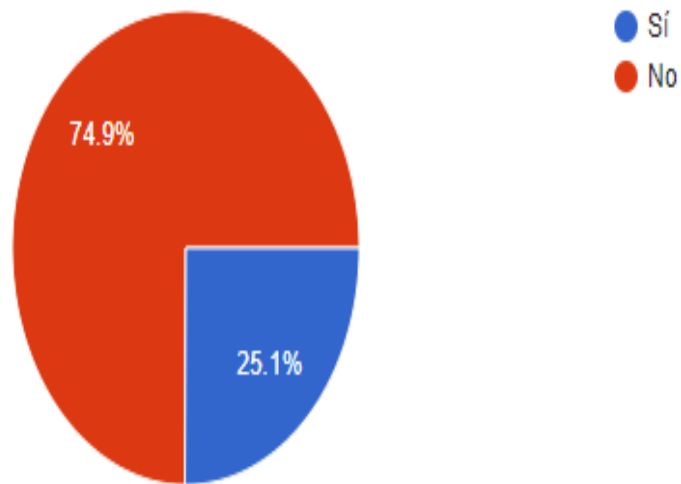
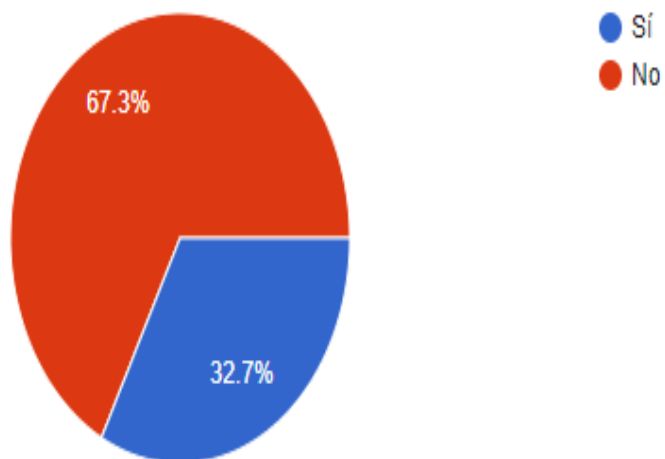


Figura 41. Imagen del porcentaje de personas que tienen algún problema cardiaco por las personas a las cuales se les realizó la toma de datos con la planta [autores].



*Figura 42. Imagen del porcentaje de personas que tienen algún problema de presión arterial [autores].*



*Figura 43. Imagen del porcentaje de personas que fueron diagnosticadas con COVID-19, por medio de las pruebas realizadas por el estado. [autores].*

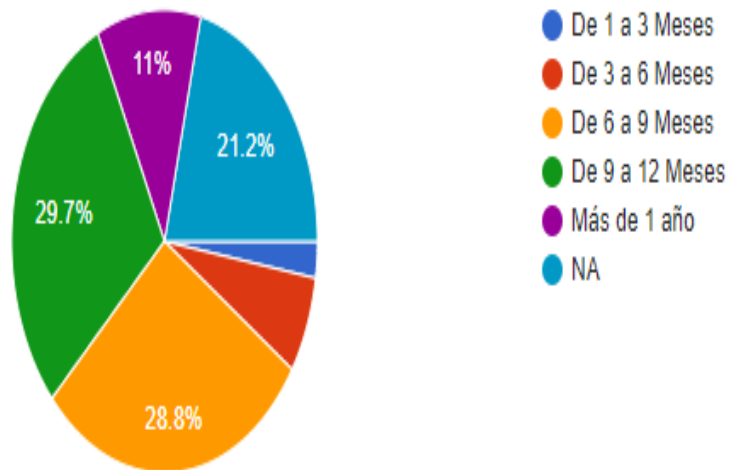


Figura 44. Imagen del porcentaje y tiempo que las personas que fueron diagnosticadas con COVID-19, por medio de las pruebas realizadas por el estado. [autores].

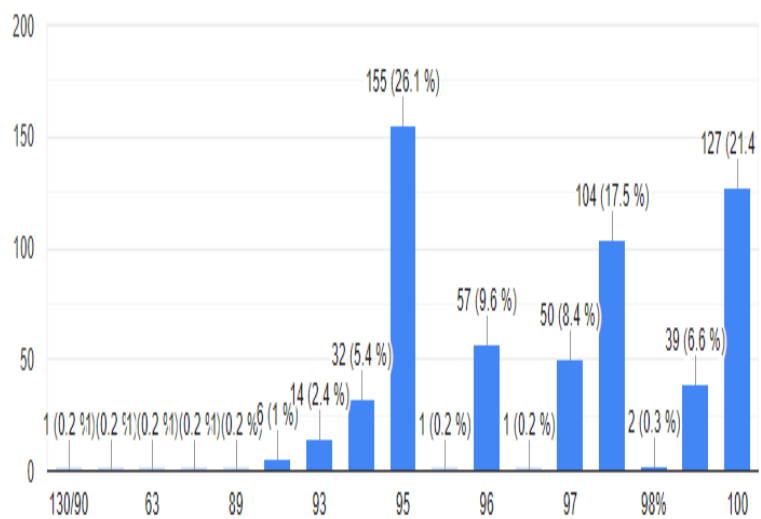


Figura 45. Imagen del porcentaje de frecuencia cardíaca en las personas analizadas. [autores].



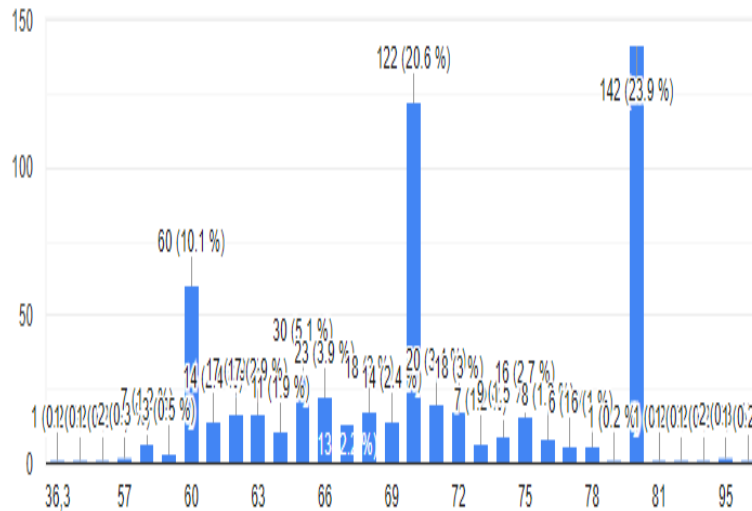


Figura 46. Imagen del porcentaje de saturación de oxígeno en las personas analizadas. [autores].

#### 13.4. Registro de los datos obtenidos por medio de los sensores implementados en la planta.

En las siguientes imágenes se muestran los datos que arroja cada uno de los sensores que son comunicados por medio del Arduino, estos datos fueron posteriormente ingresados al algoritmo que se implementó para el análisis de datos.

Para el agrupamiento en la medición de los sensores se revisó la documentación y librerías disponibles para los sensores en cual, se encontró

```

CCRM (Arduino Mega or Mega 2560)
red=221627, ir=169576, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=223398, ir=169719, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=214885, ir=166098, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=214309, ir=166294, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=216633, ir=167383, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=217520, ir=167625, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=219389, ir=168612, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=221175, ir=169348, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=221112, ir=166698, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=214123, ir=165785, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=214269, ir=166516, HR=214, HRvalid=1, SPO2=-999, SPO2Valid=0
red=216273, ir=167115, HR=214, HRvalid=1, SPO2=58, SPO2Valid=1
red=217467, ir=167677, HR=214, HRvalid=1, SPO2=58, SPO2Valid=1
red=219052, ir=168389, HR=214, HRvalid=1, SPO2=58, SPO2Valid=1
red=221870, ir=169467, HR=214, HRvalid=1, SPO2=58, SPO2Valid=1
red=221870, ir=166916, HR=214, HRvalid=1, SPO2=58, SPO2Valid=1
red=213693, ir=165699, HR=214, HRvalid=1, SPO2=58, SPO2Valid=1
red=214190, ir=166424, HR=214, HRvalid=1, SPO2=58, SPO2Valid=1

```

Figura 47. Imagen del porcentaje de saturación de oxígeno y frecuencia cardiaca, código unitario para max30102. [autores].

La medición original del sensor AD8232 ofrece una serie de valores análogos en los que presentaba de forma gráfica un ruido debido a variaciones en el ambiente y movimiento del usuario, en el proceso se decidió estudiar la señal obtenida de la parte torácica en Matlab para poder aplicar el algoritmo de filtrado pan tompkins y saber de forma veraz si el sensor estaba tomando realmente el segmento QT de la onda. Se pudo comprobar que incluso en el antebrazo se puede tomar registro de ese valor, aunque con un error mayor al de la parte torácica.

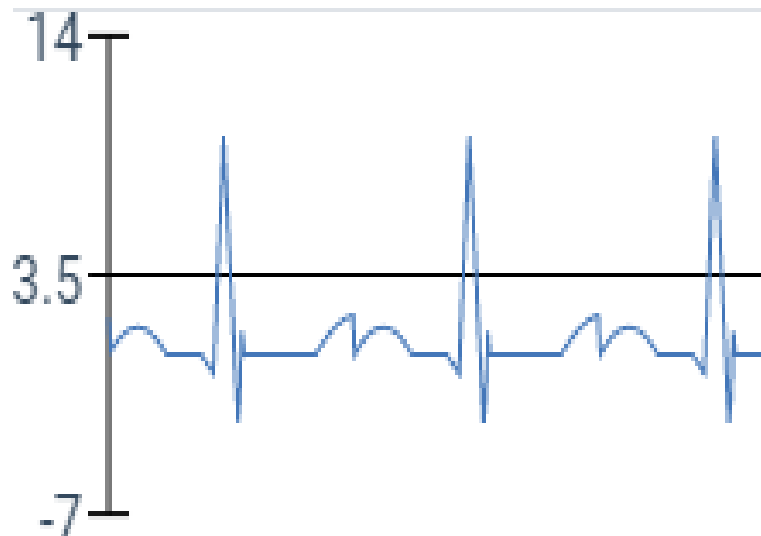


Figura 48. Señal RQS de 60 latidos por minuto generada por el AD8232, graficado y filtrado en Matlab por medio del algoritmo de pan tompkins. [autores].

Como forma final para recolección de datos, se ajustó el código y fue puesto en punto para la entrega del resultado con alta precisión y confiabilidad, el parámetro que se decidió tomar para dar el resultado fue una espera en la impresión de datos después de 16 segundos como tiempo de adaptación del cuerpo a los dispositivos y que el valor sea constante en el tiempo.

En la toma del segmento QT se requirió adecuar y programar un condicional en el que empiece el conteo de muestras una vez empiece la variación hacia abajo normalmente creada en la variación Q hasta la finalización del pequeño pico de la onda T.

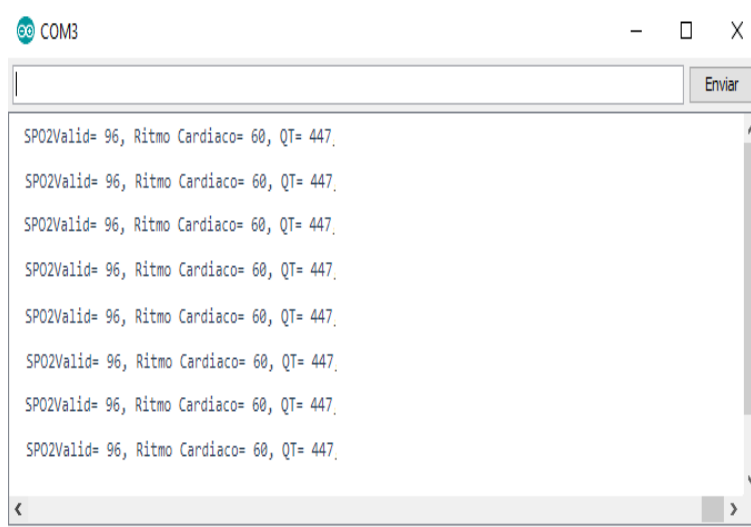


Figura 49. Imagen del SPO2, ritmo cardíaco y tiempo del segmento QT como forma final del sistema de diagnóstico en la impresión, [autores].

### 13.5. Sistema de inferencia de la lógica difusa para el monitoreo de COVID-19.

Después de la realización de la base de datos se procede a normalizar la información por medio de la eliminación de NAN'S y personas que no autorizaron el tratamiento de información. En la información obtenida de la encuesta se contemplaron los siguientes parámetros que posteriormente fueron modificados, la edad de los voluntarios fue definida en rangos, para mejor tratamiento en el modelo.

Se encuestaron 7 síntomas y finalmente en el modelo fueron tomados 5 a raíz de la importancia dada y publicada de artículos médicos. Los síntomas analizados fueron la tos, dolor de garganta, disminución en el sentido del olfato, disminución en el sentido del gusto, fiebre de 38 °C, por otra parte, se analizaron también antecedentes médicos: Se preguntó a los voluntarios sobre su historia médica donde específicamente se analizaba si la persona tenía antecedentes cardíacos o de presión arterial.

Antecedentes con el COVID-19: se consultó a los voluntarios si las personas habían sido diagnosticadas por tener el COVID-19 y de ser así cuánto tiempo había tenido la enfermedad, esta característica fue usada en el modelo, pero no fue caracterizador importante ya que no se deseaba discriminar en un proceso tan corto.

Presión arterial: la presión arterial fue dividida y estudiada en sus dos partes, presión diastólica y presión sistólica.

#### 13.5.1. Desarrollo del algoritmo.

Después de que la información fue normalizada, se recategorizo la información con la finalidad de convertir cada variable en valores binarios, la presión arterial fue dividida en 2 y posteriormente fue discretizada, una vez la información fue ajustada por el software se caracterizó y visualizó la nueva data por medio de clusters.

La lógica difusa tiene dos formas de trabajo la primera es donde se asignan las reglas y la segunda donde el mismo modelo toma toda la información como síntomas incluyendo la medición de los sensores.

A continuación, se observa la proyección de cluster del modelo generado sin las reglas establecidas.

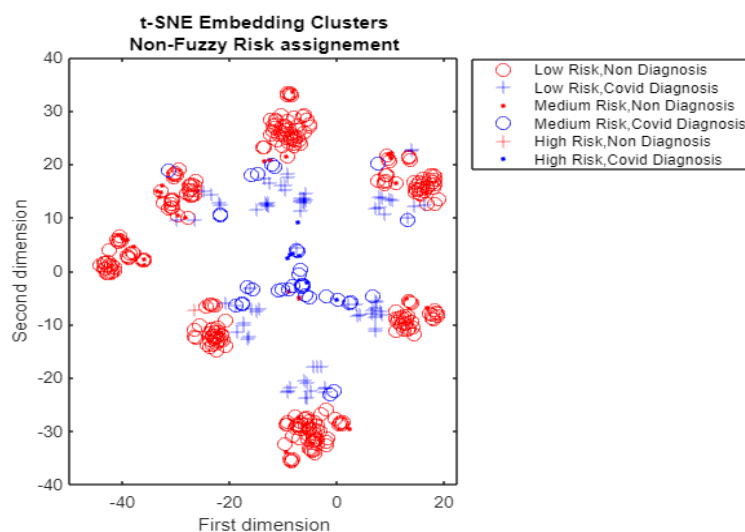


Figura 50. Proyección de cluster del modelo no-fuzzy, sin reglas establecidas. [autores].

Posteriormente se anexa la proyección de clúster donde establecen las reglas para el desarrollo del modelo.

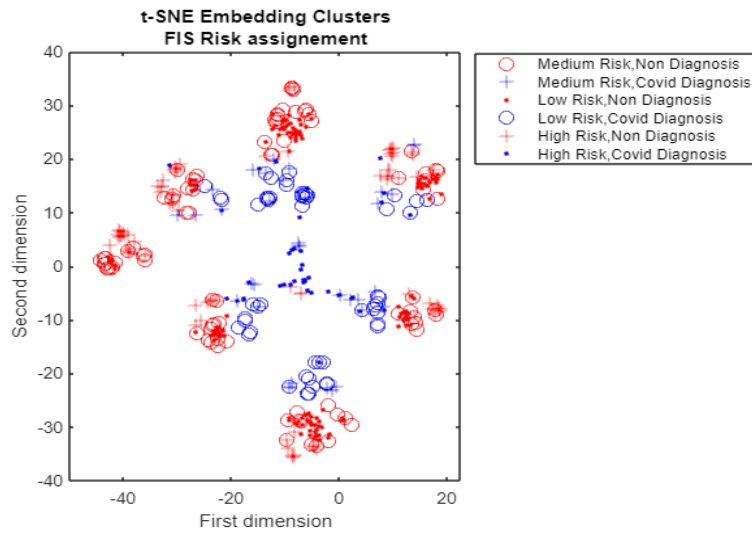


Figura 51. Proyección de cluster del modelo fuzzy, con reglas establecidas. [autores].

En la siguiente feature presentada se observa la clasificación que realiza el modelo sin las reglas establecidas por nosotros. El método de diferenciación de riesgo es por color donde el color rojo muestra a los clasificados como alto riesgo, el azul como medio y el verde como bajo.

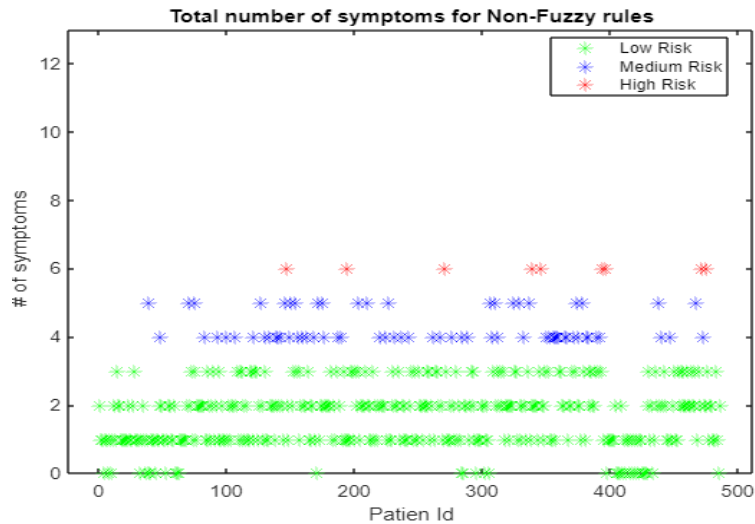


Figura 52. Clasificación del modelo, sin las reglas establecidas. [autores].

Con las reglas establecidas se puede ver una clasificación más certera donde se observa el número de voluntarios con mayor probabilidad de COVID-19

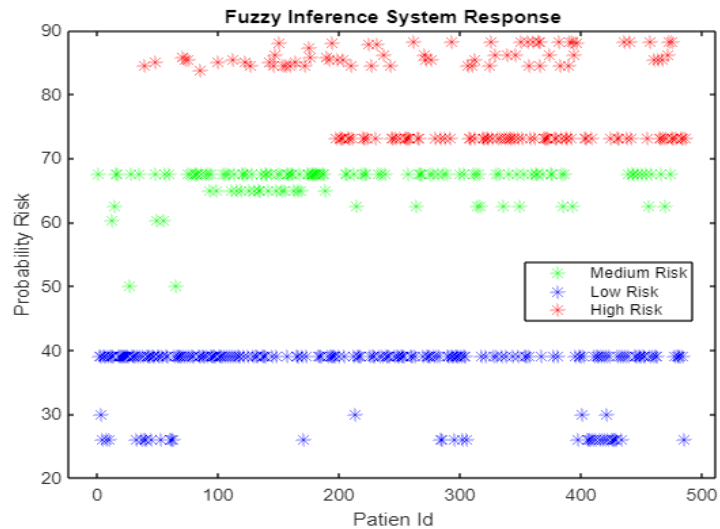


Figura 53. Clasificación del modelo, con las reglas establecidas. [autores].

### 13.5.2. Sistema Fuzzy.

En el modelo se crearon 4 entradas donde la primera es la edad, y el sistema la categoriza en (Jóvenes, Adultos, Adultos Mayores), los síntomas se dividen en 3 grupos, la entrada de antecedentes solo se contempla si tiene o no antecedentes clínicos y la adquisición de mediciones se toma en conjunto como saludable o no saludable, en base a los valores obtenidos.

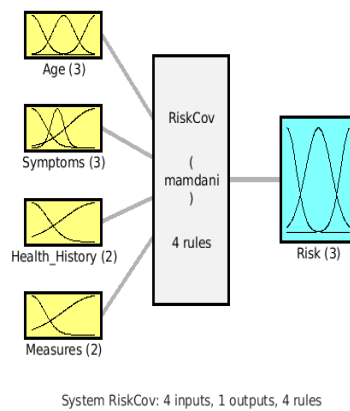


Figura 54. Diagrama fuzzy para el modelo establecido. [autores].

### 13.5.3. Reglas establecidas en el modelo fuzzy.

En el modelo se tomaron cuatro reglas base, donde se estableció que, si cumplía una condición, debía pasar de la misma manera por las demás reglas para poder verificar su veracidad. Las reglas fueron.

- Si no presenta síntomas, la historia clínica no tiene inconvenientes y la medida muestra datos normales, el riesgo será bajo.
- Si presenta algunos síntomas, la historia clínica tiene inconvenientes y la medida muestra algunos datos fuera de los normales, el riesgo será alto.
- Si presenta varios síntomas, la historia clínica tiene inconvenientes y la medida muestra varios datos inestables, el riesgo será alto.
- Si el usuario no está en la etiqueta de joven, su historia clínica tiene complicaciones, el riesgo será alto.

#### 13.5.4. Funciones de pertenencia.

En las funciones de pertenencia generadas se observa como el sistema puede clasificar cada variable como pertenece a cada una de sus clases. En la primera función contiene el rango de edad como puede afectar la probabilidad de pertenecer a una clase donde se puede detallar que a mayor edad el riesgo tiende a aumentar.

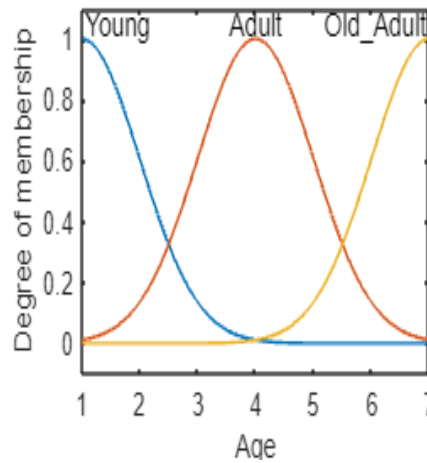


Figura 55. Gráfica de la función de pertenencia, clasificación de variables pertenecientes a cada una de sus clases. [autores].

En la segunda función se muestra la relación del número de síntomas donde a diferencia de la edad se categoriza por “no tiene”, “tiene pocos” y “tiene muchos”.

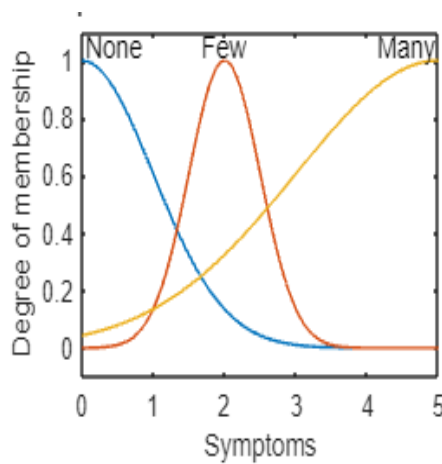


Figura 56. Gráfica de la función de pertenencia, relación de síntomas con categorización “no tiene”, “tiene pocos” y “tiene muchos”. [autores].

La tercera función de pertenencia muestra la categorización de si el usuario tiene antecedentes o no, esto puede ser determinado fácilmente ya que solamente se evalúa antecedentes cardiacos y de presión arterial.

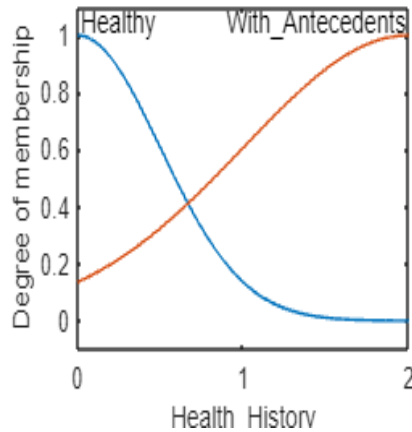


Figura 57. Gráfica de la función de pertenencia, relación si el usuario tiene antecedentes o no”. [autores].

La cuarta función muestra la relación de porcentaje el riesgo al que pertenece. Este porcentaje es acumulativo.

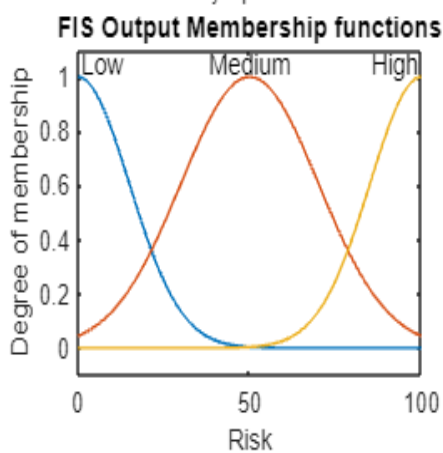


Figura 58. Gráfica de la función de pertenencia, relación de riesgo al que pertenece. [autores].

### 13.5.5. Operadores de las funciones.

En el modelo por medio de las pruebas realizada para la obtención de buenos resultados se ha logrado a través de que se maneje el mismo condicional (AND || AND, OR || OR).

### 13.5.6. Proyección en 3D de la relación de las variables.

Para mayor entendimiento de la relación que tienen unas variables con las otras, se decide proyectar 4 distintas gráficas donde se toman las 4 variables globales.

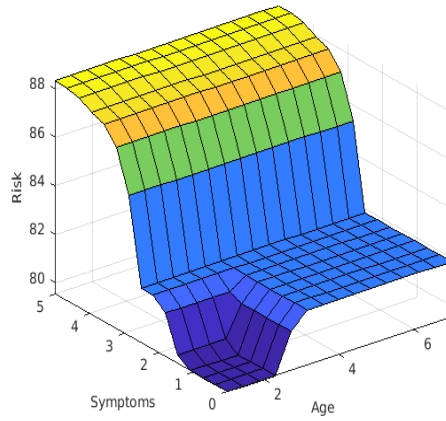


Figura 59. Proyección entre la variable síntomas y la edad. [autores].

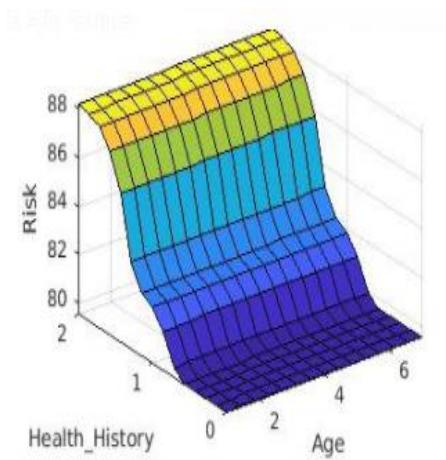


Figura 60. Proyección de riesgo entre la variable historial médico y la edad. [autores].

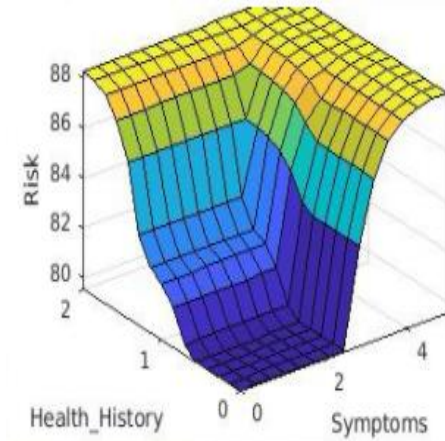


Figura 61. Proyección de riesgo entre historial médico y síntomas. [autores].



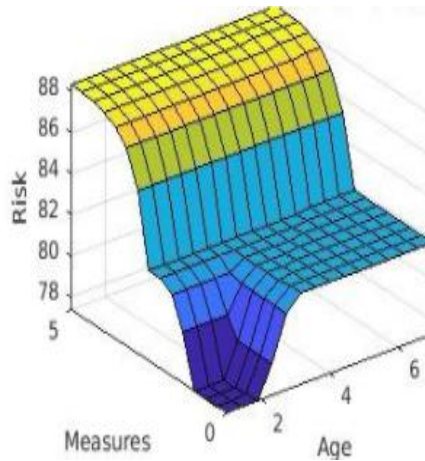


Figura 62. Proyección de riesgo entre las medidas del sensor y la edad. [autores].

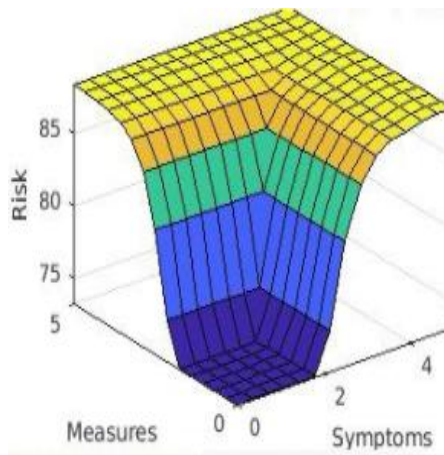


Figura 63. Proyección de riesgo entre la medición de los sensores y los síntomas. [autores].

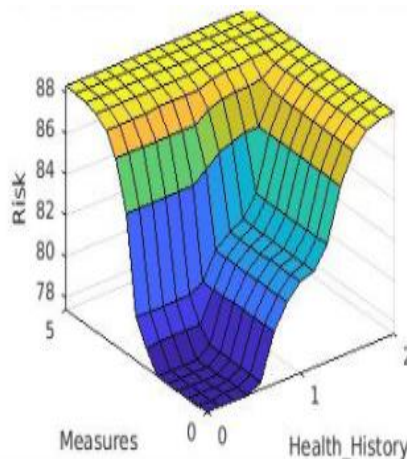


Figura 64. Proyección de riesgo entre las mediciones del sensor y la historia clínica. [autores].

### 13.5.7. Salida del sistema.

A través de la herramienta APP DESIGNER proporcionada por MATLAB, se diseñó la interfaz de una manera que se puede ingresar los datos registrados en la encuesta y posteriormente arroja la probabilidad de portar COVID-19 y el riesgo al que pertenece, adicionalmente se proyecta las funciones de pertenencia con el fin de demostrar los criterios de evaluación del modelo.

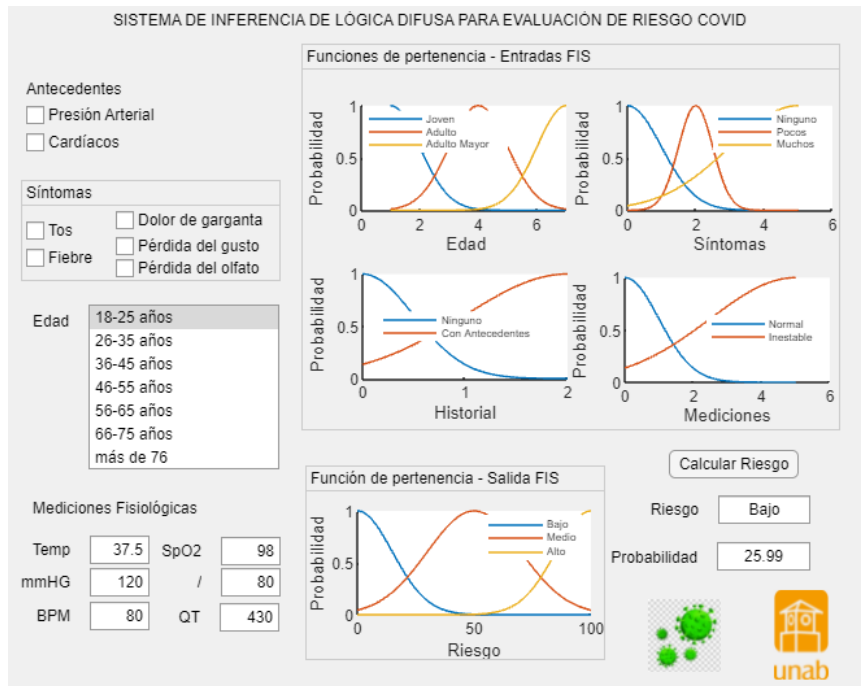


Figura 65. Interfaz diseñada mediante APP designer. [autores].

### 13.6. Montaje final del sistema para monitoreo de COVID-19.

A continuación, se evidencia el sistema de monitoreo totalmente terminado, donde se puede observar la planta y su toma de datos, así como la interfaz diseñada para el ingreso de los datos tomados con anterioridad con cada uno de los sensores y las respectivas preguntas realizadas para lograr una toma de datos más completa.

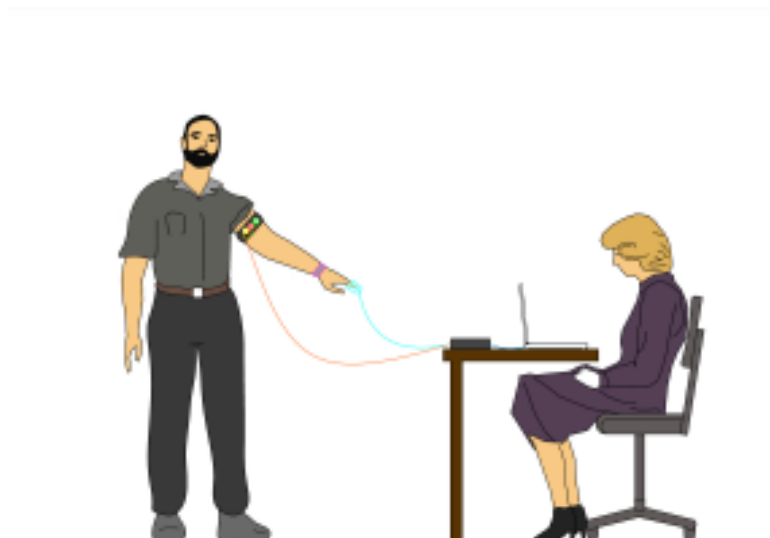


Figura 66. CAD del sistema de monitoreo finalizado. [autores].

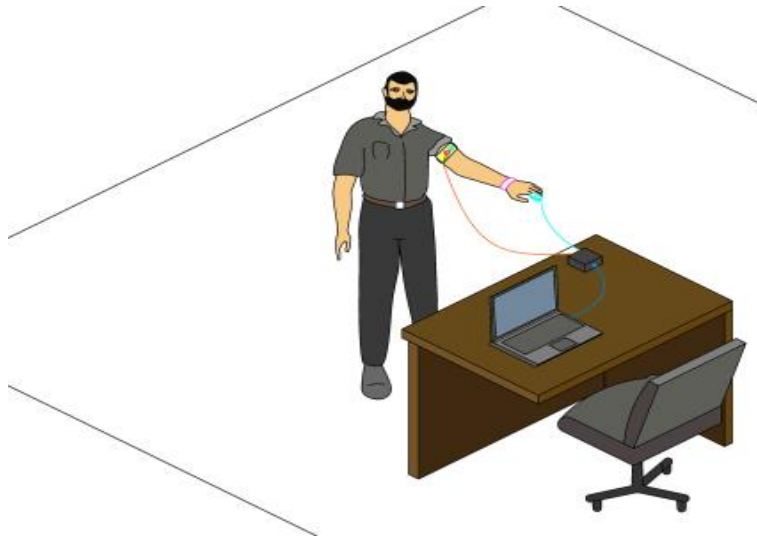


Figura 67. CAD del sistema de monitoreo finalizado. [autores].

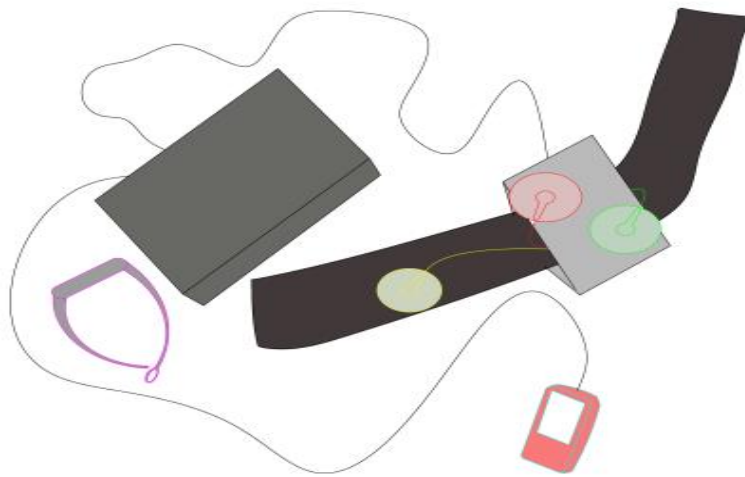


Figura 68. CAD del sistema de monitoreo finalizado. [autores].



*Figura 69. Fotografía del sistema de monitoreo finalizado. [autores].*

## 14. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En la investigación realizada en el transcurso que se realizó el proyecto, se observó que mediante nuevas investigaciones y el avance científico referente al COVID\_19 la altas temperaturas en las personas ya no eran una medición considerable como se difundió en un principio, se realizaron nuevas investigaciones en las que se empezaron a relacionar otras variables en común que presentaban los pacientes al contraer el virus, en base a estas nuevas investigaciones decidimos estudiar una serie de variables que al ser trabajadas en conjunto arrojan un resultado más preciso al momento de realizar el monitoreo; Se aumentó la robustez en el modelo con el análisis de valores obtenidos de forma cualitativa como la encuesta donde posteriormente se cuantificó con el fin de mejorar el mismo.

En un principio se comentaba mediante algunos artículos como el desarrollado por J.Gea a comienzos del 2020 [32], donde expresa mediante pruebas la posible relación que existía entre la variación de la saturación de oxígeno y el COVID-19, después de aproximadamente un año y medio de investigaciones y comprobaciones por medio de las personas infectadas con este virus, se logra determinar que la saturación de oxígeno es un medidor de posible presencia del virus en el cuerpo.

Estudios han mostrado que la onda QT es un medidor también de posible presencia de COVID-19 en la persona, pero a través de la planta desarrollada se pudo estudiar que un sensor con mayor capacidad para acondicionar la señal recibida y acompañado de un receptor de la onda de mejor características puede dar pie al estudio de más indicadores que pueden mostrar relaciones del SARS-CoV2 **con** anomalías de la onda del ECG.

Mediante los análisis de posibles métodos para realizar el estudio de los datos obtenidos, se tomó la decisión de trabajar mediante el modelo fuzzy, ya que es un método para el análisis de datos que ha tomado mucha fuerza en el área médica por su gran eficacia y facilidad al momento de desarrollar el algoritmo, esta metodología se basa principalmente en ser alimentada previamente mediante datos registrados con anterioridad los cuales son restringidos por límites que permite binarizar las variables, de esta manera se logra obtener dos resultados que son 1 y 0, estos valores son tomados como entradas y posteriormente analizados para obtener un porcentaje de contagio en nuestro caso, en la salida del sistema.

Una manera para mejorar el sistema es, incrementar el número de variables que tengan relación directa con el virus, también se puede hacer una encuesta mucho más completa en la que se pregunten otras enfermedades de base que pueden tener las personas o cualquier tipo de comorbilidad, por otra parte se puede adicionar si las personas que se van analizar han sido vacunadas, que tipo de vacuna han adquirido y el tiempo que tiene de vacunado, de esta manera se puede incluir en el análisis que tan efectivas han sido las diferentes vacunas que se han creado para inmunizar las personas.

## 15. CONCLUSIONES.

- El SARS-CoV2 se categorizó entre las enfermedades con mayor impacto desde que la humanidad ha tenido registro, donde a pesar de que estadísticamente no tiene una tasa de mortalidad alta, su tasa de contagio ha sido lo suficientemente alta para llegar a gran parte de la población mundial, teniendo cifras de muertos altas en los grupos más vulnerables.
- El COVID-19 al ser un virus adquirido hace poco tiempo, tiene una característica muy relevante que es la evolución del virus como tal, pues se han registrado evoluciones en su estructura genética y por otra parte una evolución científica de los investigadores enfocados en el análisis del SARS-CoV2, por estas razones se deben tener en cuenta tantas variables como sea necesario para lograr un buen monitoreo de síntomas en las personas.
- Debido al corto tiempo que ha transcurrido desde que la enfermedad apareció, las investigaciones a pesar de tener la metodología científica, son propensas a ser refutadas por su prematuro conocimiento, en caso de que futuras investigaciones con mejor soporte científico logren encontrar o desarrollar mejores técnicas de monitoreo y diagnóstico, este proyecto tiene la posibilidad de ser base para mejores formas de solucionar actuales y futuras enfermedades.
- Los científicos al notar la alta propagación del virus, empezaron a realizar sus investigaciones y posibles soluciones que podían tener las personas que estaban siendo afectadas, gracias a esto diferentes entidades empezaron a fabricar posibles dosis de medicamentos que controlarían el virus en un porcentaje o su totalidad, al tener avances científicos y las suficientes pruebas empezaron a sacar vacunas para tratar de inmunizar a las personas, estas vacunas siguen avanzando y mejorando su calidad.
- Al momento de diseñar la planta se obtuvieron diferentes variables a medir, de los cuales se eligieron las opciones más óptimas en cada una de las variables de medición, buscando la eficacia al momento de realizar las medidas y también la comodidad de la persona al ponerse cada uno de los sensores implementados.
- La implementación del sensor ECG en el antebrazo fue importante ya que se deseaba lograr que la medición fuera lo menos invasiva posible, como lo es usualmente la medición en la parte torácica o en distintos miembros del cuerpo.
- Al integrar el sensor de temperatura infrarrojo se observaba su gran variación dependiendo de la distancia a la que se ponía de la persona, por lo tanto, se toma la decisión de realizar el registro de temperatura mediante el sensor del Smartwatch, pues este sensor al estar diseñado mediante una manilla, siempre tendrá la misma distancia entre el sensor y la muñeca de la persona y arrojará mejores resultados.
- En la realización de la base de datos para el entrenamiento del algoritmo, se determina que es de gran importancia la cantidad de personas analizadas, ya que de esta manera se puede obtener un entrenamiento más robusto en el sistema de monitoreo, por esta razón es de suma importancia lograr alimentar cada vez más las bases de datos y agregar más variables que mediante su análisis pueda obtener un mejor monitoreo.
- El modelo Fuzzy permitió un análisis con una categorización poco discriminatoria donde las variables pueden ser fácilmente asociadas a la presencia del COVID-19 y a través de la comparación de aplicaciones con reglas establecidas y proporcionadas por especialistas se puede comparar la diferencia del modelo donde trabaja sin normas tiende a clasificar diferencial y puede ser problemático para modelos de análisis médicos.
- Mediante las librerías que ofrece Matlab se pudo realizar una interfaz adecuada en la cual se pueden ingresar y también se pueden analizar datos sin la necesidad de estar conectado en una planta específica, sino que se pueden obtener los datos desde otros tipos de sensores o equipos de medición e ingresarlos manualmente a la interfaz diseñada y ella arroja el análisis correspondiente.

## 16. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.

- Realizar una investigación de artículos y revistas de los últimos meses, de esta manera lograr identificar las nuevas cepas del virus junto a sus reacciones en el cuerpo; logrando vincular al sistema de monitoreo diferentes tipos de sensores que logren detectar los cambios de dichas variables en el cuerpo, logrando tener un resultado con mayor exactitud.
- Diseñar un sistema el cual permita vincular, alimentar y guardar los datos recolectados en la interfaz HMI con las muestras tomadas en cada persona, sin la necesidad de realizar la encuesta diseñada para la recolección de datos.
- Adquirir un sistema de sensores de mayor capacidad y de esta manera lograr una mayor estabilidad en la toma de datos y poder arrojar un prediagnóstico con mayor porcentaje de efectividad.
- Implementar en el sistema de medición las nuevas variables y los respectivos sensores, de esta manera lograr una medición de los síntomas que presenta el cuerpo como reacción al momento de ser infectado con el virus y sus diferentes cepas.
- Incluir en la toma de variables del sistema de monitoreo sí la persona ha sido vacunada, que tipo de vacuna le han aplicado y el numero de dosis que le han inyectado.

## 17. REFERENCIAS.

- [1] I. S. f. I. Diseases, «PRO/AH/EDR» COVID-19 update (59): global, cruise ship, more countries, WHO, » *International Society for Infectious Diseases*, 2020.
- [2] B. B. Corporation, «Coronavirus: Death toll rises as virus spreads to every Chinese region, » 2020. [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20200130033343/https://www.bbc.co.uk/news/world-asia-china-51305526>.
- [3] Minsalud, «Colombia confirma su primer caso de COVID-19,» 06 03 2020. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Colombia-confirma-su-primer-caso-de-COVID-19.aspx>.
- [4] PORTAFOLIO, «PORTAFOLIO,» 31 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.portafolio.co/economia/oms-advertencia-sobre-vacuna-coronavirus-539766>.
- [5] G. G. MARTÍNEZ, «La FM,» 29 04 2020. [En línea]. Available: <https://www.lafm.com.co/colombia/casos-de-coronavirus-en-colombia-hoy-29-de-mayo>.
- [6] M. Bristow, «BNN Bloomberg,» 19 06 2020. [En línea]. Available: <https://www.bnnbloomberg.ca/covid-friday-shopping-frenzy-triggered-by-colombia-vat-holiday-1.1453239>.
- [7] «GOOGLE,» 03 08 2020. [En línea]. Available: <https://www.google.com/search?q=covid+colombia&oq=Covid+co&aqs=chrome.1.69i57j0l5j69i60l2.3802j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8#wptab=s:H4sIAAAAAAAAAAONgVuLVT9c3NMwySk6OL8zJecTYwMgt8PLHPWGP8klrTI5jLOQS901NyUzOzEt1ySxOTSxO9cIPTizJzM8T0uNic80rySypFFLhEpRCNUeDQYq>.
- [8] T. M. I. Dis, «US National Library of Medicine, » 16 04 2020. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7229742/>.
- [9] PORTAFOLIO, «PORTAFOLIO,» 31 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.portafolio.co/economia/oms-advertencia-sobre-vacuna-coronavirus-539766>
- [10] A. Sakagianni, G. Feretzakis, Di. Kalles, C. Koufopoulou, y V. Kaldis, «Setting up an easy-to-use machine learning pipeline for medical decision support: A case study for COVID-19 diagnosis based on deep learning with CT scans», *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 272, n.º December 2019, pp. 13-16, 2020, doi: 10.3233/SHTI200481.
- [12] J. E. Marcus *et al.*, «COVID-19 Monitoring and Response Among U.S. Air Force Basic Military Trainees — Texas, March–April 2020», *MMWR. Morb. Mortal. Wkly. Rep.*, vol. 69, n.º 22, pp. 685-688, 2020, doi: 10.15585/mmwr.mm6922e2.
- [13] S. Mahapatra y P. Chandra, «Clinically practiced and commercially viable nanobio engineered analytical methods for COVID-19 diagnosis», *Biosens. Bioelectron.*, vol. 165, n.º April, p. 112361, 2020, doi: 10.1016/j.bios.2020.112361
- [14] L. T. Roland, J. G. Gurrola, P. A. Loftus, S. W. Cheung, y J. L. Chang, «Smell and taste symptom-based predictive model for COVID-19 diagnosis», *Int. Forum Allergy Rhinol.*, vol. 10, n.º 7, pp. 832-838, 2020, doi: 10.1002/alr.22602.
- [15] Z. Huang *et al.*, «Ultra-sensitive and high-throughput CRISPR-powered COVID-19 diagnosis», *Biosens. Bioelectron.*, vol. 164, n.º April, p. 112316, 2020, doi: 10.1016/j.bios.2020.112316.



- [16] F. Mejía, «Características Clínicas y factores asociados a mortalidad en pacientes adultos hospitalizados por COVID-19 en un hospital público de Lima, Perú,» 2020. [En línea]. Available: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/858/>. [Último acceso: 12 08 2020]
- [17] M. P. Tonatiuh Barrientos-Gutiérrez, «saludpublica,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/11606/11888>. [Último acceso: 3 agosto 2020].
- [18] T. e. al., «Covid-19 recomendaciones generales para la atención a personas mayores desde una perspectiva de derechos humanos,» *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, p. 27, 2020.
- [19] Y.-W. Tang, «Laboratory Diagnosis of COVID-19: Current Issues and, » p. 9, 03 04 2020.
- [20] L. Scherf, «Thermographic monitoring of skin surface temperature associated with hot-iron disbudding in calves, » *Schweizer Archiv fur Tierheilkunde*, pp. 174-184, 2020.
- [21] Devdas Shetty, Jun Kondo, Claudio Campana, Richard A. Koll. Real time mechatronic design for research and education. Proceeding of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition Copyright
- [22] <https://pymstatic.com/9548/conversions/auricula-default.jpg>
- [23] W. Einthoven, «Le telecardiogramme,» *Archives internationales de physiologie et de biochimie*, 1906
- [24] J. F. Guadalajara Boo, *Cardiología*, 6 ed., México: Mendez Editores, 2010.
- [25] K. E. Barrett, S. M. Barman, S. Boitano y H. L. Brooks, Ganong. *Fisiología médica*, 23° ed., México, D.F.: McGRAWHILL Interamericana Editores, 2010.
- [26] I. Mendoza, «Recomendaciones de la Sociedad Interamericana de Cardiología (SIAC) para prevenir o mitigar el riesgo de prolongación del intervalo QTc y arritmias potencialmente letales con el tratamiento por COVID-19,» *Sociedad Interamericana de Cardiología*, 2020.
- [27] «Scientific Electronic Library Online, » [En línea]. Available: <https://scielo.conicyt.cl/img/revistas/rcp/v89n5//0370-4106-rcp-00905-gf1.jpg>. [Último acceso: 2020].
- [28] Eluwana A Amaratunga, «Bradycardia in Patients With COVID-19: A Calm Before the Storm?,» 2020.
- [29] J. Webster, *Design of Pulse Oximeters*, Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1997.
- [30] J. Bailey, M. Fecteau y N. L. Pendleton, «Wireless Pulse Oximeter Major Qualifying Project Report, » Worcester Polytechnic Institute, 2008.
- [31] Y. Mendelson, «“Pulse Oximetry”, » de *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*, John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [32] J. Gea, «Posibles limitaciones en la utilización de la presión arterial de oxígeno en procesos respiratorios por SARS-CoV-2,» 2020.
- [34] A. C. Zambrana, «Medición de la Tensión Arterial,» p. 50, 2008.
- [35] «TENSIOMETRO MICROLIFE BP 3AQ1-1P X, » *locatel*
- [36] <https://www.locatelcolombia.com/diagnostico-medicion-tensiometros-25212242/p>

- [37] «Temperatura corporal normal,» *MedlinePlus*.
- [38] Villegas., McEneaney y Escalona «Arm-ECG Wireless Sensor System for Wearable Long-Term Surveillance of Heart Arrhythmias» Venezuela 2019
- [39] Creus Solé, A. (2005). Instrumentación industrial. Marcombo. ISBN 84-267-1361-0. Págs. 283-296
- [41] «Uso e interpretación de la espirometría,» *Ministerio de Salud*, agosto 2016.
- [42] <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/como-afecta-la-covid-19-al-corazon/>
- [43] Worldwide Trends in Blood Pressure From 1975 to 2015: A Pooled Analysis of 1479 Population-Based Measurement Studies With 19.1 Million Participants. *Lancet* 2016;Nov 15:[Epub ahead of print]
- [44] Greenland P., Daviglius M.L., Dyer A.R. et al. : "Resting heart rate is a risk factor for cardiovascular and noncardiovascular mortality: the Chicago Heart Association Detection Project in Industry". *Am J Epidemiol* 1999; 149: 853.
- [45] Anttonen O., Junttila M.J., Rissanen H., Reunanen A., Viitasalo M. and Huikuri H.V. : "Prevalence and prognostic significance of short QT interval in a middle-aged Finnish population". *Circulation* 2007; <https://www.jacc.org/doi/full/10.1016/j.jacc.2010.09.048>.
- [46] Jain K, Padley SPG, Goldstraw EJ, Kidd SJ, Hogg C, Biggart E, et al. Primary ciliary dyskinesia in the paediatric population: range and severity of radiological findings in a cohort of patients receiving tertiary care. *Clin Radiol.* 2007;62(10): 986-93. [https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/protocolos\\_diagn\\_y\\_terap\\_neumoped\\_aep.pdf](https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/protocolos_diagn_y_terap_neumoped_aep.pdf)
- [47] Xiaoling Xu, Mingfeng Han, Tiantian Li, Wei Sun, Dongsheng Wang, Binqing Fu, Yonggang Zhou, Xiaohu Zheng, Yun Yang, Xiuyong Li, Xiaohua Zhang, Aijun Pan, Haiming Wei. Effective Treatment of Severe COVID-19 Patients with Tocilizumab. *chinaXiv:202003.00026v1*, [https://www.msccbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Protocolo\\_manejo\\_clinico\\_ah\\_COVID-19.pdf](https://www.msccbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/Protocolo_manejo_clinico_ah_COVID-19.pdf)
- [48] Asociación colombiana de infectología <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>
- [49] J. Yen, L. Wang and C. W. Gillespie, "Improving the Interpretability of TSK Fuzzy Models by Combining Global and Local Learning", *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 530-537, 1998.
- [50] C. Soto y C. Jiménez , «APRENDIZAJE SUPERVISADO PARA LA DISCRIMINACIÓN Y CLASIFICACIÓN DIFUZA,» Bogotá, 2011.
- [51] Kapman y Parker, « An interactive website tracking COVID-19 vaccine development». 2021.
- [52] El Tiempo, « ¿Cuándo podrá vacunarse? Conozca las fases y quienes tendrán prioridad» Bogotá, 2021.
- [53] «Medición de la temperatura,» *MedlinePlus*.
- [54] «La.mathworks.com. 2021. [online] Available at: <[https://la.mathworks.com/help/pdf\\_doc/fuzzy/fuzzy\\_ug.pdf](https://la.mathworks.com/help/pdf_doc/fuzzy/fuzzy_ug.pdf)> [Accessed 20 June 2021].
- [55] Mathworks.com. 2021. *Develop Apps Using App Designer- MATLAB & Simulink*. [online] Available at: <<https://www.mathworks.com/help/matlab/app-designer.html>> [Accessed 20 June 2021].

[56] Bonifacio Martin del Brio. *Redes neuronales y sistemas difusos*. [online] Available at: <<https://cayetanoguerra.github.io/ia/logicadifusa/Logica%20difusa%20y%20sistemas%20de%20control.pdf>> [Accessed 20 June 2021].

## 18. ANEXOS.

### 18.1. DataSheet de los sensores implementados.

#### DataSheet del sensor AD8232

AD8232		Data Sheet	
<b>TABLE OF CONTENTS</b>			
Features .....	1	Standby Operation .....	20
Applications .....	1	Input Protection .....	20
Functional Block Diagram .....	2	Radio Frequency Interference (RFI) .....	20
General Description .....	2	Power Supply Regulation and Bypassing .....	20
Revision History .....	2	Input Referred Offsets .....	20
Specifications .....	3	Layout Recommendations .....	20
Absolute Maximum Ratings .....	5	Applications Information .....	24
ESD Caution .....	5	Eliminating Electrode Offsets .....	24
Pin Configuration and Function Descriptions .....	6	High-Pass Filtering .....	24
Typical Performance Characteristics .....	6	Low-Pass Filtering and Gain .....	24
Instrumentation Amplifier Performance Curves .....	7	Driving Analog-to-Digital Converters .....	24
Operational Amplifier Performance Curves .....	10	Driven Electrode .....	26
Right Leg Drive (RLD) Amplifier Performance Curves .....	10	Application Circuits .....	24
Reference Buffer Performance Curves .....	10	Heart Rate Measurement Next to the Heart .....	24
System Performance Curves .....	10	Exercise Application: Heart Rate Measured at the Hands .....	24
Theory of Operation .....	16	Cardiac Monitor Configuration .....	26
Architecture Overview .....	16	Portable Cardiac Monitor with Elimination of Motion .....	26
Instrumentation Amplifier .....	16	Artifacts .....	25
Operational Amplifier .....	16	Packaging and Ordering Information .....	26
Right Leg Drive Amplifier .....	16	Outline Dimensions .....	26
Reference Buffer .....	17	Ordering Guide .....	27
Fast Restore Circuit .....	17		

Figura 70. Datasheet del sensor AD8232.

#### DataSheet del sensor MAX 30102

MAX30102		High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health	
<b>Absolute Maximum Ratings</b>			
VDD to GND .....	-0.3V to +2.2V	Continuous Power Dissipation (TA = +70°C) .....	440mW
GND to PGND .....	-0.3V to +0.3V	OESIP (derate 5.5mW/°C above +70°C) .....	440mW
X_DRV, VLED to PGND .....	-0.3V to +6.0V	Operating Temperature Range .....	-40°C to +85°C
All Other Pins to GND .....	-0.3V to +6.0V	Junction Temperature .....	+90°C
Output Short-Circuit Current Duration .....	Continuous	Soldering Temperature (reflow) .....	+260°C
Continuous Input Current into Any Terminal .....	±20mA	Storage Temperature Range .....	-40°C to +105°C
ESD, Human Body Model (HBM) .....	±2.5kV		
Latchup Immunity .....	±250mA		
<b>Package Thermal Characteristics (Note 1)</b>			
OESIP		Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θJA) .....	180°C/W
		Junction-to-Case Thermal Resistance (θJC) .....	150°C/W
Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to <a href="http://www.maximintegrated.com/thermal-tutorial">www.maximintegrated.com/thermal-tutorial</a> .			
<b>Electrical Characteristics</b>			
(VDD = 1.8V, VIR_LED+ = VR_LED+ = 5.0V, TA = -40°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values are at TA = +25°C) (Note 2)			

Figura 71. Datasheet del sensor MAX 30102.

## 18.2. Conocimiento informativo.

Para tener la autorización de los datos de cada una de las personas a las cuales se les realizaba la toma de datos, se diseñó un consentimiento informativo el cual permite que las personas tengan claridad sobre el tratamiento que se le realiza a los datos que se tomaron.

### Consentimiento informativo

¿En qué consiste?

Es una prueba con fines de diagnóstico y monitoreo realizada a personas poseedoras con COVID-19 sintomáticas y asintomáticas, al igual que con personas que no poseen la enfermedad.

El proceso que se realiza es la recolección y tratamiento de la información recolectada a través del uso de un sensor electrocardiógrafo, un oxímetro y un tensiómetro para el desarrollo de un algoritmo que permita identificar si el paciente es un posible portador del COVID-19 en periodos pequeños de tiempo.

Yo \_\_\_\_\_ con cédula de ciudadanía número \_\_\_\_\_ de la ciudad de \_\_\_\_\_, certifico que he sido notificado del uso y aplicación que tendrá la información recolectada de mis signos vitales para el desarrollo de "Sistema para diagnóstico del COVID-19 en etapas tempranas", del cual tengo conocimiento y conozco su finalidad.

Frente a lo anterior doy mi consentimiento para el desarrollo de las pruebas pertinentes en este proceso.

Firma asistente

La prueba a realizar es netamente académica, no será usada por terceros

## 18.3. Encuesta realizada a las personas que se les hacía la toma de datos.

El siguiente cuestionario fue realizado por medio de la aplicación formularios brindada por Google, la cual facilitaba el almacenamiento de datos en Excel teniendo en cuenta cada una de las preguntas realizadas en el cuestionario.

# Formulario sistema de monitoreo

Es una prueba con fines de diagnóstico y monitoreo realizada a personas poseedoras con COVID-19 sintomáticas y asintomáticas, al igual que con personas que no poseen la enfermedad.

El proceso que se realiza es la recolección y tratamiento de la información recolectada a través del uso de un sensor electrocardiógrafo, un oxímetro y un tensiómetro para el desarrollo de un algoritmo que permita identificar si el paciente es un posible portador del COVID-19 en periodos pequeños de tiempo.

**\*Obligatorio**

---

Certifico que he sido notificado del uso y aplicación que tendrá la información recolectada de mis signos vitales para el desarrollo de "Sistema para diagnóstico del COVID-19 en etapas tempranas", del cual tengo conocimiento y conozco su finalidad. \*

Sí

No

---

Nombre \*

Tu respuesta

---

---

Cedula de ciudadanía \*

Tu respuesta

---

---

Edad \*

- 18 años - 25 años
- 26 años - 35 años
- 36 años - 45 años
- 46 años - 55 años
- 56 años - 65 años
- 66 años - 75 años
- Más de 76 años

¿Has presentado algunos de estos síntomas recientemente ( en la ultima semana)? \*

- Fiebre de 38° C o más
  - Dificultad para respirar
  - Dolor de garganta
  - Disminución en el sentido del olfato
  - Disminución en el sentido del gusto
  - Tos
  - Fatiga o decaimiento
  - Ninguno de los anteriores
- 

¿Sufre o tiene antecedentes de problemas cardiacos? \*

- Si
- No



¿Sufre o tiene antecedentes de problemas relacionados con la presión arterial? \*

Sí

No

---

¿Ha sido confirmado de COVID-19 positivo? \*

Sí

No

---

Si la respuesta anterior es sí, ¿Hace cuanto tiempo fue diagnosticado de COVID-19 positivo? \*

De 1 a 3 Meses

De 3 a 6 Meses

De 6 a 9 Meses

De 9 a 12 Meses

Más de 1 año

Temperatura detectada \*

Tu respuesta

---

SpO2 detectada

Tu respuesta

---

mmHg detectada

Tu respuesta

---

BPM detectado

Tu respuesta

---

QT (en mS) detectado

Tu respuesta

---

#### 18.4. **Planos del sistema**

Los planos usados en el desarrollo del sistema de monitoreo en los Software de Arduino y Matlab se adjuntan en la carpeta correspondiente al proyecto de grado, esto con la finalidad de evitar saturaciones en el libro.

