



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA UN ROBOT TELEOPERADO CONTRA EL COVID-19**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21611008 ANDREA NICOLE SORTO LÓPEZ**

**21611244 TANIA CAROLINA MÁRQUEZ BUESO**

**ASESOR: ING. ALBERTO MAX CARRASCO**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA;**

**AGOSTO, 2020**

## **DEDICATORIA**

ANDREA SORTO:

Este trabajo de investigación es dedicado primeramente a Dios, por permitirme llegar hasta  
aquí, con esfuerzo y dedicación.

A mi madre, por ser mi motor y fuente de motivación diaria, por sus sacrificios, paciencia y amor  
para convertirme en la persona que soy y ayudarme a cumplir mis sueños.

TANIA MÁRQUEZ:

A los médicos del país que día a día ponen en riesgo su vida en servicio de la población y que  
por medio de estas herramientas puedan seguir realizando su labor tan vital en estos tiempos.

A Dios, y a mis padres que con tanto esfuerzo me dieron la oportunidad de realizar mis estudios  
en una universidad tan prestigiosa como UNITEC.

## **AGRADECIMIENTOS**

ANDREA SORTO:

Quiero agradecer primeramente a Dios por la bendición de culminar de su mano, una etapa importante de mi vida. Gracias a mi madre Blanca López, que con mucho esfuerzo me ha sacado adelante, por acompañarme en este camino y nunca abandonarme, por ser mi mayor ejemplo de superación y trabajo duro, sin ella nada de esto sería posible. A mi abuelita Blanca, por ser fuente de sabiduría y amor incondicional. A mi tío Jorge Paz, por su apoyo a lo largo de mis estudios universitarios, por sus consejos, conocimientos y cariño de padre. Gracias a Lorvis Trejo por su paciencia y amor, por acompañarme en este trayecto y motivarme a nunca darme por vencida y lograr todo lo que me proponga. Por último, pero no menos importante a mi amiga y colega Tania Márquez por ser esa compañera y apoyo durante cinco años, y compartir juntas este logro.

TANIA MÁRQUEZ:

Mis agradecimientos van dirigidos a Dios por bendecirme con padres maravillosos que a pesar de las dificultades siempre han procurado con sacrificio, brindarme la mejor educación y así poder forjar una carrera profesional exitosa. Quienes además han creído en mí y en mis capacidades, lo que me ha motivado a esforzarme al máximo en mis estudios. A mis hermanos, que a pesar de la distancia han sido un apoyo constante en esta etapa de mi vida. A mi compañera Andrea Sorto con quien hemos formado una amistad y un equipo de trabajo basado en el apoyo mutuo, esfuerzo y compromiso en cada asignación a lo largo de estos años para llegar hasta donde estamos hoy, compartiendo uno de los últimos logros de nuestra carrera profesional.

## EPÍGRAFE

*"Uno nunca ve lo que se ha hecho, sino que ve lo que queda por hacer."*

*-Marie Curie*

## RESUMEN EJECUTIVO

La pandemia del COVID-19 ha ocasionado un cambio radical en el estilo de vida de los seres humanos, especialmente en Honduras donde el sistema de salud no es tan desarrollado tecnológicamente en comparación a otros países. La implementación de tecnologías IoT para combatir el COVID-19 ha encapsulado una visión donde cualquier dispositivo u objeto pueda ser manipulado de forma remota, proporcionando herramientas con resultados prometedores en la búsqueda de alternativas para poder asistir en tareas que permitan laborar con mayor precisión y menor riesgos de exposición del personal de salud, ayudando en la obtención, análisis y transmisión de datos en tiempo real. En este documento, se estableció la integración de la plataforma abierta Firebase con la cual, gracias a su herramienta de desarrollar una base de datos en tiempo real, permitió el almacenamiento de comandos de movimiento para un robot tele operado. Como resultado se obtuvo un prototipo de robot programado en Python a partir de una Raspberry Pi la cual procesa los datos digitales obtenidos creando una comunicación entre la base de datos y una aplicación amigable con el usuario creada en MIT App Inventor. El robot es capaz de moverse en cuatro direcciones desde cualquier punto, conectado a una red local o wifi.

**Palabras clave:** *Internet de las cosas, tele operación, Raspberry Pi, base de datos, COVID-19.*

## ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has caused a radical change in the lifestyle of human beings, especially in Honduras where the health system is not as technologically developed compared to other countries. The implementation of IoT technologies to combat COVID-19 has encapsulated a vision where any device or object can be manipulated remotely, providing tools with promising results in the search for alternatives to be able to assist in tasks that allow to work with greater precision and less risks of exposure of health personnel, helping to obtain, analyze and transmit data in real time. In this document, the integration of the open Firebase platform was established with which, thanks to its tool to develop a real-time database, it allowed the storage of movement commands for a remote operated robot. As a result, a prototype of a robot programmed in Python was obtained from a Raspberry Pi which processed the digital data obtained by creating a communication between the database and a user-friendly application created in MIT App Inventor. The robot can move in four directions from any point, connected to a local network or Wi-Fi.

**Keywords:** *Internet of Things, teleoperation, Raspberry Pi, database, COVID-19.*

## Tabla de contenido

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>2.1 Precedentes del problema</b> .....	4
<b>2.2 Definición del problema</b> .....	6
<b>2.3 Justificación</b> .....	7
<b>2.5 Objetivos</b> .....	7
2.4.1 Objetivo General.....	7
2.4.2 Objetivos Específicos.....	8
<b>III. MARCO TEÓRICO</b> .....	9
<b>3.1 COVID-19</b> .....	9
3.1.1 Síntomas.....	9
3.1.2 Propagación.....	10
3.1.3 Diagnóstico.....	11
3.1.4 Impacto económico, social y psicológico.....	12
<b>3.2 Internet de las Cosas (IOT)</b> .....	14
3.2.1 Arquitectura IoT.....	16
3.2.2 Protocolos IoT.....	18
3.2.3 Aplicaciones IOT.....	21
3.2.4. Big Data.....	24
3.2.5. Robótica.....	24
<b>3.3 Tecnologías IoT frente al Covid-19</b> .....	25
<b>3.4 Tele operación</b> .....	28
3.4.1 Sistemas Bilaterales Maestro-Esclavo.....	30
3.4.2 Sistemas integrados en tiempo real.....	32
3.5.3 Sistemas Cliente/Servidor.....	32
<b>3.5 Base de datos</b> .....	33
3.5.1 Base de Datos Relacional.....	34
3.5.2 Real-Time DataBase.....	34
<b>3.6 Framework</b> .....	35

3.6.1 Node.Js .....	36
<b>IV. METODOLOGIA.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Enfoque .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Variables de investigación.....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Técnicas e instrumentación.....</b>	<b>39</b>
4.3.1 FireBase.....	40
4.3.2 Raspberry Pi .....	41
4.3.3 Python.....	41
4.3.4 Sensor MLX90614.....	42
<b>4.4 Materiales .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5 Metodología de Estudio.....</b>	<b>43</b>
4.5.1 ETAPA INICIAL: REQUERIMIENTOS .....	44
4.5.2 ETAPA FINAL: PRODUCTO FUNCIONAL.....	46
<b>4.6 Cronograma .....</b>	<b>46</b>
<b>V. ANALISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>5.1 CICLO A .....</b>	<b>48</b>
5.1.1 Etapa I: Definición de los Sistemas.....	49
5.1.2 Etapa II: Nivel de los Subsistemas .....	50
5.1.3 Etapa III: Realización de partes .....	51
5.1.4 Etapa IV: Integración de partes .....	54
5.1.5 Etapa V: Integración de Subsistemas.....	59
5.1.6 Etapa VI: Integración del Sistema.....	64
<b>5.2 CICLO B.....</b>	<b>65</b>
5.2.1 Etapa I: Definición de los Sistemas.....	66
5.2.2 Etapa II: Nivel de los Subsistemas .....	67
5.2.3 Etapa III: Realización de partes .....	68
5.2.4 Etapa IV: Integración de partes .....	72
5.2.5 Etapa V: Integración de Subsistemas.....	74
5.2.6 Etapa VI: Integración del Sistema .....	80
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>86</b>

<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	87
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	88
<b>ANEXOS</b> .....	100

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Capas de arquitectura IOT (3 capas, 5 capas, 6 capas, 7 capas, FOG).....	17
Ilustración 2. Aplicaciones del Internet de las Cosas. ....	21
Ilustración 3. Robot para transporte de utensilios médicos. ....	27
Ilustración 4. Elementos principales de un sistema tele operado. ....	29
Ilustración 5. Esquema de un sistema de tele operación en red.....	31
Ilustración 6. Conexión cliente-servidor .....	33
Ilustración 7. Elementos principales de una base de datos en tiempo real.....	35
Ilustración 8. Diagrama de variables dependiente e independientes.....	38
Ilustración 9. Técnicas e instrumentación utilizada en el desarrollo del sistema de control.....	39
Ilustración 10. Metodología Modelo en V.....	44
Ilustración 11. Cronograma de actividades. ....	47
Ilustración 12. Modelo en V del Ciclo A.....	48
Ilustración 13. Estructura de la base de datos en tiempo real.....	55
Ilustración 14. Interfaz de usuario. ....	56
Ilustración 15. Código en bloques dentro de App Inventor. ....	56
Ilustración 16. Pines GPIO del sistema de control.....	58
Ilustración 17. Conexiones esquemáticas para el funcionamiento del subsistema eléctrico. ....	59
Ilustración 18. Diagrama de flujo de la aplicación App Inventor. ....	61
Ilustración 19. Diagrama de flujo Integración Motor1. ....	62
Ilustración 20. Diagrama de flujo Integración Motor 2. ....	62
Ilustración 21. Diagrama de flujo del funcionamiento eléctrico.....	63
Ilustración 22. Funcionamiento exitoso del Subsistema de Control.....	64
Ilustración 23. Datos transferidos de manera exitosa entre los Subsistemas de Control, Procesamiento y Eléctrico.....	65
Ilustración 24. Modelo en V del Ciclo B.....	66
Ilustración 25. Vista trimétrica cuerpo de la estructura. ....	68
Ilustración 26. Vista trimétrica pared trasera. ....	69
Ilustración 27. Vista trimétrica tapadera.....	69
Ilustración 28. Vista trimétrica división del interior de la estructura.....	70
Ilustración 29. Esquemático puente H L298N.....	73
Ilustración 30. Ensamblaje prototipo final.....	74
Ilustración 31. Diagrama de flujo de la aplicación App Inventor. ....	76
Ilustración 32. Estructura en Firebase con Puente H.....	76
Ilustración 33. Diagrama de flujo Integración Motor A. ....	77
Ilustración 34. Diagrama de flujo Integración Motor B. ....	78
Ilustración 35. Diagrama de flujo del funcionamiento eléctrico.....	79
Ilustración 36. Estructura en Firebase del sensor MLX90614.....	80

Ilustración 37. Interior de la estructura.....	81
Ilustración 38. Estructura final en escala micro para realización de pruebas. ....	81
Ilustración 39. Integración del sistema. ....	82
Ilustración 40. Interfaz de usuario final.....	83
Ilustración 41. Interfaz App Inventor con lectura de la Temperatura. ....	84

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1. Comparativa del total de casos confirmados con COVID-19 el 1ero de Mayo y 04 de agosto.....</b>	<b>4</b>
<b>Tabla 2. Tamaños de cables y amperaje que soportan. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 3. Características de la Raspberry Pi 3 Modelo B v1.2 .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 4. Características Motor DC .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 5. Características Modulo Relés 4 canales.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 6. Giro del Motor A consecuente a los relés.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 7. Giro del Motor B consecuente a los relés.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 8. Desplazamiento consecuente a los Motores y Relés.....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 9. Características Motor DC .....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 10. Características Batería 12 V.....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 11. Características Puente H L298N .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 12. Características sensor MLX90614.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 13. Giro de Motor A consecuente a los interruptores del puente H.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 14. Giro de Motor B consecuente a los interruptores del puente H.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 15. Desplazamiento consecuente a los Motores y Puente H.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 16. Pruebas de distancia y tiempos de respuesta del sistema de control.....</b>	<b>85</b>

## SIGLAS

SBC	Single Board Computer
IOT	Internet of Things
OMS	Organización Mundial de la Salud
MQTT	Message Queing Telemetry Transport
CoAP	Constrained Application Protocol
XML	eXtensible Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
SSH	Secure Shell
FTP	File Transfer Protocol
PuTTY	Port Unique Tel

## Glosario

**Software:** Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

**Back-end:** Backend es la parte que se conecta con la base de datos y el servidor que utiliza dicho sitio web, por eso decimos que el backend corre del lado del servidor.

**Front-end:** Frontend es la parte de un sitio web que interactúa con los usuarios, por eso decimos que está del lado del cliente.

**Framework:** se podría traducir aproximadamente como marco de trabajo, es el esquema o estructura que se establece y que se aprovecha para desarrollar y organizar un software determinado. Esta definición, algo compleja, podría resumirse como el entorno pensado para hacer más sencilla la programación de cualquier aplicación o herramienta actual.

## I. INTRODUCCIÓN

A partir de la situación actual ocasionada por el brote del COVID-19 se ha producido el colapso en el sistema de salud del país, a raíz del aumento exponencial de casos diarios. Como consecuencia, el personal de salud se reduce cada vez más debido a los contagios que se producen a partir de las infecciones cruzadas entre pacientes y médicos. Por lo que es de vital importancia implementar nuevas tecnologías como el Internet de las Cosas (IOT) que incluyen múltiples soluciones a la situación que se vive globalmente, como el acceso remoto a información médica, implementación de sistemas como los robots autónomos para entrega y transporte de utensilios médicos, tecnologías de desinfección de superficies como drones y de igual manera robots que a través de radiación ultravioleta son capaces de desinfectar una zona específica. Aprovechar este tipo de asistencia tecnológica brinda a los médicos y personal de salud herramientas para disminuir el tiempo de sus labores en donde cada segundo es tiempo valioso para salvar vidas, también permiten evitar el contagio al ser alternativas sin contacto, aumentan la precisión en procedimientos de alto riesgo y como consecuencia brindan soluciones más rápidas y efectivas en comparación con otras operaciones en las que la carga recae sobre los humanos.

Dentro del campo del IOT se encuentran disciplinas como la tele operación que permiten el control de cualquier dispositivo u entorno de manera remota a través de un sistema maestro-esclavo, con esto se logrará mantener una comunicación bidireccional, es decir en ambos sentidos. Esta investigación buscará hacer uso de este tipo de tecnología disruptiva para evitar el contacto entre paciente-médico y de esta forma reducir el número de contagios por parte del personal sanitario. Para ello, se enlazarán conceptos con el fin de obtener un sistema de control para que se logre comunicar desde un punto A hasta un punto B de forma remota con el fin de ser aplicado posteriormente a un robot teleoperado. Haciendo uso de un lenguaje de programación multiplataforma y dinámico como Python, compatible con el entorno físico a utilizar: una Raspberry Pi. También se utilizará la plataforma móvil FireBase para la creación de la aplicación y el almacenamiento de datos que se obtengan en tiempo real. Para evaluar la eficiencia

de la comunicación remota a ejecutar, se espera enviar, recibir y accionar el control de operaciones de movimiento del equipo alojado en una red local distinta.

El presente trabajo de investigación se divide en diferentes capítulos que formarán parte del proceso para llegar al proyecto final, por lo que a continuación se dará una breve introducción de lo que comprenderá cada etapa:

## **Capítulo II. Planteamiento del Problema**

En esta sección se presentará el origen de la problemática, tomando como punto de partida la situación actual del COVID-19. Entre los aspectos a mencionar, se expone una línea de tiempo que comprende los casos mortales y de total de infectados en Honduras comprendidos desde mayo hasta agosto, así como también el incremento de contagios en los 18 departamentos del país. La incertidumbre continúa y el sistema de salud permanece en una constante lucha para combatir la pandemia y evitar el mayor contagio posible entre las personas. Desde los primeros casos expuestos el 31 de diciembre de 2019 en China, el virus se ha expandido por todo el mundo y a la fecha del 20 de septiembre de 2020 se han notificado un total de 30,835,922 infectados (BVS, 2020).

## **Capítulo III. Marco Teórico**

En este capítulo se plantearán las bases y fundamentos teóricos en las que se sustenta el proyecto. Dentro de ellas, se incluirá la importancia de tecnologías disruptivas como el Internet de las Cosas en el campo de la medicina que en conjunto con la teleoperación se utilizan como medio para combatir dicha pandemia a través de soluciones efectivas, sin contacto y de gran apoyo para el personal de la salud, en comparación con otras operaciones en las que la carga recae sobre los humanos y a su vez contribuyen al contagio e infección cruzada entre pacientes.

## **Capítulo IV. Metodología**

La metodología que se pretende utilizar es la Metodología Modelo en V puesto que el proyecto se orienta a la integración y desarrollo de diferentes sistemas que interactuarán entre sí, en este caso se emplearán sistemas de control, procesamiento y eléctrico. De esta forma, posibilita obtener procesos claramente definidos y a su vez, facilita la organización para obtener resultados

óptimos y transparentes. Como ventaja permite ir verificando la funcionalidad de las etapas mediante pruebas que garanticen la localización de fallos, contribuyendo a la disminución de riesgos. En esta parte, es donde se plantearán dichos sistemas en conjunto con los subsistemas a desarrollar para dividir las funcionalidades requeridas, así como también las variables de estudio que se evaluarán en dichas etapas.

## **Capítulo V. Análisis y Resultados**

Esta investigación se centrará en el desarrollo de un sistema de control como alternativa tecnológica, que se pretende implementar en un robot teleoperado y de esta manera contribuir a la disminución de contagios entre pacientes y médicos como apoyo para el combate y control del COVID-19. Es a través de sistemas que combinarán el Internet de las Cosas y la teleoperación, que se desarrollará el sistema de control de movimiento por medio de una base de datos, un microprocesador y una interfaz en una aplicación móvil que permita al usuario manipular los movimientos deseados en tiempo real y de forma remota. En esta etapa se realizarán pruebas cuantitativas con diferentes usuarios de manera que se pueda garantizar que la interfaz sea amigable con el personal médico y de forma simultánea verificar el correcto funcionamiento por parte del sistema de control integrado. Posteriormente se mostrarán los resultados obtenidos una vez finalizado en su totalidad.

## **Capítulo VI. Conclusiones**

Con el impacto del virus a nivel global, especialmente en Honduras la puesta en marcha de un sistema basado en la teleoperación representará una solución viable para el control de contagios de la enfermedad en centros médicos, donde el personal de salud expone su vida a diario en servicio de la población, siendo los más expuestos y vulnerables ante esta pandemia.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el siguiente capítulo se define la problemática de investigación, exponiendo los principales aspectos que lo generan, dando a conocer una justificación detallada de la selección del tema y los beneficios que se pueden esperar, se estructuran los objetivos que se pretenden alcanzar y el impacto que puede ocasionar al final de la investigación.

### 2.1 Precedentes del problema

En Honduras, la pandemia del COVID-19 sigue incrementando el número de infectados. En donde los dos primeros casos se confirmaron el 11 de marzo del presente año según informó el Despacho de Comunicaciones y Estrategia Presidencial, en conjunto han compartido estadísticas correspondientes a los casos confirmados según su distribución geográfica, es decir, por departamentos.

**Tabla 1. Comparativa del total de casos confirmados con COVID-19 el 1ero de Mayo y 04 de agosto.**

Total Confirmados						
Departamentos	MAYO			AGOSTO		
	Infectados	Muertes	Recuperados	Infectados	Muertes	Recuperados
Atlántida	22	3	14	2064	43	314
Choluteca	6	0	0	1275	50	122
Colón	29	1	6	1179	44	226
Comayagua	4	0	0	715	37	62
Copán	1	0	0	385	18	76
Cortés	543	53	24	15337	525	2773
El Paraíso	1	0	0	1146	50	82
Francisco Morazán	81	2	42	14804	467	1348
Gracias a Dios	0	0	0	556	13	10
Intibucá	5	1	0	337	5	59
Islas de la Bahía	0	0	0	209	3	48
La Paz	2	0	0	477	14	57
Lempira	5	1	0	150	6	23
Ocatepeque	0	0	0	298	6	71
Olancho	0	0	0	682	43	62
Santa Bárbara	12	2	2	801	27	122
Valle	1	0	0	1122	19	118
Yoro	26	3	0	2257	14	282
<b>TOTAL</b>	<b>738</b>			<b>43,794</b>		

**Fuente:** Elaboración Propia. Basados en los Datos Obtenidos de: (Despacho de Comunicaciones y estrategia Presidencial, 2020)

Las estadísticas consultadas a principios de mayo en comparativa con los datos consultados a principios de agosto se muestran en la **Tabla 1** y se puede notar el aumento desenfrenado en dichas cifras. La cantidad de casos confirmados y la rapidez con la que estos incrementan son verdaderamente alarmantes y el hecho de que las cifras mortales aumenten a diario es angustiante. Siendo el departamento de Cortés el más afectado con el mayor número de contagios.

Lamentablemente, dentro de dichos casos, se encuentra la vida de quienes ponen su vida en riesgo para luchar contra el virus y ayudar a la población: el personal de salud. Registrándose en los últimos meses las siguientes estadísticas referente a ello, que se muestra en la siguiente línea de tiempo:

**ABRIL:** Según datos del Laboratorio de Virología, a la fecha del 18 de Abril se registraron un total de 435 casos positivos por COVID-19 en el país de los cuales 71 pertenecían al personal sanitario específicamente 26 eran médicos, 37 enfermeras y 8 trabajadores infectados, representando el 16% de los infectados (Pineda & Marin, 2020).

**MAYO:** Según un informe de la Secretaría de Salud, a la fecha del 24 de Mayo se registraron un total de 3,950 contagiados en el país de los cuales 350 formaban parte del personal de salud, específicamente 108 eran médicos, 163 enfermeras y 78 trabajadores infectados por COVID-19, representando el 8.8% del total de positivos (Girón, 2020).

**JUNIO:** Para la fecha del 21 de junio, según un reporte de la Secretaría de Salud, se registraron un total de 12,771 contagiados en el país de los cuales 1,221 eran del personal sanitario dentro de los cuales 336 eran médicos, 462 enfermeras auxiliares, 112 licenciadas en enfermería y otros 311 trabajadores infectados por COVID-19, representando el 9.5% de los contagiados. Por lo que se pudo determinar que entre nueve y diez de cada 100 contagiados pertenecían al área de la salud. Para esta fecha se han producido varias muertes respecto a dichas cifras, pero el reporte no detalla esta información (Carrasco, 2020).

**JULIO:** A la fecha del 16 de Julio según SINAGER se registraron 2,943 contagiados del área de la salud, para ese entonces el total de casos en el país aumentó a 30,867. Dentro de la cantidad de

contagiados del personal médico se detallaron 2,601 casos activos, 329 recuperados y 13 fallecidos.

Para evitar la infección cruzada entre el personal sanitario y pacientes, los países primermundistas han implementado tecnologías avanzadas como el caso de los robots autónomos los cuales ya eran utilizados desde antes de la pandemia, pero con la situación actual del COVID-19 su tecnología se ha visto reforzada y hay un especial interés en maximizar su eficiencia. Actualmente representan un mecanismo de gran impacto en el intento de establecer una línea de defensa contra la enfermedad puesto que evita el contacto e interacción humana dada la capacidad de dichos robots de ser controlados de forma tele operada. Sus aplicaciones varían desde el transporte de provisiones alimenticias en hoteles o lugares que se encuentran en estado de cuarentena, hasta la movilización de utensilios médicos en hospitales para disminuir las posibilidades de contagio, así como también la desinfección de calles y edificios de forma remota. Por otra parte, en China han sido los pioneros en la implementación de sistemas de reconocimiento facial que incluyen cámaras térmicas para detectar personas con un cuadro de fiebre alta como síntoma general de dicho virus. De igual manera, dentro de otras alternativas que ofrece el Internet de las Cosas es el monitoreo de sus civiles a través de la geolocalización, con el fin de llevar un control de los ciudadanos que resultan positivos al virus.

## **2.2 Definición del problema**

Tomando los datos mencionados anteriormente en la línea de tiempo, entre mayo y Julio se registraron un total de 4,585 infectados por COVID-19 que pertenecían al personal sanitario del país. Por lo que se puede concluir que en Honduras los médicos y enfermeras representan uno de los focos de infección más alto puesto que existe una carencia de tecnologías necesaria para monitoreo y control del virus, esto como consecuencia de la crisis sanitaria que se vive actualmente a raíz del brote de COVID-19. Para ello, es de vital importancia diseñar un sistema de control remoto-capaz de desplazarse dentro de un hospital para monitoreo de pacientes, de esta manera reducir las posibilidades de contagio. Países como China han implementado diferentes tipos de tecnologías que incluyen la robótica y la tele operación en el área de la salud, puesto que representan una solución de gran impacto al momento de evitar una infección cruzada entre pacientes y médicos.

## **2.3 Justificación**

En Honduras, a diferencia de otros países más desarrollados, los planes de contingencia para combatir la pandemia del COVID-19 siguen siendo un tanto tradicionales de manera que el proceso de prevención y detección son muy lentos, lo que solamente incrementa la curva de propagación en el país. Es importante comenzar a implementar tecnologías que ayuden a la contención del virus en hospitales o centros médicos en donde las personas infectadas son tratadas, por lo que son lugares donde hay mayores posibilidades de contagio para el personal médico, que al realizar su labor y en su intento de salvar vidas han sido víctimas de dicho virus representando el 9,2% de los afectados, según datos del Ministerio de Salud. Es indispensable proporcionar seguridad a quienes están combatiendo en primera línea el virus, quienes ponen su vida en riesgo y la de sus familiares en servicio de la población.

Con el avance de la tecnología en los últimos años y a raíz del Covid-19 dentro del campo de la medicina han surgido nuevos métodos e innovaciones en pro de la salud de las personas. Los métodos convencionales deben ser reemplazados por unos más efectivos y que en la medida de lo posible disminuyan la necesidad de romper con el distanciamiento social establecido por los protocolos de sanidad emitidos por el gobierno.

## **2.4 Preguntas de investigación**

- ¿Cuál es la base de datos adecuada a implementar para la transmisión de datos?
- ¿Qué dispositivo brinda la capacidad de procesamiento de datos para el envío y transmisión de información?
- ¿Qué plataforma permite la creación de una aplicación amigable con el usuario para el control del sistema?

## **2.5 Objetivos**

### **2.4.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de control de movimiento para un robot tele operado de forma remota que brinde apoyo al sistema de salud nacional contra el COVID-19.

## 2.4.2 Objetivos Específicos

- Implementar una base de datos en tiempo real que funcione como intermediario entre el dispositivo físico y la interfaz del usuario para el almacenamiento de datos.
- Determinar la viabilidad de integrar un dispositivo SBC para el procesamiento de datos del sistema de control.
- Diseñar una aplicación móvil que permita el accionamiento de los actuadores que componen el sistema de movimiento del robot y sea amigable con el usuario.

### **III. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se expone de manera detallada los conceptos necesarios para comprender y sustentar los objetivos de la investigación para lograr interpretar y analizar los resultados obtenidos y poder comprender mejor la teoría que valida el proyecto. Es importante establecer la problemática actual ocasionada por el virus del Covid-19 en nuestro país y en el mundo, detallar la manera en la que la inteligencia artificial ha aportado soluciones con el fin de combatir la pandemia, explicar los distintos campos de la inteligencia artificial centrándonos principalmente en el área de visión artificial y reconocimiento y detección de rostros, los distintos métodos y algoritmos que se implementan para óptimo reconocimiento de rostros, así como los distintos programas que sirven para la creación del software y establecer las características principales los componentes físicos a utilizar en el desarrollo del proyecto de investigación.

#### **3.1 COVID-19**

El Covid-19 es una nueva cepa de coronavirus, se trata de una enfermedad infecciosa en la mayoría de los casos de carácter respiratorio que se ha esparcido rápidamente alrededor del mundo. Los antecedentes comprueban que este tipo de coronavirus no había sido encontrado en el ser humano antes. Los primeros casos de neumonía se comunicaron a la OMS en Wuhan, una ciudad situada en la provincia china de Hubei, el 31 de diciembre de 2019,(OMS, 2020). El 11 de marzo, la OMS confirmó la evolución de la epidemia y declaró al COVID-19 como pandemia mundial.

##### **3.1.1 Síntomas**

La página oficial de la Organización Mundial de la Salud afirma que el virus afecta de diferente manera a cada persona, principalmente aquellas que presentan historial de enfermedades respiratorias o crónicas. La población que se encuentra más vulnerable a contraer este virus son las personas mayores a 60 años, ya que pueden contagiarse de la enfermedad presentando más complicaciones o incluso perder la vida.

Dentro del diagnóstico del Covid-19, los síntomas más comunes son: la fiebre alta, la tos seca y el cansancio, sin embargo, estos síntomas pueden relacionarse a otro tipo de virus o al resfriado

común que ocasiona síntomas similares y en ocasiones puede resultar difícil de diagnosticar si no se ha realizado una prueba previamente.

Otro de los síntomas que se pueden desarrollar en el progreso de la enfermedad son la dificultad de respirar, dolor muscular, diarrea y dolor de garganta. También es posible que los infectados por esta nueva forma de coronavirus sean asintomáticos, es decir, que no presenten síntomas visibles pero que de igual forma son portadores y pueden transmitirlo a demás personas.

### 3.1.2 Propagación

La OMS, ha confirmado que las principales vías de propagación en la que una persona puede contraer el virus son por contacto de una persona infectada con otra, por medio de gotas que se desprenden de las vías respiratorias ya sea nariz o boca al momento de estornudar, toser e inclusive al hablar. Para evitar que esto suceda, se determinó el aislamiento como medida para personas con un diagnóstico positivo, pero tomando en cuenta el caso de la cantidad de personas asintomáticas esto no ha resultado efectivo.

Igualmente se estableció mantener un distanciamiento de 3 metros de una persona con otra, pero dado su fácil contagio, esto no ha sido suficiente. Como consecuencia, se ha optado por la implementación obligatoria de medidas como la restricción de actividades y confinamiento que es a lo que se le conoce como cuarentena. Dentro de otras recomendaciones sanitarias sugeridas es importante el uso de agua y jabón para el lavado de manos o como alternativa desinfectarlas a base de alcohol. Detener la propagación del virus es tarea de todos por tanto como población, se deben seguir todas las recomendaciones sanitarias para prevenirlo (Palacios *et al.*, 2020).

Cuando se trata de mujeres embarazadas, el virus representa una amenaza directa puesto que experimentan cambios inmunológicos y pueden estar en riesgo de enfermedad grave, por ende, son más susceptibles a infecciones respiratorias como el COVID-19 (Kasano *et al.*, 2020).

La pandemia ha llegado a afectar al personal médico quienes ponen en riesgo su vida para ofrecer sus servicios a la población que en estos tiempos son indispensables. Son ellos quienes están haciendo frente a la pandemia y se enfrentan no solo a la incertidumbre e intensa presión, sino que también al desgaste físico y mental. Además de las decisiones tan difíciles que acompaña el dolor de perder pacientes y colegas, arriesgando de igual manera su vida propia ante el riesgo de

infección. Por ello, garantizar la seguridad del personal sanitario debe ser una prioridad (Vargas, 2020).

También es esencial que los profesionales al frente de la pandemia que brindan asistencia médica reciban un entrenamiento previo para evitar la infección mutua tanto de pacientes, compañero como del propio equipo médico (Silva *et al.*, 2020).

### 3.1.3 Diagnóstico

Actualmente, existen distintos tipos de pruebas que permiten detectar la presencia del coronavirus en una persona, unas más avanzadas que otras, pues queda claro que es una enfermedad desconocida y que requiere de estudios exhaustivos que han sido cambiantes a lo largo de estos meses. Algunas de estas pruebas son:

#### 3.1.3.1 PCR

La técnica de PCR (reacción en cadena de polimerasa) es un procedimiento usado para aumentar segmentos de ADN de manera de localizar un patógeno, en este caso de ARN y verificar si contiene el virus. La prueba consiste en hacer múltiples copias de fragmentos del ADN de esta manera se puede visualizar el virus. Para dicho análisis se toman muestras en partes claves de las vías respiratorias, las más comunes son tomadas con hisopos en la nariz y garganta, ya sea combinadas o examinadas por separado, (Patel *et al.*, 2020).

#### 3.1.3.2 Análisis de anticuerpos

Esta técnica pone a prueba el sistema inmunitario para detectar un posible contacto con la enfermedad. Para ello, se analiza una muestra de sangre en la que al estar expuesta al virus se pueda examinar la respuesta inmune generada. De ser positiva la reacción entre los anticuerpos y el virus, se observará como estos se adhieren a las proteínas del virus. Una vez que esto suceda, se confirma científicamente que el sistema inmune de la persona ha estado expuesto a la enfermedad anteriormente, y como mecanismo de defensa ha generado los anticuerpos para combatirlos. Posteriormente se pueden deducir tres posibles escenarios: ya sea que la persona actualmente esté infectada, que se haya recuperado o que probablemente presente un cuadro asintomático.

### 3.1.3.3 Escáner CT

Este método es utilizado para diagnosticar posible neumonía en pacientes y determinar si los resultados son positivos del virus, muestra una precisión del 92% en comparación pruebas realizadas por PCR las cuales toman hasta una semana en analizarse, (Long *et al.*, 2020). El análisis es capaz de demostrar anormalidades pulmonares de manera que se pueda brindar tratamiento y seguimiento médico a los pacientes afectados, (Cui *et al.*, 2019). Las imágenes TC de tórax obtenidas resultan ser de gran utilidad para realizar estudios y comparaciones respecto a los tipos de coronavirus existentes y descartar la existencia de posibles enfermedades respiratorias que no forman parte del cuadro de síntomas relacionados al Covid-19.

El medico Kuan Chen afirma que los médicos ya no necesitan participar en el largo proceso de lectura manual de imágenes para identificar casos de alto riesgo, mientras que los pacientes se expongan a poder infectar a otras personas y personal médico. Estos medios de CT computarizada con IA reducen el tiempo de lectura y análisis, le brindan a un médico mayor rapidez para tomar una decisión precisa.

Actualmente no hay un medicamento o vacuna para combatir el COVID-19 y que esté clínicamente aprobada, si bien es cierto hay pocos medicamentos evaluados que han resultado en la recuperación clínica (Shereen *et al.*, 2020). Un tipo de vacuna con viabilidad comprobada son las que se componen a base de plantas con resultados prometedores en la evaluación de pacientes clínicos. Las vacunas a base de células vegetales son otra vía para el desarrollo de líneas productoras de antígenos por lo que su bajo costo, fácil adquisición e inducción de inmunidad de la mucosa son características que la hacen atractiva (Mendoza *et al.*, 2020).

### 3.1.4 Impacto económico, social y psicológico

A medida las cifras van aumentando a través de los días existe el riesgo de colapso en el sistema de salud y es aquí donde radica la importancia de evitar su propagación a toda costa. Y no solo en cuanto a salud, sino que también en aspectos económicos y sociales que se derivan de la situación de aislamiento y contención como ser el toque de queda decretado en todo el país y el respectivo cierre de las fronteras nacionales. Por lo que la vida cotidiana de todos ha cambiado drásticamente estos últimos meses. Dado que los casos positivos siguen aumentando a través de

los días, los toques de queda se han venido aplazando desde marzo por parte del gobierno actual liderado por Juan Orlando Hernández.

Las empresas se han visto en la necesidad de sufrir cambios temporales, realizando sus operaciones de forma virtual por lo que dicha situación ha representado un acelerador a la transformación digital en el mercado (Kim, 2020). Y recuperar o aumentar las ventas posteriores a la pandemia dependerá de ello, puesto que existe incertidumbre si realmente estos cambios pueden ser permanentes. Estas medidas de distanciamiento social se han visto manifestadas también en el cierre de algunas empresas y comercios, como consecuencia, se incrementan los porcentajes de desempleo, que a largo plazo puede generar tasas de inseguridad muy alta, principalmente en Honduras donde los índices actuales de dicha problemática no son favorables.

Provocando de igual forma la reducción en el consumo como en la producción, así como también en el turismo, principales fuentes de ingreso y de trabajo en el país. Igualmente, esto representa un riesgo en el sector alimenticio y farmacéutico de inflar sus precios para obtener mayores ganancias. Asimismo, ha afectado las exportaciones de materias primas como el petróleo ocasionando una reducción el precio, por lo que es otra de las consecuencias en el sector industrial a raíz de la pandemia (Hernández, 2020).

En contraparte, existen nuevos sectores de economía que están emergiendo basados en el campo de la robótica y tecnologías de información para posibles soluciones y alternativas tecnológicas que ayudan al combate del COVID-19 (Beker, 2020).

Según lo confirma el Fondo Monetario Internacional, Honduras ha adoptado medidas fiscales y monetarias en respuesta a la crisis y reducir el impacto en la población. Entre estas medidas se encuentra la emisión de un decreto para establecer un período de gracia obligatorio por parte de las instituciones financieras en la clasificación crediticia.(FMI, 2020) Esto con el objetivo de estabilizar la economía del país y buscar soluciones solidarias en pro de las personas o empresas, cuyos ingresos se han visto afectados lo que les imposibilita hacerles frente a las políticas crediticias a raíz del estado de emergencia del COVID-19.

En el aspecto social, una de las problemáticas que se ha acentuado es la desigualdad de género, incrementando los índices de violencia doméstica, dado que el aislamiento representa convivir con el agresor a diario. El gobierno de Honduras decretó el 15 de marzo el primer toque de queda a raíz de la pandemia, éste fue el día que más denuncias se presentaron por violencia machista con un total de 522 (MG, 2020). Las cifras han aumentado a diario y el hecho que dichos casos de violencia no sean prioridad y los operativos de búsqueda de mujeres, adolescentes y niñas desaparecidas sean menores, a causa de la situación de emergencia es devastadora por la doble vulnerabilidad a la que están expuestas (Narvaez, 2020). Así como también la sobrecarga de trabajo en los hogares como resultado del cierre de escuelas.

La educación también se ha visto afectada, donde los padres se ven forzados a cumplir el rol de maestros para los niños, además del desconocimiento para manejar las modalidades virtuales las cuales implican también un costo de internet (Britez, 2020).

La pandemia también ha tenido impacto en los medios de comunicación y periodismo, que como consecuencia ha habido un incremento de consumo informativo de los más jóvenes quienes generalmente se mantienen menos informados. De igual forma se ha abierto un canal para la transmisión de noticias falsas en redes sociales (Casero, 2020).

También se habla de consecuencias psicológicas emocionales en donde el confinamiento ha generado trastornos de estrés, depresión, ansiedad en los cuales influye la incertidumbre que se vive y el miedo a lo desconocido (Ozamiz et al., 2020).

### **3.2 Internet de las Cosas (IOT)**

El termino Internet de las Cosas es relativamente nuevo en la actualidad, sin embargo, sus orígenes se remontan al siglo pasado con científicos importante de la época como Nikola Tesla y Alan Turing anticipando el crecimiento de la red y la capacidad de los dispositivos de comunicarse entre sí. En los años 70 en Estados Unidos surgen los primeros protocolos de comunicación que sentaron las bases de lo que hoy en día conocemos como Internet.

Al científico británico Kevin Ashton se le atribuye la conceptualización del término IOT en 1999 en el MIT Auto-ID Center, con la conexión de un objeto utilizando radio frecuencia (RFID).

Dedicándose al desarrollo de sistemas domóticos como Belkin WeMo y numerosos trabajos de investigación tecnológica (Zhong *et al.*, 2015).

A John Romkey se le atribuye la conexión del primer dispositivo conectado a Internet de manera remota, para controlar su encendido y apagado. Uno de los primeros protocolos de comunicación implementado fue el TCP/IP. Todas las conexiones de esa época se realizaron mediante cableado, no fue hasta principios del siglo XX con el surgimiento de la red WiFi, donde fue posible la conexión de objetos inalámbricos y el nacimiento de conceptos como WSN (Wireless Sensor Networks) y el M2M (Machine to Machine)(Cruz *et al.*, 2015).

Este término sigue en constantes cambios y alteraciones, debido a su reciente crecimiento, y algo que se debe tener en cuenta es la necesidad de los seres humanos de aceptar estos nuevos cambios y avances como humanidad, adaptándose a ellos. Con el auge de la 4ta Revolución Industrial y las innovaciones tecnológicas, el mercado laboral se vuelve más competitivo y se requiere de personal más calificado con conocimientos en estas nuevas áreas. Si bien los dispositivos se vuelven más autónomos y capaces, el papel del hombre radica en su capacidad de crear software, aplicaciones y plataformas digitales más seguras en donde cada dato expuesto este protegido.

El Internet de las Cosas (IoT) encapsula la visión del mundo en donde cualquier dispositivo u objeto desde los sensores y actuadores, puedan comunicarse y enlazarse a través de una red, ya sea local o remota mediante la IP o protocolos de internet. En este entorno tanto espacios como objetos del día a día se vuelven interconectables, permitiendo a cualquier tipo de componente físico o de hardware con características limitadas adquirir pequeñas o grandes cantidades de información para luego tomar decisiones a partir de los datos obtenidos. Es importante destacar que se requiere de una alta capacidad de procesamiento de datos y memoria para la conversión útil de información (Cirani *et al.*, 2018).

Son múltiples los beneficios que ofrece el Internet de las Cosas en la actualidad, ha transformado la manera en la que se puede optimizar la transformación del trabajo, reduciendo costes, utilizando la menor cantidad de recursos y lo más importante para cualquier industria, "el tiempo". Resulta ser una disciplina en la cual convergen otras tecnologías disruptivas en auge como el 5G,

el Big Data, los sistemas en la nube, la inteligencia artificial, la robótica, entre otros. El objetivo principal del IOT consiste en conectar cualquier dispositivo donde sea que se encuentra, sin importar el lugar, la hora, con el único requisito de estar conectado a la red. De esta manera se busca crear entornos inteligentes a partir del espacio real, virtual y digital, a partir de la interconexión de los objetos, volviéndolos más “*smart*” (Vermesan , 2013).

Desde un punto de vista conceptual, el IoT se basa en tres pilares, relacionados con la capacidad de los objetos inteligentes para: (1) ser identificable (cualquier cosa se identifica a sí misma), (2) comunicarse (cualquier cosa se comunica) y (3) interactuar (cualquier cosa interactúa) ya sea entre ellos, construyendo redes de objetos interconectados, o con usuarios finales u otras entidades en la red (Miorandi *et al.*, 2012). Cada objeto dentro del sistema representa un nodo, donde cada uno se conecta con otro conformando una sola red, lo que le permite enviar y recibir datos en tiempo real, esto permite un espectro de conectividad mucho más amplio y veloz entre cada elemento.

La nueva dirección del IoT está encaminado a la integración del espacio físico y el acceso a cualquier objeto a través del Internet. En la actualidad lo humanos son quienes cumplen como intermediarios para realizar este tipo de conexiones, pero en el futuro se espera que los objetos sean capaces de comunicarse e intercambiar información entre sí. Para el año 2030 los científicos e investigadores proyectan que habrán alrededor de 500,000 millones de dispositivos interconectados a la red, lo que se traduce a que aproximadamente por cada habitante habrá un total de 70 dispositivos.

### 3.2.1 Arquitectura IoT

La arquitectura de los sistemas IoT debe garantizar el enlace entre el entorno físico y el virtual, el cual incluye varios factores como la conectividad, la comunicación, modelos, procesos y la seguridad del sistema. Cada parte se diseña y se adapta según las necesidades del sistema a implementar, buscando la mejor manera de hacer converger los componentes integrados al dispositivo y su manera de transmitir, analizar y procesar la información. Existen diferentes tipos de arquitectura y capas las cuales varían según los requerimientos y las tareas a realizar, garantizando la velocidad, confianza y seguridad de cada herramienta, los protocolos de

comunicación proporcionan un protocolo exitoso siempre y cuando se emplee una arquitectura que sustente su efectividad (Kumar, 2018). La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los distintos ejemplos de arquitectura existentes y las capas que las conforman.

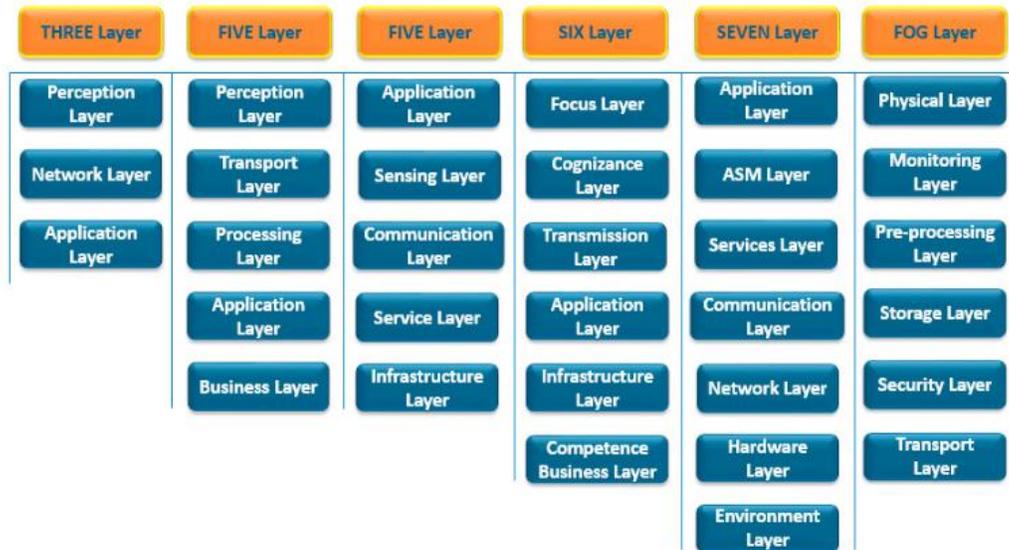


Ilustración 1. Capas de arquitectura IOT (3 capas, 5 capas, 6 capas, 7 capas, FOG).

Fuente: (Kumar, 2018).

El primer tipo de arquitectura que se encuentra es el más general y básico de tres capas: aplicación, red y percepción; cuyo fin es la captura de información a través de sensores en tiempo real (Cueva *et al.*, 2015). La primera capa corresponde a la percepción la encargada de recopilar la información obtenida por los dispositivos físicos que conforman el sistema, la lectura de datos y la transmisión de estos. En la capa de red la información se transmite a través de medios 3G, Wifi, Bluetooth, Zigbee y los distintos protocolos existentes. La última capa, la aplicación donde se crean interfaces amigables con el usuario, en donde pueden controlar y alterar los datos.

Para (Domínguez, 2016) el modelo de 3 capas describe muy bien la arquitectura esencial de un modelo IOT, sin embargo es necesario introducir los niveles de negocio y transporte que expone el modelo de cinco capas: negocio, aplicación, transporte, procesamiento y percepción. El nivel de proceso incorpora una gran cantidad de datos a procesar mediante la nube y bases de datos. Respecto al nivel de negocio permite llevar un análisis y reporte basado en la precisión de la

información recibida, permitiéndole al ejecutor realizar estrategias y a la toma de decisiones (González, 2017).

El autor (Gamal, 2015) propone una arquitectura más estructurada que consta de siete capas que transforman las funciones principales de una forma más confiable. Las capas se pueden observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y son: aplicación, ASM, servicio, comunicación, red, hardware y entorno. La interacción de las capas puede ser en cualquiera de los dos sentidos dependiendo del caso. El primer paso debe ser permitir el acceso al personal autorizado, el entorno se compone de los aspectos a visualizar dentro de la aplicación, el manejo y control de esta. El hardware está formado de dispositivos físicos como sensores, lectores por radiofrecuencia, actuadores, etc. En este modelo se incorpora la aplicación de soporte y gerencia, orientada a la seguridad, privacidad y las bases sobre las que se desarrolla el sistema. En todas las capas la información y los datos se transportan a través de la red ya sea Wifi, Bluetooth, GSM u otros. Todo el proceso de comunicación consta de transmitir y almacenar los datos, monitoreo y visualización para proceder a la toma de decisiones que realiza el personal autorizado en la primera capa. Es importante el diseño y creación de interfaces usuario donde se pueda solicitar e insertar información al sistema de control.

### 3.2.2 Protocolos IoT

#### 3.2.2.1 MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es un protocolo de comunicación cliente servidor de la capa de transporte, diseñado para su fácil implementación, anchos de banda bajos, de baja latencia y que permite la conexión de múltiples dispositivos. Se rige bajo el protocolo TCP/IP que proporciona bidireccionalidad de conexión, orden de datos y poca pérdida (Yassein *et al.*, 2017). MQTT este compuesto de tres elementos: el suscriptor, el publicador y el *bróker*. Los dispositivos registrados cumplen el papel de suscriptores, el publicador es el encargado de enviar y transmitir la información a través de un bróker que comprueba la autorización por ambas partes. Este protocolo es ideal para aplicación de IoT y M2M, gracias a su bajo consumo y memoria en entornos complicados (Muñoz, 2019).

MQTT es compatible con múltiples microcontroladores para la creación de proyectos de automatización y orientados a aplicaciones de la salud, donde se utiliza para la comunicación de los equipos. Este protocolo permite agregar a los sistemas aplicaciones de IOS y Android para el control de dispositivos, de este modo permite la visualización mensajes (Pulver, 2019). Además, el protocolo MQTT no solo minimiza la sobrecarga de transporte y el intercambio de protocolos para reducir el tráfico de la red, sino que también tiene un mecanismo extraordinario para alertar a las partes interesadas cuando ocurre una desconexión anormal.

#### 3.2.2.2 CoAP

El protocolo de aplicación restringida es un protocolo de capa de aplicación de software destinado a ser utilizado en dispositivos electrónicos muy simples con recursos limitados que les permite comunicarse de forma interactiva a través de Internet (Shelby *et al.*, 2014). CoAP está diseñado para trasladar el modelo HTTP a dispositivos y redes restrictivas. El diseño del protocolo traduce fácilmente a HTTP la integración simplificada con la web. De esta manera, cumple los requisitos de bajo coste, simplicidad y es compatible con multidifusión.

CoAP se basa en el intercambio de mensajes asíncronos entre dos nodos, un nodo actuando como cliente envía una o más peticiones sobre uno o más recursos alojados en un determinado servidor que atiende la petición. El servidor responde a la petición indicando si la petición recibida es exitosa o no. Las peticiones se envían mediante mensajes Confirmable (CON) o No-Confirmable (NON) y ejecuta un método sobre un recurso, el cual viene identificado por una ruta contenida en el campo URI-Path del paquete CoAP.

CoAP es un protocolo del IETF (Internet Engineering Task Force) que se ha diseñado para proporcionar aplicaciones RESTful modeladas en la semántica de HTTP, pero más pequeño y binario a diferencia del basado en texto. CoAP es un enfoque tradicional de cliente-servidor en comparación al de brokers, diseñado para correr sobre UDP, (Institute of Electrical and Electronics Engineers & Computer Society, 2014)

#### 3.2.2.3 HTTP

HTTP (Ceri *et al.*, 2003) es el protocolo de comunicación que permite las transferencias de información en la web. HTTP define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de

software de la arquitectura web (cliente, servidor, proxy) para comunicarse. HTTP es un protocolo sin estado, es decir, no guarda ninguna información sobre conexiones anteriores.

HTTP se basa en operaciones de solicitud/respuesta. Un cliente establece una conexión con un servidor y envía un mensaje con los datos de la solicitud. El servidor responde con un mensaje similar, que contiene el estado de la operación y su posible resultado. Todas las operaciones pueden adjuntar un objeto o recurso sobre el que actúan. Cada objeto es conocido por su URL. Los mensajes HTTP son en texto plano lo que lo hace más legible, fácil de depurar y los mensajes son más largos.

HTTP es muy conocido y hay muchas librerías que lo soportan. Dado que es un protocolo simple basado en texto, muchos dispositivos pequeños como los controladores de 8 bits lo pueden soportar parcialmente (por ejemplo, sólo recursos como POST o GET). Por otro lado, dispositivos con más capacidad como los de 32 bits, pueden utilizar librerías con un cliente completo de HTTP, el cual puede implementar todo el protocolo.

Del mismo modo que CoAp, HTTP utiliza la mensajería GET, PUT, PUSH y DELETE para recuperar, crear, actualizar y eliminar. GET para la obtención de datos seleccionados, PUT para guardar los datos, PUSH almacena los datos y DELETE elimina las especificaciones.

#### 3.2.2.4 SSH

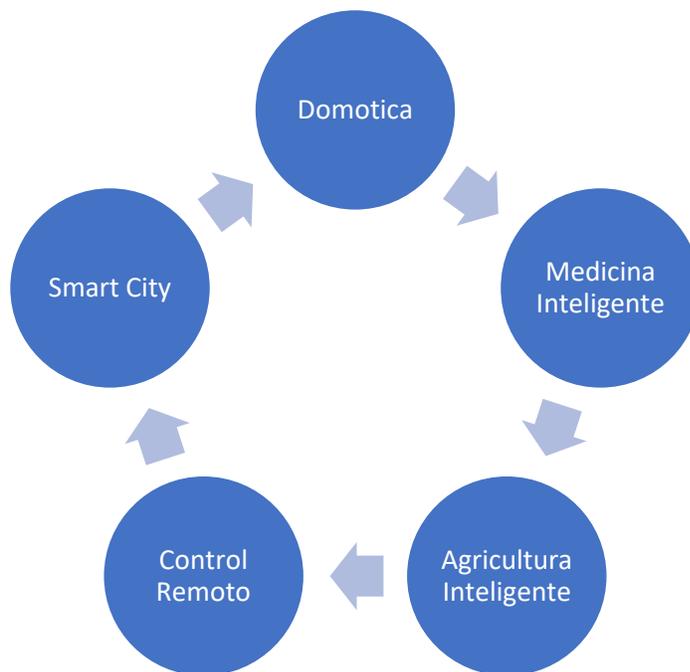
Es un protocolo que se basa en la comunicación cliente/servidor y permite a los usuarios conectarse a un host de forma remota a través de canales SSH. A diferencia de otros protocolos como FTP o Telnet, encripta la sesión de conexión proporcionando protección de seguridad (Huang *et al.*, 2006). De esta forma, utiliza claves de accesos de manera que el servidor usa una clave pública y el cliente usa una clave privada. En el caso de clientes basados en Windows y Linux, Putty es el cliente de código abierto más apropiado que admite el protocolo SSH. El robo de acceso e identidad de usuarios es un problema serio donde el atacante utiliza una técnica de redireccionamiento de conexión hacia su computadora para obtener la contraseña privada, de esta forma obtiene acceso a la cuenta y puede extraer información personal para fines maliciosos. Para evitar esto, la clave de host se asigna a cada servidor por lo que imposibilita que otro servidor la falsifique. Para ello, Putty alerta cada vez que detecte que la clave del host no coincida con el

servidor, esto permite abandonar la conexión antes de proporcionar una contraseña o cualquier otra información privada (Lakhe, 2014).

Otra de las cualidades de este tipo de protocolo en términos de protección es que la información de autenticación del servidor es transmitida a través de una encriptación de 128 bits, por lo que reduce la probabilidad que sea descifrada por un atacante.

### 3.2.3 Aplicaciones IOT

IOT cuenta con una amplia área de aplicación en campos de la ciencia y la tecnología, desde ramas como el big data, ciudades inteligentes, control remoto de sistemas, la domótica, la medicina y agricultura, transporte autónomo, robótica, gestión inteligente, seguridad, control ambiental, entre muchas otras más (Mahato *et al.*, 2018). En el presente trabajo investigativo y para comprensión del alcance del proyecto la Ilustración 2 muestra un mapa circular sobre las principales áreas de aplicación del Internet de las Cosas, las cuales se encuentran en auge en la actualidad y en un crecimiento exponencial notorio en las sociedades.



*Ilustración 2. Aplicaciones del Internet de las Cosas.*

Fuente: Elaboración propia (2020).

El modelo de desarrollo Smart City corresponde al intercambio de información y coordinar los escenarios dentro de una ciudad, orientado a la construcción de infraestructura.

Chen *et al.*, (2014) propone “El desarrollo de una ciudad inteligente consta de 3 etapas: 1) la etapa para la construcción inicial de infraestructura; 2) la etapa para la construcción de instalaciones de procesamiento de datos; y 3) la etapa para la construcción de la plataforma de servicio de fase final. En China, se concentran el impulsar estas herramientas para promover el e-commerce y brindar un desarrollo comercial y social” (p.354).

Un posible servicio de Smart City que puede habilitarse con IOT urbano consiste en monitorear la congestión de tráfico en la ciudad. Aunque los sistemas de monitoreo de tráfico basados en cámaras ya están disponibles y se implementan en muchas ciudades, la comunicación generalizada de baja potencia puede proporcionar una fuente de información más amplia. El monitoreo del tráfico puede realizarse utilizando las capacidades de detección y el GPS instalados en vehículos modernos. Esta información es de gran importancia para las autoridades y los ciudadanos: para que los primeros se encarguen del tráfico y envíen a los oficiales donde sea necesario y para que los últimos planifiquen de antemano la ruta para llegar a la oficina u otro destino (Ferreira *et al.*, 2012).

La domótica hoy en día permite la automatización del hogar, como el encendido y apagado de luces desde un dispositivo móvil con conexión a internet o a través de módulos bluetooth. En un principio (Fariño *et al.*, 2020) expone que el poder adquisitivo de tecnologías aplicadas al hogar resultaban costosas y difícil de adquirir debido a las licencias y permisos requeridos, sin embargo en la actualidad existen librerías de código abierto que permiten a sus usuarios modificar códigos y ejecutarlos según la finalidad deseada. Gracias a programas, aplicaciones de software y hardware como Arduino Y Raspberry, es posible llevar a cabo la comunicación a través de la web entre estos dispositivos y automatizar el hogar con sensores disponibles en el mercado.

En la actualidad, el aumento de pacientes con enfermedades crónicas y los nuevos brotes de virus a los que se encuentra expuesta la población a nivel mundial, inciden en la capacidad de los hospitales y médicos de atender a sus pacientes y garantizarles un estilo de vida mejorado, de este modo se puede lograr reducir la carga en los centros hospitalarios. Estas orientaciones

incluyen atención especializada de manera remota, acceso a datos médicos, químicos y médicos a través de la web. Para los pacientes las herramientas inteligentes representan una nueva forma de controlar sus condiciones de salud, contar en sus hogares con equipo biomédico de bajo costo y atención médica más inmediata. Los sistemas inteligentes orientados al campo médico van desde alarmas recordatorias para el suministro de medicamentos hasta el nuevo concepto de telemedicina (Zanjali, 2016). El monitoreo en tiempo real de síntomas permite a los médicos acceder a información de sus pacientes, estos sistemas permiten la transmisión de datos de manera más eficiente sin necesidad de moverse. De igual manera el IOT permite el almacenamiento de datos médicos en la nube o cualquier otro tipo de registro online, obteniendo estadísticas y análisis para futuras investigaciones.

La implementación de tecnologías basadas en IoT para el campo de la agricultura permite a los agricultores la optimización de sus procesos de corte y producción de alimentos. Sus ventajas son las siguientes: reducción de costos, superar el uso de energía, consumo energético de la maquinaria, reducción de desperdicios, implementación de sensores para la transferencia de datos, proyecciones de producción y análisis de costos. El trabajo de (Mohanraj *et al.*, 2016) expone un flujo de conocimiento llamado Crop Data Flow el cual consiste en proporcionar información respecto a las condiciones del cambio climático y las alteraciones que esto puede representar en los cultivos. Existen módulos para monitoreo de irrigación, control de crecimiento de la planta, identificar y analizar los tipos de suelo, control óptico y el cálculo de agua necesaria para el óptimo desarrollo del cultivo.

Todas las aplicaciones antes mencionadas se pueden encapsular dentro del control remoto de cada uno de los sistemas que implementan la comunicación a través de la red. El control remoto consta de una interfaz de usuario la cual normalmente cuenta con un espacio visual fácil de entender con botones y señales para ejecutar comandos. Estos sistemas permiten gestionar movimiento y la transmisión de información para trasladarla de un punto A a un punto B, cuentan con un receptor y procesador de señal. Su arquitectura se basa en una comunicación Ethernet o Wifi incorporando aspectos de Machine Learning para monitoreo de sistemas de control en cualquier campo. Un ejemplo de esto son los sistemas de control mediante sensores, toman la información y es enviada a través de un Gateway en Internet, se recopilan los datos y se almacenan

en una base de datos en la nube y puede ser recibida y contestada desde cualquier parte. Para las industrias estos sistemas representan ventajas como: el control de operaciones, control y mantenimiento de equipo, visualizar en tiempo real resultados, almacenamiento y acceso a la información 24/7 (Ibrahim *et al.*, 2019).

#### 3.2.4. Big Data

Una de las tecnologías que ofrece el IoT (Internet of Things) es el procesamiento de grandes cantidades de datos ya sea de personas o corporaciones, denominada Big Data. La cual es perfecta para un flujo de volumen alto de datos que dentro de sus funcionalidades incluye capacidades de gestión de datos, análisis de redes sociales y proporciona datos en tiempo real. (Ishwarappa *et al.*, 2015) Otras de las aplicaciones más notables se encuentran en ámbitos que requieren de precisión en la toma de decisiones y pronósticos, tales como, análisis de negocios, atención médica y detección de fraudes. (Mohamed *et al.*, 2020)

Para maximizar su eficiencia se rige de 5 características denominadas las cinco Vs de big data: volumen, variedad, velocidad, valor y veracidad. Las cuales están relacionadas con la optimización del algoritmo, ya sea para manejar, agrupar, acelerar, documentar y verificar la procedencia de los datos para garantizar que provengan de fuentes confiables. (Mohebi *et al.*, 2016)

A pesar del aporte significativo que ha representado el Big Data en el sector sanitario, no se puede ignorar el reto que representa garantizar la seguridad de la información. Dado que, los datos como el historial clínico de los pacientes se almacenan de forma masiva en repositorios públicos o privados que puede dar pie que sean utilizados por terceros en cualquier tipo de estudio sin restricción. (Díaz, 2020)

#### 3.2.5. Robótica

El campo de la robótica abarca la investigación científica y desarrollo de sistemas mecánicos para ser empleados como asistentes al ser humano en diversas aplicaciones como ser industriales, domésticas, científicas y comerciales. La diferenciación de los robots depende de su tamaño, el material del que están hechos, sus acoplamientos, sensores y actuadores, así como también los sistemas de control, locomoción, detección e informáticos que poseen (Arkin *et al.*, 1998).

El uso de la robótica en el campo de la medicina representa una herramienta que provee exactitud e incrementa la seguridad y precisión en procesos de alto riesgo (Fernando, 2011).

El desarrollo de máquinas desde la antigüedad y en conjunto con la ingeniería han permitido la creación de robots. Los cuales, gracias al progreso tecnológico a través del tiempo, han llegado a sustituir al ser humano en su trabajo físico e incluso intelectual dada su capacidad de procesar información. (Baturone, 2005) Dentro de las aplicaciones actuales a las que se orienta la robótica, se pretende el acercamiento a las necesidades sociales humanas dentro de las cuales se encuentran la robótica médica, de rehabilitación, submarina, de campo, construcción y humanoide (García *et al.*, 2007).

Sin duda alguna, la robótica ha evolucionado rápidamente en la última década y la situación actual del COVID-19 ha significado una oportunidad, y a su vez, una necesidad de modificar las funcionalidades y orientarlo al área médica. El nivel de alcance que puede alcanzar la robótica es fascinante e incluso es una de las tecnologías que indudablemente permanecerá en un futuro post-covid. Por lo cual es importante cultivar el espíritu de innovación en los estudiantes para el diseño y fabricación de productos nuevos y valiosos (Gelderblom *et al.*, 2009).

La economía, las actividades comerciales y las personas a nivel mundial se han visto afectados por la pandemia, causando cambios y efectos dramáticos. Por lo que las tecnologías y la digitalización han sido una alternativa de ayuda para las empresas y negocios para adaptarse y superar la crisis (Almeida *et al.*, 2020).

### **3.3 Tecnologías IoT frente al Covid-19**

El IoT permite monitorear la pandemia desde el acceso a datos de agencias de salud pública, que permita llevar un control de los casos totales en un país o región. (Ting *et al.*, 2020) Tal es el caso del seguimiento en tiempo real de La Universidad de Johns Hopkins, a través de un mapa para establecer el avance de propagación enumerando los casos ubicándolos por país y ciudad. También existen tecnologías como el de aplicaciones de telefonía móvil que rastrean las interacciones de una persona con otras. El rastreo digital pretende notificar y de cierta forma alertar a los usuarios cuando hayan estado en contacto o en cercanía de una persona

diagnosticada con COVID-19 (Cohen *et al.*, 2020). Taiwán también ha implementado la tecnología de geolocalización para rastrear las personas desde el teléfono móvil para garantizar que las personas posiblemente contagiadas permanecieran en su hogar durante el período de incubación.(Wang *et al.*, 2020) Otros de los países que han adoptado el uso de la geolocalización para vigilar a su población se encuentran Corea del Sur, Alemania y países de Europa. (Fernández, 2020) Con el tiempo se espera que se puedan superar los problemas asociados a la privacidad que han surgido. En China la aplicación móvil "Close Contact" utiliza esta tecnología para alertar a sus civiles cuando se encuentren en cercanía a la persona con corona positiva.(Singh *et al.*, 2020)

La tele salud ha aplicado nuevos enfoques a la educación médica moderna a raíz de esta situación por lo que resulta pertinente preparar a los estudiantes para el uso masivo de Internet, plataformas de redes sociales y tecnologías digitales (Meskó *et al.*, 2017). The University of Washington School of Medicina, United States, adaptando las condiciones de trabajo, pasando de visitas en personas a visitas de tele salud para proteger a los pacientes y trabajadores de la salud (Grange *et al.*, 2020). También la ciudad de Hangzhou en China, a través de plataformas de Alipay y WeChat desarrollaron una aplicación de salud móvil en la cual asignan colores como verdes, amarillos y rojas a los usuarios dependiendo su diagnóstico. Pero no todas las situaciones clínicas son apropiadas para las consultas en línea, tal es el caso de pacientes que requieren de un examen físico o cuando las capacidades del paciente le impiden el uso de la tecnología (Greenhalgh *et al.*, 2020).

Por la situación actual del COVID-19 la aplicación de la robótica en el sector sanitario ha incrementado con el objetivo de realizar tareas como la entrega de objetos sin contacto, la conducción autónoma o la capacidad de manipular objetos. Dentro de los ejemplos más notables se encuentra el robot de la gama Peanut de la empresa Keenon Robotics Co. utilizado para el transporte de utensilios médicos y de esta manera evitar un contagio de médico-paciente y viceversa. De igual forma existen robots orientados a la desinfección de lugares, en el caso de los robots UVD utilizan radiación ultravioleta para la desinfección de superficies y son capaces de navegar y desinfectar una habitación completa (Ackerman, 2020).



Ilustración 3. Robot para transporte de utensilios médicos.

Fuente: (Keenon, 2020).

También se puede mencionar el caso de Suiza con la empresa F&P Robotics AG que se centraron en el desarrollo de un robot asistente personal Lio, y que ha sido ajustado y modificado con el fin de ser empleado en el área médica. Una de sus grandes funcionalidades es que cuenta con un indicador de personas posiblemente infectadas con temperatura corporal elevada por lo que la detección se realiza de forma remota. Además realiza entregas autónomas de utensilios y artículos al personal para evitar el contagio e incluso cuenta con un sistema de desinfección utilizando luz UV-C aprobada capaz de eliminar eficazmente los gérmenes, bacterias y virus que se encuentran en las superficies (Mišeikis *et al.*, 2020). De igual forma, se puede mencionar el ejemplo de los drones los cuales han sido modificados para aplicaciones orientados a la situación actual del COVID-19. Una de sus utilidades actualmente es que son empleados para vigilancia y de esta manera garantizar el cumplimiento de la cuarentena y el uso de máscaras por parte de los ciudadanos (Javaid *et al.*, 2020).

Es un hecho que el impacto del COVID-19 en el IOT la ha convertido en una tecnología decisiva para la situación actual, pero sin duda alguna, su funcionalidad se extenderá en un mundo post-COVID. Sin embargo, los problemas de digitalización también se han agudizado por lo que deben entenderse y mejorarse para el futuro (Barnes, 2020).

### 3.4 Tele operación

En la industria muchos equipos requieren de un operador que lleve el control de ciertos entornos, como la aplicación de la robótica para la automatización de procesos. Esta intervención por parte del humano puede producirse de distintas maneras, ya sea de manera remota, lo que significa que no se requiere estar en el mismo lugar para ejecutar ciertas operaciones como la movilidad de una estructura, permiten el control de sensores y actuadores.

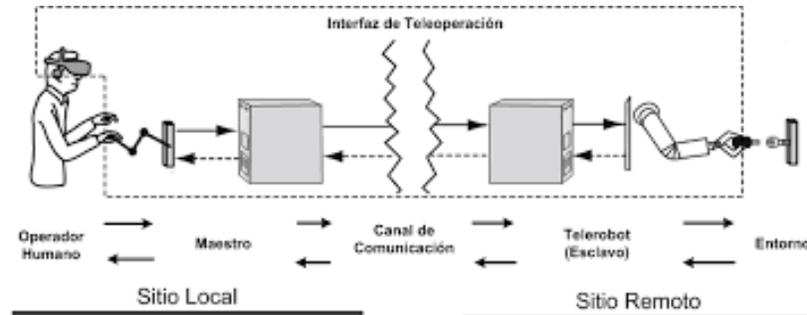
El termino tele operación para (Baturone, 2005) permite expandir la capacidad humana para el control de destrezas que localizan en lugares remotos. Existen conceptos similares como la tele actuación, telesensorización y la tele robótica. Para el control de estas tecnologías, se utilizan dispositivos como joysticks, controladores y brazos con determinados grados de libertad que ejecutan el movimiento manipulador remoto. Para este mismo autor el diseño de un sistema de control tele operado consta de dos objetivos: 1) Lograr que el control manual realizado por el operador sea capaz de sobreponerse ante errores y saturación en el sistema mecánico. 2) Reducir los tiempos de operación permitiendo una comunicación más veloz y disminuir el trabajo del operador, realizando trabajos más automáticos.

Un sistema de tele operación consta de los siguientes elementos (Alencastre *et al.*, 2003):

- Operador o teleoperador: Encargado de realizar el control de la operación a distancia.
- Dispositivo tele operado: es la máquina que trabaja en la zona remota y que está siendo controlada por el operador.
- Interfaz: conjunto de dispositivos que permiten la interacción del operador con el sistema de tele operación.
- Control y canales de comunicación: conjunto de dispositivos que modulan, transmiten y adaptan el conjunto de señales que se transmiten entre la zona remota y la local. Generalmente se contará con uno o varias unidades de procesamiento.

En general, los sistemas de tele operación se componen de un sitio local, donde un operador maneja un manipulador denominado maestro; un sitio remoto, donde un manipulador llamado esclavo interactúa con el mundo físico; y un canal de comunicación que vincula ambos sitios. El maestro es utilizado para generar comandos hacia el manipulador remoto, mientras que la fuerza,

debida a la interacción dinámica entre el esclavo y el medio, es relativamente hacia el operador humano, lo cual mejora el desempeño de una gran cantidad de tareas en interacción (Sheridan, 1992).



*Ilustración 4. Elementos principales de un sistema tele operado.*

Fuente: (Corredor, 2011).

La intervención del operador puede variar, desde la simple especificación de movimientos, hasta la tele operación directa de los actuadores de las articulaciones, o incluso de tareas, que se realizan de manera automática en el entorno remoto. En los sistemas de tele operación de robots la intervención del operador humano muchas veces es imprescindible, especialmente en entornos no estructurados y dinámicos en los cuales los problemas de percepción y planificación automática son muy complejos. Por lo general, el operador esta físicamente separado del robot, existiendo un sistema de telecomunicaciones entre los dispositivos que utiliza directamente el operador y el sistema de control local del robot.

(Sayers, 2013) clasifica los sistemas de tele operación en tres niveles según la distancia entre el ser humano y el dispositivo:

- 1) Tele operación de Rango Corto: En estos sistemas, la distancia entre el operador y el sitio remoto está restringida por la necesidad del operador de ver el entorno remoto directamente. En este caso, no hay restricción en el flujo de información entre los dos sitios, y no existe retraso de comunicaciones.
- 2) Tele operación de Rango Medio: En los sistemas, el sistema eléctrico de tele operación de rango corto se combina con unos medios para permitir ver el sitio remoto a distancia. La

adición de cámaras y monitores significa que la separación entre el operador y el entorno remoto podría aumentarse considerablemente. En estos sistemas, la conexión entre los sitios es completamente eléctrica. El operador puede ver lo que está pasando por medio una cámara y un monitor, puede escuchar lo que pasa, y puede sentir lo que está pasando vía una interfaz háptica.

- 3) Tele operación de Rango Largo: En estos sistemas, la realimentación juega un papel importante en el funcionamiento del sistema, el cual basa su control mediante Internet como un caso especial de este tipo de sistemas.

El presente trabajo investigativo tratará de diseñar un sistema capaz de comunicar y ejecutar acciones de movimiento de un dispositivo ubicado de manera remota en una red local distinta, operado por un maestro a través de una aplicación móvil de esta manera se podrá lograr la interacción en el entorno de un robot tele operado para fines médicos y de control contra el Covid-19. Como se ha mencionado previamente el campo de la tele operación y el IOT en busca de beneficios para el área de salud ha crecido en los últimos años y en países desarrollados estas tecnologías ya están siendo implementadas.

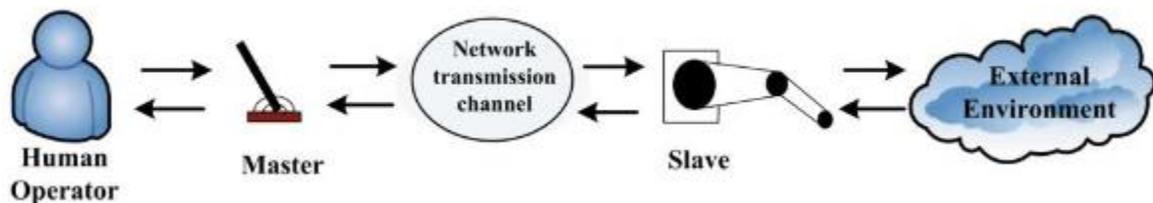
El trabajo de bidireccionalidad y eficiencia en el transporte tele operado a través de redes IP por (Diaz *et al.*, 2010) exponen tres particularidades de los sistemas tele operados: 1) La tele operación es bilateral. 2) Requisitos de tiempo real. 3) Tamaño de datos generalmente pequeños.

### 3.4.1 Sistemas Bilaterales Maestro-Esclavo

La retroalimentación de fuerza del esclavo al maestro, que representa la información de contacto, proporciona un sentido más amplio de la telepresencia. Cuando se hace esto, se dice que el teleoperador controlado bilateralmente. En la tele operación bilateral, los manipuladores maestro y esclavo están acoplados a través de una red de comunicación y un retardo de tiempo. Se incurre en la transmisión de datos entre el maestro y el esclavo sitio. Es bien sabido que los retrasos en un sistema de circuito cerrado pueden desestabilizar un sistema por lo demás estable. La inestabilidad del retardo de tiempo vigente que refleja la tele operación fue un impedimento de larga data para la tele operación bilateral con *force feedback*. Este informe (Chopra *et al.*, 2008) está motivado por el uso de redes de comunicación poco confiables como Internet o Wireless

como medio de comunicación entre los manipuladores maestro y esclavo, aquí el retraso de transmisión varía con el tiempo. El retraso varía con factores como la congestión, el ancho de banda o la distancia, y es a menudo acompañado de otros efectos como pérdidas de paquetes y reordenamiento, que puede degradar severamente el rendimiento o incluso resultar en un sistema inestable.

Centros de investigación como el de la Universidad de Chicago (Cwaik, 2020) han implementado brazos manipuladores que son controlados de manera remota, en un sistema maestro-esclavo, el papel del maestro lo realizaba el robot y el operador desde una distancia considerablemente larga, ejecutaba y transmitía los movimientos que el robot debía realizar para transportar material reactivo.



*Ilustración 5. Esquema de un sistema de teleoperación en red.*

Fuente: (Hua *et al.*, 2019).

La Ilustración 5 muestra la composición de un sistema general teleoperado, formado por un humano que opera el sistema, un maestro, el canal de transmisión, esclavo, y el entorno. Se puede visualizar que existen dos tipos de sistemas robóticos el maestro que es manipulado por el operador y el esclavo que interactúa con el exterior, ambas partes se comunican e intercambian información y señales como posición, velocidad y fuerza por el canal del centro, la información se puede transmitir en ambas direcciones, conocido como control bilateral.

Para esta investigación el concepto de bilateralidad permitirá el envío de movimientos de control de una estructura de robot, con el objetivo de que el operador logre escribir y leer datos en ambas direcciones, desde una móvil de forma.

### 3.4.2 Sistemas integrados en tiempo real

Las especificaciones de un sistema en tiempo real establecen que deben generar respuestas ante los eventos y condiciones que perciben del entorno, de esta manera puede generar acciones en momentos específicos del tiempo, (López, 2010). Una de sus características más importantes es su predictibilidad, lo que significa que el sistema debe ser capaz de reconocer en qué momento va a actuar y ejecutar una decisión aun y cuando esta no esté dentro de sus parámetros pero que sepa reconocer y actuar ante las señales generadas cumpliendo los plazos de respuesta.

Los sistemas integrados en tiempo real son soluciones digitales cuyas características principales son la comunicación, la información, integrar los sistemas, el internet y la movilidad, así lo describe el autor (Gavilán, 2019). Su integración se compone tanto de software como hardware, cuyo objetivo es relacionar ambos sistemas. El SOA (Service Oriented Architecture) define que se utilizan protocolos basados en la web como HTTP con los cuales la información se intercambia en formato XML o JSON. Con el avance tecnológica y la forma en que las comunicaciones han exponentado su capacidad de alcance y transmisión de datos a mayor ancho de banda es posible ejecutar aplicaciones desde un dispositivo móvil, los cuales con el tiempo se han convertido en ordenadores personales, con gran capacidad de almacenamiento y navegación. Se puede afirmar que estos sistemas integrados en tiempo real permiten la comunicación entre dispositivos y tienen alcances tan grandes que no importa desde que parte del planeta se envíe una señal o se controle un dispositivo.

Estos sistemas están diseñados para que la ejecución de cada una de las tareas esté organizadas, planificadas y sincronizadas de tal manera que sus movimientos sean predecibles, garantizando la satisfacción sin importar las restricciones del entorno.

### 3.5.3 Sistemas Cliente/Servidor

Este tipo de sistema se utiliza para la transferencia de datos a través de una red, a través de un servidor y uno o más clientes que se pueden encontrar en diferentes ubicaciones. La red informática puede ser Internet, una red de área local u otra red de comunicaciones de datos(Girerd *et al.*, 2000). La interacción se realiza a partir de un ordenador cliente local que proporcione una interfaz de usuario, con un ordenador servidor remoto que implementa el procesamiento de datos

en respuesta (Lee *et al.*, 2002). El cliente solicita comunicación a través de un canal que contiene la clave del servidor encriptada, en el momento en el que el servidor la recibe, procesa y verifica la autenticidad del cliente (Burton *et al.*, 2000).

En términos generales un cliente puede ser cualquier tipo de aplicación móvil, desde sistemas operativos de Android, iOS, Windows, etc. entre el más utilizado se encuentra Android y iOS siendo los más utilizados actualmente. Para realizar estas peticiones el cliente transmitirá una serie de datos a través de la red para continuar la ejecución, y dicha información será enviada encapsulada en diferentes tipos de datos ya sea XML o JSON. Por otra parte, un servidor es todo aquel que aporta servicios a un cliente. Existen varios tipos: De impresión, de correo, de telefonía, de base de datos, de proxy, de acceso remoto, web, de seguridad, etc. (Argueso, 2013)

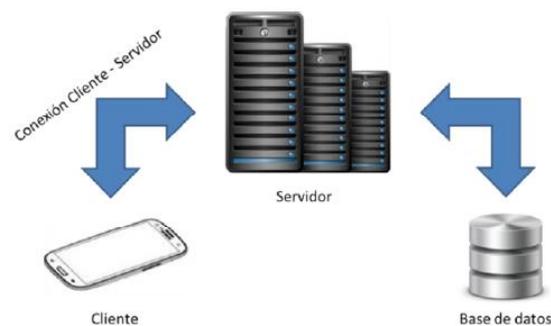


Ilustración 6. Conexión cliente-servidor

Fuente: (Argueso, 2013)

### 3.5 Base de datos

Para conceptualizar el término base de datos, es importante comprender a que nos referimos con las palabras datos e información. El primero se refiere a algo que aún no ha sido procesado y el segundo resulta de procesar una cantidad de datos que permitan reflejar un significado. Para administrar y guardar datos se requiere implementar una base de datos la cual consta de una estructura que integra un conjunto de datos. Para determinar el tipo de bases de datos es importante determinar la cantidad de usuarios, estos pueden ser de un solo o múltiples usuarios. También se pueden clasificar según su ubicación, ya sea centralizada o distribuida. Otra manera de determinar el tipo de base de datos es según su estructura: 1) No estructurados, es su estado original sin procesar. 2) Estructurados, requieren de un formato para su almacenamiento y

ejecución. 3) Semi estructurados, son datos que ya han sido procesados. Los dos últimos de gestionan a través de una generación de base de datos XML (Extensible Markup Language) la cual permite la manipulación en formato textual (Coronel *et al.*, 2011).

### 3.5.1 Base de Datos Relacional

Las bases de datos relacionales no es una tecnología nueva de base de datos, sin embargo, ha predominado como la favorita para la mayoría de las aplicaciones con respecto a almacenamiento y manejo de datos. Normalmente funcionan a partir de un lenguaje SQL, estos datos resultan ser muy eficaces. En la actualidad ha predominado un interés por los almacenes de datos que no utilizan SQL exclusivamente, el llamado movimiento NoSQL (Vicknair *et al.*, 2010).

En una base de datos relacional los datos se encuentran almacenados según relaciones y se representan a través de tablas, con filas y columnas, las primeras son los valores de cada atributo de la relación y los segundos las propiedades de estos. Según el autor (Piñeiro, 2013) se llama tupla a cada fila que conforma la tabla y campo a las columnas.

### 3.5.2 Real-Time DataBase

Resultan de la combinación de una base de datos convencional y un sistema de tiempo real (Bestavros *et al.*, 2012). Estos son sistemas de procesamiento de transacciones en los que una o algunas de las transacciones a realizar presentan restricción de tiempo y modo de respuesta estricto de tal modo que, si la acción no se ejecuta antes del tiempo establecido, puede provocar consecuencias negativas en el sistema. Existen múltiples plataformas y servicios que permiten el almacenamiento y sincronización de datos alojados en una nube a través de las API como se observa en la Ilustración 7. Estos se procesan en tiempo real aun y cuando la conexión a internet se pierde. Por lo general estos sistemas tiene la capacidad de actualizar cualquiera de los dispositivos conectados en cuestión de segundos a cualquier dispositivo front-end o móvil, de este modo los datos se sincronizan y se modifican instantáneamente.

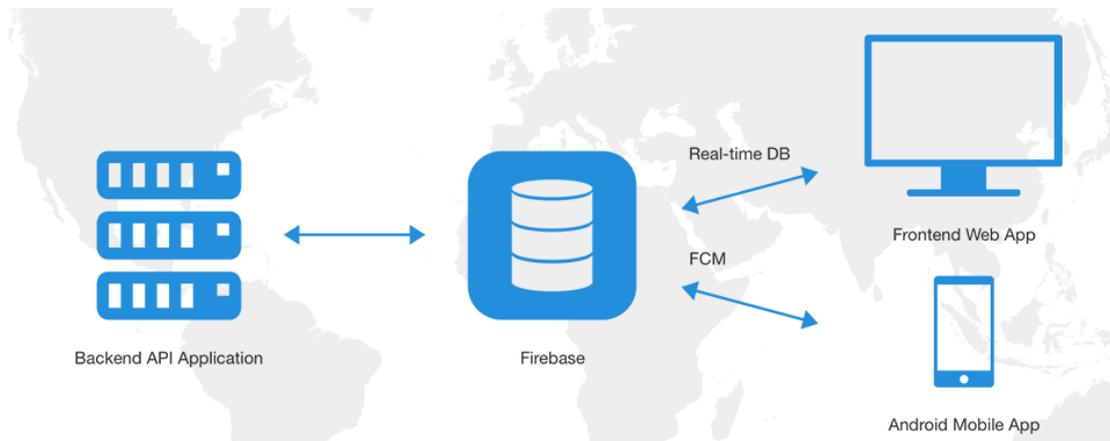


Ilustración 7. Elementos principales de una base de datos en tiempo real.

Fuente: (Yahiaoui, 2017).

Una base de datos en tiempo real consta de un sistema de controlador y otro controlado, el primero está conformado por la interfaz y el segundo por el ambiente (robots, estaciones, partes). El sistema controlador interactúa con el entorno a partir de la información brindada. Los datos deben de ser consistentes con la lectura realizada en el ambiente, ya que lo obtenido sirve para generar nuevos datos. Es importante el constante monitoreo de datos y la recopilación dentro de un archivo de almacenamiento. RTDB deben ser capaces de controlar la información y ejecutar la toma de decisiones del sistema de manera constante (Berndtsson *et al.*, 2012).

### 3.6 Framework

(Cíceri, 2019) define de manera completa el concepto de framework: "un conjunto de estructuras y componentes de software predefinidos e interconectados que sirven de base para la organización y el desarrollo de sistemas con propósitos generales". Están orientados para cumplir propósitos generales y no específicos. La implementación de frameworks vuelve los sistemas más productivos y reduce los costes, minimiza los errores, de esta manera permite crear y desarrollar aplicaciones de forma fácil. Permiten a los programadores crear códigos más sencillos y evitar la repetición de líneas de programación. La aplicación de los frameworks va desde: para la creación de aplicaciones web, aplicaciones como las que ofrece Windows con su reconocido. NETFramework, Ajax, para gestión de contenidos y multimedia.

### 3.6.1 Node.js

Node.js es un tiempo de ejecución multiplataforma de código abierto entorno para aplicaciones del lado del servidor con fuerte soporte para la funcionalidad de red. Por ejemplo, más grande empresas como LinkedIn y Walmart, utilizan Node.js para potenciando sus servicios de back-end móvil. Las aplicaciones Node.js están escritas en JavaScript y pueden ser ejecutado dentro del tiempo de ejecución de Node.js en varias plataformas como OS X, Microsoft Windows y Linux. Contiene una funcionalidad incorporada que permite que las aplicaciones actúen como una red servidor sin software adicional como Apache HTTP Server o IIS (Chhetri, 2016).

Node.js ejecuta JavaScript utilizando el motor V8 implementado por Google para su navegador web Chrome. El motor V8 permite brindar un entorno de ejecución por parte del servidor que compila y ejecuta JavaScript a la velocidad del rayo. El mayor aumento de velocidad se debe al hecho de que V8 compila JavaScript en código de máquina nativo, en lugar de interpretarlo o ejecutándolo como bytecode. Hoy en día Node.js se destaca como tecnología para crear aplicaciones de servidor de alto rendimiento. Es difícil predecir su dirección futura, pero ofrece una buena alternativa para enfoques más tradicionales (Bosák *et al.*, 2015). El uso de JavaScript tanto en el lado del servidor y del cliente reduce significativamente los requisitos en el conocimiento necesario de las tecnologías. Ahorra tiempo y otros recursos necesarios para la solución del problema. Package.json es un archivo JSON (JavaScript Object Notation) que permite manejar los paquetes npm, de manera que puede seleccionar el tipo de paquete a utilizar según la finalidad del proyecto a implementar.

## **IV. METODOLOGIA**

En el siguiente capítulo se presenta la metodología de investigación a implementar, explicando cada una de las etapas, fases, subsistemas e integración del proyecto, de igual manera se expondrá el enfoque experimental y cuantitativo que se desea seguir, establecer las variables dependientes e independientes sobre las cuales recae el funcionamiento del trabajo, los materiales, técnicas e instrumentos a utilizar, así como el cronograma de actividades que se llevaran a cabo de manera ordenada y secuencial.

### **4.1 Enfoque**

El enfoque bajo el cual se desarrollara el presente trabajo de investigación es de carácter experimental, este permite la manipulación de uno o más variables de estudio y cuenta con dos tipos de cambios: el de variable dependiente e independiente, el cual requiere de condiciones estrictas que tienen su debido control con el fin de reseñar lo que causa o produce algún suceso particular (Serrano et al., 2018). De igual manera los datos a obtener son cuantificables, es decir numéricos y medibles a partir de la recolección de datos, la realización de pruebas y el análisis de estos para comprobar y refutar la aplicabilidad y efectividad del proyecto en campo.

### **4.2 Variables de investigación**

Las variables de investigación representan una parte importante dentro del proceso de investigación, para (Namakforoosh, 2000) las variables representan una transición de la etapa conceptual a la experimental. Se define como variable dependiente a la que pretende explicar el fenómeno de estudio y las independientes son los valores que podrían alterar los resultados o el comportamiento de la dependiente.

A continuación en la Ilustración 8 se presentan las variables de investigación establecidas que determinaran la validez del proyecto, donde se define el control y comunicación remota como la variable dependiente sobre la cual recae el peso del trabajo, de igual manera se definieron cuatro variables independientes medibles, cuantificables y numericas, las cuales rigen la conducta del fenómeno a validar.

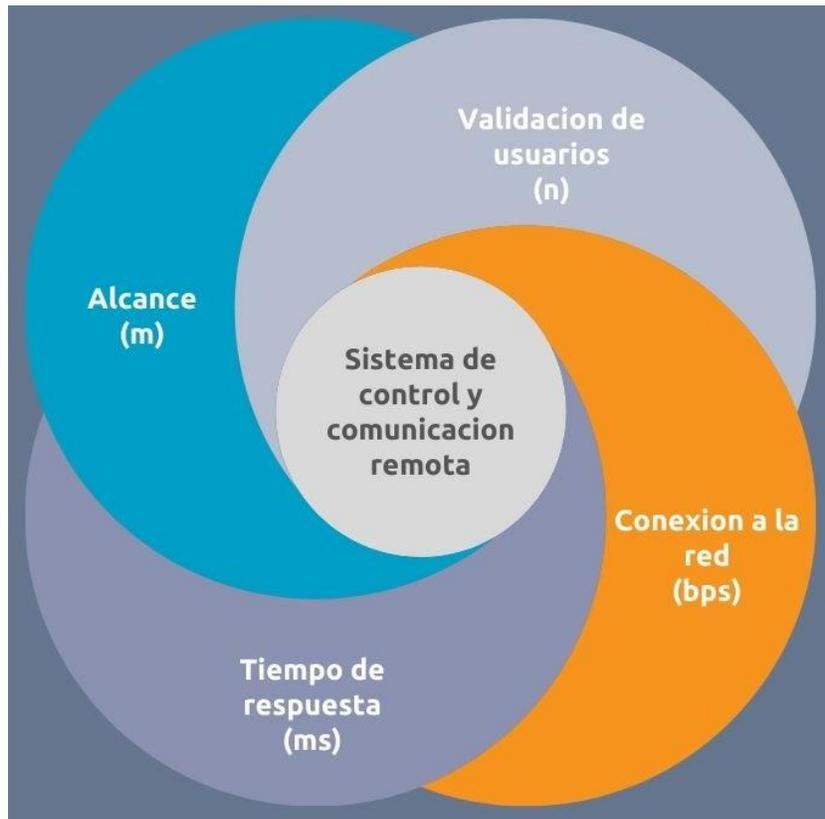


Ilustración 8. Diagrama de variables dependiente e independientes.

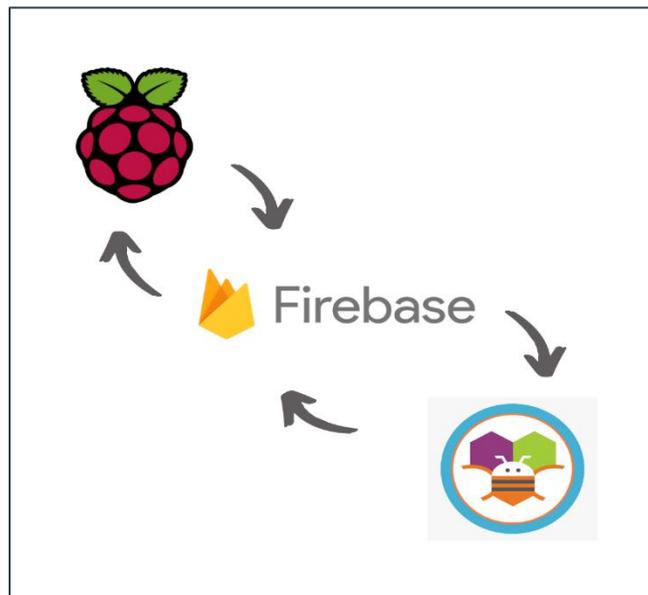
Fuente: Elaboración propia.

Las variables independientes de la Ilustración 8, se establecieron de manera en que si una de ellas varia numéricamente de forma significativa podrían afectar la efectividad de aplicar el sistema en un entorno medico donde la rapidez de transmitir la información a través de un tiempo de respuesta eficiente, este factor es importante para el sistema de control que se pretende desarrollar, porque implica el accionamiento de actuadores para generar movimiento desde una aplicación de forma remota, el tiempo que transcurre al momento de enviar el pulso de acción hacia la base de datos debe ser casi instantáneo sin retrasos. La segunda variable es la conexión a la red se debe considerar que la red local o wifi a la que se debe estar conectado, esta debe ser veloz y contar con una señal alta para lograr la comunicación entre el equipo y el software. El sistema está diseñado para implementarse en edificios sin embargo la comunicación remota permite en este caso que el usuario que controla la estructura robótica pueda hacerlo desde

cualquier sitio dentro del mismo espacio. La tercera variable se definió como el alcance o distancia a la que puede permanecer conectado el sistema y efectuar cambios en la base de datos, desde cualquier punto, para ello se evaluarán diferentes distancias dentro y fuera del país, tomando en cuenta para esta variable el tiempo de respuesta al que se obtienen los datos. De este modo se pretende evaluar la posibilidad de que un médico pueda controlar el sistema desde su hogar o incluso desde el extranjero. La última variable es la validación por parte de los usuarios de la interfaz que se debe crear en App Inventor, determinar y evaluar el diseño de esta y que tan accesible resulta para los usuarios el manejo de esta.

### 4.3 Técnicas e instrumentación

La recopilación de información para realizar este trabajo investigativo consistió en una compilación de distintas fuentes como entrevistas, artículos científicos, tesis, trabajos de investigación, libros, entre otros con el fin de proporcionar y validar la teoría que sustenta el proyecto.



*Ilustración 9. Técnicas e instrumentación utilizada en el desarrollo del sistema de control.*

Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo del sistema de control y lograr la comunicación remota fue necesario indagar en softwares de código abierto disponibles para acoplar las características que requiere el objetivo

principal del trabajo. En la actualidad existen múltiples programas para el desarrollo de aplicaciones, bajo el propósito del concepto de IOT y la interconexión digital de los objetos, se buscó incorporar una plataforma que permitiera una interacción del usuario con el sistema como App Inventor que permite la creación de interfaces amigables con los usuarios. Igualmente se requirió de una plataforma que permitiera el almacenamiento de datos en tiempo real automáticamente que fungiera el papel de intermediario dentro del sistema. Es importante mencionar que se debe considerar el código de programación a utilizar sea compatible con cada una de las plataformas seleccionadas.

#### 4.3.1 FireBase

Es una plataforma móvil y de aplicaciones web que ofrece Google diseñada para ofrecer un espacio con herramientas para crear aplicaciones de alta calidad. Los desarrolladores de Firebase tienen la capacidad de mezclar y combinar las características que ofrece el programa según sus necesidades. Firebase en sus inicios era una base de datos en tiempo real, lo que proporciona una API que permite a los desarrolladores almacenar y sincronizar los datos a través de múltiples clientes.

Esta plataforma cuenta con múltiples características: *Firebase Analytics*, *Firebase Cloud Messaging*, *Firebase Auth*, *Firebase Storage* y *Realtime Database*. La más importante para el desarrollo de esta investigación es *Firebase Realtime Database* es una base de datos en tiempo real y backend alojada en la nube. Proporciona una API para que los datos sean almacenados en formato JSON y se sincronicen en tiempo real con cada cliente conectado. Al crear aplicaciones bajo esta plataforma permite sincronizarse y compartir información con dispositivos iOS, Android y los SDK de JavaScript todos los clientes comparten una instancia de *Realtime Database* y reciben actualizaciones de forma automática con los datos más nuevos, almacena y sincroniza datos con nuestra base de datos NoSQL alojada en la nube. Los datos se sincronizan con todos los clientes en tiempo real y seguirá estando disponible cuando tu aplicación pierda la conexión (Martin, 2017).

### 4.3.2 Raspberry Pi

Es una placa computadora o SBC desarrollada en 2012 por la Raspberry Pi Foundation en Reino Unido originalmente surgió con fines didácticos, para incentivar la enseñanza de ciencias de computación en las escuelas. Siendo el objetivo una placa educacional es de bajo costo, esto con la idea de llegar máximo número de usuarios y cumplir el objetivo de enseñanza. Usa lenguajes de alto nivel como Python, C++ y Java, (Casco, 2018).

Raspberry Pi OS es el sistema operativo oficial y gratuito para todos los modelos de Raspberry Pi. Está basado en el sistema operativo Debian optimizado para el mejor rendimiento de la Raspberry Pi, con un conjunto de programas básicos y utilidades que ofrece al usuario un entorno de cualquier ordenador moderno. Proporciona más de 35,000 paquetes y software precompilado con una fácil instalación para el hardware.

### 4.3.3 Python

Este lenguaje ofrece un código de alto rendimiento en algunos casos se recomienda utilizar el lenguaje de programación de Python que proporciona una mejor opción en términos de mayor rendimiento y no requiere de tanto código, y el usuario se ahorra largas horas de convertir los tipos de datos dependiendo el formato que se esté utilizando, Python se vuelve una herramienta clave para realizar el trabajo de manera más sencilla y rápida.

Python es un lenguaje de programación portable, compatible, fácil de usar y de interpretar, compila con todos los sistemas operativos, sus librerías corren de la misma forma en cualquier plataforma, lo que permite que se pueda programar en múltiples entornos sin que afecte la transferencia de datos. Permite programar de forma más estructurada y dinámica sin escribir muchas líneas de programación, lo que lo vuelve más sencillo para aquellos que no tienen experiencia con lenguajes de programación. La gran ventaja es que permite a cualquier investigador y desarrollador de proyectos concentrarse en la problemática de su investigación que al código, proporciona un mejor rendimiento y mejores resultados, ofrece librerías gratuitas de alto nivel, (Chazallet, 2016).

#### 4.3.4 Sensor MLX90614

Forma parte de la familia de sensores temperatura e infrarrojos, por lo que es un componente sensible a la radiación reflejada por cualquier objeto a la distancia, constituido por un chip de silicio. En cuanto a su composición interna, integra un circuito de filtrado de ruido y cuenta con un conversor analógico a la digital de 17 bits. Dentro de sus ventajas, ofrece una alta precisión y resolución con comunicación en protocolo I2C a través de un procesador de señal DSP, y solo se necesita realizar la conexión respectiva a una Raspberry Pi o cualquier otro microcontrolador. Este termómetro con su funcionamiento como sensor infrarrojo, es capaz de tomar la temperatura sin la necesidad de tener contacto alguno, al igual que su bajo costo y tamaño reducido. Sus dimensiones son de 16 x 11 x 5 mm, cuenta con una interfaz compatible con SMBus y una salida PWM para la lectura continua.

SCL (Serial Clock Line): Es una entrada digital, empleada como reloj para establecer una comunicación compatible con SMBus. La interfaz SMBus está basado en el protocolo I2C, conocido como protocolo de 2 hilos, que hace posible la comunicación entre un dispositivo maestro (MD) que realiza la transferencia de datos y uno o más dispositivos esclavos (SD), que reciben los datos proporcionados por el maestro, incluso puede transmitir datos al maestro. Este proceso, proporciona las señales de reloj. Solo puede existir un maestro en el sistema para que no interfiera con la transferencia de datos.

PWM / SDA (Serial Data Line): se puede utilizar para entrada / salida digital, tanto para la salida PWM de temperatura como para el SMBus dependiendo de la configuración programada en EEPROM con modos de operación Push/Pull, se puede restaurar la configuración al valor predeterminado de fábrica mediante el comando especial del NMOS.

Se ha decidido hacer uso de este sensor para la elaboración del proyecto por múltiples razones, una de ellas es la característica de no requerir contacto alguno para realizar sus mediciones por lo que encaja perfecto con el objetivo del proyecto relacionado al COVID-19 que proporcionará una medida sin necesidad que el personal sanitario interrumpa con el distanciamiento social recomendado para la toma de temperatura.

#### **4.4 Materiales**

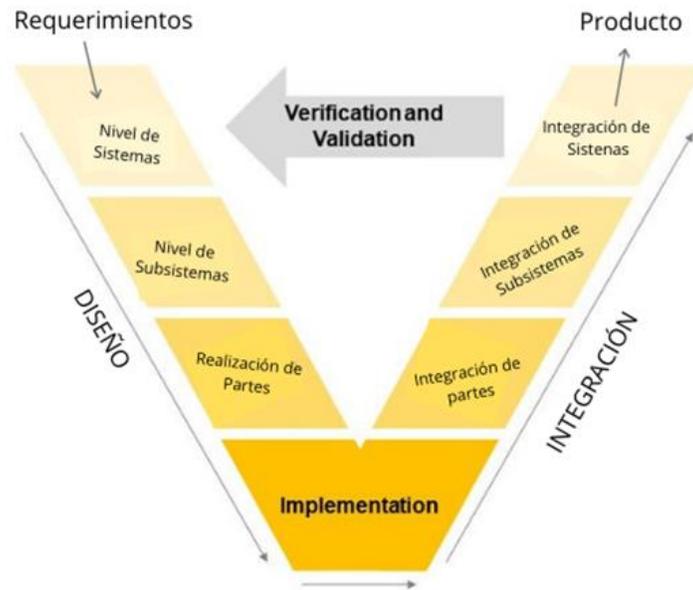
A continuación, se presentará un listado de los materiales esenciales que se utilizaron para el funcionamiento y compilación del proyecto de investigación. Cada uno se seleccionó de manera que se pudieran integrar y complementar, que cada interfaz y plataforma pudiera tener una conexión y cumplir con los parámetros establecidos.

- Modulo Relés: para el entorno físico del sistema, su activación proporcionará el accionamiento de los motores actuando como un interruptor controlado del circuito eléctrico.
- SBC Raspberry Pi: utilizado por la cantidad de datos a utilizar y analizar, y su amplia capacidad de memoria y procesamiento de datos.
- Aplicación móvil: para crear una interfaz amigable con el usuario para el control remoto del sistema.
- Motor 24VDC: motor de corriente continua que provocará un movimiento rotatorio para realizar el desplazamiento del robot.
- Cable eléctrico calibre 14: para realizar las conexiones esquemáticas del circuito correspondiente.
- Puente H L298N: para prueba del entorno físico del sistema.
- Diseño 3D en Solidworks: con fines demostrativos para el montaje de componentes físicos.
- Motor 12VDC: motor de corriente continua para generar movimiento rotatorio para el desplazamiento del robot, en una escala a nivel micro de la demostración.
- Baterías de 12V: que sirven como fuente de alimentación para los motores.
- Sensor MLX90614: para medir la temperatura de los pacientes.
- Modulo ESP8266: para establecer la conexión Wifi entre el microcontrolador y Firebase para la lectura del sensor de temperatura.

#### **4.5 Metodología de Estudio**

La metodología en V está representada por una secuencia de pasos que sirven para el desarrollo en el ciclo de un proyecto. En cada etapa se van desglosando las actividades y los resultados que se van obteniendo antes del producto final. Generalmente este modelo de investigación consta

de dos lados o lazos: el lado izquierdo y el lado derecho. El lado izquierdo del modelo en V representa la descomposición de cada sistema, subsistema y las partes que lo componen. El lado derecho el modelo en V representa la integración de cada una de las partes que forman el primer lado y la validación de esta. (Fajardo *et al.*, 2015).



*Ilustración 10. Metodología Modelo en V.*

Fuente: Elaboración propia.

Este método en V permite planificar y establecer de manera más clara los objetivos que se pretenden alcanzar para el desarrollo y ejecución de un proyecto. Algunos de estos objetivos son: 1) Minimizar el riesgo, permitiendo una detección temprana y gestionar las desviaciones. 2) Mejorar la calidad deseada del producto final. 3) Reducir los gastos de operación, producción y mantenimiento.

#### 4.5.1 ETAPA INICIAL: REQUERIMIENTOS

En este primer paso el objetivo será identificar las necesidades principales que requiere el proyecto, en base a las necesidades que requiera el proceso de diseño e implementación. Como

primer punto se definirán las funciones del sistema en general, a partir de la investigación y análisis realizado se han determinado las siguientes funciones:

1. La función principal es satisfacer una necesidad dentro del ámbito de salud y médico del país.
2. La función de restricción del sistema será poder manipular el movimiento desde cualquier punto, conectado a cualquier red que brinde un servicio de internet.
3. La función complementaria del sistema se debe corroborar que el sistema brinde al usuario un control funcional y seguro para la manipulación del dispositivo.

La solución final dependerá en gran medida de este análisis: la mayoría de las diferencias entre dos productos que tienen las mismas funciones principales resultan de la restricción y las funciones complementarias.

#### 4.5.1.1 Lado Izquierdo Modelo en V

Etapa I: Aquí se procede a la descomposición del sistema principal que consiste en la integración de todas las partes a mencionar, con el fin de obtener una aplicación de usuario para manipular movimiento de un robot tele operado de manera remota, es decir con conexión a internet sin importar la red a la que el usuario esté conectado ni el dispositivo final. Estos sistemas son:

- Sistema de control
- Sistema de procesamiento
- Sistema eléctrico

Etapa II: Se procede a descomponer el sistema en subsistemas:

Los principales sistemas mencionado se componen de una serie de subsistemas y partes que serán expuestas y definidas en el siguiente capítulo.

Etapa III: En la etapa tres se llevará a cabo una selección de software y hardware para el funcionamiento de cada uno de los subsistemas.

#### 4.5.1.2 Lado Derecho Modelo en V

Etapa IV: para la etapa de integración de partes, se procede a realizar pruebas individuales de cada uno de los elementos y materiales que componen los subsistemas establecidos. Se llevará a

cabo pruebas de conexión entre el sistema de control y mecánico a través del dispositivo SBC. El envío y recibo de datos en el subsistema de procesamiento.

Etapa V: El siguiente paso fue integrar todos los componentes de los subsistemas y comprobar que su funcionamiento en conjunto sea exitoso, es decir que en esta parte se debe confirmar que desde la interfaz de usuario que se realice en la aplicación web debe enviar y recibir datos a través de la base de datos, enviarlos a la SBC y viceversa.

Etapa VI: Este paso es importante porque se realizaron las pruebas necesarias para verificar el funcionamiento en conjunto del producto. Con los resultados de las pruebas se pueden conocer los errores del sistema lo que nos da el conocimiento necesario para poder hacer los cambios necesarios.

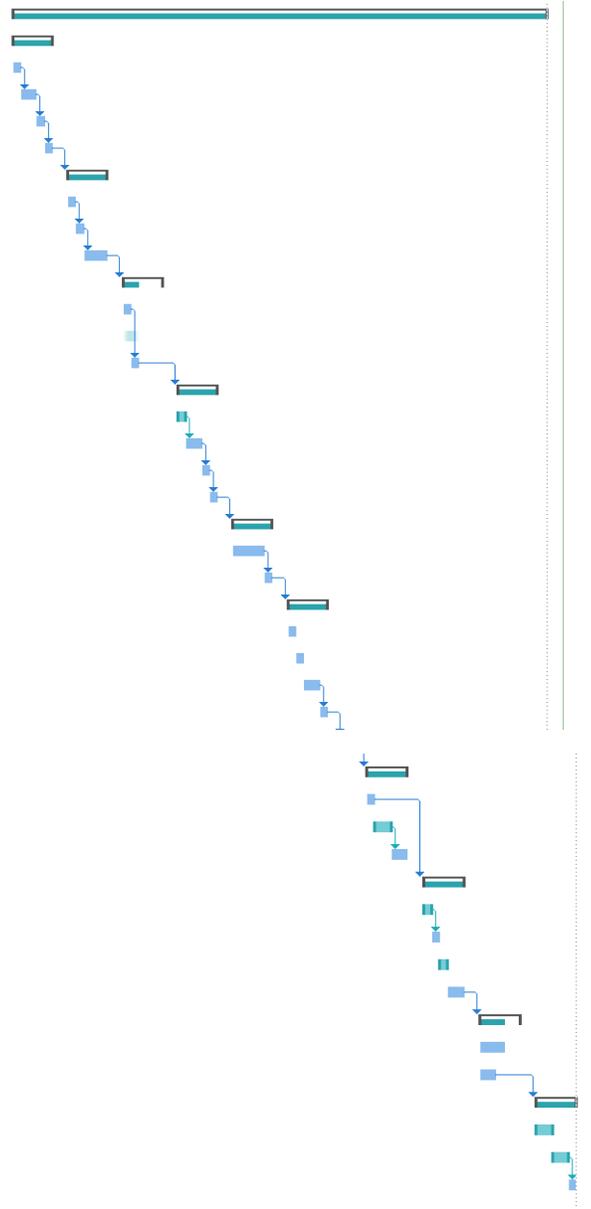
#### 4.5.2 ETAPA FINAL: PRODUCTO FUNCIONAL

Finalmente, una vez realizadas las pruebas y las correcciones a cada sistema, se procede al montaje y pruebas sobre el producto final, de esta manera se realiza un análisis funcional del producto.

### **4.6 Cronograma**

En la siguiente Ilustración 11 se detalla de forma breve y organizada las actividades a realizar durante la investigación, el proyecto se ha dividido en 10 semanas dividiendo la carga y el proceso investigativo. Se desarrollarán partes fundamentales del proyecto y cada uno de los capítulos presentados en este informe. También se reflejan las fechas establecidas y la secuencia a seguir después de finalizada cada actividad de forma cronológica.

<b>Proyecto de investigación</b>	<b>50 días</b>	<b>lun 7/20/20</b>	<b>vie 9/25/20</b>
<b>Semana 1</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 7/20/20</b>	<b>vie 7/24/20</b>
Presentación de propuesta	1 día	lun 7/20/20	lun 7/20/20
Planteamiento del problema	2 días	mar 7/21/20	mié 7/22/20
Justificación	1 día	jue 7/23/20	jue 7/23/20
Objetivos	1 día	vie 7/24/20	vie 7/24/20
<b>Semana 2</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 7/27/20</b>	<b>vie 7/31/20</b>
Investigación de conceptos	1 día	lun 7/27/20	lun 7/27/20
Mapa mental subdivisiones del marco teórico	1 día	mar 7/28/20	mar 7/28/20
Elaboración del marco teórico	3 días	mié 7/29/20	vie 7/31/20
<b>Semana 3</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 8/3/20</b>	<b>vie 8/7/20</b>
Descarga de plataformas	1 día	lun 8/3/20	lun 8/3/20
Inicializar Firebase	2 días		
Disenar la aplicación móvil	1 día	mar 8/4/20	mar 8/4/20
<b>Semana 4</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 8/10/20</b>	<b>vie 8/14/20</b>
Definir la metodología a implementar	1 día	lun 8/10/20	lun 8/10/20
Compra de materiales	2 días	mar 8/11/20	mié 8/12/20
Definición de los sistemas	1 día	jue 8/13/20	jue 8/13/20
Definición de los subsistemas	1 día	vie 8/14/20	vie 8/14/20
<b>Semana 5</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 8/17/20</b>	<b>vie 8/21/20</b>
Pruebas de conectividad	4 días	lun 8/17/20	jue 8/20/20
Integración de partes	1 día	vie 8/21/20	vie 8/21/20
<b>Semana 6</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 8/24/20</b>	<b>vie 8/28/20</b>
Ultima fase de la metodología	1 día	lun 8/24/20	lun 8/24/20
Integración de subsistemas	1 día	mar 8/25/20	mar 8/25/20
Revisión y cambios al sistema	2 días	mié 8/26/20	jue 8/27/20
Iniciar el reporte de resultados	1 día	vie 8/28/20	vie 8/28/20



<b>Semana 7</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 8/31/20</b>	<b>vie 9/4/20</b>
Compra de módulos	1 día	lun 8/31/20	lun 8/31/20
Conexiones a la SBC	2 días	mar 9/1/20	mié 9/2/20
Montaje del ckto eléctrico	2 días	jue 9/3/20	vie 9/4/20
<b>Semana 8</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 9/7/20</b>	<b>vie 9/11/20</b>
Pruebas con motores DC	1 día	lun 9/7/20	lun 9/7/20
Pruebas con Reles	1 día	mar 9/8/20	mar 9/8/20
Pruebas con Puente H	1 día	mié 9/9/20	mié 9/9/20
Inicio paper científico	2 días	jue 9/10/20	vie 9/11/20
<b>Semana 9</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 9/14/20</b>	<b>vie 9/18/20</b>
Integración del sistema	3 días	lun 9/14/20	mié 9/16/20
Paper Científico	2 días	lun 9/14/20	mar 9/15/20
<b>Semana 10</b>	<b>5 días</b>	<b>lun 9/21/20</b>	<b>vie 9/25/20</b>
Realizar correcciones	2 días	lun 9/21/20	mar 9/22/20
Validación de usuarios	2 días	mié 9/23/20	jue 9/24/20
Presentación Final	1 día	vie 9/25/20	vie 9/25/20

Ilustración 11. Cronograma de actividades.

Fuente: Elaboración propia.

## V. ANALISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se pretende exponer un análisis detallado de los resultados obtenidos, en base a la teoría aplicada del Capítulo III. Se tiene como objetivo comprobar el alcance y viabilidad del proyecto desarrollado, de esta manera se puede resumir y especificar el aporte del sistema de control remoto desarrollado para mejorar e implementar tecnologías nuevas en la lucha contra el COVID-19 en Honduras.

Se tomo en cuenta la implementación de este tipo de tecnologías en otros países como China, Taiwán, Estados Unidos y Reino Unido para lograr desarrollar un sistema capaz de evitar el contagio cruzado médico-paciente, incluso que pueda ser integrado en distintas áreas no solo de la salud.

### 5.1 CICLO A

A continuación, en la Ilustración 12 se puede visualizar el primer ciclo de la metodología implementada. En cada uno de los bloques se va trabajando partes que conformaran el sistema final. Para este primer ciclo los componentes principales son un motor de 24VDC, un módulo de relés y las plataformas mencionadas anteriormente. Se verificará la viabilidad de utilizar estos motores y el sistema eléctrico planeado para llevar a cabo el movimiento y control del robot.

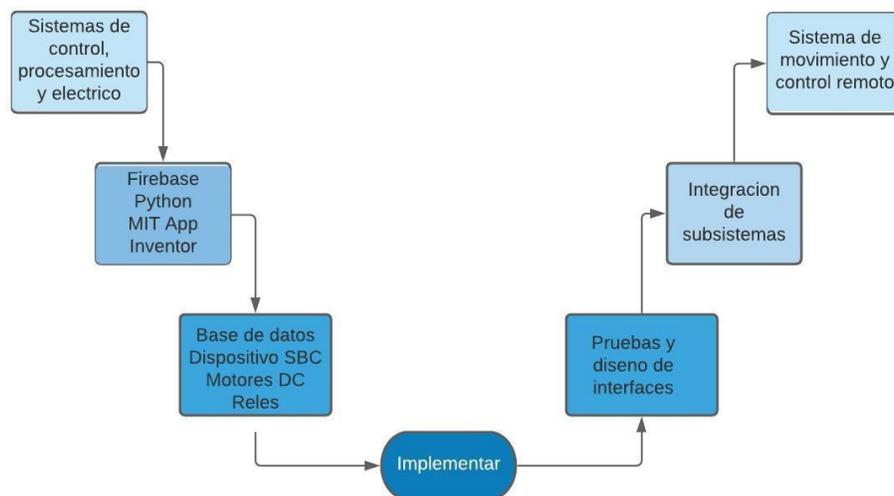


Ilustración 12. Modelo en V del Ciclo A.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.1 Etapa I: Definición de los Sistemas

El primer paso en el desarrollo del resultado final deseado es la definición de los sistemas que componen el proyecto, los cuales son:

- Sistema de control se realiza a través de las plataformas de Google Firebase, pues a diferencia de otros programas, reúne todas las características necesarias para el inicio de un proyecto de aplicación móvil de manera sencilla y fácil de usar. De hecho, cuenta con documentos y guías informativas que permiten que el uso de Firebase sea más fácil para el usuario. Otra de las características que fueron tomadas para su elección es que los desarrolladores no necesitan dedicarle mucho tiempo al backend y a las infraestructuras complejas, puesto que ciertas actividades se dejan a mano de Firebase y de esta manera es posible centrarse en la optimización de otros aspectos para conseguir la calidad deseada. Cuenta con una suscripción de pago para el acceso a herramientas más avanzadas pero el plan gratuito (que fue el utilizado en este proyecto) fue más que suficiente para el desarrollo de las funcionalidades requeridas. La principal funcionalidad utilizada en el proyecto fue la ejecución de la base de datos en tiempo real de manera que guarda, consulta y actualiza los datos que se fueron generando con una interfaz de usuario diseñada para sistemas operativos Android. Cuando un dato es enviado desde la aplicación, Firebase automáticamente realiza el cambio de manera casi instantánea.
- Sistema de procesamiento logra procesar los datos utilizando un dispositivo SBC que funciona como miniordenador, tal como lo es la Raspberry Pi 3 que se compone de pines de entrada y salidas digitales que permiten el accionamiento de las partes que componen el sistema mecánico. Implementando un lenguaje de programación en Python compatible con el emulador de terminales, Putty. Este emulador permite llamar las líneas de programación y ejecutarlas.
- Sistema eléctrico se compone de distintos componentes físicos y mecánicos para ejecutar el movimiento simulado del robot.

### 5.1.2 Etapa II: Nivel de los Subsistemas

Como siguiente paso se debe especificar los subsistemas o partes que componen cada uno de los sistemas principales expuestos.

#### Subsistemas de Control

1. Base de datos en tiempo real, como se mencionó anteriormente es la encargada de enlazar la información entre el espacio físico y el digital.
2. Aplicación móvil en la cual se ejecutan cuatro posibles comandos que se traducirán en movimiento, estos envían señal booleana y se lleva a cabo una lectura de datos.

#### Subsistemas de procesamiento

1. Dispositivo SBC o miniordenador capaz de procesar los datos que se ejecutan en el sistema de control lo que activa el sistema eléctrico del proyecto.
2. Programación en Python que especifica y condiciona cada uno de los movimientos posibles que puede realizar el sistema mecánico.
3. Red Wifi es el medio por el cual se comunicarán el sistema de control con la placa electrónica y el sistema mecánico.
4. Comunicación Ethernet para acceder al sistema operativo del microprocesador.

#### Subsistemas eléctricos:

1. Motores los cuales se encargan del desplazamiento del robot, en este trabajo se seleccionaron motores de 24VDC para la realización de pruebas de movimiento.
2. Módulo de relés el cual permite llevar a cabo el cambio de giro correspondientes de los motores para el movimiento hacia adelante y atrás, así como el giro de derecha e izquierda.
3. Batería de 24V que proporcionará la fuente de alimentación necesaria para el accionamiento de los motores.

Para la parte eléctrica y conexiones se utilizó cable eléctrico calibre 14 para los motores, borneras y jumpers para el enlace del módulo relé con la placa SBC o Raspberry Pi 3. El calibre del cable eléctrico fue determinado a partir de la potencia de los motores de 250W y su respectivo voltaje

de 24V. En la siguiente Ilustración se muestra los diferentes calibres de cables de cobre en relación con el amperaje que soportan. Para calcular la unidad de intensidad de corriente eléctrica de los motores, es decir su amperaje, se utilizó la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{V}$$

*Ecuación 1. Intensidad corriente eléctrica.*

$$I = \frac{250W}{24V} = 10.33A$$

Siendo el amperaje total igual a 10.33 A, se puede validar en la tabla de calibres que un cable de 14 AWG que soporta hasta 15 A será más que suficiente para este punto eléctrico.

**Tabla 2. Tamaños de cables y amperaje que soportan.**

Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

### 5.1.3 Etapa III: Realización de partes

#### Subsistemas de control

- Base de datos en tiempo real con Firebase un sistema *backend* compatible con librerías de diferentes plataformas, entre las principales JS, Android y iOS, posee una REST API, lo que hace posible compartir los datos con diferentes sistemas y dispositivos. Soporto datos de tipo string, bool y long lo que permite su afinidad con el lenguaje de Python y la lectura de datos booleanos.

- Aplicación móvil se utilizará un diseño de la interfaz realizada en MIT App Inventor que pueda integrar y ejecutar el sistema de manera que sea amigable con el usuario, en este caso médicos o enfermeras que puedan manipular cada uno de los comandos de movimiento a realizar de forma remota por parte del robot.

Subsistemas de procesamiento

- Dispositivo SBC: en este caso se utilizará una Raspberry Pi 3 modelo B la cual se encargará de enviar las señales a través de los relés para el accionamiento de los motores correspondientes. La Raspberry Pi es uno de los dispositivos más utilizados para la implementación de proyectos IoT gracias a su fácil instalación de software y amigable con los usuarios, aunque su precio puede ser un poco más elevado en comparación a la línea de microcontroladores de Arduino.

**Tabla 3. Características de la Raspberry Pi 3 Modelo B v1.2**

<b>Raspberry Pi</b>	<b>Modelo B</b>
<b>RAM</b>	512 MB
<b>Velocidad</b>	700 MHz
<b>SoC</b>	Broadcom BCM 2835
<b>GPU</b>	Broadcom Video Core Iv
<b>Potencia</b>	700 Ma a 5V
<b>USB</b>	2 x USB 2.0
<b>Salida de Video</b>	RCA; HDMI 1.3/1.4
<b>Salida de Audio</b>	3.5 mm analógico; HDMI
<b>Redes</b>	10/100 Mbps Ethernet
<b>GPIO</b>	26

Fuente: Elaboración propia.

- Programación: se utilizará el lenguaje abierto de Python que es compatible con múltiples plataformas lo que permite la óptima integración de partes del sistema y futuras mejoras.

- Los protocolos de comunicación utilizados son a través de Ethernet para la alimentación y funcionamiento de la Raspberry Pi 3 permitiéndole configurar el puerto IP de manera que se ingrese al sistema operativo del dispositivo SBC, estableciendo una comunicación cliente-servidor.
- Se requiere de una red wifi para el funcionamiento y enlace de la información que envía la Raspberry directo a Firebase actualizando los datos, cabe mencionar que los datos pueden ser actualizados y consultados desde Firebase y la aplicación móvil

### Subsistemas eléctricos

- Motores: Se incorporaron dos motores DC de 24V cada uno, para generar el movimiento de la estructura de un robot, dichos motores se seleccionaron debido a su tamaño y capacidad de soporte de la estructura. De igual forma en una escala mini para la implementación de un puente H dual se hizo una pequeña demostración con motores de 12VDC.

**Tabla 4. Características Motor DC**

<b>Concepto</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje	24 V
RPM	2750 rpm
Corriente Nominal	14A
Potencia	250 W

Fuente: Elaboración propia.

- Batería de 24V: resultante de un circuito en serie de baterías de 12v, que permitirá el encendido de los motores de 24VDC.
- Modulo Relés de 4 canales: sirve para conmutar cargas de potencia, estos dispositivos soportan todas las opciones de microcontroladores. En este proyecto este módulo será capaz de controlar los motores de alta corriente.

**Tabla 5. Características Modulo Relés 4 canales**

<b>Concepto</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje de trabajo	5 VDC
Corriente de trabajo	0.2A a 0.8A
Corriente máxima	10A
Dimensiones	7.7cm x 5.5cm x 2cm

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.4 Etapa IV: Integración de partes

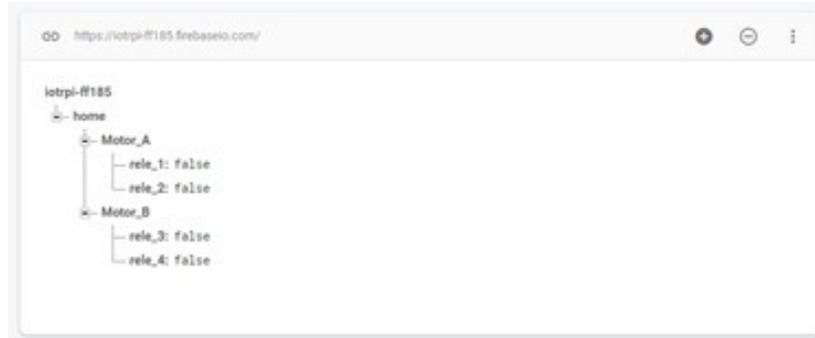
En este segmento se realizaron pruebas y diseño de cada una de las partes por separado para posteriormente proceder a la integración de los subsistemas.

##### 5.1.4.1 Firebase

El primer paso es crear un proyecto en Firebase y enlazarlo con la aplicación de App Inventor y descargar las credenciales para trabajar con Python. La finalidad de crear una base de datos en Firebase es poder tener acceso al control de datos y los valores que se transmitirán desde el microcontrolador. Al crear el proyecto automáticamente se generan un URL y TOKEN para brindar acceso a todos los elementos del sistema. Para activar las credenciales de Firebase con Python recurrimos al SDK del administrador dentro de la plataforma y seleccionamos el tipo de configuración de preferencia, en este caso Python, esto genera un archivo JSON.

Una vez enlazado el proyecto a la aplicación, se desarrolló la base de datos en tiempo real para un periodo de prueba y poder modificar los datos manualmente desde la plataforma. La Ilustración 13 muestra la estructura que se creó, la cual consta de una referencia principal determinada *Home* y los accesos a cada uno de los motores: **Motor A** y **Motor B**. Los valores asignados son valores booleanos de 0 y 1 interpretados por el sistema como *true* y *false*. Cada motor es controlado por dos relés los cuales se explicará a profundidad su funcionamiento dentro

del sistema. El código correspondiente a esta estructura se genera a partir de un código JSON, la misma que posteriormente es llamada dentro del código en Python para crear la estructura a través de un *sudo Python*.



*Ilustración 13. Estructura de la base de datos en tiempo real.*

Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.4.2 App Inventor

La creación de la aplicación en App Inventor consta de dos partes, la primera fue crear una interfaz de usuario que fuese amigable, fácil de usar y manejar. Dentro de la versión web, se diseñó el bosquejo de la interfaz la cual consta de un menú principal para acceder y navegar por la aplicación. La Ilustración 14 muestra los botones creados que podrán ejecutar el movimiento del robot, hacia adelante, atrás, girar a la derecha y a la izquierda. Estos botones se accionan a través de una programación ejecutada los bloques secuenciales. Esta aplicación genera un archivo APK que sirve para ejecutar la interfaz dentro de un emulador dentro del sistema o un dispositivo Android, el cual en este caso se utilizó un teléfono móvil Samsung.



Ilustración 14. Interfaz de usuario.

Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso fue abrir el editor de bloques, donde aparecen los bloques correspondientes a cada uno de los botones insertados en la interfaz. Como se puede observar en la Ilustración 15 muestra los bloques creados donde corresponden a cada uno de los posibles movimientos que puede realizar el robot.

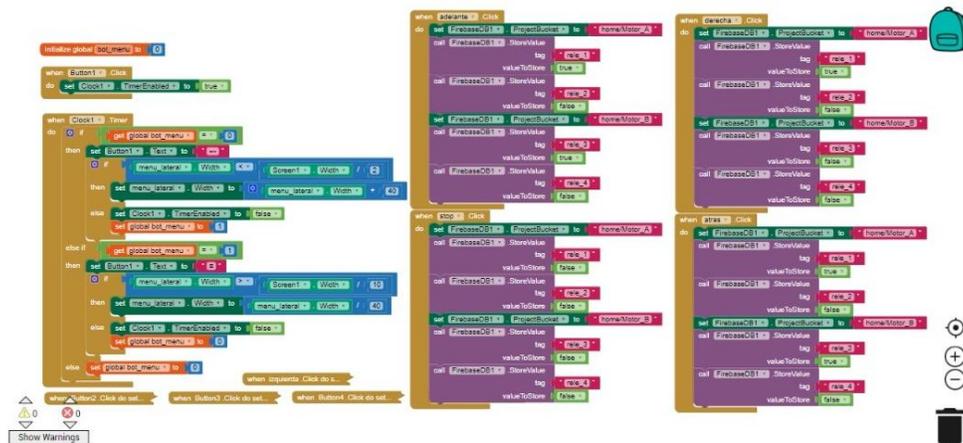


Ilustración 15. Código en bloques dentro de App Inventor.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.4.3 Raspberry Pi

Para comenzar a utilizar la Raspberry Pi, se instaló el sistema operativo del mismo en el ordenador principal donde se llevaron a cabo todos los procesos y un acceso SSH para acceder al microcontrolador. La comunicación entre la Raspberry y el ordenador se llevó a cabo mediante el puerto Ethernet y la configuración de la IP, la cual permite actualizar el sistema operativo de la placa. La comunicación Wifi es esencial y la razón principal de seleccionar este como el dispositivo principal, gracias a su modulo integrado permite al desarrollador la ejecución del sistema teleoperado y controlado remotamente. El único requisito es contar con una red móvil o wifi cercana.

Una vez obtenido el archivo JSON en la generación de credenciales dentro de Firebase, se instaló una aplicación llamada FileZilla para poder establecer la conexión con la Raspberry, aquí ingresamos la IP del servidor (Raspberry), usuario, contraseña y puerto. Esto ejecuta un programa dentro de Visual Studio Code para programar. Es necesaria la instalación del PIP y el GPIO Zero para el control de los pines mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Con la instalación de estos componentes podemos pasar a testear el Firebase con Python utilizando el mismo método de testeo implementado con la Raspberry. Con el código de testeo con el cual testeamos el Firebase podemos importar el Firebase Admin, las credenciales y la base de datos anteriormente creada. Confirmamos que la dirección de las credenciales es la correcta y luego agregamos la URL de la base de datos. Ya con la instalación del Firebase Admin y demás mecanismos necesarios para la comunicación Python entre el Firebase y el Raspberry PI, procedimos con la escritura del código Python. A partir del emulador de terminales Putty nos conectamos para establecer comunicación con la Raspberry, se permite llamar las líneas y el código de programación ejecutado en Python para la lectura de entradas digitales

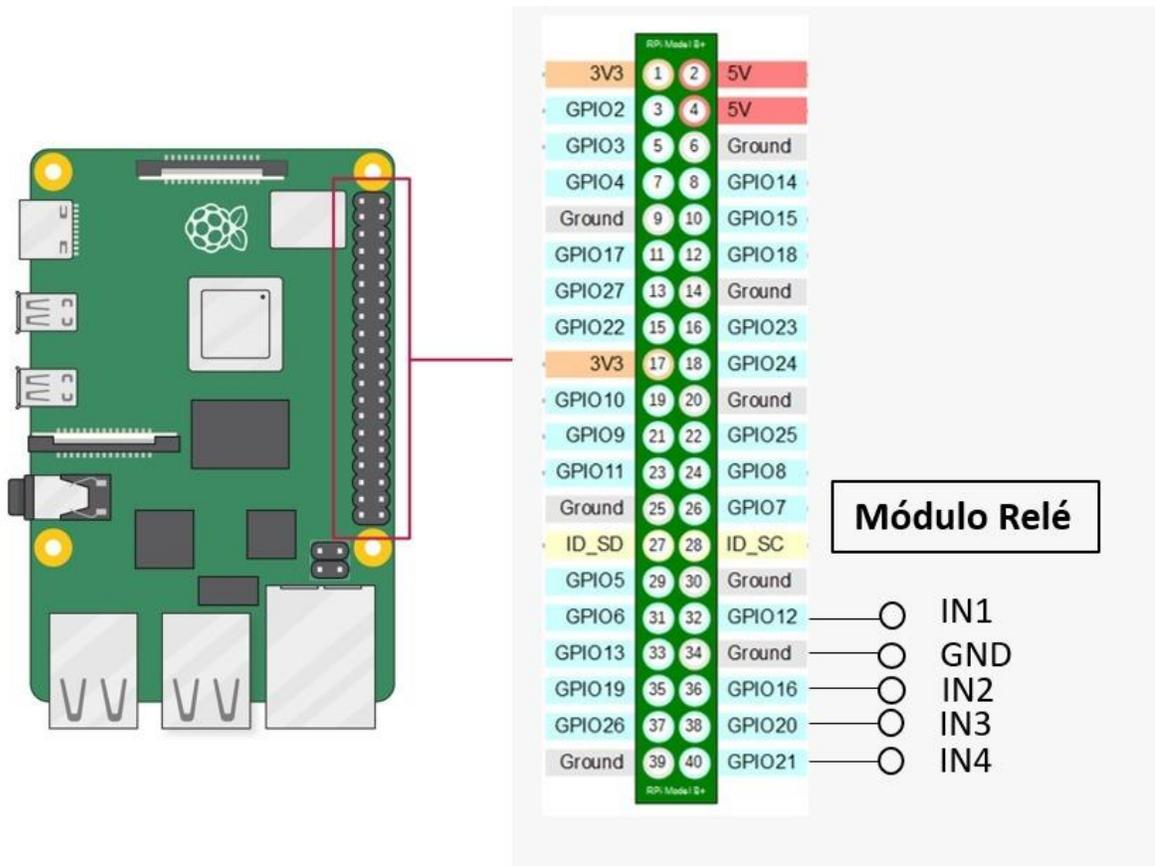


Ilustración 16. Pines GPIO del sistema de control.

Fuente: Elaboración propia.

Los dispositivos por conectar en el microcontrolador, en este caso son las entradas de los relés a utilizar, como se observa en Ilustración 16 se cuenta con los pines 32 (GPIO12), pin 36 (GPIO16), pin 38 (GPIO 20) y el pin 40 (GPIO 21) respectivamente.

#### 5.1.4.4 Motores

Para la parte física se desarrolló un sistema de conexiones eléctricas en la que forman parte los diferentes componentes que conforman el subsistema mecánico, por lo que en la siguiente Ilustración 17 se muestra el esquemático llevado a cabo en dicha integración. El esquema representa las conexiones eléctricas por parte de los motores A y B, y las terminales de la batería de 24v que se llevaron a cabo para la integración del subsistema eléctrico. Igualmente, los pines GPIO permitirán el accionamiento de los relés por parte de la Raspberry Pi.

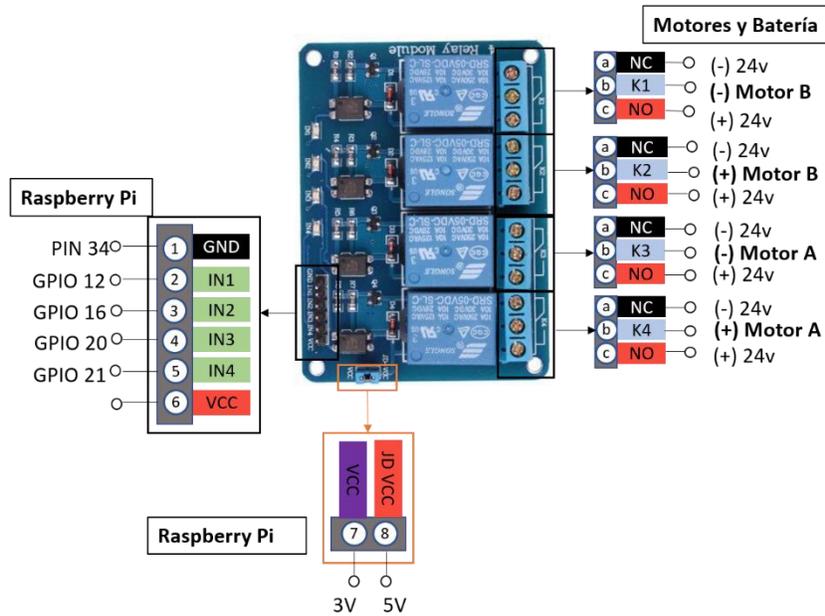


Ilustración 17. Conexiones esquemáticas para el funcionamiento del subsistema eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.5 Etapa V: Integración de Subsistemas

#### Subsistemas de control

La integración de la App Inventor directamente a Firebase, se realiza a través del elemento experimental FirebaseDB, este contiene las propiedades URL que se encarga de actualizar constantemente la información y los datos dentro del sistema. Este comando permite llamar cada valor y establecer la etiqueta correspondiente, ya sea que se active o no el movimiento. Para ello, los bloques de control determinados en App Inventor fueron correspondientes a los botones de accionamiento insertados en la interfaz gráfica de diseño. Los botones fueron configurados tomando en cuenta las siguientes Tablas 7-9 que muestran el giro de los motores dependiendo de los relés accionados.

Los botones fueron configurados tomando en cuenta que el Relé 1 y Relé 2 accionan el Motor A, siendo el primero el que establecerá un giro hacia delante del motor y el siguiente hacia atrás.

**Tabla 6. Giro del Motor A consecuente a los relés.**

Motor A		Giro
Relé 1	Relé 2	
1	0	Adelante
0	1	Atrás

Fuente: Elaboración Propia

En el caso del Motor B, es el relé 3 que produce el giro hacia adelante y el relé 4 el giro contrario.

**Tabla 7. Giro del Motor B consecuente a los relés.**

Motor B		Giro
Relé 3	Relé 4	
1	0	Adelante
0	1	Atrás

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, los giros de Derecha e Izquierda se accionan de acuerdo con el motor contrario hacia adelante, es decir si se requiere de un giro hacia la izquierda es necesario que el único motor activo hacia adelante sea el motor ubicado a la derecha, en este caso el Motor B y viceversa.

**Tabla 8. Desplazamiento consecuente a los Motores y Relés.**

Motor A		Motor B		Giro
Relé 1	Relé 2	Relé 3	Relé 4	
1	0	0	0	Derecha
0	0	1	0	Izquierda
1	0	1	0	Adelante
0	1	0	1	Atrás
0	0	0	0	Parar

Fuente: Elaboración Propia

Es de esta manera como los botones envían datos booleanos a Firebase a las etiquetas nombradas con los relés correspondientes. En el caso del botón **Avanzar** envía dato booleano *True* a la etiqueta correspondiente al relé 1 y relé 3 en Firebase y un dato contrario *False* al relé 2 y 4 para que permanezcan apagados como se muestra en el diagrama de la Ilustración 18. De la misma forma actúan los botones de **Atrás**, **Derecha**, **Izquierda** con la diferencia que cada botón acciona distintos relés, que ayudarán a realizar los sentidos de desplazamiento correspondientes. El botón **Parar** envía un dato *False* a todos los relés nombrados en Firebase para inactivarlos.

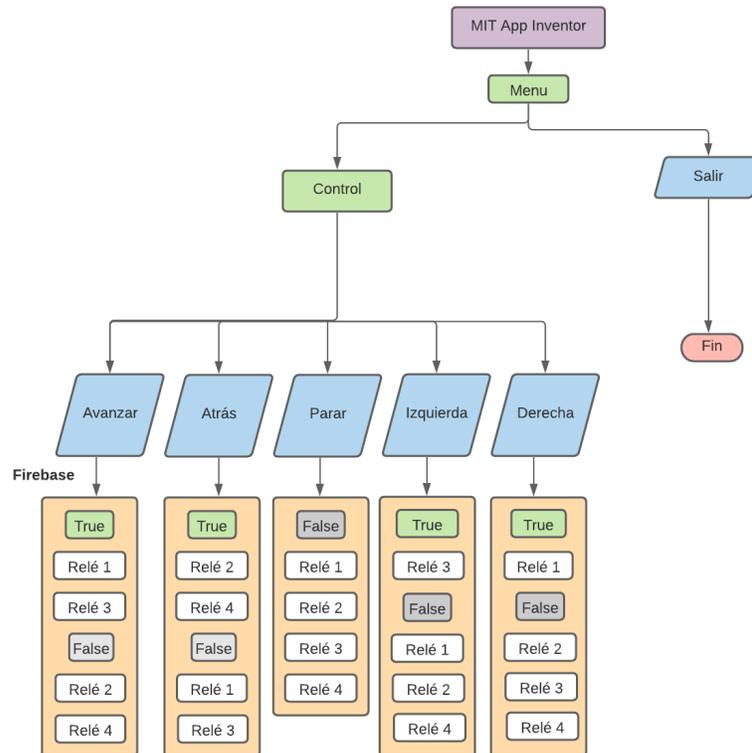


Ilustración 18. Diagrama de flujo de la aplicación App Inventor.

Fuente: Elaboración propia.

### Subsistemas de Procesamiento

Para integrar a la aplicación móvil y el sistema operativo de la Raspberry Pi entre sí, Firebase actúa como intermediario entre ambas plataformas como se puede mostrar en la Ilustración 19, que a su vez se centra en el encendido y apagado del Motor A. El diagrama muestra que al ejecutarse los comandos en Firebase con datos booleanos, el microprocesador recibe la instrucción mediante la lectura de comandos produciendo una comunicación bidireccional tanto para consultar como para actualizar el sistema dependiendo del accionamiento de los componentes mecánicos. En este caso, el relé 1 y 2 corresponden al control y accionamiento del Motor A, y si el valor en Firebase de cada relé muestran un estado true o false, se verá manifestado en la instrucción de la Raspberry Pi al sistema mecánico realizando el encendido y apagado de los relés. Los datos booleanos pueden ser manipulados desde la App o manualmente en dicha base de datos.

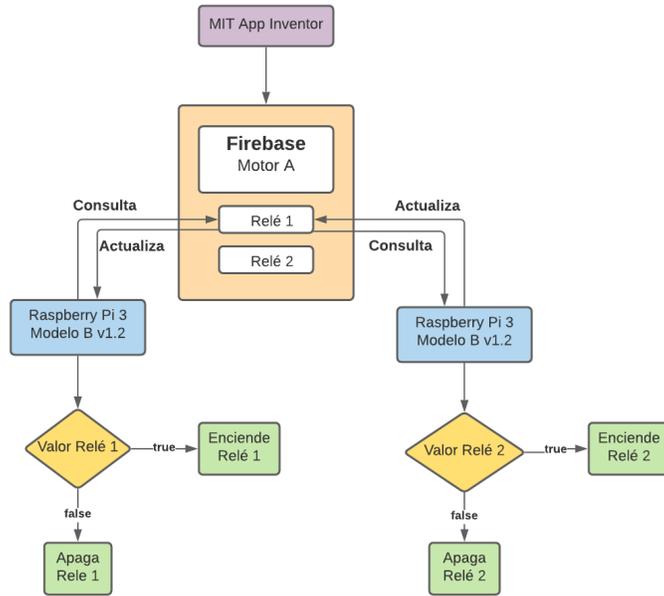


Ilustración 19. Diagrama de flujo Integración Motor1.

Fuente: Elaboración propia.

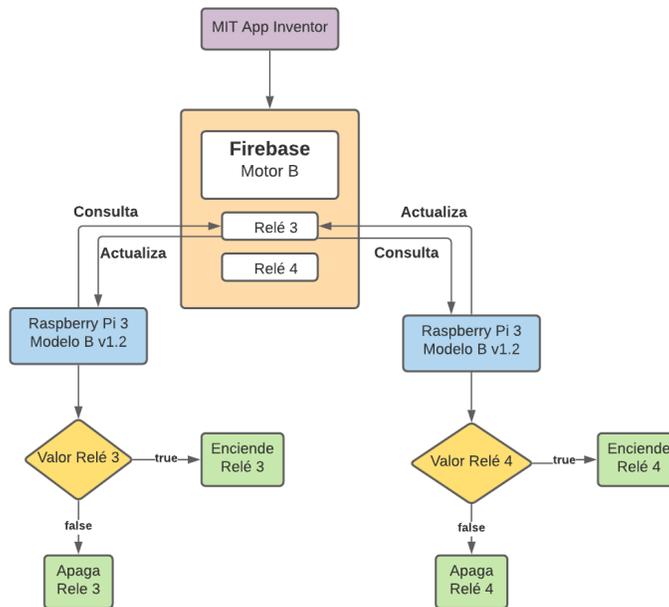


Ilustración 20. Diagrama de flujo Integración Motor 2.

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de la Ilustración 20 muestra el funcionamiento mencionado anteriormente, con la diferencia que los componentes eléctricos que controlarán el accionamiento del Motor B son los relés 3 y 4. De igual manera la comunicación bidireccional permanece.

### Subsistemas de Eléctrico

Finalmente, el accionamiento de los componentes mecánicos de forma física se realiza a partir de los comandos anteriores de encendido y apagado de relés. Cada relé está asignado a los motores con el fin de proporcionar el cambio de giro a través de ellos. En el diagrama de la Ilustración 21 se muestra el funcionamiento requerido para llevar a cabo dicho proceso, de manera que al recibir una señal true en el relé 1, este se enciende y acciona el giro del Motor A a favor de las manecillas del Reloj. En contraparte, al recibir una señal true en el relé 2, este se enciende y determina el giro del Motor A en un sentido contrario, es decir en contra de las manecillas del reloj. En el caso que ambos relés permanezcan en false, el motor no es accionado en absoluto y permanece apagado. De igual forma el accionamiento del relé 3 y relé 4 proporcionan el cambio de giro, pero en este caso, del Motor B.

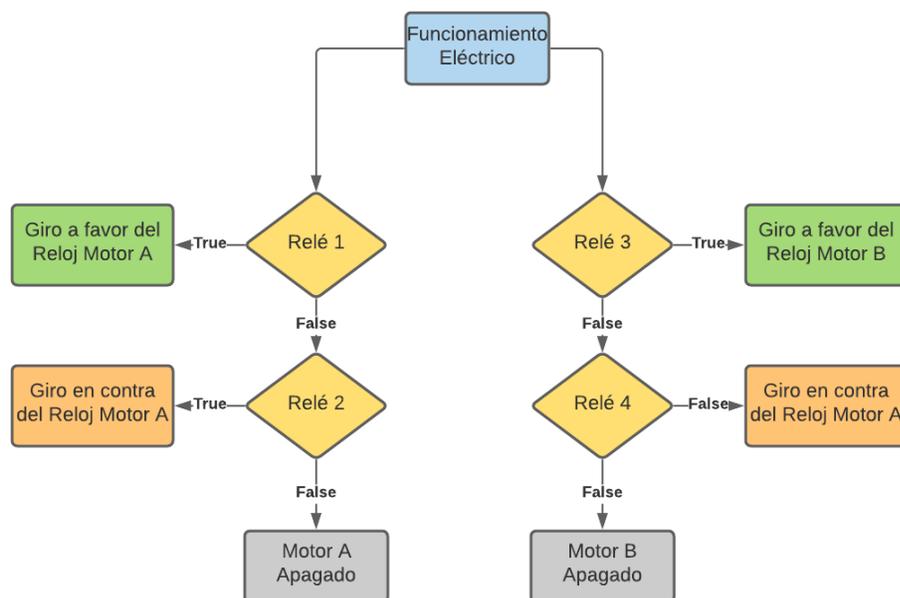


Ilustración 21. Diagrama de flujo del funcionamiento eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.6 Etapa VI: Integración del Sistema

Esta etapa está conformada por las diferentes pruebas asociadas al funcionamiento de los diferentes subsistemas integrados para comprobar los objetivos del proyecto. Como se mencionó anteriormente la aplicación móvil que contiene los comandos en una interfaz interactiva con el usuario, fue instalada en un dispositivo con sistema operativo Android. Al realizar la ejecución del botón **Avanzar** se pudo verificar la actualización de valores por parte de Firebase como se muestra en la Ilustración 22, de manera casi inmediata lo cual representa una de las ventajas de dicha base de datos siendo accionada en tiempo real. Los siguientes botones fueron accionados de igual manera estableciendo una comunicación constante entre el subsistema de control, de procesamiento y eléctrico puesto que de igual manera se validó el comportamiento y accionamiento de los relés al momento de variar los valores booleanos de *true* y *false*, como se muestra en la Ilustración 23 provocando el encendido y apagado exitoso de los motores, garantizando de esta manera la funcionalidad esperada.

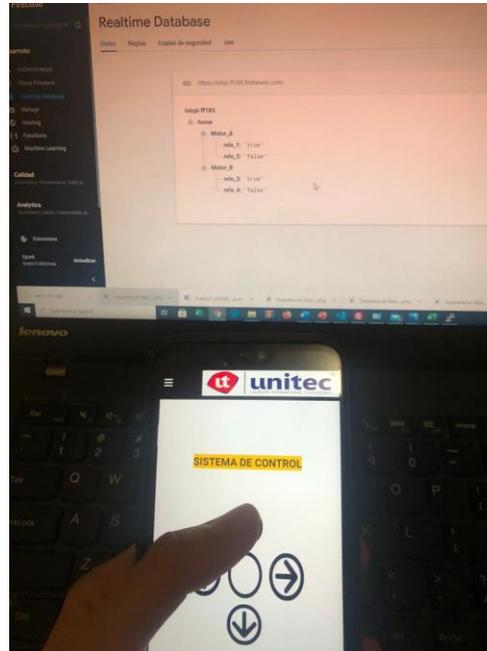


Ilustración 22. Funcionamiento exitoso del Subsistema de Control.

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 23. Datos transferidos de manera exitosa entre los Subsistemas de Control, Procesamiento y Eléctrico.

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2 CICLO B

Para el desarrollo del siguiente ciclo de la metodología en V, como se observa en la Ilustración 24 se optó por realizar ciertos cambios en la parte eléctrica del sistema, de este modo poder realizar pruebas a una escala micro del prototipo del robot. Se toma una decisión de reemplazar los motores de 24VDC por unos de 12VDC con el fin de implementar una estructura en SolidWorks de menor tamaño para realizar pruebas de validación del sistema. Gracias a la familiaridad con la plataforma de SolidWorks y sus múltiples funciones de diseño para impresión 3D, se decidió realizar un prototipo en esta. Para este ciclo los sistemas se mantienen y como subsistema de diseño se incorporó la plataforma de diseño antes mencionada. El dispositivo de control de giro de los motores es reemplazado por un puente H y se incorporan llantas para robots en la estructura. Se llevarán a cabo pruebas de movimiento con estos motores para determinar la validación del sistema, de igual forma una encuesta a un grupo de personas considerando que no se trata de un producto nuevo, se ha determinado una muestra de 10 personas para recolectar información y observaciones respecto al sistema y la interfaz de usuario. En este ciclo también se pretende integrar un sensor de temperatura del sistema desarrollado en la Fase I del proyecto de

investigación, este está diseñado con el fin de ir instalado sobre la estructura robótica y sirva como termómetro para el control de este síntoma.

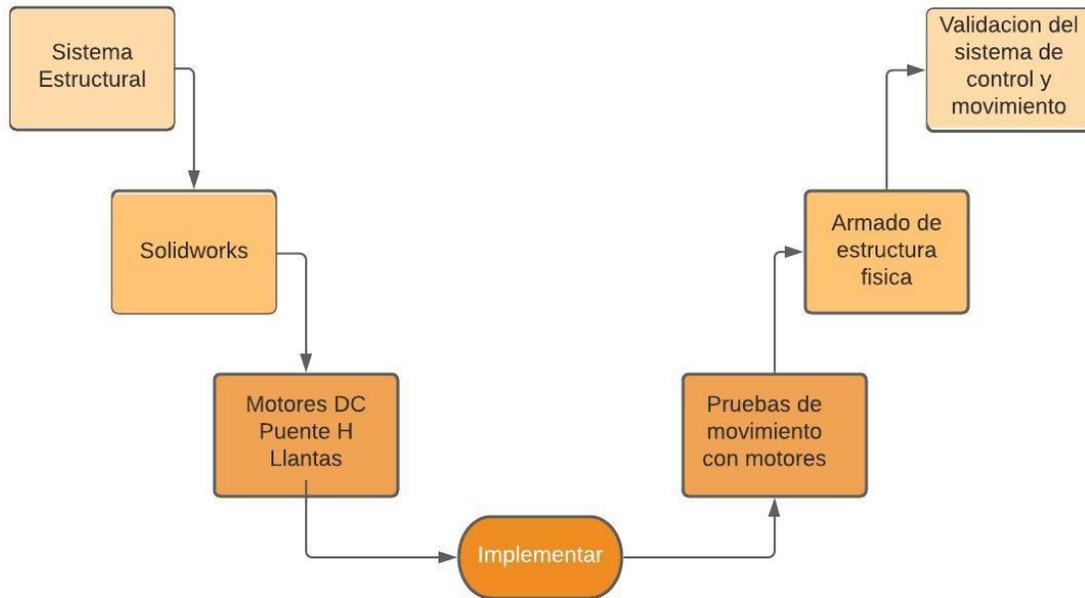


Ilustración 24. Modelo en V del Ciclo B.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.1 Etapa I: Definición de los Sistemas

Para este segundo ciclo se ha incorporado la definición de un sistema estructural a partir del cual se diseñará un prototipo físico en 3D para realizar las debidas pruebas de movimiento del robot. Para el único sistema que se efectuaron cambio fue en el eléctrico respecto al tipo de motores a utilizar, capaces de soportar el prototipo elaborado en Solidworks.

- Sistema estructural
- Sistema eléctrico
- Sistema temperatura

## 5.2.2 Etapa II: Nivel de los Subsistemas

Como siguiente paso se debe especificar los subsistemas o partes que componen cada uno de los sistemas principales expuestos. Los dos primeros subsistemas se mantuvieron, sin embargo, se realizó una modificación en el tercer subsistema:

### Subsistema estructural:

1. Diseño 3D en un software CAD como Solidworks que permite la creación de cada una de las piezas y el ensamblaje del prototipo final. Se determinó utilizar esta plataforma debido a la familiaridad adquirida y que ofrece la facilidad del modelado de las partes

### Subsistemas eléctricos:

1. Motores los cuales se encargan del desplazamiento del robot, en este trabajo se seleccionaron motores de 12VDC para la realización de pruebas de movimiento.
2. Puente H L298N este permite a los motores a partir de un puerto PWM variar la velocidad de cada motor y de igual manera realizar los cambios de giro correspondientes, adelante, atrás, derecha e izquierda.

Se decidió hacer pruebas con motores de 12VDC integrado a un módulo de Puente H L298N, para poder hacer pruebas de reducción de velocidad en los motores. Debido a la alta potencia de 250W de los motores del Ciclo A, no se lograron hacer pruebas ya que su voltaje y amperaje no son compatibles con el módulo mencionado anteriormente.

3. Batería de 12V que proporcionará la fuente de alimentación necesaria para el accionamiento de los motores.

### Subsistemas temperatura:

1. Sensor MLX90614, para este subsistema se pretende integrar la medición de temperatura realizado en la primera fase del proyecto de investigación, con el fin de poder brindar al personal médico una herramienta que evite el contagio cruzado y poder controlar síntomas de los pacientes de forma remota desde cualquier ubicación.
2. ATmega328, este microcontrolador permitirá la lectura de datos analógicos del sensor de temperatura y estos puedan ser leídos de forma digital por medio de la Raspberry Pi 3.

3. ESP8266, este es un modulo Wifi que a través de sus pines permitirá la conexión del microcontrolador y establecer una comunicación para el envío de datos.

### 5.2.3 Etapa III: Realización de partes

La realización de partes tuvo cambios en el subsistema eléctrico, referente a las pruebas que se hicieron con un motor de menor voltaje y potencia.

#### Subsistema estructural

Para el sistema estructural se consideró realizar un prototipo impreso en 3D con material PLA que cumpliera la función demostrativa del movimiento del robot controlado de forma remota. El prototipo consta de cuatro partes: 1) El cuerpo, 2) Tapadera, 3) Tapadera trasera y 4) División interior. El ensamble final tiene dimensiones de 8cm x 8cm x 9cm, se decidieron estas medidas con el fin de obtener una estructura pequeña para fines demostrativos.

El cuerpo de la estructura se puede observar en la Ilustración 25, la cual está diseñada en forma de cuadrado con los orificios para el cableado, una ranura para insertar la división del segundo nivel del parte donde encajan las llantas a utilizar. En la base de esta parte se colocaron los motores y la batería como componentes físicos. Las medidas correspondientes se detallan en el **Anexo 1**.

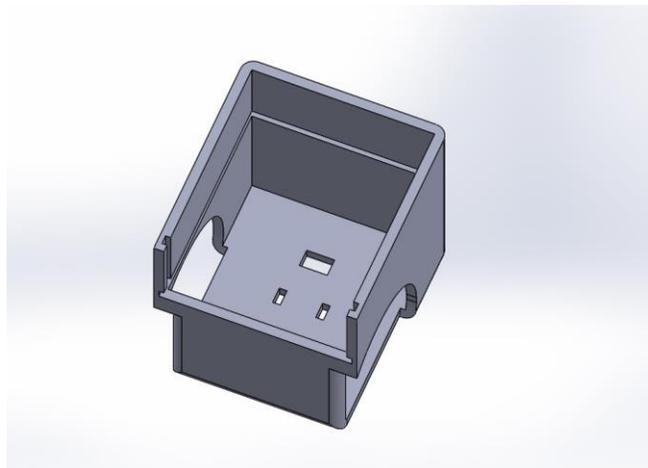


Ilustración 25. Vista trimétrica cuerpo de la estructura.

Fuente: Elaboración propia.

Se diseñó una tapadera trasera que permite el cierre de la estructura de modo que los componentes internos no queden al descubierto. Las medidas correspondientes se detallan en el **Anexo 2**.

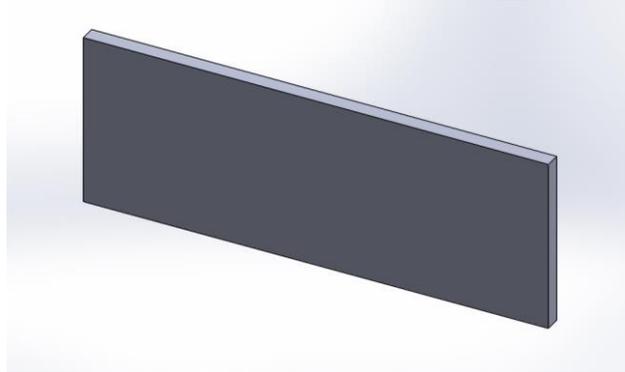


Ilustración 26. Vista trimétrica pared trasera.

Fuente: Elaboración propia.

La tapadera se diseñó de tal manera que pudiera ser desmontable y permitiera abrir y cerrar la estructura para colocar los componentes internos como la batería, el puente H y el cableado correspondiente. El orificio rectangular permite la salida de las conexiones que van hacia el dispositivo SBC. Las medidas correspondientes se detallan en el **Anexo 3**.

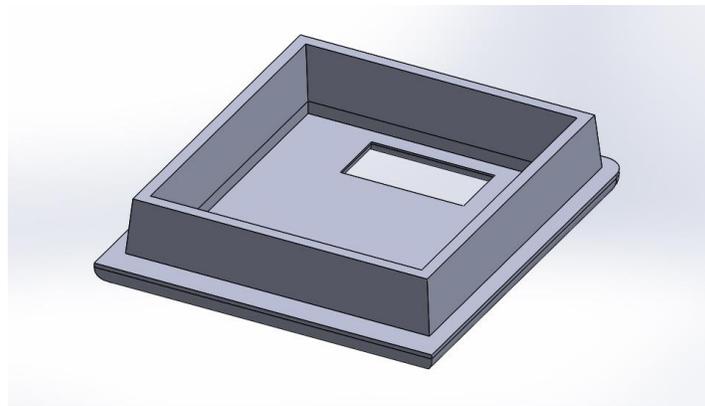


Ilustración 27. Vista trimétrica tapadera.

Fuente: Elaboración propia.

Se decidió colocar una división al interior de la estructura con el fin de poder obtener más espacio para los componentes y se pudiera deslizar, ya que en ella se colocó el puente H y las ranuras de las conexiones hacia los motores y la batería. La facilidad que permite la función de que sea deslizable es para poder realizar futuros cambios con mayor facilidad sin perjudicar el resto del circuito. Las medidas correspondientes se detallan en el **Anexo 4**.

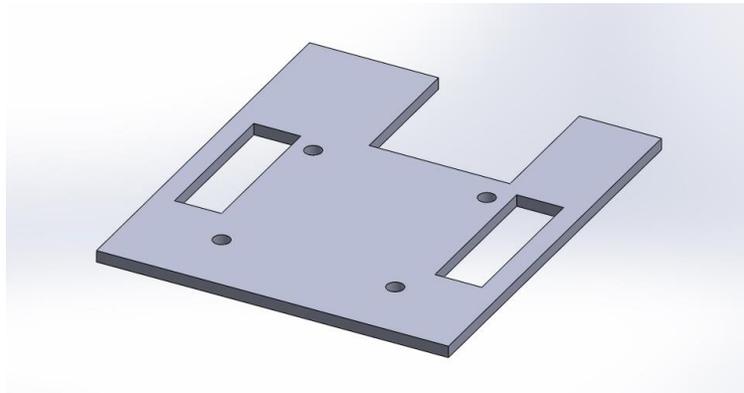


Ilustración 28. Vista trimétrica división del interior de la estructura.

Fuente: Elaboración propia.

### Subsistemas eléctricos

- Motores: Se incorporaron dos motores DC de 12V cada uno, para generar el movimiento, se seleccionaron por su menor tamaño, sin embargo, sus características no cumplen con el requisito de soportar estructuras mayores a

**Tabla 9. Características Motor DC**

<b>Concepto</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje	12 V
RPM	1500-13000 rpm
Corriente Nominal	1.8A

Fuente: Elaboración propia.

- Batería de 24V: resultante de un circuito en serie de baterías de 12v, cada una se conforma de las características presentadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que permitirá el encendido de los motores de 24VDC.

**Tabla 10. Características Batería 12 V**

<b>Concepto</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje	12 V
Capacidad Nominal	200AH
Dimensiones	520*240*220mm

Fuente: Elaboración Propia.

- Puente H L298N: es un puente H dual que permite controlar el giro y la velocidad de 2 motores DC simultáneamente. Admite la entrada de señales PWM y posee 8 diodos de protección contra corrientes inversas.

**Tabla 11. Características Puente H L298N**

<b>Concepto</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje lógico	5 V
Voltaje de potencia	5V- 35V DC
Capacidad de corriente	2A
Potencia máxima	25W
Dimensiones	43mm x 43mm x 27mm

Fuente: Elaboración propia.

### Subsistemas temperatura:

- Sensor MLX90614: se incorporo este tipo de sensor de temperatura gracias a su característica sin contacto que permite implementarlo para fines del proyecto donde se pretende incorporar dicho sensor a un sistema de control y monitoreo de pacientes, sin exposición del personal médico.

**Tabla 12. Características sensor MLX90614.**

Características	Descripción
Alta Precisión:	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Rangos de Temperatura con calibrado de fábrica:	-40 a +85 °C temperatura ambiente
	-70 a 380 °C temperatura del objeto
Voltaje de Operación:	3v-5v
Adaptaciones de voltaje:	8v-16v
Resolución de la medida	0.01 °C.
Protocolo de comunicación:	SMBus (I2C)
Interfaz compatible con serie SMBus con resolución:	0.02 °C.
Rango de Frecuencia:	10KHz- 100KHz

Fuente: Elaboración propia.

- Modulo ESP8266: este dispositivo permitió enviar a través de nuestra dirección IP los datos analógicos del sensor de temperatura. Fue necesario descargar el driver CH340 para conectar el modulo al ordenador, de igual manera las respectivas librerías ESP8266Wifi.h y actualizar los valores del fingerprint `FirestoreHTTPClient.h` "03: D6:42:23:03:D1:0C:06:73:F7:E2:BD:29:47:13:C3:22:71:37:1B" respectivamente. Es importante mencionar que estos valores están siendo actualizados con frecuencia y se debe confirmar que sus valores sean los correctos. Se requiere de la instalación de las carpetas `Arduino-Json-master` para poder establecer la comunicación y poder realizar los códigos de programación en Arduino.

### 5.2.4 Etapa IV: Integración de partes

En este segmento se realizaron pruebas y diseño de cada una de las partes por separado para posteriormente proceder a la integración de los subsistemas. En esta etapa para cada una de las

partes se mantuvieron las especificaciones y los pasos. La siguiente parte correspondiente a los motores es a la que se les realizaron modificación respecto a las conexiones con la Raspberry Pi.

Para la parte física se desarrolló un sistema de conexiones eléctricas en la que forman parte los diferentes componentes que conforman el subsistema mecánico, por lo que en la siguiente Ilustración 29 se muestra el esquemático llevado a cabo en dicha integración. El esquema representa las conexiones eléctricas por parte de los motores A y B, y las terminales de la batería de 12V. Para la conexión en este ciclo los pines GPIO en la Raspberry cambian y se realizaron los cambios de los puertos correspondientes al puente H L298N.

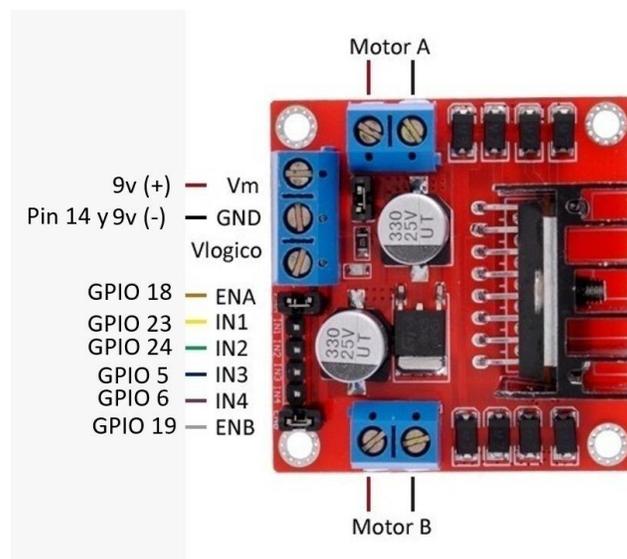


Ilustración 29. Esquemático puente H L298N.

La integración de cada una de las partes de la estructura se muestra en la Ilustración 30 en la cual se detallan a profundidad sus dimensiones y vistas en el **Anexo 5**. El prototipo final tiene dimensiones 8cm x 8cm x 9cm.

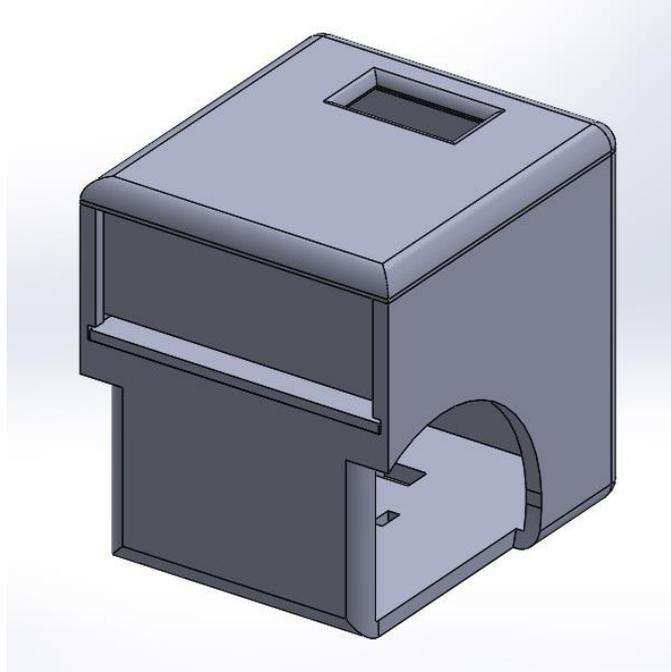


Ilustración 30. Ensamblaje prototipo final.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.5 Etapa V: Integración de Subsistemas

#### Subsistemas de control:

Al igual que el ciclo anterior, se utilizó la URL para establecer la conexión entre Firebase y App Inventor, de esta manera los datos ejecutados a través de la aplicación móvil enviarán datos booleanos a la base de datos con la posibilidad de cambiarlos en tiempo real.

A diferencia de los relés, el puente h permite variar la velocidad de los motores a través de los pines ena y enb, para aplicación del proyecto se decidió establecer una velocidad constante.

Los giros obtenidos a partir de los interruptores del puente H (**IN**) dependerán de la programación, la cual, según las conexiones respectivas a las terminales del motor, se ejecuta el comando para encender o apagar los interruptores. En este caso, los giros del motor A se determinaron de la siguiente forma mostrada en la **Tabla 13**.

**Tabla 13. Giro de Motor A consecuente a los interruptores del puente H**

Motor A		Giro
IN 1	IN 2	
0	1	Adelante
1	0	Atrás

De igual manera, los giros del motor B se establecieron en la siguiente **Tabla 144**.

**Tabla 14. Giro de Motor B consecuente a los interruptores del puente H**

Motor B		Giro
IN 3	IN 4	
0	1	Adelante
1	0	Atrás

Finalmente, para el sistema de control con ambos motores integrados se obtendrán los siguientes movimientos a partir de las IN de cada motor activadas, aumentando la cantidad de giros para desplazar la estructura hacia la Izquierda y la Derecha. Esto se muestra en la **Tabla 155**.

**Tabla 15. Desplazamiento consecuente a los Motores y Puente H.**

Motor A		Motor B		Giro
IN 1	IN 2	IN 3	IN 4	
0	0	0	1	Derecha
0	1	0	0	Izquierda
0	1	0	1	Adelante
1	0	1	0	Atrás
0	0	0	0	Parar

De esta manera los bloques de control de App Inventor asocian los botones de la interfaz de manera que estos son capaces de enviar las instrucciones de encendido y apagado de cada interruptor en Firebase, siendo 1 True y 0 False como se muestra en la Ilustración 31.

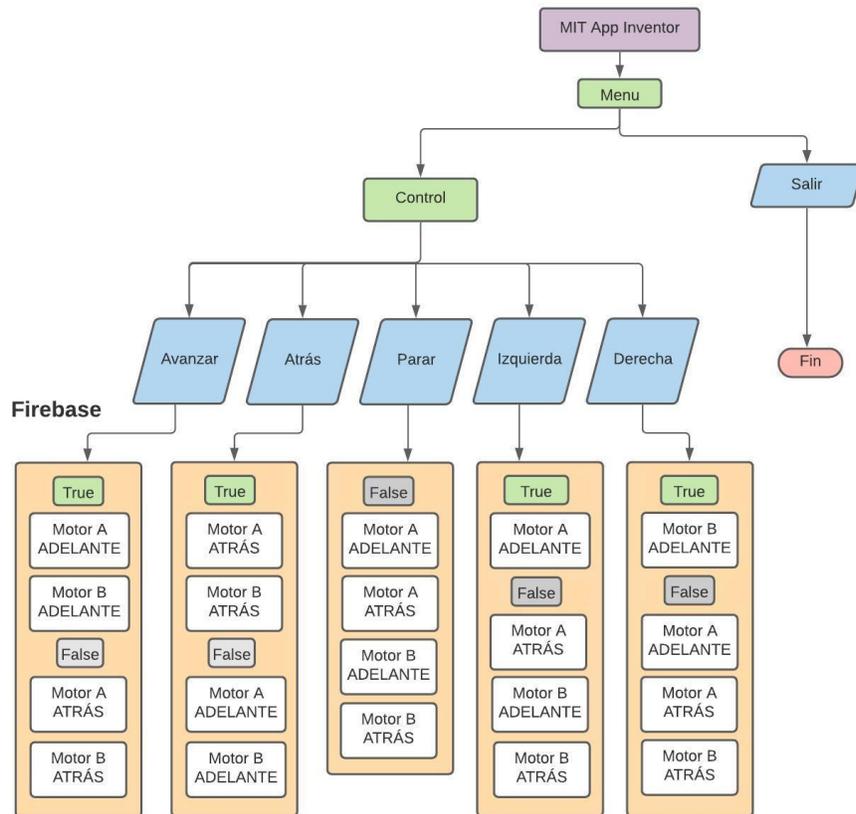


Ilustración 31. Diagrama de flujo de la aplicación App Inventor.

Fuente: Elaboración propia.

La estructura en Firebase fue modificada de forma que esto fuera posible, como se muestra en la Ilustración 32.

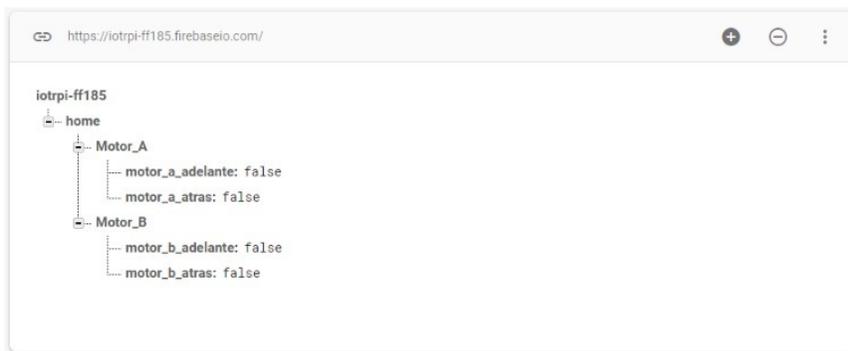


Ilustración 32. Estructura en Firebase con Puente H.

Fuente: Elaboración propia.

## Subsistemas de Procesamiento

Como se mencionó anteriormente Firebase actúa como intermediario entre las plataformas de App Inventor y Raspberry Pi, por lo que hay una constante comunicación con la base de datos para consultar y actualizar los datos booleanos detectados, como se muestra en la Ilustración 32. Como consecuencia, se provoca el accionamiento de los interruptores necesarios para controlar el sentido de giro deseado. La comunicación bidireccional se verá manifestado en la instrucción de la Raspberry Pi al sistema mecánico realizando el giro hacia adelante y atrás de los motores. Igualmente, los datos booleanos pueden ser manipulados desde la App o manualmente en dicha base de datos. Los interruptores IN1 e IN2 son correspondientes al sentido de giro del Motor A, y con un funcionamiento similar se controla el giro del Motor B con la diferencia que son los interruptores IN3 e IN4 los que lo acciona como se muestra en los diagramas de la Ilustración 33 e Ilustración 34.

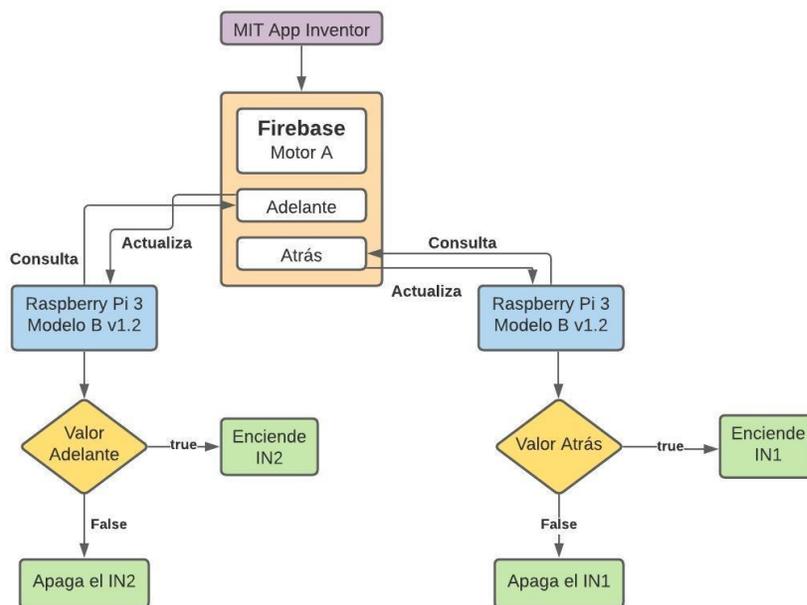


Ilustración 33. Diagrama de flujo Integración Motor A.

Fuente: Elaboración propia.

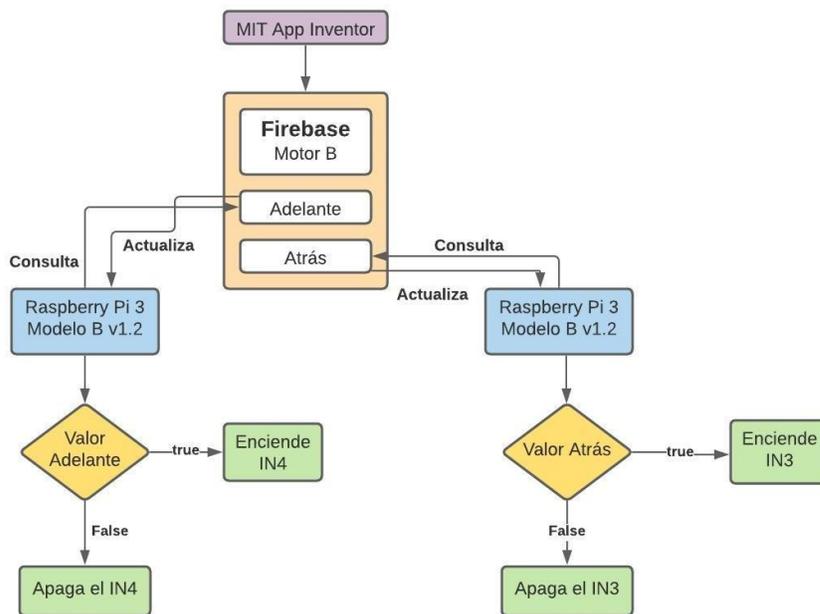


Ilustración 34. Diagrama de flujo Integración Motor B.

Fuente: Elaboración propia.

### Subsistemas de Eléctrico

Finalmente, el accionamiento de los componentes mecánicos de forma física se realiza a partir de los comandos anteriores de encendido y apagado de interruptores IN1, IN2, IN3 e IN4 en el puente H. Cada interruptor representa el sentido de giro que se proporcionará en cada motor. El diagrama de la Ilustración 35 se muestra el funcionamiento requerido para llevar a cabo dicho proceso. De manera que, para accionar el giro de los motores a favor de las manecillas del reloj, se necesita una señal true en IN2 para el motor A e IN4 para el motor B, permaneciendo en false los interruptores restantes. De forma contraria, al enviar una señal true a los interruptores IN1 e IN3 se activa el sentido de giro en contra de las manecillas del reloj de cada motor.

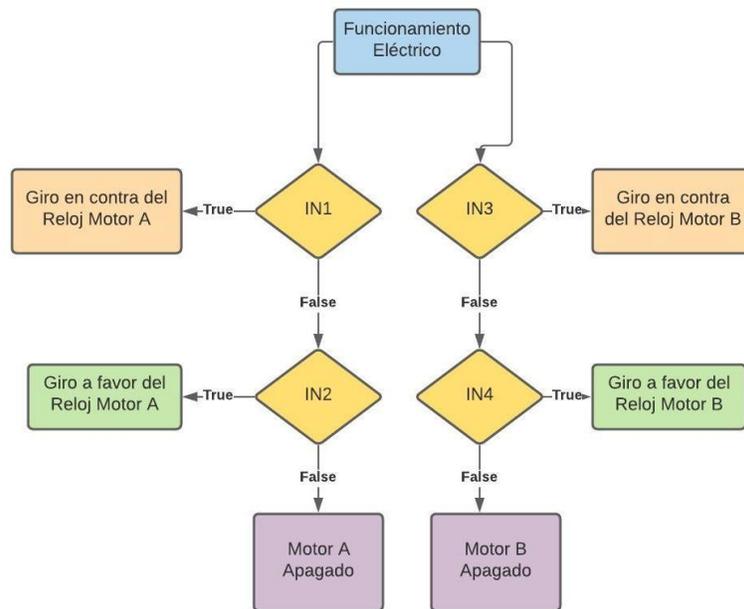


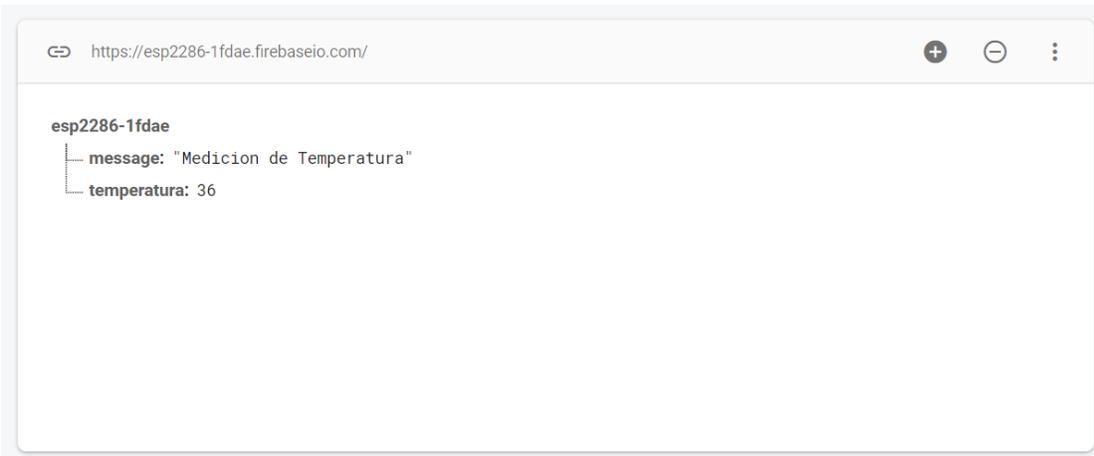
Ilustración 35. Diagrama de flujo del funcionamiento eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Subsistemas temperatura:

La integración del subsistema de temperatura consistió en desarrollar la plataforma en Firebase donde se refleje la temperatura del sensor MLX90614, dicho valor varía según la distancia a la que se encuentre el objeto o persona a medir, en esta ocasión se le ha dado continuidad al proyecto desarrollado en la Fase I en donde el sensor es parte del sistema de control y permita llevar un registro de la temperatura de los pacientes.

La interfaz de la Ilustración 36 muestra la estructura de la interfaz en Firebase donde se incorporará a la URL del sistema de control remoto, con el fin de que los datos puedan ser reflejados en la pantalla del usuario. Respecto al código en Arduino se requiere del token, el nombre de la red Wifi y la contraseña para establecer la comunicación. Para el sensor se mantuvo el código generado anteriormente a través de las librerías Adafruit.



*Ilustración 36. Estructura en Firebase del sensor MLX90614.*

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.6 Etapa VI: Integración del Sistema

Se integro la estructura diseñada en la plataforma de Solidworks con todo el sistema de control realizado en el primer ciclo de la metodología, como se observa en la Ilustración 38, la estructura consta del cuerpo y dos llantas, dentro de ella se colocaron los componentes electrónicos que permiten la ejecución del movimiento y enlace requerido con la Raspberry Pi para la comunicación remota con la interfaz en el dispositivo móvil.

La parte interna de la estructura se puede visualizar en la *Ilustración 37*, como se mencionó anteriormente esta cuenta con dos niveles, el primer nivel donde se instalaron los motores y ensamblaron las llantas y la batería utilizada. El segundo nivel cuenta con el espacio para las conexiones del puente H y la Raspberry. El prototipo obtenido en la *Ilustración 38* es ideal para la realización de pruebas a menor escala para llevar a cabo la validación del sistema de control y la amplitud de esta a un nivel macro, en la cual se puedan realizar pruebas piloto.

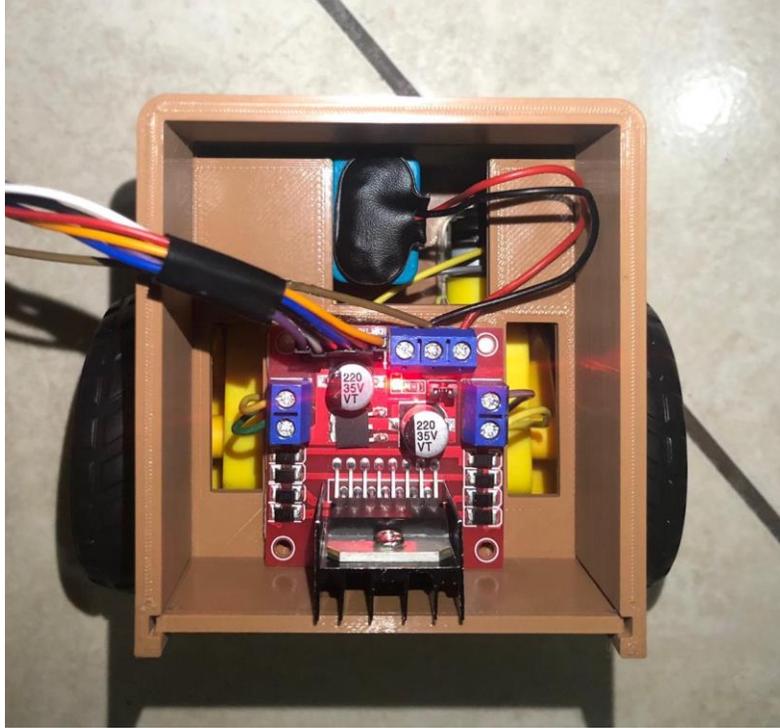


Ilustración 37. Interior de la estructura.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 38. Estructura final en escala micro para realización de pruebas.

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado final se obtuvo la integración de los subsistemas en un robot de menores dimensiones para la realización de pruebas físicas Ilustración 39. Esta segunda fase de pruebas conto con la única diferencia del componente para regular el giro y la velocidad de los motores. Al realizar la ejecución del botón Avanzar se pudo verificar la actualización de valores por parte de Firebase, de manera casi inmediata. Los siguientes botones fueron accionados de igual manera estableciendo una comunicación constante entre el subsistema de control, de procesamiento y eléctrico puesto que de igual manera se validó el comportamiento y accionamiento del puente H al momento de variar los valores booleanos de *true* y *false*, provocando el encendido y apagado exitoso de los motores, garantizando de esta manera la funcionalidad esperada, de esta manera se pudo controlar la velocidad de los motores.



Ilustración 39. Integración del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Como parte de la validación de los posibles usuarios a manejar la aplicación y el sistema de control, se consideró evaluar la retroalimentación de estos a partir de una pequeña encuesta de 4 preguntas específicas para determinar la confianza que pueda brindar el diseño y el manejo de la estructura. Los resultados se pueden observar en los **Anexo 6, Anexo 7 y Anexo 8**. De los 14 participantes se obtuvo una participación de 5 médicos, 6 estudiantes del área de la salud y 3 trabajadores del área (enfermeras, etc.). Fue importante exponer el propósito de la investigación y corroborar la aceptación de un robot tele operado y su viabilidad en el combate de la pandemia. Los resultados reflejan que un 85.7% de los encuestados considera que es una buena opción. La pregunta más importante y la cual representaba mayor interés para el proyecto y su validación, fue orientada a la interfaz que se diseñó en el App Inventor y que tan amigable y fácil de usar resultaba para estos posibles usuarios. Esta última presentó la opción de insertar sugerencias, respecto al color, identificación y función de cada uno de los botones. Obtenidos estos resultados se procedió a realizar ciertos cambios, Ilustración 40.



Ilustración 40. Interfaz de usuario final.

Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar la funcionalidad del sistema de poder ser controlado desde cualquier punto de forma remota, ya se desde el hogar o incluso desde otro país se realizaron distintas pruebas desde diferentes ubicaciones dentro y fuera del territorio nacional. La mayoría de los trabajos debido a la situación del COVID-19, se realizan desde casa de forma remota sin tener que exponerse directamente al virus. Es por ello que este sistema beneficia a los médicos y la capacidad que les brinda en poder monitorear a sus pacientes desde casa, integrando cualquier sistema a partir de la conexión de sensores, como en este caso de un sensor de temperatura MLX90614 previamente ejecutado en una Fase I del proyecto de investigación.

Para ello, se integró la lectura de los valores enviados por dicho sensor para poder visualizarse en la interfaz de App Inventor como se muestra en la Ilustración 41 y de esta manera poder utilizar de forma simultánea el software elaborado anteriormente.

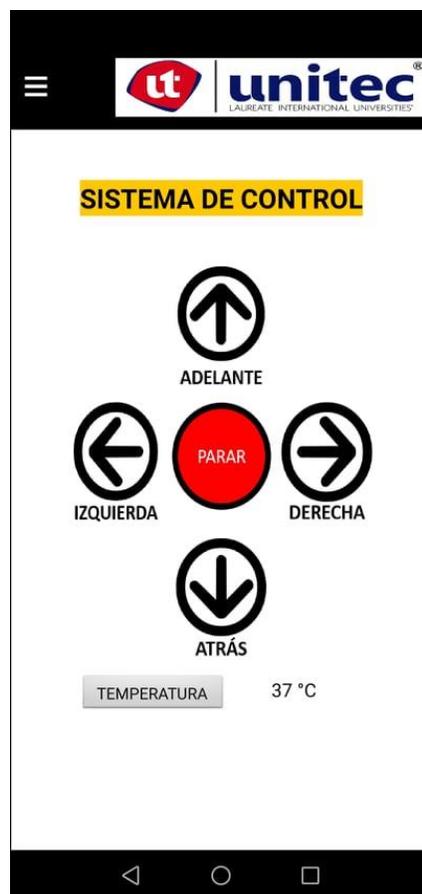


Ilustración 41. Interfaz App Inventor con lectura de la Temperatura.

La **Tabla 166** muestra las referencias tomadas a partir del punto A ubicado en el Sector Mackay de la ciudad de San Pedro Sula, de igual forma la tabla muestra las distancias entre ambos puntos donde luego se procedió a cronometrar los tiempos de respuesta por parte de la base de datos en Firebase y el accionamiento de los motores en el prototipo físico para determinar la precisión y rapidez en el envío y transmisión de datos.

**Tabla 16. Pruebas de distancia y tiempos de respuesta del sistema de control.**

<b>Prueba #</b>	<b>Punto B</b>	<b>Distancia (km) Punto A - Punto B</b>	<b>Tiempo de respuesta (ms) Firebase</b>	<b>Tiempo de respuesta (s) Motores</b>
1	Sector Los Castanos	6.4 km	2	1
2	Sector Bo. Medina	12 km	2	1
3	La Lima	24 km	3	1
4	Siguatepeque	135 km	3	1
5	Miami	4,738 km	5	1

Como se puede observar sin importar la ubicación, el accionamiento en la base de datos en tiempo real de Firebase es casi inmediata y esto proporciona una ventaja significativa al momento de ejecutar los datos, de igual manera el accionamiento de motores se produce de forma rápida con un tiempo de respuesta de aproximadamente 1 segundo. Con esto, se valida la aplicabilidad tan amplia que se le puede dar al sistema, puesto que provee una alternativa rápida y eficiente para el monitoreo de transporte del robot y lectura de temperatura desde cualquier punto geográfico. Esta plataforma y desarrollo de este sistema presenta una gran ventaja para los médicos, ofreciéndoles una alternativa para el control y monitoreo de sus pacientes de forma remota y evitar los contagios cruzados.

## VI. CONCLUSIONES

Se diseñó un sistema de control remoto para generar el movimiento de los actuadores en cuatro direcciones de un robot tele operado cuyo único requisito es tener acceso a una red Wifi o conexión a Internet a partir de una comunicación entre plataformas gratuitas y abiertas al público para la creación de proyectos IoT. Se integro un sensor de temperatura con la finalidad de poderlo incorporar al sistema desarrollado y monitorear la temperatura de los pacientes en los centros de salud del país de manera que sirvan de apoyo contra el COVID-19.

- La implementación de una plataforma como Firebase para el almacenamiento de datos en tiempo real, logro ser muy efectivo y rápido en la sincronización de estos obteniendo resultados de entre 2-5 milisegundos en actualizarse la información entre la interfaz generada en Android como con el entorno físico y el accionamiento de los actuadores, desde cualquier punto geográfico. Esta plataforma permite esta sincronización aun si se pierde la conexión, gracias a que los datos se mantienen y se modifican una vez la conexión es restablecida.
- La Raspberry Pi 3 es un dispositivo SBC que permite el procesamiento de los datos obtenidos en el entorno físico hacia la base de datos creada en Firebase, logrando la creación de una aplicación *backend* desarrollada con Python obteniendo un sistema de control conectado a la red remotamente.
- Se logro obtener una interfaz de usuario amigable y fácil de manejar, en la cual se crearon 4 botones para el correcto accionar de los motores que posteriormente darán movilidad a una estructura robótica. Esta misma se logró validar con las pruebas realizadas a partir de una encuesta **Anexo 6** al **Anexo 8** de retroalimentación realizada a distintos miembros del área de la salud, entre ellos médicos, enfermeras y estudiantes de medicina. Esta alternativa permitiría a los médicos poder monitorear a sus pacientes de forma remota 24/7.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda sustituir el módulo de relés de 4 entradas por placas especiales y diseñada para cumplir la función de puente H, de tal manera se logre regular la velocidad de los motores que serán implementados en una estructura robótica.
- Llevar a cabo proyectos que involucren IoT y la Inteligencia Artificial para ayudar a contrarrestar los efectos negativos y la demanda de personal médico a raíz del COVID-19 en Honduras.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Ackerman, E. (2020). *Autonomous Robots Are Helping Kill Coronavirus in Hospitals—IEEE Spectrum*. IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News.  
<https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/medical-robots/autonomous-robots-are-helping-kill-coronavirus-in-hospitals>
- Alencastre-Miranda, M., Munoz-Gomez, L., & Rudomin, I. (2003). Teleoperating robots in multiuser virtual environments. *Proceedings of the Fourth Mexican International Conference on Computer Science, 2003. ENC 2003.*, 314-321. <https://doi.org/10.1109/ENC.2003.1232910>
- Almeida, F., Santos, J. D., & Monteiro, J. A. (2020). The Challenges and Opportunities in the Digitalization of Companies in a Post COVID-19 World. *IEEE Engineering Management Review*, 1-1.  
<https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3013206>
- Argueso, D. (2013). DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN CLIENTE-SERVIDOR PARA LA GESTIÓN DE GRUPOS DE TRABAJO EN UN ENTORNO EDUCATIVO COLABORATIVO ORIENTADO A DISPOSITIVOS ANDROID. *Universidad Carlos III de Madrid*, 87.
- Arkin, R. C., Arkin, R. P. & D. of the M. R. L. R. C., & Arkin, R. C. (1998). *Behavior-based Robotics*. MIT Press.  
[https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=mRWT6alZt9oC&oi=fnd&pg=PR11&dq=robotics&ots=451tjjVfiB&sig=Wm8YmgAAVorRnAFRDk5wSdvq0eQ&redir\\_esc=y#v=onepage&q=robotics&f=false](https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=mRWT6alZt9oC&oi=fnd&pg=PR11&dq=robotics&ots=451tjjVfiB&sig=Wm8YmgAAVorRnAFRDk5wSdvq0eQ&redir_esc=y#v=onepage&q=robotics&f=false)
- Barnes, S. J. (2020). Information management research and practice in the post-COVID-19 world. *International Journal of Information Management*, 102175.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102175>

- Baturone, A. O. (2005). *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. Marcombo.
- [https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=TtMfuy6FNCcC&oi=fnd&pg=PR13&dq=rob%C3%B3tica&ots=32PZJZu84P&sig=AL44B7WptzPO6Z\\_0AYlcyn6kh3I&redir\\_esc=y#v=onepage&q=rob%C3%B3tica&f=false](https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=TtMfuy6FNCcC&oi=fnd&pg=PR13&dq=rob%C3%B3tica&ots=32PZJZu84P&sig=AL44B7WptzPO6Z_0AYlcyn6kh3I&redir_esc=y#v=onepage&q=rob%C3%B3tica&f=false)
- Beker, V. (2020). *EL IMPACTO DEL COVID-19 EN LA ECONOMÍA GLOBAL*. 9.
- Berndtsson, M., & Hansson, J. (2012). *Active and Real-Time Database Systems (ARTDB-95): Proceedings of the First International Workshop on Active and Real-Time Database Systems, Skövde, Sweden, 9–11 June 1995*. Springer Science & Business Media.
- Bestavros, A., Lin, K.-J., & Son, S. H. (2012). *Real-Time Database Systems: Issues and Applications*. Springer Science & Business Media.
- Bosák, T., & Žáková, K. (2015). Node.js based remote control of thermo-optical plant. *Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 209-213. <https://doi.org/10.1109/REV.2015.7087293>
- Britez, M. (2020). *La educación ante el avance del COVID-19 en Paraguay. Comparativo con países de la Triple Frontera*. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.22>
- Burton, & Kaliski. (2000). *Client/server protocol for proving authenticity* (United States Patent N.º US6085320A). <https://patents.google.com/patent/US6085320A/en>
- Carrasco, H. (2020, junio 29). *A 1,221 suben los contagios en personal de salud; cifra se duplicó en dos semanas*. Diario El Heraldo. <https://www.elheraldo.hn/especiales/coronavirus/1389343-528/coronavirus-honduras-medicos-enfermeras-personal-salud>
- Casco, S. M. (s. f.). *Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparación y Aplicaciones*. 17.
- Casero-Ripollés, A. (2020). Impacto del Covid-19 en el sistema de medios. Consecuencias comunicativas y democráticas del consumo de noticias durante el brote. *El profesional de la información*, 29, 12. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.mar.23>

- Ceri, S., Fraternali, P., Bongio, A., Brambilla, M., Comai, S., & Matera, M. (2003). *Morgan Kaufmann series in data management systems: Designing data-intensive Web applications*. Morgan Kaufmann.
- Chazallet, S. (2016). *Python 3: Los fundamentos del lenguaje*. Ediciones ENI.
- Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., & Wang, H. (2014). A Vision of IoT: Applications, Challenges, and Opportunities With China Perspective. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(4), 349-359.  
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2337336>
- Chhetri, N. (2016). *A Comparative Analysis of Node.js (Server-Side JavaScript)* [Saint Cloud State University].  
[https://repository.stcloudstate.edu/csit\\_etds/5/?utm\\_source=repository.stcloudstate.edu%2Fcsit\\_etds%2F5&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](https://repository.stcloudstate.edu/csit_etds/5/?utm_source=repository.stcloudstate.edu%2Fcsit_etds%2F5&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages)
- Chopra, N., Berestesky, P., & Spong, M. W. (2008). Bilateral Teleoperation Over Unreliable Communication Networks. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 16(2), 304-313.  
<https://doi.org/10.1109/TCST.2007.903397>
- Cíceri, M. (2019). *Introducción a Laravel: Aplicaciones robustas y a gran escala*. RedUsers.
- Cirani, S., Ferrari, G., Picone, M., & Veltri, L. (2018). *Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards*. John Wiley & Sons.
- Cobos Domínguez, A. (2016). *Diseño e implementación de una arquitectura IoT basada en tecnologías Open Source*. [Universidad de Sevilla].  
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70884/fichero/TFM-Antonio+Cobos+Dominguez.pdf>
- Cohen, I. G., Gostin, L. O., & Weitzner, D. J. (2020). Digital Smartphone Tracking for COVID-19: Public Health and Civil Liberties in Tension. *JAMA*, 323(23), 2371-2372.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2020.8570>

- Coronel, C., Morris, S., & Rob, P. (2011). *Base de Datos: Diseño, Implementación y Administración*. Cengage Learning Editores.
- Corredor, J. (2011). *ESTUDIO DE LA DINAMICA DE LOS ROLES ASUMIDOS EN LA OPERACION DE SISTEMAS TELEOPERADOS*. Universidad Nacional de Colombia.
- Cruz Vega, M., Oliete Vivas, P., & Morales Rios, C. (2015). *Las tecnologías IOT dentro de la industria conectada: Internet of things—Mario Cruz Vega, Pablo Oliete Vivas, Christian Morales Rios, Carlos González Luis, Bruno Cendón Martín, Alberto Hernández Seco—Google Libros*.  
<https://books.google.hn/books?id=ujRaDwAAQBAJ&pg=PA48&dq=iot&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjnvaDw4LrAhWBTt8KHfzAYUQ6wEwA3oECAEQAAQ#v=onepage&q&f=false>
- Cueva Lovelle, J. M., Rodríguez Molano, J. I., & Montenegro Marin, C. E. (2015). INTRODUCCIÓN AL INTERNET DE LAS COSAS. *Redes de Ingeniería, 6*. <https://doi.org/10.14483/2248762X.8505>
- Cui, J., Li, F., & Shi, Z.-L. (2019). Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. *Nature Reviews Microbiology, 17*(3), 181-192. <https://doi.org/10.1038/s41579-018-0118-9>
- Cwaik, J. (2020). *7R: Las siete revoluciones tecnológicas que transformarán nuestra vida*. Penguin Random House Grupo Editorial Argentina.
- De La Cruz-Vargas, J. A. (2020). Protegiendo al personal de la salud en la pandemia Covid-19. *Revista de la Facultad de Medicina Humana, 20*(2), 173-174. <https://doi.org/10.25176/rfmh.v20i2.2913>
- Despacho de Comunicaciones y estrategia Presidencial. (2020). *COVID-19 Honduras—OFICIAL | Coronavirus en Honduras*. Despacho de Comunicaciones y Estrategia Presidencial.  
<https://covid19honduras.org/>
- Díaz, J. E. M. (2020). Inteligencia Artificial y Big Data como soluciones frente al COVID-19. *Revista de Bioética y Derecho, 0*(50), 315-331. <https://doi.org/10.1344/rbd2020.50.31643>

- Díaz-Cacho, M., Barreiro, A., & Rivera, M. G. (2010). Bidireccionalidad y eficiencia en el transporte de datos de teleoperación a través de redes IP. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 7(2), 99-110. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70030-3](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70030-3)
- Fajardo, L., Moreno, D., & Pedraza, J. (2015, abril 22). *Metodologías Ágiles de Desarrollo-Modelo en V*. [https://prezi.com/b1m\\_j2sjmzrg/metodologias-agiles-de-desarrollo-modelo-en-v-y-metodologia-crystal/](https://prezi.com/b1m_j2sjmzrg/metodologias-agiles-de-desarrollo-modelo-en-v-y-metodologia-crystal/)
- Fariño, L. M. A., Reyes, A. T., Quirumbay, E. R., González, T. V., Morán, B. M., & Quimís, Á. R. (2020). El IoT aplicado a la Domótica. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(1), 21-28. <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i1.490>
- Fernández Baca, D. V. (2020). *Estado de emergencia y la COVID-19*. 148, 9.
- Fernando, R. (2011). *Robótica—Control de robots manipuladores*. Alfaomega Grupo Editor. [https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=cULVDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=rob%C3%B3tica&ots=LQ6Huot06Z&sig=Ejwpa18AMmfer5G3QByoGFrzMI0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=rob%C3%B3tica&f=false](https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=cULVDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=rob%C3%B3tica&ots=LQ6Huot06Z&sig=Ejwpa18AMmfer5G3QByoGFrzMI0&redir_esc=y#v=onepage&q=rob%C3%B3tica&f=false)
- Ferreira, M., Fernandes, R., Conceição, H., Gomes, P., d'Orey, P. M., Moreira-Matias, L., Gama, J., Lima, F., & Damas, L. (2012). Vehicular Sensing: Emergence of a Massive Urban Scanner. En F. Martins, L. Lopes, & H. Paulino (Eds.), *Sensor Systems and Software* (Vol. 102, pp. 1-14). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-32778-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-32778-0_1)
- FMI. (2020, mayo). *Policy Responses to COVID19*. IMF. <https://www.imf.org/en/Topics/imf-and-covid19/Policy-Responses-to-COVID-19>
- Gamal, D. (2015). Improved Layered Architecture for Internet of Things. *International Journal of Computing Academic Research (IJCAR)*, 4(4), 214-223.
- García, E., Jiménez, M. A., De Santos, P. G., & Armada, M. (2007). The evolution of robotics research. *IEEE Robotics Automation Magazine*, 14(1), 90-103. <https://doi.org/10.1109/MRA.2007.339608>

- Gavilán, I. G. R., & ProQuest. (2019). *La carrera digital*. ExLibric.
- Gelderblom, G. J., De Wilt, M., Cremers, G., & Rensma, A. (2009). Rehabilitation robotics in robotics for healthcare; A roadmap study for the European Commission. *2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 834-838. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2009.5209498>
- Girerd, R. J., & Krasner, N. F. (2000). *Client-server based remote locator device* (United States Patent N.º US6131067A). <https://patents.google.com/patent/US6131067A/en>
- Girón, C. (2020, mayo 29). *Unos 350 médicos, enfermeras y personal de la salud contagiados de coronavirus en Honduras*. Diario El Heraldo.  
<https://www.elheraldo.hn/especiales/coronavirus/1382764-528/coronavirus-covid-medicos-enfermeras-contagiados-honduras>
- González, A. (2017). *IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones* [Universitat Oberta de Catalunya].  
<http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/64286/3/agonzalezgarcia0TFM0617memoria.pdf>
- Grange, E. S., Neil, E. J., Stoffel, M., Singh, A. P., Tseng, E., Resco-Summers, K., Fellner, B. J., Lynch, J. B., Mathias, P. C., Mauritz-Miller, K., Sutton, P. R., & Leu, M. G. (2020). Responding to COVID-19: The UW Medicine Information Technology Services Experience. *Applied Clinical Informatics*, *11*(02), 265-275. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1709715>
- Greenhalgh, T., Wherton, J., Shaw, S., & Morrison, C. (2020). Video consultations for covid-19. *BMJ*, *368*.  
<https://doi.org/10.1136/bmj.m998>
- Hernández, R. A. (2020). Covid-19 y América Latina y el Caribe: Los efectos económicos diferenciales en la región. *Universidad de Alcalá*, 50.
- Hua, C., Yang, Y., Yang, X., & Guan, X. (2019). *Analysis and Design for Networked Teleoperation System*. Springer.

- Huang, I.-H., Tzeng, W.-J., Wang, S.-W., & Yang, C.-Z. (2006). Design and Implementation of a Mobile SSH Protocol. *TENCON 2006 - 2006 IEEE Region 10 Conference*, 1-4.  
<https://doi.org/10.1109/TENCON.2006.343956>
- Ibrahim, H., Mostafa, N., Halawa, H., Elsalamouny, M., Daoud, R., Amer, H., Adel, Y., Shaarawi, A., Khattab, A., & ElSayed, H. (2019). A layered IoT architecture for greenhouse monitoring and remote control. *SN Applied Sciences*, 1(3), 223. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0227-8>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, & Computer Society (Eds.). (2014). *2014 IEEE International Conference on Internet of Things (iThings 2014), and IEEE green computing and communications (GreenCom 2014) and IEEE cyber, physical and social computing (CPSCom 2014): Taipei, Taiwan, 1-3 September 2014*. IEEE.
- Ishwarappa, & Anuradha, J. (2015). A Brief Introduction on Big Data 5Vs Characteristics and Hadoop Technology. *Procedia Computer Science*, 48, 319-324.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.188>
- Javaid, M., Haleem, A., Vaishya, R., Bahl, S., Suman, R., & Vaish, A. (2020). Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4), 419-422. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.032>
- Kasano, J. P. M., Santibañez, L. M., & Díaz, I. S. (2020). Recomendaciones en gestantes durante la pandemia COVID-19. *Revista Peruana de Investigación Materno Perinatal*, 9(1), 92-97.  
<https://doi.org/10.33421/inmp.2020191>
- Keenon Robotics Ltd. (2020). *Waiter Robot, Robot Waiter, Keenon Robotics*.  
[http://www.keenonrobot.com/EN/Product/pro2.html?gclid=CjwKCAjwkjJ6BRA-EiWA0ZVPVpKyhpp2XqjUWGaTyZ19au0-BAENAZiyR4qx-V6t39O2alG0wUm7XRoCk9YQAvD\\_BwE](http://www.keenonrobot.com/EN/Product/pro2.html?gclid=CjwKCAjwkjJ6BRA-EiWA0ZVPVpKyhpp2XqjUWGaTyZ19au0-BAENAZiyR4qx-V6t39O2alG0wUm7XRoCk9YQAvD_BwE)
- Kim, R. Y. (2020). The Impact of COVID-19 on Consumers: Preparing for Digital Sales. *IEEE Engineering Management Review*, 1-1. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.2990115>

- Kumar, N. M., & Mallick, P. K. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia Computer Science*, 132, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.05.170>
- Lakhe, B. (2014). *Practical Hadoop Security*. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-6545-0>
- Lee, K.-H., Cram, R., & Mukundan, A. (2002). *Web client-server system and method for incompatible page markup and presentation languages* (United States Patent N.º US6336137B1). <https://patents.google.com/patent/US6336137B1/en>
- Llerena, R., & Narvaez, C. S. (2020). *EMERGENCIA, GESTIÓN, VULNERABILIDAD Y RESPUESTAS FRENTE AL IMPACTO DE LA PANDEMIA COVID-19 EN EL PERÚ*. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.94>
- Long, C., Xu, H., Shen, Q., Zhang, X., Fan, B., Wang, C., Zeng, B., Li, Z., Li, X., & Li, H. (2020). Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): RRT-PCR or CT? *European Journal of Radiology*, 126, 108961. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.108961>
- López, P. (2010). *Desarrollo de sistemas de tiempo real basados en componentes utilizando modelos de comportamiento reactivos*. Universidad de Cantabria.
- Mahato, M., Kumar, M., & Tripathi, M. (2018). Internet of Things (IoT): Research, Architectures and Applications. *Page 1 International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, 4(3), 23-27.
- Martin, D. R. (2017). *SISTEMA DE ALARMA Y MONITOREO MÓVIL PARA AUTOMÓVILES IMPLEMENTANDO EL PROTOCOLO DE TRANSMISIÓN MQTT Y MENSAJERÍA INSTANTÁNEA*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Meskó, B., Drobni, Z., Bényei, É., Gergely, B., & Gyórfy, Z. (2017). Digital health is a cultural transformation of traditional healthcare. *MHealth*, 3(9), Article 9. <https://doi.org/10.21037/mhealth.2017.08.07>

- MG. (2020, Abril). *La cuarentena por coronavirus pone en peligro la vida de mujeres en Honduras – Diario La Tribuna*. <https://www.latribuna.hn/2020/04/16/la-cuarentena-por-coronavirus-pone-en-peligro-la-vida-de-mujeres-en-honduras/>
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 10(7), 1497-1516.  
<https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.016>
- Mišeikis, J., Caroni, P., Duchamp, P., Gasser, A., Marko, R., Mišeikienė, N., Zwilling, F., de Castelbajac, C., Eicher, L., Früh, M., & Früh, H. (2020). Lio-A Personal Robot Assistant for Human-Robot Interaction and Care Applications. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(4), 5339-5346.  
<https://doi.org/10.1109/LRA.2020.3007462>
- Mohamed, A., Najafabadi, M. K., Wah, Y. B., Zaman, E. A. K., & Maskat, R. (2020). The state of the art and taxonomy of big data analytics: View from new big data framework. *Artificial Intelligence Review*, 53(2), 989-1037. <https://doi.org/10.1007/s10462-019-09685-9>
- Mohanraj, I., Ashokumar, K., & Naren, J. (2016). Field Monitoring and Automation Using IOT in Agriculture Domain. *Procedia Computer Science*, 93, 931-939.  
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.275>
- Mohebi, A., Aghabozorgi, S., Wah, T. Y., Herawan, T., & Yahyapour, R. (2016). Iterative big data clustering algorithms: A review. *Software: Practice and Experience*, 46(1), 107-129.  
<https://doi.org/10.1002/spe.2341>
- Muñoz, O. Q. (2019). *Internet de las Cosas (IoT)*. Ibukku LLC.
- Namakforoosh, M. N. (2000). *Metodología de la investigación*. Editorial Limusa.
- OMS. (2020). *Hoja de recursos COVID-19—Honduras—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. <http://www.paho.org/es/hoja-recursos-covid-19-honduras>

- Ozamiz-Etxebarria, N., Dosil-Santamaria, M., Picaza-Gorrochategui, M., & Idoiaga-Mondragon, N. (2020). Niveles de estrés, ansiedad y depresión en la primera fase del brote del COVID-19 en una muestra recogida en el norte de España. *Cadernos de Saúde Pública*, 36, e00054020. <https://doi.org/10.1590/0102-311x00054020>
- Palacios Cruz, M., Santos, E., Velázquez Cervantes, M. A., & León Juárez, M. (2020). COVID-19, una emergencia de salud pública mundial. *Revista Clínica Española*. <https://doi.org/10.1016/j.rce.2020.03.001>
- Patel, R., Babady, E., Theel, E. S., Storch, G. A., Pinsky, B. A., St. George, K., Smith, T. C., & Bertuzzi, S. (2020). Report from the American Society for Microbiology COVID-19 International Summit, 23 March 2020: Value of Diagnostic Testing for SARS–CoV-2/COVID-19. *mBio*, 11(2). <https://doi.org/10.1128/mBio.00722-20>
- Pineda, C. G., & Marin, R. (2020, abril 24). *Honduras: 71 médicos, enfermeras y trabajadores sanitarios contagiados de Covid-19*. Diario El Heraldo. <https://www.elheraldo.hn/pais/1374693-466/covid-19-coronavirus-honduras-medicos-enfermeras-contagiados>
- Piñeiro Gómez, J. M. (2013). *Bases de datos relacionales y modelado de datos*. Paraninfo.
- Pulver, T. (2019). *Hands-On Internet of Things with MQTT: Build connected IoT devices with Arduino and MQ Telemetry Transport (MQTT)*. Packt Publishing Ltd.
- Rosales-Mendoza, S., Márquez-Escobar, V. A., González-Ortega, O., Nieto-Gómez, R., & Arévalo-Villalobos, J. I. (2020). What Does Plant-Based Vaccine Technology Offer to the Fight against COVID-19? *Vaccines*, 8(183), 183. <https://doi.org/10.3390/vaccines8020183>
- Sayers, C. (2013). *Remote control robotics*. Springer.
- Serrano, A. A., Sanz, L. G., Rodrigo, I. L., Gordo, E. G., Álvaro, B. G., & Brea, L. R. (2018). *MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL*. 33.

- Shelby, Z., Hartke, K., & Bormann, C. (2014, junio). *The Constrained Application Protocol (CoAP)*.  
<https://tools.ietf.org/html/rfc7252>
- Shereen, M. A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N., & Siddique, R. (2020). COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of Advanced Research*, 24, 91-98.
- Sheridan, T. B. (1992). Musings on Telepresence and Virtual Presence. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(1), 120-126. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.1.120>
- Silva, R. T. e, Cristante, A. F., Marcon, R. M., Barros-Filho, T. E. P. de, Silva, R. T. e, Cristante, A. F., Marcon, R. M., & Barros-Filho, T. E. P. de. (2020). Medical care for spinal diseases during the COVID-19 pandemic. *Clinics*, 75. <https://doi.org/10.6061/clinics/2020/e1954>
- Singh, R. P., Javaid, M., Haleem, A., & Suman, R. (2020). Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, 14(4), 521-524. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.041>
- Ting, D. S. W., Carin, L., Dzau, V., & Wong, T. Y. (2020). Digital technology and COVID-19. *Nature Medicine*, 26(4), 459-461. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0824-5>
- Vermesan, O., & Friess, P. (2013). *Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems*. River Publishers.
- Vicknair, C., Macias, M., Zhao, Z., Nan, X., Chen, Y., & Wilkins, D. (2010). A comparison of a graph database and a relational database: A data provenance perspective. *Proceedings of the 48th Annual Southeast Regional Conference*, 1–6. <https://doi.org/10.1145/1900008.1900067>
- Wang, C. J., Ng, C. Y., & Brook, R. H. (2020). Response to COVID-19 in Taiwan: Big Data Analytics, New Technology, and Proactive Testing. *JAMA*, 323(14), 1341-1342.  
<https://doi.org/10.1001/jama.2020.3151>

Yahiaoui, H. (2017). *Firestore Cookbook: Over 70 recipes to help you create real-time web and mobile applications with Firestore*. Packt Publishing Ltd.

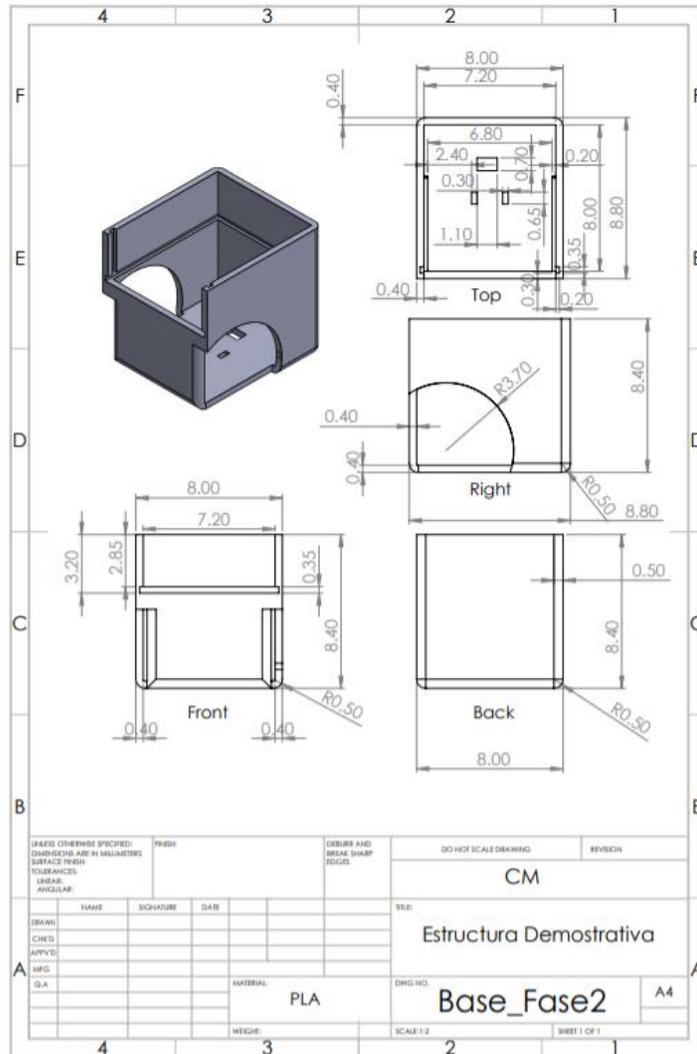
Yassein, M. B., Shatnawi, M. Q., Aljwarneh, S., & Al-Hatmi, R. (2017). Internet of Things: Survey and open issues of MQTT protocol. *2017 International Conference on Engineering MIS (ICEMIS)*, 1-6.  
<https://doi.org/10.1109/ICEMIS.2017.8273112>

Zanjal, S. V., & Talmale, Girish. R. (2016). Medicine Reminder and Monitoring System for Secure Health Using IOT. *Procedia Computer Science*, 78, 471-476. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.02.090>

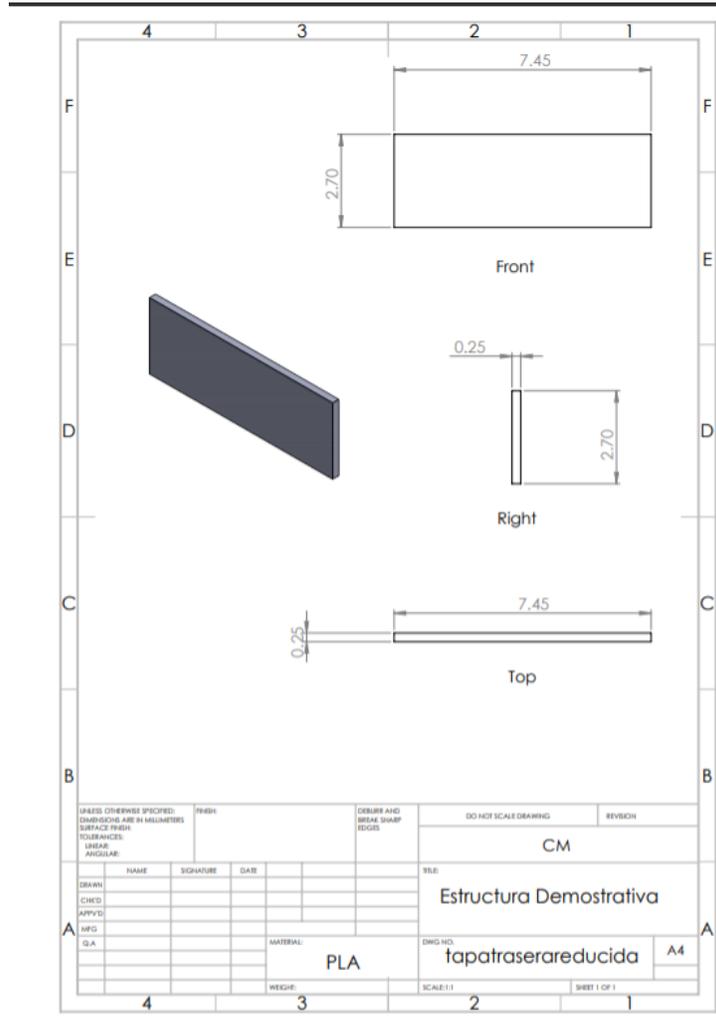
Zhong, C.-L., Zhu, Z., & Huang, R.-G. (2015). Study on the IOT Architecture and Gateway Technology. *2015 14th International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES)*, 196-199. <https://doi.org/10.1109/DCABES.2015.56>

# ANEXOS

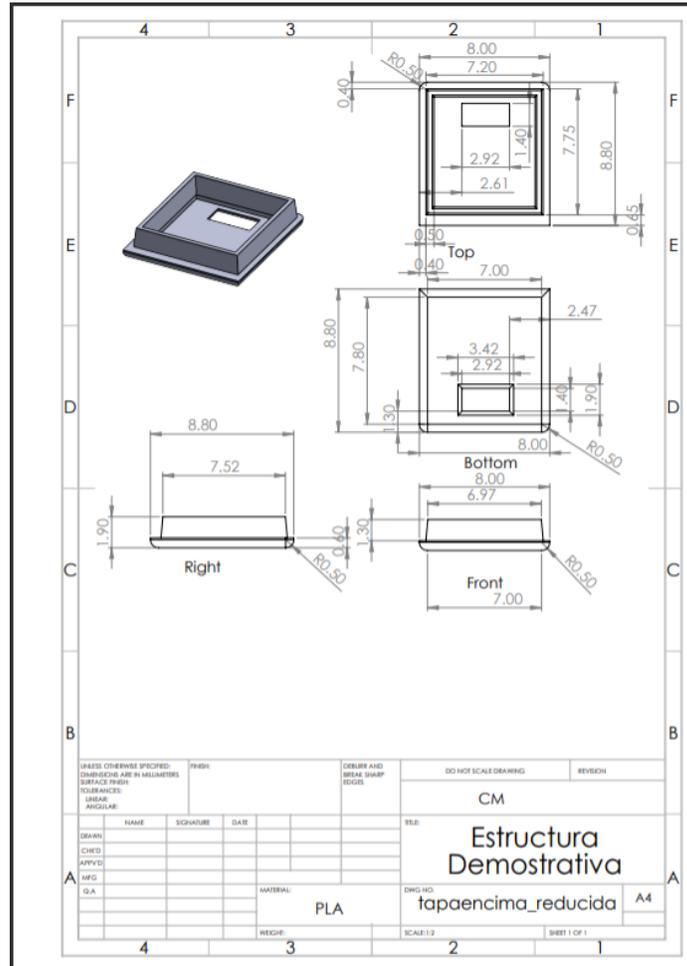
## Anexo 1. Plano A4 cuerpo de la estructura.



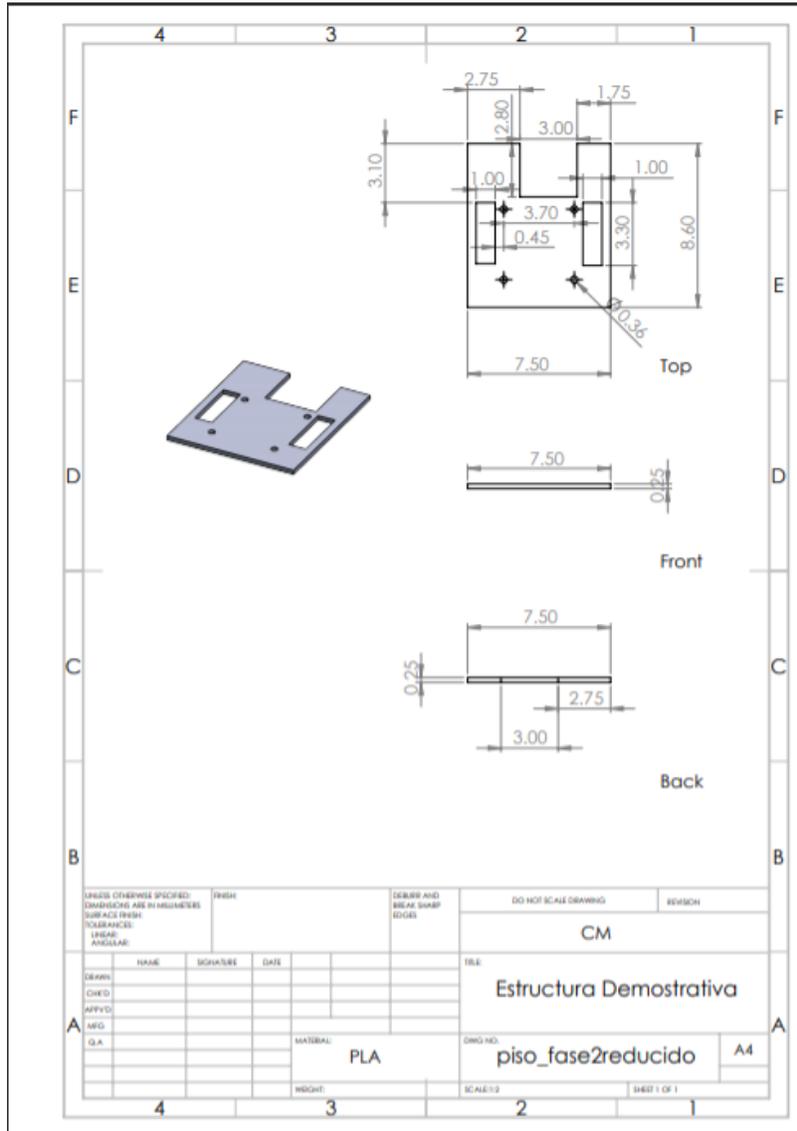
## Anexo 2. Plano A4 pared trasera.



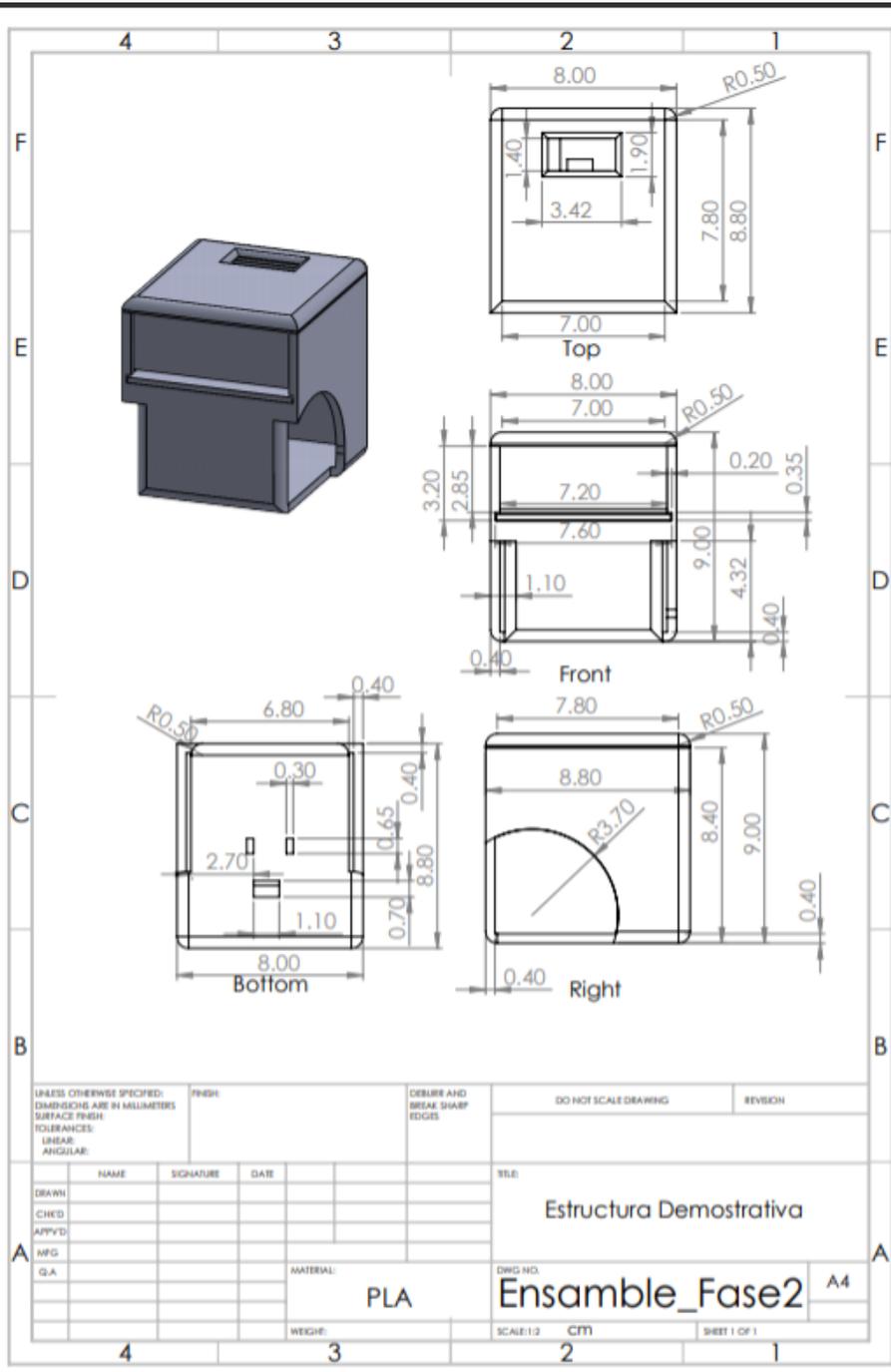
### Anexo 3. Plano A4 tapadera.



**Anexo 4. Plano A4 división interior de la estructura.**



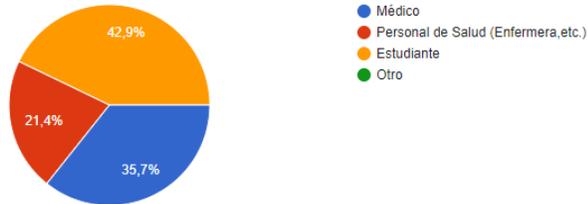
Anexo 5. Plana A4 ensamble final.



## Anexo 6. Resultados de la encuesta de validación de usuarios 1 y 2

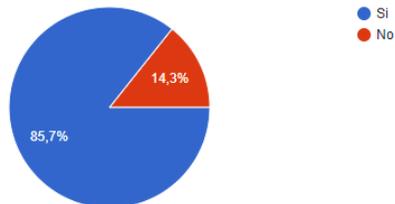
Pregunta 1: En qué profesión relacionada al área de la salud se desempeña actualmente?

14 respuestas



Pregunta 2: Cree usted que un robot que se controla de forma remota y que controla la temperatura sin contacto, es una opción viable para combatir la pandemia actual del COVID-19?

14 respuestas



## Anexo 7. Resultados de la encuesta 3

Pregunta 3: Conoce de otros países que ha diferencia de nuestro país, ya han implementado esta tecnología? Comente su respuesta.

14 respuestas

No

no

China, Taiwan

Si, se de idea de la implementación de cámaras térmicas en países Europeos

No todavía

República de Corea

Desconozco si ya hay tecnología de ese tipo en otros países

Países de primer mundo, pero es una repuesta que mide muchas patologías, no es específico de covid. Además el 43 % de la pandemia fue un efecto de los presintomsticos y asintomáticos.

Filipinas

## Anexo 8. Resultados de la encuesta 4.

Pregunta 4: La interfaz para controlar el movimiento del robot es la siguiente, siendo usted un posible usuario, considera que es amigable y fácil de manejar? En caso de que su respuesta sea no, explique qué considera pertinente se le modifique o agregue? (color, imagen, botones, etc.)

14 respuestas

Si

Si es fácil de utilizar

Si, considero que es amigable

Color

Interfaz sencilla de utilizar, agregar más color no estaría mal.

Si, es fácil de manejar

Amigable

Creo que puede ser más descriptiva la función de cada botón, para mayor facilidad de manejo

no, es mejor como control una palanca ya que da mas velocidad al manejo