



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**“INTEGRACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS PARA DOMÓTICA  
USANDO WI-FI CONTROLADO POR DISPOSITIVOS MÓVILES  
ANDROID Y ASISTENTE VIRTUAL PARA UNA PERSONA EN  
CONDICIÓN DE PARAPLEJIA”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

**Línea de investigación:** Innovación Tecnología y de productos, conectividad e integración de sistema

**AUTOR:**

Solano Arciniegas Edwin Arbey

**DIRECTOR:**

Ing. Michilena Calderón Jaime Roberto, MSc

**Ibarra, 2025**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA  
UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	<b>DE</b>	1085943204	
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	<b>Y</b>	Solano Arciniegas Edwin Arbey	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra, Av. Dr. Cristobal Tobar Subia		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:easolanoa@utn.edu.ec">easolanoa@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELF. MOVIL</b>	+573152836151

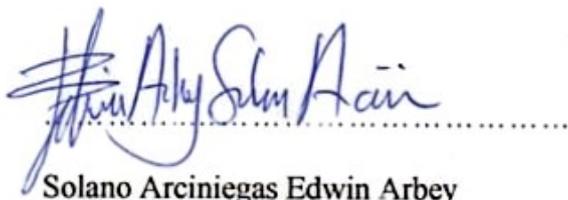
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Integración de diferentes sistemas para domótica usando Wi-Fi controlado por dispositivos móviles Android y asistente virtual para una persona en condición de paraplejia
<b>AUTOR (ES):</b>	Solano Arciniegas Edwin Arbey
<b>FECHA:</b>	12 de febrero de 2025
SOLO PARA TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>GRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones
<b>DIRECTOR:</b>	Msc. Jaime Roberto Michilena Calderón
	Msc. Edgar Alberto Maya Olalla

## AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Solano Arciniegas Edwin Arbey, con cédula de identidad Nro. 1085943204 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 12 días del mes de febrero de 2025

**EL AUTOR:**



.....

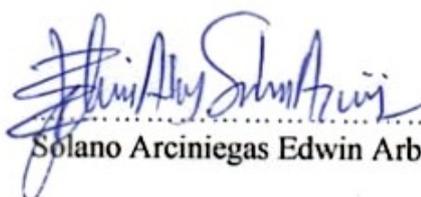
Solano Arciniegas Edwin Arbey

## CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el (los) titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días, del mes de febrero de 2025

### EL AUTOR:



.....  
Solano Arciniegas Edwin Arbey

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 12 de febrero de 2025

Jaime Roberto Michilena Calderón  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

  
( ) .....  
Msc. Jaime Roberto Michilena Calderón  
C.C.: 1002198438

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “Integración de diferentes sistemas para domótica usando Wi-Fi controlado por dispositivos móviles Android y asistente virtual para una persona en condición de paraplejia.” elaborado por Solano Arciniegas Edwin Arbey, previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....  
Msc. Jaime Roberto Michilena Calderón  
C.C. 1002198438



.....  
Msc. Edgar Alberto Maya Olalla  
C.C.: 1002702197

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo, como resultado de un largo camino lleno de enseñanzas, desafíos y recompensas, en primer lugar, a Dios, cuya guía y fortaleza han sido mi luz en cada paso de este camino.*

*A mis padres, Germán Solano y Lucía Arciniegas, les debo todo lo que soy y lo que he logrado; su amor incondicional, sus valores y su fe en mí han sido mi principal impulso para llegar hasta aquí. Gracias por sus consejos llenos de sabiduría, por sostenerme cuando flaqueaba y por celebrar conmigo cada pequeño avance.*

*Este trabajo es tanto mío como de ustedes, y lo ofrezco con eterna gratitud.*

*Solano Arciniegas Edwin Arbey*

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios y a la Virgen, quienes han iluminado cada paso de mi vida y me han brindado la fortaleza necesaria para superar cada reto.*

*A mis padres, Germán Solano y Lucía Arciniegas, les debo mi más sincera gratitud. Su amor incondicional, sus consejos llenos de sabiduría y su fe constante en mis capacidades me han impulsado a soñar en grande y a esforzarme cada día más. Todo lo que soy y lo que he logrado es, en gran medida, gracias a ustedes.*

*A Katherin, un amor bonito, gracias por caminar siempre a mi lado, por alegrar mis días con tu compañía y por sostenerme cuando sentía que las fuerzas flaqueaban.*

*A mis amigos: Ariel, Ismael, Marco R., Marco L., Karlita, Kathe y Erika, gracias por ser parte de esta inolvidable etapa. Hemos compartido anécdotas en todo ámbito y cada experiencia vivida juntos ha sido un recordatorio de la importancia de la amistad verdadera. Extiendo también mi gratitud a todos aquellos amigos que se cruzaron en este camino y sumaron su compañía y amistad.*

*Mi sincero reconocimiento a quienes fueron soporte para la realización de este trabajo, MSc. Jaime Michilena y MSc. Edgar Maya, quienes me brindaron no solo sus conocimientos y orientación, sino también valiosos consejos que contribuyeron a mi crecimiento como persona y futuro profesional con valores.*

*Expreso mi agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, Gracias por ser la base de mi formación y por permitirme dar forma a mis sueños.*

*A todos ustedes, gracias de corazón. Cada uno ha dejado una huella imborrable en esta historia y que, sin duda, se convertirá en el punto de partida de muchos nuevos proyectos.*

*Solano Arciniegas Edwin Arbey*

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo se centra en la integración de sistemas de domótica basados en Wi-Fi, controlados mediante dispositivos móviles Android y un asistente virtual, con el fin de asistir a una persona en condición de paraplejia. Se aborda el caso de Wilman Maya, quien padece paraplejia a raíz de la distrofia muscular de Becker, una enfermedad progresiva que ha ocasionado la pérdida total de movilidad en las extremidades inferiores y una pérdida parcial en las superiores, con tendencia a empeorar en el transcurso de la enfermedad. Para solventar estas necesidades, se diseñó un sistema que integra múltiples componentes domóticos capaces de controlar aspectos como la iluminación, los tomacorrientes, la apertura y cierre de puertas y cortinas, así como una estación de radio y un estudio de grabación donde Wilman desempeña sus actividades laborales.

Para el desarrollo del proyecto se aplicó la metodología en cascada. En la etapa de análisis se investigaron las características de la discapacidad física, con el fin de comprender la problemática y definir las necesidades específicas. Luego, en la etapa de diseño, se definió la arquitectura que permitiría la integración de todos los dispositivos, con la intención de proponer una solución personalizada a los requerimientos de la persona en condición de paraplejia. Posteriormente, durante la etapa de implementación, se adaptó el sistema de acuerdo con los requisitos establecidos y se emplearon las tecnologías pertinentes, entre ellas el microcontrolador ESP32 para la gestión de los nodos, los cuales controlan los distintos subsistemas domóticos. Finalmente, en la fase de verificación y servicio, se llevaron a cabo pruebas para validar la funcionalidad del sistema y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados.

Los resultados demuestran que el sistema domótico propuesto soluciona diversas dificultades y aporta beneficios considerables para la persona en condición de paraplejia, al incrementar su autonomía, mejorar su desempeño en las actividades diarias y reforzar su

independencia en el hogar, reduciendo la necesidad de asistencia de terceros. Por último, se presenta un análisis de costo/beneficio que expone las ventajas y la viabilidad de implementar este tipo de solución domótica para personas con paraplejia, destacando el impacto positivo en su vida.

**Palabras clave:** Domótica, Wi-Fi, Paraplejia, sensores, actuadores, asistente virtual, microcontrolador, ESP32.

## ABSTRACT

The present work focuses on the integration of home automation systems based on Wi-Fi, controlled by Android mobile devices and a virtual assistant, in order to assist a person with paraplegia. The case of Wilman Maya, who suffers from paraplegia as a result of Becker muscular dystrophy, a progressive disease that has caused the total loss of mobility in the lower limbs and a partial loss in the upper limbs, with a tendency to worsen over the course of the disease, is addressed. To meet these needs, a system was designed that integrates multiple domotic components capable of controlling aspects such as lighting, electrical outlets, the opening and closing of doors and curtains, as well as a radio station and a recording studio where Wilman performs his work activities.

The cascade methodology was applied for the development of the project. In the analysis stage, the characteristics of the physical disability were investigated in order to understand the problem and define the specific needs. Then, in the design stage, the architecture that would allow the integration of all the devices was defined, with the intention of proposing a customized solution to the requirements of the person with paraplegia. Subsequently, during the implementation stage, the system was adapted according to the established requirements and the relevant technologies were used, including the ESP32 microcontroller for the management of the nodes, which control the different domotic subsystems. Finally, in the verification and service phase, tests were carried out to validate the functionality of the system and verify compliance with the established objectives.

The results show that the proposed home automation system solves several difficulties and provides considerable benefits for the person with paraplegia, by increasing their autonomy, improving their performance in daily activities and reinforcing their independence at home, reducing the need for assistance from third parties. Finally, a cost/benefit analysis is presented that exposes the advantages and feasibility of implementing this type of home

automation solution for people with paraplegia, highlighting the positive impact on their lives.

**Keywords:** Home automation, Wi-Fi, Paraplegia, sensors, actuators, virtual assistant, microcontroller, ESP32.

## **LISTA DE SIGLAS**

**BMD.** Distrofia Muscular de Becker

**DMD.** Distrofia Muscular de Duchenne

**AC.** Alternating current

**DC.** direct current

**VDC.** Direct Current voltage

**UPnP.** Universal Plug and Play

**SSDP.** Simple Service Discovery Protocol

**TCP.** Transmission Control Protocol

**UDP.** User Datagram Protocol

**HTTP.** Hypertext Transfer Protocol

**UI.** Interfaz de Usuario

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	23
1.1. Tema.....	23
1.2. Problema.....	23
1.3. Objetivos .....	25
1.3.1. Objetivo general.....	25
1.3.2. Objetivos específicos .....	25
1.4. Alcance.....	26
1.5. Justificación.....	28
1.6. Contexto .....	31
2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	34
2.1. Definición de Paraplejía .....	34
2.1.1. Tipos de Paraplejía.....	34
2.1.2. Paraplejía Como Enfermedad Huérfana .....	36
2.1.3. Distrofia Muscular de Becker y la Domótica: Soluciones y Ayudas Tecnológicas .....	37
2.2. Domótica .....	38
2.2.1. Arquitectura de Domótica basada en IEEE 2413 .....	39
2.2.2. Características de la Domótica.....	39
2.2.3. La Importancia de la Domótica en la Inclusión de Personas con Discapacidad..	40
2.2.4. Arquitecturas de Control Domótico.....	41
2.2.4.1. Arquitectura Centralizada .....	41
2.2.4.2. Arquitectura Descentralizada.....	41
2.2.4.3. Arquitectura Distribuida .....	42
2.2.4.4. Arquitectura Mixta.....	42
2.3. Componentes Esenciales de la Domótica.....	42
2.3.1. Microcontrolador .....	42
2.3.1.1. Microcontrolador ESP32: Estándares y Normativas .....	43
2.3.2. Actuadores en Sistemas Domóticos.....	45
2.3.2.1. Módulo Relay y su Funcionamiento en Domótica .....	46
2.3.3. Asistentes Virtuales en el Contexto Domótico .....	47
2.3.3.1. Alexa .....	47
2.3.3.2. Alexa y ESP32: Integración y control .....	48
2.4. Tecnologías de Comunicación Inalámbrica Usados por la ESP32 en Domótica .....	49
2.4.1. Wi-Fi y sus Estándares.....	49

2.4.1.1.	Estándares de WI-FI .....	50
2.4.1.2.	Modelo OSI IEEE 802.11 .....	51
2.4.1.3.	Capa Física 802.11 .....	52
2.4.1.4.	Capa MAC 802.11 .....	53
2.5.	Software para Domótica.....	54
2.5.1.	Plataforma de Desarrollo: Arduino IDE .....	55
2.5.2.	Desarrollo de Aplicaciones: Android Studio.....	56
2.5.3.	Creación de Aplicaciones: APP Inventor .....	56
2.6.	Interfaz de Usuario en Sistemas Domóticos .....	56
2.6.1.	Características de Interfaz de Usuario .....	57
2.6.2.	Adaptación a Dispositivos Móviles: Smartphone Android.....	58
2.7.	Metodología en Cascada .....	58
<b>CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....</b>		<b>60</b>
3.1.	Características Generales .....	61
3.1.1.	Estado Actual De Los Sistemas A Controlar En La Vivienda .....	61
3.1.1.1.	Descripción de la vivienda.....	62
3.1.1.1.	Planos de la Vivienda.....	62
3.1.1.2.	Sistema Eléctrico de la Vivienda .....	64
3.1.1.3.	Situación Actual de Control de Sistemas.....	65
3.1.1.3.1.	Apertura de Puertas .....	66
3.1.1.3.2.	Control de Iluminación.....	66
3.1.1.3.3.	Uso de Estación de Radio.....	67
3.1.1.3.4.	Dispositivos de Entretenimiento .....	68
3.1.2.	Área Donde se Aplicará el Sistema Domótico .....	69
3.1.3.	Conjunto De Actividades.....	70
3.1.4.	Requerimientos Del Sistema .....	71
3.1.4.1.	Designación de Stakeholders .....	71
3.1.4.2.	Nomenclatura de Requerimientos.....	72
3.1.4.3.	Requerimientos de Stakeholders.....	72
3.1.4.4.	Requerimientos de Arquitectura .....	73
3.1.4.4.	Requerimientos del Sistema.....	74
3.2.	Diseño Del Sistema .....	75
3.2.1.	Consideraciones Previas .....	76
3.2.2.	Selección de Hardware Y Software Para El Sistema Domótico.....	76
3.2.2.1.	Selección de Hardware Para el Sistema.....	77

3.2.2.1.1. Selección del Microcontrolador Con Soporte WI-FI .....	77
3.2.2.1.2. Selección de Asistente Virtual .....	78
3.2.2.1.2. Selección de Actuadores Para Iluminación .....	80
3.2.2.1.3. Selección de Actuadores Para Tomas De Corriente Monofásica.....	81
3.2.2.1.4. Selección de Actuadores Para Electrónica de Potencia .....	83
3.2.2.1.5. Selección de Motores Eléctricos Para Apertura de Puertas y Ventanas ...	84
3.2.2.1.6. Selección de Alarma Sonora .....	85
3.2.2.1.7. Selección de Fuente de Alimentación Para el Sistema .....	86
3.2.2.2. Selección del Software Para el Sistema .....	86
3.2.2.2.1. Software de Gestión del Sistema.....	87
3.2.3. Consideraciones Para el Diseño de la Red Inalámbrica .....	88
3.2.3.1. Diseño de la Red Inalámbrica Wi-Fi .....	88
3.2.4. Construcción Del Sistema Domótico .....	90
3.2.4.1. Arquitectura del Sistema Domótico.....	90
3.2.4.2. Diagrama de Conexiones Sistema de Puertas .....	91
3.2.4.2.1. Esquemático de puente H con Relay .....	92
3.2.4.3. Diagrama de Conexiones Sistema de Ventanas.....	93
3.2.4.4. Diagrama de Conexiones Sistema de Iluminación .....	94
3.2.4.5. Diagrama de Conexiones Sistema de Corriente Monofásica.....	95
3.2.4.6. Diagrama de Conexiones Sistema de Alarma Emergente .....	96
3.2.5. Diseño Electromecánico .....	96
3.2.5.1. Sistema de Apertura Y Cierre De Puertas.....	97
3.2.5.1.1. Sistema Mecánico Puertas.....	97
3.2.5.2. Sistema de Apertura Y Cierre De Ventanas .....	98
3.2.5.2.1. Sistema Mecánico Ventanas.....	99
3.2.5.3. Sistema de Control De Iluminación.....	100
3.2.5.5. Sistema de Control De Tomas Corriente Monofásica .....	101
3.2.5.6. Sistema de Alarma .....	102
3.2.6. Diagramas de Flujo Del Sistema Domótico .....	103
3.2.6.1. Diagrama de Flujo de Nodo Principal .....	103
3.2.6.2. Diagrama de Flujo de Nodos .....	106
3.2.7. Análisis de Consumo Energético .....	108
3.2.7.1. Enfoque en Consumo de Energía Para la ESP32.....	108
3.2.7.2. Programación de los Nodos .....	110
3.2.7.3. Consumo Energético de Actuadores Relay con Optoacoplador .....	111

3.2.7.4. Consumo Energético de Actuadores Sonoff, Modulo Interruptor Wi-Fi y Smart Plug.....	112
3.2.8. Interfaces de Usuario .....	113
3.2.8.1. Sistema de Control Por Asistente Virtual .....	113
3.2.8.2. Sistema de Control Por Dispositivo Móvil .....	114
3.3. Implementación Del Sistema Domótico .....	115
3.3.1. Implementación Del Sistema Domótico en la Vivienda Que Habita Una Persona en Condición de Paraplejia.....	116
3.3.1.1. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Apertura y Cierre De Puertas.....	116
3.3.1.2. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Apertura y Cierre De Cortinas.....	121
3.3.1.3. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Iluminación y Corriente Monofásica.....	122
3.3.1.4. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Alarma de Emergencia .....	125
3.3.1.5. Implementación de Las Interfaces de Usuario.....	127
<b>CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>129</b>
4.1. Pruebas de Funcionamiento del Sistema Domótico .....	129
4.1.1. Escenarios de Prueba .....	129
4.1.1.1. Prueba de Encendido y Apagado de Dispositivos .....	129
4.1.1.2. Prueba de Control de Iluminación .....	130
4.1.1.3. Prueba Apertura y Cierre de Puertas.....	132
4.1.1.4. Prueba de Apertura y Cierre de Cortinas .....	134
4.2. Pruebas de Hardware.....	135
4.2.1. Microcontrolador ESP32 .....	135
4.2.1.1. Modo Activo .....	136
4.2.1.2. Modo Escucha Light-Sleep.....	137
4.2.2. Actuadores y sensores.....	138
4.2.3. Integración de Componentes .....	140
4.2.3.1. Integración con Dispositivos Móviles .....	140
4.2.3.2. Integración con Asistente Virtual Alexa.....	142
4.2.4. Pruebas de Control Manual .....	143
4.2.4.1. Operación Directa de Dispositivos .....	143
4.2.5. Pruebas de Control por Voz .....	145
4.2.5.1. Reconocimiento de Comandos .....	145

4.3. Pruebas de Software .....	146
4.4. Comunicación Entre Nodos Mediante la Red Wi-Fi.....	147
4.5. Resultados del Sistema Domótico.....	155
4.5.1. Comparación del Funcionamiento Anterior y Actual .....	156
4.5.1.1. Encendido de Iluminación .....	156
4.5.1.2. Control de Tomas Eléctricos.....	158
4.5.1.3. Control De Puertas y Cortinas .....	159
4.5.2. Fiabilidad y Robustez del Sistema.....	162
4.5.2.1. Diseño para la Resiliencia.....	163
4.5.2.2. Pruebas de Estrés y Robustez .....	163
4.5.2.3. Pruebas de Resiliencia de Nodos .....	163
4.5.2.4. Implementación de Mecanismos de Redundancia.....	164
4.5.4. Impacto en el Usuario.....	164
4.6. Costo del Sistema.....	165
4.6.1. Análisis de Costos de Hardware y Software.....	166
4.6.1.1. Costos de Hardware .....	166
4.6.1.2. Costos de Software .....	167
4.6.2. Costo de Implementación .....	168
4.6.3. Relación Costo-Beneficio.....	169
CONCLUSIONES .....	172
RECOMENDACIONES.....	173
REFERENCIAS.....	174
ANEXOS .....	178
9.1. ANEXO 1: código nodo 1 .....	178
9.2. ANEXO 2: código nodo 2 .....	181
9.3. ANEXO 3: código nodo 3 .....	185

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Características de la Domótica .....	40
<b>Tabla 2</b> Especificaciones del ESP32 .....	44
<b>Tabla 3</b> Versiones de la Tecnología Inalámbrica Wi-Fi.....	50
<b>Tabla 4</b> Estructura de la Trama MAC en IEEE 802.11 .....	54
<b>Tabla 5.</b> Características Clave de una Aplicación de Interfaz de Usuario .....	57
<b>Tabla 6</b> Designación de Stakeholders .....	72
<b>Tabla 7</b> Nomenclatura de Requerimientos .....	72
<b>Tabla 8</b> Requerimientos de Stakeholders .....	73
<b>Tabla 9</b> Requerimientos de Arquitectura.....	74
<b>Tabla 10</b> Requerimientos del Sistema .....	75
<b>Tabla 11</b> Selección del Microcontrolador .....	77
<b>Tabla 12</b> selección del asistente virtual.....	79
<b>Tabla 13</b> Selección de actuadores de iluminación.....	80
<b>Tabla 14</b> selección actuador para tomas.....	82
<b>Tabla 15</b> Selección de actuadores para electrónica .....	83
<b>Tabla 16</b> selección del motorreductor .....	84
<b>Tabla 17</b> Selección de alarma.....	86
<b>Tabla 18</b> Software para el sistema.....	87
<b>Tabla 19</b> Consumo de corriente ESP32.....	109
<b>Tabla 20</b> Pruebas de Fiabilidad y robustez.....	164
<b>Tabla 21</b> Impacto en el usuario .....	165
<b>Tabla 22</b> Costo de Hardware .....	166
<b>Tabla 23</b> Costos de Software.....	167
<b>Tabla 24</b> Relación costo-beneficio .....	170

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Arquitectura de un sistema domótico.....	27
<b>Figura 2</b> Parapleja Completa .....	35
<b>Figura 3</b> Parapleja Incompleta.....	36
<b>Figura 4</b> Arquitectura sistema domótico.....	39
<b>Figura 5</b> Modulo ESP32 .....	44
<b>Figura 6</b> Módulo Relé.....	47
<b>Figura 7</b> Amazon Echo Dot con asistente virtual Alexa.....	48
<b>Figura 8</b> Capas del modelo OSI para el estándar IEEE 802.11 .....	52
<b>Figura 9</b> Distribución de subcapas LLC y MAC .....	53
<b>Figura 10</b> Formato de la trama 802.11 .....	54
<b>Figura 11</b> ubicación de la vivienda .....	62
<b>Figura 12</b> Plano arquitectónico de la vivienda donde se aplicará el sistema domótico.....	64
<b>Figura 13</b> Planos eléctricos de la vivienda.....	65
<b>Figura 14</b> Apertura de Puertas .....	66
<b>Figura 15</b> Encender/Apagar luces.....	67
<b>Figura 16</b> Estación de Radio.....	68
<b>Figura 17</b> Dispositivos de Entretenimiento .....	69
<b>Figura 18</b> Área para aplicar el sistema domótico .....	70
<b>Figura 19</b> Microcontrolador ESP32.....	78
<b>Figura 20</b> Amazon Alexa Echo dot 5 .....	80
<b>Figura 21</b> Modulo Interruptor Wifi Inteligente 2 Vías.....	81
<b>Figura 22</b> Enchufe Conector Inteligente Smart Plug Wifi Google Alexa.....	82
<b>Figura 23</b> Modulo Rele 4 Canales Relay Arduino 5v .....	84
<b>Figura 24</b> Motorreductor 12v Motor De Fuerza .....	85
<b>Figura 25</b> interfaz gráfica de Arduino IDE .....	88
<b>Figura 26</b> Modelo 3D de los planos donde se ejecutará el sistema domótico .....	89
<b>Figura 27</b> Infraestructura de red Wi-Fi .....	90
<b>Figura 28</b> Arquitectura del Sistema Domótico .....	91
<b>Figura 29</b> Esquemático del sistema de apertura de puertas .....	92
<b>Figura 30</b> Diagrama del puente H con relay .....	93
<b>Figura 31</b> Esquemático control de ventanas .....	94
<b>Figura 32</b> Esquemático Control de iluminación .....	95
<b>Figura 33</b> Esquemático conexiones Smart Plug .....	95
<b>Figura 34</b> Esquemático sistema de alarma.....	96
<b>Figura 35</b> Modelo eléctrico 3D del sistema de puertas.....	97
<b>Figura 36</b> Sistema mecánico de puertas.....	98
<b>Figura 37</b> Modelo 3D sistema de control de cortinas .....	99
<b>Figura 38</b> Sistema Mecánico de la cortina.....	100
<b>Figura 39</b> Modelo 3D sistema de iluminación.....	101
<b>Figura 40</b> Sistema de control de Tomacorrientes.....	102
<b>Figura 41</b> Sistema de alarma.....	102
<b>Figura 42</b> Diagrama de Flujo nodo principal.....	105
<b>Figura 43</b> Diagrama de flujo de los nodos.....	107
<b>Figura 44</b> Programación de los nodos.....	111
<b>Figura 45</b> Integración de dispositivos aplicación Alexa .....	115

<b>Figura 46</b> Modelo 3D Nodo.....	117
<b>Figura 47</b> Fabricación del nodo, placa controladora.....	118
<b>Figura 48</b> Sistema Mecánico de apertura de puertas .....	119
<b>Figura 49</b> Sistema montado en puerta para el sistema domótico.....	120
<b>Figura 50</b> Sistema mecánico puertas Nodo 3.....	120
<b>Figura 51</b> Sistema mecánico de apertura y cierre de cortinas.....	121
<b>Figura 52</b> Implementación del sistema de iluminación .....	123
<b>Figura 53</b> Instalación del componente para control de iluminación.....	124
<b>Figura 54</b> Instalación de control de tomas eléctricos.....	125
<b>Figura 55</b> Activador de alarma de emergencia .....	126
<b>Figura 56</b> Implementación de Alarma de emergencia .....	126
<b>Figura 57</b> Interfaz de usuario con dispositivo móvil .....	127
<b>Figura 58</b> switch On/Off .....	130
<b>Figura 59</b> Botones de control dispositivo móvil.....	131
<b>Figura 60</b> Encendido de luz habitación.....	131
<b>Figura 61</b> Sistema mecánico apertura y cierre de puertas Nodo 3.....	132
<b>Figura 62</b> Apertura de puertas mediante el sistema .....	133
<b>Figura 63</b> Dispositivos agregados para control de puertas .....	133
<b>Figura 64</b> botones para el control de las cortinas.....	134
<b>Figura 65</b> Sistema Mecánico apertura y cierre de cortinas.....	135
<b>Figura 66</b> modo activo, consumo energético ESP32 .....	137
<b>Figura 67</b> Modo de bajo consumo Light-Sleep .....	138
<b>Figura 68</b> Actuadores y sensores .....	139
<b>Figura 69</b> Actuadores nodo 3 .....	140
<b>Figura 70</b> integración de componentes .....	141
<b>Figura 71</b> Integración del sistema de puertas.....	141
<b>Figura 72</b> Asistente virtual de Amazon Alexa .....	142
<b>Figura 73</b> Control manual apagador iluminación .....	143
<b>Figura 74</b> Control manual tomas eléctricos .....	144
<b>Figura 75</b> Mecanismo de acople y desacople .....	145
<b>Figura 76</b> Direcciones IP de todos los dispositivos conectados al sistema domótico .....	148
<b>Figura 77</b> Proceso de descubrimiento protocolo SSDP .....	149
<b>Figura 78</b> Captura proceso de descubriendo Wireshark .....	150
<b>Figura 79</b> Secuencia UDP para búsqueda de dispositivos .....	150
<b>Figura 80</b> Respuesta SSDP .....	150
<b>Figura 81</b> Intercambio HTTP/TCP para enviar comando y consultar estado.....	152
<b>Figura 82</b> Mensaje PUT envió comando y respuesta 200 OK de confirmación.....	153
<b>Figura 83</b> Petición PUT por HTTP/JSON .....	153
<b>Figura 84</b> respuesta HTTP//1.1 200 OK .....	154
<b>Figura 85</b> GET para saber el estado del dispositivo y las propiedades.....	155
<b>Figura 86</b> método PUT y GET respuesta 200 OK .....	155
<b>Figura 87</b> Funcionamiento del protocolo TCO con HTTP/JSON .....	155
<b>Figura 88</b> funcionamiento anterior, encendido de iluminación .....	157
<b>Figura 89</b> Actualmente sistema de iluminación mediante sistema domótico .....	158
<b>Figura 90</b> Control de tomas eléctricos .....	159
<b>Figura 91</b> Anteriormente se necesitaba ayuda para poder abrir las puertas.....	160

<b>Figura 92</b> Sistema mecánico actual incorporado al sistema domótico .....	160
<b>Figura 93</b> Apertura y cierre de cortinas sin instalar el sistema domótico .....	161
<b>Figura 94</b> Sistema de apertura y cierre de cortinas .....	162

## CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

### 1.1. Tema

Integración de diferentes sistemas para domótica usando WI-FI controlado por dispositivos móviles Android y asistente virtual para una persona en condición de paraplejía.

### 1.2. Problema

De acuerdo con el artículo (Vaish et al., 2020) dice que “La discapacidad funcional se ha definido como la dificultad adquirida para realizar las tareas básicas de la vida diaria o tareas más complejas necesarias para la vida independiente”. Al hablar de personas en condición de paraplejía esta referido a aquellos que por algún accidente perdieron la funcionalidad o alguna extremidad de su cuerpo, por cuestiones de limitaciones físicas desde su nacimiento y para adultos mayores que presentan pérdida de autonomía e independencia; mas no está referido a personas que cuentan con algún trastorno de desarrollo intelectual.

Wilman Maya, de 48 años responsable de la estación de radio WProducciones (grabación y emisión de publicidad), ubicada en su hogar (Contadero-Nariño-Colombia), Se encuentra en estado de paraplejía, lo cual implica una pérdida total de movilidad y sensibilidad en las piernas. Esto dificulta tareas cotidianas como encender luces, abrir puertas o manejar los sistemas eléctricos de su hogar. Debido a su dependencia de una silla de ruedas y la falta de disponibilidad constante de familiares para brindar asistencia, estas tareas se vuelven complicadas. Además, como parte de su trabajo, administra una estación de radio en su hogar, lo que implica conectar y desconectar diversos dispositivos a la corriente eléctrica, como su computadora, consola de mezcla, y el sistema de radiofrecuencia.

Wilmar menciona que siempre necesita la ayuda de otra persona para llevar a cabo estas tareas, incluyendo la conexión y desconexión de sus dispositivos electrónicos, como su computadora personal, cargador de celular y reguladores de corriente. La falta de autonomía

en estos aspectos le genera frustración. Intentar realizar estas actividades por su cuenta representa riesgos para su seguridad, como posibles caídas o descargas eléctricas.

Debido a esta situación, Wilmar considera prioritario desarrollar un sistema domótico que automatice estas necesidades. Esto eliminaría la dependencia de otra persona para realizar estas tareas, brindándole mayor independencia y seguridad en su hogar.

Esta clase de discapacidad implica la necesidad de depender de terceros para realizar diversas actividades; por consiguiente, se requiere el apoyo y la atención de familiares o cuidadores capacitados, lo cual puede ocasionar agotamiento emocional en los mismos. Si se requiere la contratación de servicios especializados, esto implica un costo adicional.(Alonso Reyes et al., 2020)

Implementar un sistema domótico para una vivienda la cual este habitada por una persona en condición de paraplejia haciéndolo capaz de sentirse en libertad y desarrollar determinadas acciones adaptados específicamente a sus limitaciones en este caso mediante un dispositivo Android y así poder generar un cambio en el entorno donde viven.

Para esto hay que responderse una pregunta ¿Cómo la implementación de un sistema domótico ayuda a una persona en condición de paraplejia a realizar diversas tareas? Sabiendo esto es posible aplicar diferentes soluciones, pero en este caso se va a desarrollar el sistema con la finalidad de controlar el sistema de iluminación, control de cortinas, control de puertas, activar una alarma y controlar el sistema de una estación de radio y un estudio de grabación implementada que funciona en el hogar.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo general***

Integrar y desarrollar un sistema domótico para una persona en condición de paraplejía controlado por dispositivos móviles Android y un asistente virtual usando WI-FI, que pueda controlar diversos sistemas dentro del hogar que incluye iluminación, abrir/cerrar (puertas y cortinas), una estación de radio y estudio de grabación.

### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Realizar una investigación previa analizando las características de discapacidad física del usuario, con el fin de comprender la problemática y adecuar la solución a las necesidades específicas de la persona con esta condición.
- Realizar un estudio del estado del arte en sistemas domóticos identificando que componentes son factibles integrar para realizar la automatización, con la finalidad de aplicarlos en el sistema que se pretende desarrollar.
- Adaptar el sistema domótico a las necesidades específicas de la persona en condición de paraplejía, teniendo en cuenta sus limitaciones físicas y requerimientos particulares.
- Implementar y validar el funcionamiento del sistema domótico en una vivienda que cuente con una persona en condición de paraplejía, para comprobar la autonomía y la realización de tareas cotidianas de dicha persona.

#### 1.4. Alcance

El objetivo de este proyecto es integrar sistemas domóticos existentes y desarrollar parte del sistema para que se adapte específicamente a la necesidad de una persona en condición de paraplejía, el sistema domótico permitirá controlar el sistema de iluminación, control de cortinas, control de puertas, activar una alarma y controlar el sistema de una estación de radio y un estudio de grabación implementada dentro del hogar.

El proyecto se basará en la metodología de cascada, la cual se caracteriza por su enfoque lineal que divide el proceso de desarrollo en varias etapas sucesivas. Estas etapas incluyen el análisis, diseño, implementación, verificación y servicio del proyecto. (Anastasia Stsepanets, 2023)

En la fase de análisis se llevará a cabo una investigación preliminar sobre el tipo de discapacidad física del usuario así y comprender su problemática específica, y determinar las necesidades que requiera, con este enfoque personalizado se garantiza que el sistema satisfaga a la persona en condición de paraplejía.

En la fase de diseño se usará el conocimiento obtenido del estado del arte de sistemas domóticos, con sus diferentes arquitecturas posibles a aplicar, como lo es centralizada, descentralizada, distribuida y mixta la cual se usará una de estas. De igual manera se buscará la forma de integrar diversos sistemas en uno solo que funcionen en conjunto para diseñar una solución personalizada y aplicar las funcionalidades adecuadas que tome en cuenta las limitaciones y requerimientos del usuario con paraplejía.

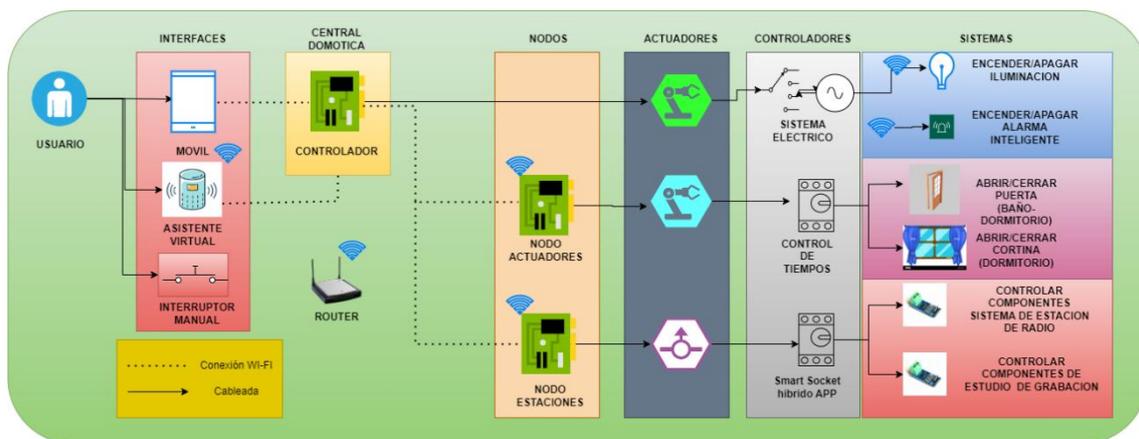
En la fase de implementación se adaptará el sistema domótico según los requisitos de diseño que previamente se han establecido, para este caso se usaran las tecnologías más adecuadas que se integren al sistema domótico; de igual manera los microcontroladores, componentes y actuadores en puntos estratégicos. Este proceso implicará una personalización

del sistema en términos de hardware, software y diseño de interfaz esto para controlar el sistema de iluminación, control de cortinas, control de puertas, activar una alarma y controlar el sistema de una estación de radio y un estudio de grabación implementada que funciona en el hogar.

En la siguiente arquitectura se hace la integración de sistemas domóticos tanto existentes como el desarrollado, así tener un funcionamiento en conjunto, este funcionara por tres interfaces, el dispositivo móvil, el asistente virtual y conmutado todo el sistema de manera manual.

**Figura 1**

*Arquitectura de un sistema domótico.*



En la fase de verificación y servicio del sistema se pretende realizar las pruebas de funcionamiento de todo el sistema domótico desplegada en la vivienda con una persona en condición de paraplejía, cumpliendo con los objetivos planteados, esto permitirá a la persona realizar algunos trabajos de manera autónoma y realizar estas tareas de manera satisfactoria, el cual le brinde un entorno seguro y confortable.

De esta manera, se cumplirán los cuatro objetivos planteados en el proyecto, como son el comprender las características de discapacidad física del usuario, estudiar el estado

del arte en sistemas domóticos, adaptar el sistema a las necesidades específicas del usuario y validar su funcionamiento en una vivienda con una persona en condición de paraplejía.

### **1.5. Justificación**

Dado que las necesidades en cada persona con paraplejía son diferentes, se tendrá problemas únicos y se debe aplicar una tecnología la cual brinde asistencia adecuada al caso. La aplicabilidad de estos sistemas o tecnologías van de la mano de la cooperación con la persona que tenga este tipo de discapacidad específica. Por eso, desarrollar un sistema domótico que solucione problemas específicos e implementarlo haciendo un hogar inteligente puede aumentar la autonomía de las personas con discapacidad motriz, permitiendo que estén más tiempo en su entorno. Como lo afirma (Veigl et al., 2017)

Aplicar domótica en hogares tiene muchos beneficios para proveer varias funciones básicas que se desarrollan en el hogar, esto permite tener mayor accesibilidad y tener un control del hogar. Además, ayuda considerablemente a familiares que están pendientes como también en el ámbito económico siendo el caso de que se requiera personal adicional ya que la carga o trabajo a desarrollar será menor.

En el Artículo 56.- Derecho a la vivienda de la Ley Orgánica De Discapacidades Del Ecuador (*LEY ORGÁNICA DE DISCAPACIDADES*, 2012) dice “Las personas con discapacidad tendrán derecho a una vivienda digna y adecuada a sus necesidades, con las facilidades de acceso y condiciones, que les permita procurar su mayor grado de autonomía” referente a esto en el mercado hay muchos dispositivos los cuales se puede aplicar para dar solución a este tipo de problemas, pero no todos dan soluciones puntuales sino de manera general en los cuales aplicarlos no soluciona el problema en contexto, como también el costo es algo elevado.

Con esto se pretende desarrollar el sistema domótico puntuando los problemas específicos de la persona en su día a día y procurando que el sistema sea lo más económico posible. A esto cabe recalcar que las personas que cuentan con alguna discapacidad sufren de discriminación por no realizar las tareas de la misma manera que una persona normal lo haría, esto es un punto importante para considerar, tratar de que esas limitaciones ya no sean tan comunes sino solucionables. (Ramírez Velásquez et al., 2022)

En el artículo de (Fatima et al., 2014) redacta que, en los últimos años, ha habido un notable avance en las tecnologías de información y comunicación, lo cual ha hecho posible que se puedan usar aplicaciones para controlar dispositivos eléctricos y electrónicos a través de comandos de voz en diversos ámbitos de la vida diaria de las personas.

Para ello cada vez esta tendencia ira en aumento, solucionando diferentes tipos de discapacidades y aplicado en diferentes ámbitos, por ello el presente trabajo de titulación aporta con un grano de arena al mitigar y ayudar a personas que requieren un sistema autónomo en el hogar facilitando en parte dichas tareas básicas diarias.

Las personas en condición de paraplejia presentan limitaciones físicas que los llevan a depender de elementos como sillas de ruedas, bastones o la ayuda de personas capacitadas. Adicionalmente, tienen dificultades para realizar actividades básicas como caminar, acostarse, levantarse o usar el baño, actividades que una persona con capacidades normales realizaría sin problema. (Suntaxi Llumiquinga, 2013)

Para la persona en condición de paraplejia desarrollar ciertas actividades básicas como encender varios focos del hogar, abrir o cerrar una puerta, abrir o cerrar una cortina,

conectar todo el sistema electrónico de una estación de radio se vuelven complicadas, esto conlleva a sentirse limitada, aumentando problemas de frustración y estrés.

Como lo dice en el artículo (Rocha Façanha et al., 2018) Las personas con limitaciones físicas a menudo enfrentan exclusión social debido a la falta de adaptación en muchas actividades diarias. Sin embargo, gracias a las nuevas políticas públicas y a los enfoques de inclusión social, esta situación ha experimentado cambios significativos. Además, el avance de las tecnologías de asistencia, como el software, hardware y las herramientas de accesibilidad, ha ampliado las oportunidades para que las personas con discapacidades motoras puedan acceder a la información y comunicarse de forma independiente. De hecho, la introducción de software de asistencia y dispositivos adaptados ha acercado a las personas con discapacidad motora a las computadoras y los dispositivos móviles.

En el trabajo de titulación de (Alban Mollocana, 2018) afirma que el objetivo principal del proyecto es mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad en sus hogares. Para lograr esto, se realiza un análisis exhaustivo de las viviendas actuales de las personas con capacidades especiales, donde se identifican problemas de accesibilidad, control de iluminación y seguridad. Se propone utilizar la domótica para abordar estas dificultades, aprovechando sus ventajas en el control de diferentes aspectos del hogar. Además, se buscará utilizar hardware y software de código abierto para reducir los costos del prototipo.

Los sistemas desarrollados para este proyecto tienen alcances y enfoques distintos en términos de integración y control de dispositivos. Estos sistemas operan en una red interna del hogar que permite la comunicación entre todos los dispositivos involucrados. Algunos de estos sistemas utilizan hardware y software de código abierto, lo que

contribuye a reducir los costos. Además, se ha considerado la posibilidad de expansión, lo que significa que es posible integrar varios elementos adicionales en el futuro, adaptando el sistema según las necesidades específicas de cada usuario.

El desarrollo de este trabajo de titulación está sustentado en aplicar un sistema domótico a un hogar usando la tecnología WI-FI, ya que este sistema de comunicación lo tiene en la mayoría de los hogares, además de aplicar electrónica para lograr realizar diferentes trabajos electromecánicos en el hogar. Con esto lograr un sistema automático fácil de manipular y que el costo de aplicarlo sea bajo.

## 1.6. Contexto

En el trabajo de titulación de (Pozo Carrillo, 2021) con título “**Sistema domótico para personas con discapacidad visual controlado mediante frecuencias neuronales**” se centra en crear y poner en marcha un sistema domótico destinado a personas con discapacidad visual utilizando frecuencias neuronales. Este sistema permitirá llevar a cabo diversas acciones en el hogar que serán anunciadas a través de una aplicación móvil. El objetivo principal es mejorar la movilidad y aumentar la seguridad del usuario en su entorno doméstico. Esto se logrará mediante la interpretación de datos de concentración, meditación y señales de electromiografía, que permitirán llevar a cabo las acciones deseadas por el usuario.

A diferencia con el trabajo que se estará llevando a cabo este se basa en activar y desactivar diferentes sistemas eléctricos como la luminaria de la casa, sistemas de agua, abrir y cerrar cortinas como también las puertas de la habitación y el baño mediante un dispositivo Android, enfocado a una persona la cual está en condición de paraplejia de los miembros inferiores de su cuerpo, para esto se hace uso de la red WI-FI y dispositivos controladores y actuadores interconectados para ser activados por un nodo central, a fin

de controlar el sistema de luminaria, control de cortinas, control de puertas, activar una alarma y controlar el sistema de una estación de radio y un estudio de grabación implementada que funciona en el hogar.

En el trabajo realizado por (Acosta Herrería, 2016) en su tesis titulada “**Sistema domótico incluyendo plataformas de hardware y software libre para la residencia de una persona con paraplejia**” habla sobre el control de distintos elementos en el hogar de una persona con paraplejia, como puertas, ventanas, cortinas y una manta eléctrica. Para desarrollarlo, se investigaron herramientas de código abierto que permitieran su construcción. Se decidió utilizar conexiones inalámbricas en las bandas ISM y garantizar su compatibilidad con otras tecnologías similares. Con el objetivo de lograr un sistema versátil, se desarrolló una aplicación web que permite acceder a la interfaz desde cualquier dispositivo a través de un navegador, ya sea desde la red WLAN o desde Internet.

Las personas que cuentan con algún tipo de discapacidad requieren de algún dispositivo para su autocuidado como también la facilidad de poder encender o apagar un foco de cualquier punto en el hogar sin la necesidad de ir al interruptor físicamente, como también abrir cortinas o puertas sin que la persona requiera acercarse físicamente, esto ayuda tanto mental como en términos de seguridad del cuerpo ya que no es necesario dirigirse al punto sino que simplemente con un comando se lo ejecuta facilitando en gran cantidad el trabajo, esta es la idea principal del trabajo de titulación, hacer que una persona con paraplejia se sienta más segura con las tareas básicas diarias que se realiza.

En el trabajo realizado por (Rodríguez Medellín, 2020) titulado “**Diseño de un sistema domótico para personas en condición de paraplejia residentes en el municipio de Gachetá**” está enfocado en el diseño o prototipo de un sistema

automatizado para ayudar o mejorar la integridad de personas en paraplejia, está conformado por herramientas electrónicas y circuitos programados, controlando los sistemas de luminaria, puertas, sensores de gas, de presencia y además el uso de una silla de ruedas controlada por el mismo sistema.

Este sistema está enfocado prácticamente en automatizar un hogar y una silla de ruedas, pero está a base de prototipado, mas no está aplicado a una persona real. En comparación el trabajo que se desea desarrollar se aplicara a una persona en condición de paraplejia real en una vivienda la cual se pretende controlar la iluminación y de igual forma las puertas del dormitorio y del baño, además de controlar el sistema de radio y de grabación para mayor accesibilidad a ellos el cual esta implementado en el domicilio.

En el trabajo de grado de (Díaz Alarcón et al., 2017) con nombre **“Diseño e implementación de un sistema domótico para aplicaciones en pacientes parapléjicos mediante control remoto a través de internet y reconocimiento de voz”** trata de un sistema domótico para aplicaciones en pacientes parapléjicos mediante control remoto a través de internet y reconocimiento de voz. Las personas con discapacidad personas a menudo sufren de discriminación e inferioridad lo que origina la falta de oportunidades e inclusión a la sociedad, independiente del país de donde vivan.

Cuando se habla de personas con discapacidad verdaderamente existe algún tipo de discriminación ya que no cuentan con todas las funciones que realiza una persona sin limitaciones, el trabajo a desarrollarse trata de mitigar este tipo de limitaciones aplicando domótica, en este caso se usara un dispositivo móvil con una aplicación en Android, además de ser una infraestructura soportada en wi-fi, que es un sistema existente en la mayoría de los hogares.

## **CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

En el presente capítulo, se examinarán los conceptos fundamentales y el marco teórico que sustenta el desarrollo de un sistema domótico adaptado a las necesidades específicas de una persona con paraplejia. En donde se define esta condición y se describen enfermedades relacionadas como las huérfanas y la distrofia muscular de Becker, patologías estrechamente vinculadas a esta discapacidad. Posteriormente, se profundiza en la disciplina de la domótica, explorando su evolución histórica, características y arquitecturas de control aplicables. En donde se detallan los componentes esenciales: controladoras, actuadores y asistentes virtuales, analizando sus especificaciones técnicas. Asimismo, se estudian herramientas de software relevantes como Arduino IDE, Android Studio y App Inventor para el desarrollo e integración del sistema. Finalmente, se abordan las interfaces de usuario, resaltando el uso de smartphones Android como medio de control e interacción. Este capítulo sienta las bases teóricas y conceptuales necesarias para comprender el diseño e implementación de un sistema domótico personalizado, adaptado a las limitaciones y requerimientos específicos de una persona con paraplejia.

### **2.1. Definición de Paraplejia**

La paraplejia es una condición neurológica que se caracteriza por la pérdida total o parcial de la función motora voluntaria y la sensibilidad en las extremidades inferiores, así como en los músculos abdominales y torácicos. Esta discapacidad es consecuencia de una lesión o afección en la médula espinal, específicamente en los segmentos torácicos, lumbares o sacros, lo que interrumpe la transmisión de señales neuronales entre el encéfalo y las áreas afectadas del cuerpo. (Hernández-Yépez et al., 2020)

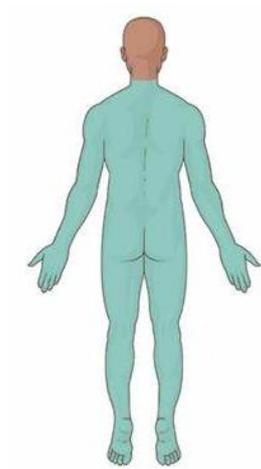
#### **2.1.1. Tipos de Paraplejia**

La paraplejia se clasifica en completa o incompleta, dependiendo del grado de preservación de la función motora y sensorial por debajo del nivel de la lesión medular. En la

paraplejia completa como se indica en la Figura 2, existe una ausencia total de función motora y sensibilidad por debajo del nivel de la lesión.

## **Figura 2**

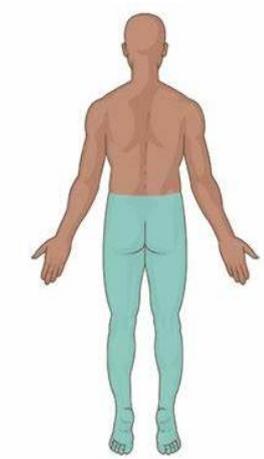
### *Paraplejia Completa*



*Nota: Tomado de Lesiones de la médula espinal, por (Mayo Clinic, (2023),*

*(<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>)*

Mientras que, en la paraplejia incompleta indicada en la Figura 3, se conserva cierto grado de función motora y/o sensorial.

**Figura 3***Paraplejia Incompleta*

*Nota: Tomado de Lesiones de la médula espinal, por (Mayo Clinic, (2023),*

*(<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/spinal-cord-injury/symptoms-causes/syc-20377890>)*

La paraplejia es la parálisis de los miembros inferiores debido al compromiso de las vías motoras secundaria a una lesión medular en los segmentos correspondientes a las vértebras torácicas, lumbares o sacras. Se caracteriza por la pérdida de la función muscular en la mitad inferior del cuerpo y la limitación o ausencia de movilidad en las piernas. Es una lesión medular que puede ser consecuencia de traumatismos, enfermedades o trastornos genéticos. (Moreno & Pilar Amaya, n.d.)

**2.1.2. Paraplejia Como Enfermedad Huérfana**

Una enfermedad huérfana, o enfermedad rara, es una afección médica que afecta a un número relativamente pequeño de personas en comparación con las enfermedades comunes. Estas enfermedades a menudo carecen de investigación, atención médica especializada y tratamientos específicos debido a su baja prevalencia. Pueden ser causadas por diversos factores y pueden ser difíciles de diagnosticar. Las personas que las padecen enfrentan desafíos para obtener un diagnóstico preciso y recibir tratamiento. En muchos países, se han

implementado regulaciones para impulsar la investigación y el desarrollo de tratamientos para estas enfermedades, y las organizaciones de pacientes desempeñan un papel importante en la concienciación y la promoción de la investigación en este campo. (Viteri et al., n.d.)

### **2.1.3. Distrofia Muscular de Becker y la Domótica: Soluciones y Ayudas Tecnológicas**

La distrofia muscular de Becker (BMD) es un trastorno recesivo ligado al cromosoma X debido a una mutación en el gen de la distrofina que conduce a una degeneración muscular progresiva y debilidad muscular en los músculos próximos. Esta condición es menos común y grave que la distrofia muscular de Duchenne (DMD). El inicio de los síntomas es más tardío en comparación con la distrofia muscular de Duchenne, aunque varía ampliamente entre los 5 y los 60 años. En una investigación realizada en 67 pacientes que siguieron un protocolo estándar de ejercicios, se encontró que el grupo con síntomas más leves seguía siendo ambulante hasta sus cuarenta años o más, mientras que el grupo con síntomas más graves perdía la capacidad de moverse más temprano. (Witting et al., 2013)

La distrofia muscular de Becker (BMD) es una enfermedad genética que provoca debilidad progresiva en los músculos, afectando significativamente la movilidad y autonomía de quienes la padecen. En este contexto, la domótica se presenta como una herramienta valiosa para mitigar algunos de los desafíos diarios enfrentados por las personas que padecen de esta enfermedad. Contar con sistemas automatizados para poder controlar dispositivos y aparatos dentro del hogar y poder personalizarlos para que se ajuste a las capacidades físicas del individuo, permitiendo controlar desde persianas, luces, termostatos, hasta sistemas de entretenimiento y comunicación, todo con mínimos movimientos o comandos de voz.(Capelini et al., 2017)

Un aspecto destacado es el uso de asistentes virtuales, que, mediante comandos de voz, pueden ayudar a personas que padecen BMD, a realizar llamadas telefónicas, enviar

mensajes de texto, manejar dispositivos de entretenimiento, e incluso solicitar ayuda en caso de emergencia. Estos asistentes integran sistemas más amplios de seguridad y vigilancia para monitorear el bienestar del usuario y alertar a familiares o servicios médicos si es necesario.(Capelini et al., 2017)

La domótica proporciona soluciones personalizadas que pueden mejorar significativamente la autonomía de las personas con BMD, ofreciendo una mayor independencia y seguridad en el entorno diario, las investigaciones sugieren que la adaptabilidad y personalización de estos sistemas son clave para su efectividad, destacando la importancia de diseñar un enfoque centrado en el usuario. (Panda, 2024)

Teniendo en cuenta las necesidades que enfrenta una persona que sufre de este tipo de discapacidad, se opta por ofrecer soluciones tecnológicas que faciliten su vida. Estas herramientas ayudan a mejorar la calidad de vida de quienes padecen este tipo de condiciones. Una de las soluciones más utilizadas es la domótica, la cual puede ser especialmente beneficiosa para personas con paraplejia, proporcionándoles mayor independencia, comodidad y seguridad en su vida diaria.

## **2.2. Domótica**

La domótica es una tecnología que automatiza y controla sistemas y dispositivos en hogares o edificios de forma remota y centralizada. Integra iluminación, calefacción, seguridad, entre otros, para mejorar la eficiencia, comodidad y seguridad. Se gestiona desde dispositivos como móviles o asistentes virtuales, permitiendo personalización y adaptación a las necesidades del usuario. Ofrece ahorro energético, mayor seguridad, inclusión de personas con discapacidad, y facilita la monitorización y control en tiempo real. Es una herramienta transformadora con potencial para impulsar la sostenibilidad y digitalización de sociedades y ciudades.

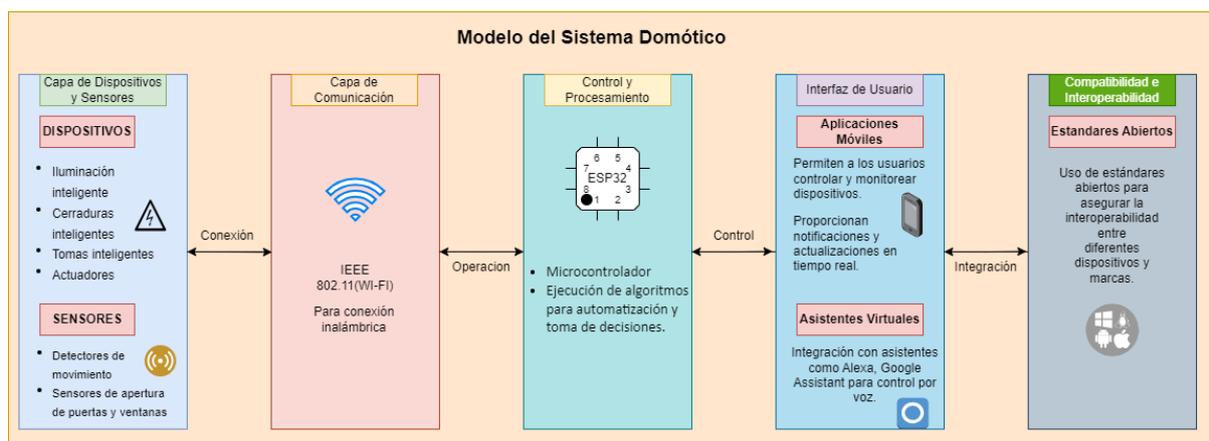
### 2.2.1. Arquitectura de Domótica basada en IEEE 2413

El estándar IEEE P2413 es un marco integral diseñado para la arquitectura de sistemas para el Internet de las Cosas (IoT), lo cual incluye la domótica como uno de sus campos de aplicación. El estándar busca definir un marco arquitectónico que facilite la interoperabilidad entre varios dispositivos conectados dentro del ecosistema del IoT, asegurando que los dispositivos de diferentes fabricantes puedan trabajar juntos de manera más eficiente y segura. (IEEE 2413, 2020)

Este diseño indicado en la Figura 2 se alinea con el estándar IEEE 2413, que busca asegurar que todo funcione de manera integrada dentro de un hogar inteligente,

**Figura 4**

Arquitectura sistema domótico



*Nota: Elaboración propia. Adaptado de (IEEE 2413, 2020)*

### 2.2.2. Características de la Domótica

Según Domínguez & Vacas (2006), la domótica, una disciplina multidisciplinaria en la intersección de la ingeniería eléctrica, la informática y la automatización residencial, presenta una serie de características fundamentales que la definen como un campo de estudio y aplicación tecnológica de gran relevancia. Estas características, intrínsecas a su naturaleza, delimitan su alcance y potencial en la transformación de los entornos residenciales.

En la Tabla 1 se proporciona un resumen de como el estándar IEEE 2413 puede influir en el diseño y la implementación de sistemas domóticos, asegurando que estos sistemas sean no solo funcionales sino también seguros y adaptables.

**Tabla 1**

*Características de la Domótica*

<b>Características Clave del Estándar IEEE 2413 Aplicadas a la Domótica</b>	
<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Interoperabilidad</b>	Capacidad de dispositivos y sistemas para trabajar juntos sin problemas, esencial para la integración de dispositivos domóticos de diferentes fabricantes.
<b>Seguridad</b>	Directrices para asegurar la comunicación entre dispositivos IoT y proteger los datos manejados, crucial en la domótica para proteger el hogar y la privacidad.
<b>Modularidad</b>	Diseño modular que permite la escalabilidad y flexibilidad del sistema, facilitando la integración de nuevos dispositivos y tecnologías.
<b>Confiabilidad y Resiliencia</b>	Sistemas diseñados para funcionar correctamente y recuperarse de fallos, asegurando la robustez y confiabilidad en servicios críticos del hogar.
<b>Gestión de la Configuración</b>	Prácticas para la gestión efectiva de la configuración de dispositivos y sistemas, vital para el mantenimiento y actualización de sistemas domóticos.
<b>Estándares de Comunicación</b>	Promoción del uso de estándares de comunicación abiertos para garantizar la compatibilidad y eficiencia en la comunicación entre dispositivos.
<b>Privacidad</b>	Manejo adecuado de la información personal y operativa para proteger la privacidad de los usuarios, especialmente relevante en la domótica.
<b>Visión Arquitectónica</b>	Estructura para describir arquitecturas de sistemas IoT alineadas con las necesidades de negocio y usuarios, permitiendo diseñar sistemas domóticos efectivos y alineados con las necesidades de los usuarios.

*Nota: Elaboración propia. Adaptado de (IEEE 2413, 2020)*

### **2.2.3. La Importancia de la Domótica en la Inclusión de Personas con Discapacidad**

Una persona con discapacidad, al igual que cualquier otra persona necesita generar una interacción con el entorno que lo rodea, para esto la sociedad cumple un papel fundamental, ya que al no poder usar sus piernas, tiene la necesidad de usar una silla de ruedas y realizar actividades básicas dentro de un hogar a veces se torna como un obstáculo como también al ser países en vías de desarrollo no se han implementado soluciones efectivas para minimizar el desenvolvimiento personal de personas que cuentan con este tipo de discapacidad.(Hernández-Yépez et al., 2020)

Para esto, usar la domótica es una solución eficaz y se puede aplicar de diferentes maneras dependiendo de las necesidades necesarias.

Para implementar una aplicación de domótica destinada a abordar los desafíos de las personas con discapacidad, como la paraplejia, es esencial considerar diversas arquitecturas. Estas arquitecturas son fundamentales para optimizar la toma de decisiones, y se distinguen por su función específica y la adaptabilidad a las necesidades y recursos individuales de cada afectado por esta condición. Es importante reconocer que no existe una solución genérica para estas necesidades, sino que se requiere una aproximación personalizada. Por lo tanto, es crucial comprender y utilizar arquitecturas que aborden eficazmente esta problemática específica.

#### **2.2.4. Arquitecturas de Control Domótico**

La domótica se puede aplicar usando diferentes arquitecturas, en este caso se revisará de que se trata cada una de estas y ver cuál es la más apropiada para ejecutar en el desarrollo de esta.

##### **2.2.4.1. Arquitectura Centralizada**

En este tipo de arquitectura consta de un controlador central que recibe la información de todos los sensores, sistemas y usuarios. Este controlador envía la información a los actuadores e interfaces, según lo que se requiera hacer y la configuración establecida. El cableado del sistema es en estrella con un controlador central y los sensores o actuadores no se pueden comunicar entre sí, sino se conectan con el controlador central. (Ramón & Balibrea, 2012)

##### **2.2.4.2. Arquitectura Descentralizada**

Un sistema domótico con una arquitectura descentralizada se identifica porque hay varios controladores que se comunican entre sí a través de un bus o medio, los controladores reciben información de los sensores, sistemas interconectados y de los usuarios. Estos

controladores usan esta información para controlar los actuadores conectados a ellos. (Ramón & Balibrea, 2012)

#### **2.2.4.3.Arquitectura Distribuida**

En un sistema domótico la arquitectura distribuida, los sensores y actuadores son dispositivos inteligentes capaces de enviar datos a un sistema, estos con la información obtenida puede realizar acciones como encender la iluminación en el hogar. Todos estos dispositivos están conectados a un bus este funciona como una interfaz compartida, se usan técnicas para que el envío de información sea correcto. (Ramón & Balibrea, 2012)

#### **2.2.4.4.Arquitectura Mixta**

En un sistema de arquitectura mixta o también conocido como híbrida se combinan la arquitectura centralizada y descentralizada; este tiene varios controladores descentralizados o combinación de estos. También trabaja como un sistema distribuido, con lo que los sensores pueden enviar información a otros dispositivos de la misma red y actuar. (Ramón & Balibrea, 2012)

### **2.3. Componentes Esenciales de la Domótica**

En el ámbito de la domótica, la elección de los componentes adecuados juega un papel crucial en la eficiencia y funcionalidad de los sistemas automatizados. Entre estos componentes, los microcontroladores son elementos fundamentales que permiten la implementación de diversas funciones y operaciones dentro del contexto doméstico (MAESTRE TORREBLANCA, 2015).

#### **2.3.1. Microcontrolador**

Los microcontroladores, representan una faceta esencial en el tejido tecnológico de la domótica. Estos dispositivos de hardware programables poseen la versatilidad necesaria para afrontar una amplia gama de desafíos en el ámbito residencial automatizado.

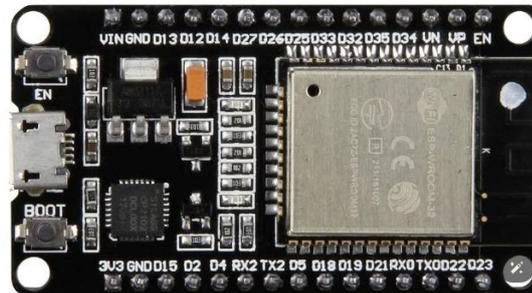
Dado su estatus como hardware de código abierto, los microcontroladores ofrecen una flexibilidad sin precedentes en el diseño y personalización de sistemas domóticos. Su prominencia en este campo se justifica por su capacidad para abordar distintos problemas y requerimientos, brindando soluciones eficientes y adaptadas a cada contexto (Morón et al., 2016).

La adaptabilidad de los microcontroladores en el ecosistema domótico se evidencia en su habilidad para gestionar y supervisar una diversidad de dispositivos y sistemas, tales como iluminación, climatización, seguridad y otros aspectos del hogar inteligente. Esta versatilidad los posiciona como elementos fundamentales en la creación de entornos residenciales automatizados y eficaces (Gota et al., 2020).

En este contexto, el microcontrolador ESP32 emerge como un ejemplo destacado, cuya importancia se ve realzada por su conformidad con estándares y normativas específicas. Este dispositivo no solo cumple con las expectativas generales de funcionalidad y versatilidad de los microcontroladores, sino que también se adhiere a protocolos rigurosos que garantizan su eficacia y seguridad en entornos domóticos. Al integrar estándares como Wi-Fi y Bluetooth, el ESP32 facilita una interconectividad robusta, lo que permite una mayor integración y comunicación entre diferentes dispositivos y sistemas dentro del hogar, promoviendo así un ambiente más conectado y automatizado.

#### **2.3.1.1. Microcontrolador ESP32: Estándares y Normativas**

El microcontrolador ESP32 es ideal para aplicaciones en domótica debido a su bajo costo, capacidades de conexión Wi-Fi y Bluetooth, y un considerable número de pines de entrada/salida que permiten interactuar con una amplia gama de sensores y actuadores.(Mishra, 2023)

**Figura 5***Modulo ESP32**Fuente: (Xukyo, 2024)*

Con este microcontrolador es posible crear soluciones personalizadas para automatizar el hogar, como control de iluminación, sistemas de seguridad, y la gestión de la energía y el clima interior de manera eficiente. Su capacidad de operar bajo diferentes estándares de comunicación asegura la compatibilidad con una amplia gama de dispositivos y sistemas existentes en el mercado. En la Tabla 2 se indica todas las especificaciones de este microcontrolador.

**Tabla 2***Especificaciones del ESP32*

Microcontrolador ESP32		
Característica	Descripción	Funciones
<b>Chipset</b>	ESP32-D0WDQ6 chip basado en un núcleo dual Tensilica Xtensa LX6 a 240 MHz	
<b>Memoria</b>	520 KB de SRAM interna, hasta 4 MB de flash SPI externa	
<b>Conectividad</b>	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR y BLE	
<b>GPIOs</b>	Hasta 36 pines GPIO, pero algunos están dedicados a funciones específicas	Analog I/O : 15 (2, 4, 12, 13, 14, 15, 25, 26, 27, 32, 33, 34, 35, 36, 39) Digital I/O : 4 (todos excepto 6 to 11) Pines PWM: 16 (2, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 21, 25, 26, 27, 32, 33) Comunicación Serial: 9 (1, 2, 3, 4, 5, 12, 13, 14, 15) Comunicación I2C: 1 (('21', '22'))

		Comunicación SPI: 1 (('5', '18', '19', '23')) Comunicación I2S: 1 (('26', '25', '33'))
<b>Interfaces</b>	UART, SPI, I2C, PWM, CAN, I2S, ADC, DAC	
<b>Seguridad</b>	WPA/WPA2, WEP, TKIP, AES	
<b>Normativas/Estándares</b>	Cumple con IEEE 802.11b,g y n (Wi-Fi) y IEEE 802.15.1 (Bluetooth), FCC, CE, IC, KCC, NCC	
<b>Número de pines</b>	30 pines de uso general	

*Nota: Adaptado de (Mishra, 2023),(Xukyo, 2024)*

### 2.3.2. Actuadores en Sistemas Domóticos

Los actuadores son dispositivos esenciales en múltiples tecnologías y áreas de la ingeniería, ya que toma energía de entrada y la transforma en movimiento o fuerza. Desde la robótica hasta las energías renovables, los actuadores tienen un rol clave en la automatización y el control de diversos sistemas y procesos.(Anju Thangam, 2023).

Los actuadores en sistemas domóticos son dispositivos fundamentales que realizan acciones físicas en respuesta a señales de control recibidas, generalmente enviadas por un sistema central o un microcontrolador. Su función es convertir una señal eléctrica en un movimiento o acción mecánica que puede ser cerrar puertas, encender o apagar dispositivos, encender la iluminación.

Del mismo modo, un actuador puede ser responsable de activar cerraduras automáticas en puertas y ventanas, controlar sistemas de riego, o manejar dispositivos electrónicos de acuerdo con las instrucciones preprogramadas o las preferencias del usuario. Estos dispositivos son cruciales para la automatización, ya que permiten que los sistemas domóticos no solo monitoreen a través de sensores, sino que también respondan activamente a ellas, mejorando así la comodidad, la eficiencia energética y la seguridad del hogar.

En el ámbito de la domótica, la automatización de dispositivos a través de interruptores y adaptadores inteligentes ha revolucionado la manera en que interactuamos con nuestro entorno. Un ejemplo claro es el Sonoff, un interruptor inteligente que facilita el control remoto del encendido y apagado de dispositivos desde cualquier lugar a través de un

dispositivo inteligente, ofreciendo la flexibilidad de operar tanto dentro como fuera de la red local.(RGeymonat, 2023) Por otro lado, el Shelly Interruptor Relay es un relé libre de potencial diseñado para espacios reducidos que permite controlar una variedad de electrodomésticos como líneas eléctricas y aires acondicionados mediante conexión WiFi.(Shelly, 2023) Además, las bombillas inteligentes representan otra faceta de la domótica que permite ajustar la intensidad lumínica, programar su encendido o manejarlas desde cualquier lugar usando aplicaciones, páginas web o asistentes de voz.(Claudio Valero, 2023) Finalmente, los adaptadores de corriente inteligentes, como los que ofrece ProNet, complementan este ecosistema permitiendo la programación y control remoto de dispositivos electrónicos conectados, lo cual potencia la conveniencia y la eficiencia energética en el hogar moderno.(ProNet, 2023)

### **2.3.2.1.Módulo Relay y su Funcionamiento en Domótica**

Este módulo relé es un dispositivo electromagnético que funciona como interruptor controlado por un circuito eléctrico, existen diferentes tipos de módulos Relay vienen uno o varios para poder controlar de uno a varios circuitos eléctricos independientes, existen módulos Relay para voltajes de 12v, 24v, 110v, 220v. este es activado por el controlador con una señal 0VDC o un 0 lógico. (Arduino, 2021)

Con este módulo indicado en la Figura 6 es posible controlar diferentes dispositivos eléctricos de baja y alta potencia, pero cuando se refiere a alta potencia manda una señal a un contactor para activar amperajes que sobrepasan el módulo Relay.

**Figura 6***Módulo Relé*

*Fuente:* (Arduino, 2021)

**2.3.3. Asistentes Virtuales en el Contexto Domótico**

En la actualidad, hay una variedad de asistentes virtuales que son compatibles con distintas tecnologías y ecosistemas. En este contexto, se destacan dos de los más populares y ampliamente utilizados en el ámbito de la domótica: uno pertenece al ecosistema de Amazon Alexa, mientras que el otro es parte del ecosistema de Google Home.

**2.3.3.1. Alexa**

Alexa es un asistente de voz la cual está equipada con múltiples funciones capaz de realizar muchos trabajos y entender varias órdenes, además este asistente está disponible en varios equipos como lo son, termostatos, barra de sonido, lámparas, etc. Es posible usarla directamente con el dispositivo o con un teléfono inteligente.(Plascencia, 2023)

Este asistente virtual viene incorporado en el dispositivo Echo Dot, de Amazon, en la Figura 7 se puede observar el dispositivo Echo Dot de 5th generación el cual incorpora este asistente virtual.

**Figura 7**

*Amazon Echo Dot con asistente virtual Alexa*



*Fuente: (Greenwald, 2023)*

**2.3.3.2. Alexa y ESP32: Integración y control**

La integración de Alexa con la ESP32 utilizando la librería Espalexa permite convertir la ESP32 en un dispositivo compatible con Alexa, facilitando el control de dispositivos conectados mediante comandos de voz. Este proceso abarca varios componentes y protocolos que operan conjuntamente para lograr la integración.

1. **Conexión Wi-Fi:** La ESP32 se conecta a una red Wi-Fi, lo que le permite comunicarse con otros dispositivos en la misma red, incluido el dispositivo que ejecuta Alexa.
2. **Librería Espalexa:** Esta librería es crucial para la integración, permitiendo que la ESP32 se registre como un dispositivo compatible con Alexa utilizando el protocolo Alexa Smart Home Skill.
3. **Proceso de Descubrimiento:** Al configurar un nuevo dispositivo en la aplicación Alexa, la app lleva a cabo un proceso de "descubrimiento" en la red local. Durante este proceso, Alexa envía solicitudes para encontrar dispositivos compatibles. La ESP32, configurada con Espalexa, responde a estas solicitudes con información sobre los dispositivos que controla, como luces e interruptores. Durante el descubrimiento, Espalexa responde a las solicitudes UPnP (Universal Plug and Play) de Alexa,

presentando la ESP32 como un dispositivo controlable mediante protocolos estándar de redes locales.

4. **Dispositivos de Control:** Cada dispositivo a controlar se añade a Espalexa con un nombre y una función de callback. La función de callback define el comportamiento del dispositivo al recibir un comando.
5. **Protocolo de Comunicación:** La comunicación entre Alexa y la ESP32 se realiza mediante solicitudes HTTP. Alexa envía comandos en forma de solicitudes HTTP a la ESP32, y esta responde adecuadamente. Por ejemplo, al decir "Alexa, enciende la luz", Alexa envía una solicitud HTTP a la ESP32 indicando que debe ejecutar la función de encender la luz.

Todos estos dispositivos necesitan un medio de comunicación inalámbrica, por esto se hace referencia a las tecnologías de comunicación inalámbrica más usados en domótica, actualmente se pueden encontrar más tecnologías dependiendo de su ecosistema.

## **2.4. Tecnologías de Comunicación Inalámbrica Usados por la ESP32 en Domótica**

La tecnología inalámbrica se ha vuelto ampliamente popular debido a su capacidad para conectar múltiples dispositivos, permitiendo un intercambio fluido de información en tiempo real. Este avance ha llevado a su extenso uso en la interconexión de dispositivos de domótica, ubicados en diversas partes del hogar.

### **2.4.1. Wi-Fi y sus Estándares**

El estándar más usado para WI-FI es el 802.11 en el cual ha venido reformándose con el paso de tiempo para mejorar su velocidad y en lo referente a la seguridad de las conexiones inalámbricas. En la actualidad es muy usada en diferentes dispositivos como lo es smartphones, Computadores, cámaras, sistemas inteligentes, la simplicidad y la capacidad para interconectar varios dispositivos es muy amplia.(Wi-Fi Alliance, 2024)

Gracias a la tecnología Wi-Fi, se puede implementar esta tecnología en una variedad de entornos, siendo una de las más adecuadas para sistemas domóticos debido a su gran flexibilidad y adaptabilidad.

#### 2.4.1.1. Estándares de WI-FI

En la Tabla 3 se presenta una comparación exhaustiva de las distintas características de los estándares IEEE 802.11b, 802.11g, y 802.11n, que son ampliamente utilizados en dispositivos de domótica, tales como microcontroladores y actuadores. Esta tabla incluye información crucial sobre la configuración y las capacidades de cada estándar, destacando aspectos como banda de frecuencia, ancho de banda del canal, tecnología MIMO, esquemas de modulación y codificación, entre otros. Estos detalles son fundamentales para seleccionar el estándar más adecuado que garantice una comunicación eficaz y confiable en aplicaciones domóticas, optimizando así el rendimiento y la interactividad del sistema en el hogar inteligente.

**Tabla 3**

*Versiones de la Tecnología Inalámbrica Wi-Fi*

<b>Característica</b>	<b>IEEE 802.11b</b>	<b>IEEE 802.11g</b>	<b>IEEE 802.11n</b>
<b>Banda de frecuencia</b>	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz / 5 GHz
<b>Ancho de banda del canal</b>	22 MHz	20 MHz	20 MHz / 40 MHz
<b>Ancho de banda de la señal</b>	22 MHz	20 MHz	20 MHz / 40 MHz
<b>Tecnología MIMO</b>	No	No	Sí, múltiples antenas
<b>Modulaciones</b>	DSSS, CCK	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM, BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
<b>Código de corrección de errores</b>	No	FEC (Forward Error Correction)	BCH, LDPC
<b>Tasa de codificación</b>	No	Varía con la modulación (1/2, 2/3, 3/4, etc.)	Varía con modulación y esquema de corrección de errores
<b>Numero de subportadoras totales</b>	No Aplicable (utiliza DSSS, no OFDM)	52 subportadoras	56 en 20 MHz, 114 en 40 MHz
<b>Numero de portadoras no nulas</b>	No	52 portadoras	52 en 20 MHz, 108 en 40 MHz
<b>Numero de subportadoras de datos</b>	No	48 subportadoras	48 en 20 MHz, 100 en 40 MHz

<b>Numero de portadoras piloto</b>	No	4 portadoras	4 en 20 MHz, 6 en 40 MHz
<b>Duración de símbolo OFDM</b>	No	4 $\mu$ s + 0.8 $\mu$ s de intervalo de guarda	3.2 $\mu$ s en 20 MHz, 1.6 $\mu$ s en 40 MHz con 0.8 $\mu$ s de intervalo de guarda
<b>Espacio entre portadoras</b>	No	312.5 KHz	312.5 KHz en 20 MHz, 156.25 KHz en 40 MHz
<b>Protocolos de seguridad</b>	WEP	WEP, WPA, WPA2	WEP, WPA, WPA2
<b>Métodos de acceso al medio</b>	CSMA/CA	CSMA/CA	CSMA/CA con ACK, Block Ack
<b>Velocidades de transmisión de datos</b>	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	hasta 600 Mbps
<b>Máx. Velocidad de datos</b>	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps
<b>Payload Máximo</b>	2304 bytes	Hasta 2304 bytes	2304 bytes
<b>MAC</b>	802.11 MAC	802.11 MAC	802.11 MAC
<b>Rango de Alcance</b>	Menor alcance, tip. < 100 m	Moderado, tip. < 150 m	Mayor, hasta 250 m
<b>Cobertura</b>	Limitada	Mejor que 802.11b	Amplia cobertura
<b>Gestión de energía</b>	Power saving mode	Power saving mode	Advanced power management
<b>Tipos de servicio (QoS)</b>	No específico	Mejorado con 802.11e	Significativamente mejorado con 802.11n
<b>Soporte para roaming</b>	Básico	Mejorado	Mejorado
<b>Compatibilidad hacia atrás</b>	Solo con 802.11b	Compatible con 802.11b	Compatible con 802.11b/g
<b>Tecnologías de beamforming</b>	No	No	Sí
<b>Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM)</b>	No	Sí	Sí
<b>Capacidades de coexistencia</b>	Limitada	Mejorada con otros dispositivos 2.4 GHz	Mejorada con 2.4 GHz y 5 GHz

*Nota: Elaboración propia. Adaptado de (IEEE 802.11n, 2009), (IEEE 802.11g, 2003) y (IEEE 802.11b, 2001)*

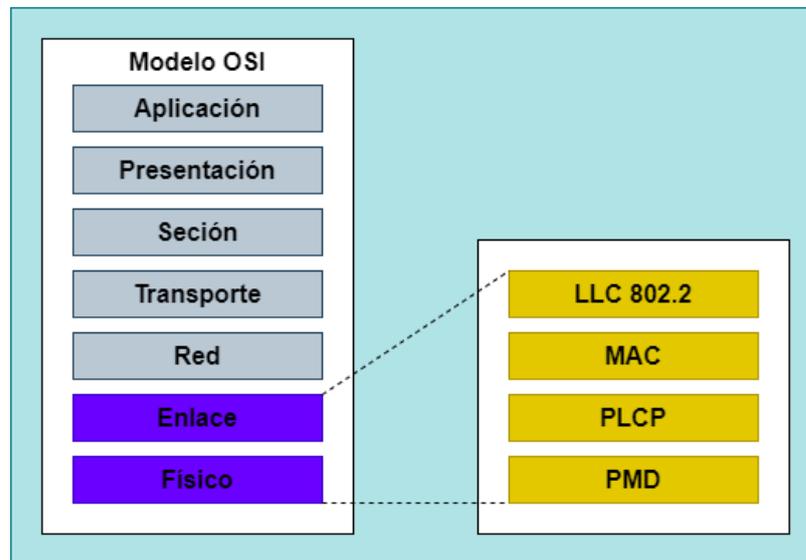
#### **2.4.1.2. Modelo OSI IEEE 802.11**

Similar a otros estándares IEEE 802, este estándar se enfoca en los dos niveles más bajos del modelo OSI: la capa física y la capa de enlace de datos, tal como se ilustra en la

**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 8**

*Capas del modelo OSI para el estándar IEEE 802.11*



*Nota: Elaboración propia. Adaptado de (802.11, 2012)*

### 2.4.1.3. Capa Física 802.11

Esta capa define todos lo relacionado con la emisión de señales de radiofrecuencia, las modulaciones, el tipo de antena, la potencia de transmisión, y los medios para el cambio de las tasas de trasmisión de datos.

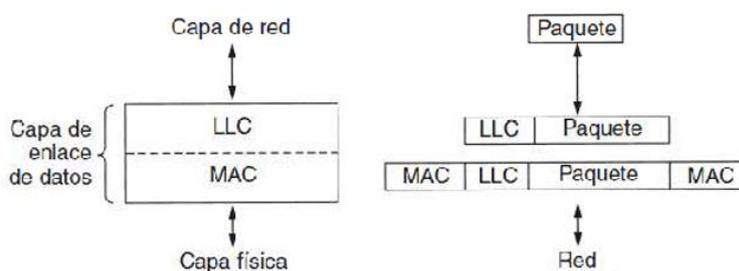
Respecto a la capa física, se nota una alineación significativa entre las funciones propuestas por el modelo OSI y aquellas que se definen en el estándar 802.11. No obstante, al abordar la capa de enlace de datos, se observa que esta se divide en diversas subcapas en todos los estándares pertenecientes a este conjunto. Con el fin de facilitar la implementación de sistemas capaces de realizar tanto la corrección de errores como la gestión del flujo de datos de manera eficiente, el IEEE ha elaborado un protocolo destinado a operar a través de todos los protocolos de la serie 802. Dicho protocolo, denominado LLC (Control Lógico de Enlace) o IEEE 802.2, actúa como la parte superior de la capa de enlace de datos y funciona

conjuntamente con la subcapa MAC (Control de Acceso al Medio) como se indica en la Figura 9

Distribución de subcapas LLC y MAC8. (Schauer, 2018)

### Figura 9

*Distribución de subcapas LLC y MAC*



*Nota: Obtenida de (Soto Sánchez & Ofelia Adriana, 2011)*

La capa física está estructurada en dos subcapas diferenciadas: PMD y PLCP. La subcapa PMD (Dependiente del Medio Físico) se encarga de la modulación y la implementación de técnicas de espectro ensanchado. Entre las opciones de espectro ensanchado, se prefirió la secuencia directa (DSSS, Direct Sequence Spread Spectrum) sobre los saltos de frecuencia (FHSS, Frequency Hopping Spread Spectrum) debido a que la última no cumplía con las normativas de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC). Por otro lado, la subcapa PLCP (Procedimiento de Convergencia de la Capa Física) se responsabiliza de preparar las tramas recibidas de la capa MAC para su transmisión por medio radioeléctrico, agregándoles un preámbulo y una cabecera. (Milagro Lardiés & Los Santos Aransay, 2009)

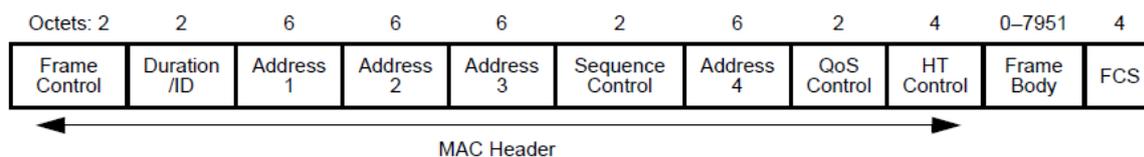
#### 2.4.1.4. Capa MAC 802.11

La trama MAC (Control de Acceso al Medio) en el estándar IEEE 802.11 es fundamental para gestionar la comunicación en redes inalámbricas. La trama MAC es la estructura de datos que se utiliza para encapsular la información transmitida a través de la red

Wi-Fi. Aquí se incluyen no solo los datos, sino también la información necesaria para que el receptor procese adecuadamente la trama, maneje el control de acceso al medio, y asegure la entrega.

**Figura 10**

*Formato de la trama 802.11*



*Nota: Elaboración propia. Adaptado de (802.11, 2012)*

En la Figura 10 se indica el formato de la trama según el estándar 802.11, en la Tabla 5 se explica que es cada parte de esta:

**Tabla 4**

*Estructura de la Trama MAC en IEEE 802.11*

<b>Estructura de la Trama MAC en IEEE 802.11</b>	
<b>Frame Control</b>	Campo de 2 bytes que contiene información sobre el tipo de trama, la versión del protocolo y flags como si la trama está protegida por WEP/WPA/WPA2
<b>Duration/ID</b>	Campo de 2 bytes que indica la duración necesaria para transmitir el frame.
<b>Address Fields</b>	Hasta cuatro campos de direcciones de 6 bytes cada uno (Address 1, Address 2, Address 3, Address 4), que identifican el destino, la fuente, y otras funciones como el BSSID.
<b>Sequence Control</b>	Campo de 2 bytes que contiene un número de secuencia y un fragment number para ayudar en el ensamblaje de las tramas fragmentadas.
<b>Carga Útil (Payload)</b>	La carga útil lleva los datos del usuario y varía en tamaño, generalmente hasta un máximo de 2304 bytes, pero puede ser más pequeña dependiendo del overhead del encabezado y los requerimientos del canal.
<b>FCS (Frame Check Sequence)</b>	Un campo de 4 bytes al final de la trama que contiene un checksum CRC-32 para verificar la integridad de los datos recibidos.

## 2.5. Software para Domótica

En la implementación de sistemas domóticos adaptados a las necesidades específicas de personas con paraplejía, el componente de software adquiere un papel fundamental. Si bien los elementos de hardware, como controladoras y actuadores, constituyen la base física del sistema, es el software el que permite la programación, integración y control de estos dispositivos de manera inteligente y personalizada. La utilización de plataformas y entornos

de desarrollo de software proporciona las herramientas necesarias para diseñar interfaces intuitivas, implementar algoritmos de automatización y establecer protocolos de comunicación efectivos entre los diversos componentes del sistema domótico. Además, el software posibilita la incorporación de funcionalidades avanzadas, como el reconocimiento de voz, el aprendizaje automático y la integración con asistentes virtuales, ampliando así las capacidades del sistema y mejorando la experiencia del usuario. En consecuencia, el empleo de soluciones de software específicamente diseñadas para la domótica resulta indispensable para lograr un sistema verdaderamente adaptado a las limitaciones físicas y necesidades individuales de las personas con paraplejia, brindándoles un mayor grado de autonomía, comodidad y calidad de vida en su entorno doméstico.

### **2.5.1. Plataforma de Desarrollo: Arduino IDE**

Arduino IDE es un entorno de desarrollo integrado (IDE) de código abierto diseñado específicamente para el microcontrolador Arduino. Es una plataforma compuesta por hardware y software que permite a los usuarios crear y cargar programas en el microcontrolador de manera eficiente. Destaca por su facilidad de uso tanto para principiantes como para desarrolladores experimentados, ofreciendo un editor de código intuitivo y una amplia gama de funciones, incluyendo un lenguaje de programación basado en C/C++, bibliotecas integradas, compatibilidad con diversas placas Arduino y una herramienta de comunicación serial para depuración y monitoreo de datos. Con su capacidad de compilación y carga de código integrada, Arduino IDE ha transformado la forma en que los entusiastas y profesionales de la electrónica desarrollan proyectos de hardware, convirtiéndose en una herramienta esencial en el campo de la electrónica y la programación.(Arduino, 2020)

### **2.5.2. Desarrollo de Aplicaciones: Android Studio**

Android Studio es una potente herramienta de desarrollo que ha transformado la creación de aplicaciones para Android. Antes de su existencia en 2008, los desarrolladores se enfrentaban a desafíos debido a la falta de una solución integral. Android Studio resuelve esto proporcionando un entorno de desarrollo integrado específicamente para Android, con características como una interfaz gráfica de usuario intuitiva, sugerencias de código inteligentes, configuración de proyectos simplificada, depuración avanzada, emuladores y dispositivos virtuales para pruebas, y la integración con herramientas populares como Gradle.(Hagos, 2018)

### **2.5.3. Creación de Aplicaciones: APP Inventor**

App Inventor, una herramienta web de desarrollo, es el resultado de una colaboración entre el Instituto Tecnológico de Massachusetts y el equipo de Google Education. Su propósito es introducir a las personas en el ámbito de la programación, permitiéndoles crear aplicaciones para dispositivos móviles Android, tanto simples como complejas. Este sistema emplea un lenguaje de programación basado en bloques, similar a piezas de construcción, y se enfoca en eventos. Su principal función es comunicar al dispositivo móvil lo que queremos que haga y cómo hacerlo. Es recomendable tener un dispositivo Android para probar los programas mientras los desarrollamos.(Biogeo, 2023)

## **2.6. Interfaz de Usuario en Sistemas Domóticos**

La interfaz de usuario en una aplicación domótica es la conexión entre los usuarios y su sistema de hogar inteligente. Debe ser intuitiva, visualmente atractiva y fácil de usar, permitiendo el control eficiente y el monitoreo de dispositivos domésticos. Incluye funciones como el control remoto, visualización de estados y programación de escenarios, adaptándose a las preferencias del usuario. Es esencial que sea compatible con múltiples dispositivos y plataformas. En resumen, la interfaz de usuario es crucial para una experiencia positiva en la

automatización del hogar, facilitando la interacción y el control de manera eficiente y personalizada (Kim et al., 2020).

### 2.6.1. Características de Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario (UI) en una aplicación de domótica debe poseer características esenciales para asegurar una experiencia satisfactoria. Primero, debe ser intuitiva, facilitando el uso incluso para usuarios no familiarizados con la tecnología domótica. Asimismo, debe ser visualmente atractiva, utilizando una paleta de colores coherente y tipografía agradable para motivar su uso. La personalización es crucial, permitiendo a los usuarios ajustar la interfaz a sus preferencias, como colores y tamaños de fuente. Además, debe ser responsiva, adaptándose a diferentes dispositivos y tamaños de pantalla. La accesibilidad es fundamental, garantizando que todos los usuarios, incluidos aquellos con discapacidades, puedan utilizarla con comodidad. Por último, debe ser completa, ofreciendo todas las funciones necesarias para controlar y configurar dispositivos domésticos, como el control remoto y la programación de escenarios. En la Tabla 5 se describen estas características que combinadas aseguran una interfaz de usuario efectiva y satisfactoria en una aplicación de domótica (Gomes et al., 2021).

**Tabla 5.**

*Características Clave de una Aplicación de Interfaz de Usuario*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Intuitiva</b>	Fácil de usar y comprender, incluso para usuarios no familiarizados con la tecnología.
<b>Atractiva visualmente</b>	Diseño agradable, con paleta de colores coherente y tipografía atractiva.
<b>Personalizable</b>	Capacidad de adaptarse a las preferencias y necesidades de los usuarios.
<b>Responsiva</b>	Se adapta a diferentes tamaños de pantalla y dispositivos.
<b>Accesible</b>	Cumple con estándares de accesibilidad y ofrece funciones para usuarios con discapacidades.
<b>Completa</b>	Proporciona todas las funciones necesarias para el control y

---

configuración de dispositivos.

---

*Fuente: Elaboración propia. Adaptado de (Gomes et al., 2021).*

---

### **2.6.2. Adaptación a Dispositivos Móviles: Smartphone Android**

La mayoría de los dispositivos móviles actuales funcionan con el sistema operativo Android, desarrollado por Google. Estos smartphones se destacan por su versatilidad, amplia variedad de funciones y aplicaciones, así como su integración con los servicios de Google. Android es un sistema operativo de código abierto que permite a los fabricantes personalizarlo según sus necesidades, resultando en una amplia diversidad de dispositivos con diferentes especificaciones y características. Los smartphones Android son reconocidos por su facilidad de uso, compatibilidad con una amplia variedad de aplicaciones, y su capacidad para adaptarse a las preferencias y necesidades de los usuarios (Lee, K., & Won, Y., 2012).

Tras haber especificado los conocimientos previos necesarios para la implementación de la solución tecnológica destinada a ayudar a personas que sufren de paraplejía, es fundamental seleccionar una implementación exitosa de un sistema domótico adaptado a las necesidades específicas de este grupo. Esto requiere no solo la integración adecuada de componentes de hardware y software, sino también la adopción de una metodología sólida que guíe el proceso de diseño, desarrollo e implementación.

### **2.7. Metodología en Cascada**

La metodología en cascada, también conocida como modelo lineal secuencial, es un enfoque de desarrollo de software en el cual las fases del ciclo de vida se ejecutan de manera secuencial y rigurosa. Cada fase debe completarse en su totalidad antes de avanzar a la siguiente, lo que garantiza un desarrollo ordenado y controlado del proyecto (Garcés & Egas, 2013).

Las fases de esta metodología son las siguientes:

- **Análisis de requisitos:** En esta fase se realiza un análisis exhaustivo de los requisitos y necesidades del proyecto, para tener una comprensión clara de los objetivos y alcance del mismo.
- **Diseño del sistema:** Una vez definidos los requisitos, se procede a diseñar la arquitectura del sistema, definiendo la estructura, componentes y relaciones entre ellos.
- **Implementación:** En esta fase se lleva a cabo la codificación y construcción del sistema, siguiendo el diseño establecido en la fase anterior.
- **Pruebas:** Se realizan pruebas exhaustivas para verificar el correcto funcionamiento del sistema y detectar posibles errores o defectos.
- **Mantenimiento:** Una vez puesto en producción, se realizan tareas de mantenimiento y soporte para corregir errores, actualizar funcionalidades y adaptarse a nuevos requisitos.

### **CAPÍTULO III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

El Capítulo III, detalla exhaustivamente el desarrollo y la implementación de un sistema domótico diseñado para mejorar la autonomía de Wilman Maya, quien sufre de distrofia muscular de Becker. Este capítulo comienza con una evaluación del estado actual de los sistemas en la vivienda de Wilman, identificando la necesidad de automatización en áreas críticas como la apertura de puertas, control de iluminación, manejo de la estación de radio y operación de dispositivos de entretenimiento. Se discute la infraestructura existente, incluyendo los planos de la vivienda y el sistema eléctrico, estableciendo la base para las adaptaciones necesarias.

Se presenta un conjunto de actividades planificadas para integrar tecnologías avanzadas que permitan a Wilman controlar efectivamente su entorno con mínima o ninguna ayuda externa. Se especifican los requerimientos del sistema, incluyendo hardware y software, con un enfoque en la selección de componentes que soporten conectividad Wi-Fi, interfaces de usuario amigables y dispositivos actuadores para la manipulación física dentro del hogar. El diseño del sistema cubre la configuración de la red inalámbrica, la selección de la tecnología adecuada y la planificación detallada del diseño electromecánico para asegurar la integración efectiva de todas las soluciones tecnológicas.

Este capítulo también aborda la implementación del sistema, detallando cada paso desde la configuración de la red hasta la instalación física y la programación de dispositivos controladores. Se concluye con la implementación de interfaces de usuario personalizadas, incluyendo aplicaciones móviles y sistemas controlados por asistente virtual, garantizando que Wilman pueda manejar su entorno de manera eficiente y autónoma. Este enfoque integral no solo mejora la autonomía de Wilman, sino que también establece un modelo para futuras adaptaciones en hogares de personas con condiciones similares.

### **3.1. Características Generales**

La finalidad de este trabajo es realizar un sistema el cual un usuario en estado de paraplejia pueda controlar el sistema domótico que se pretende desarrollar en su hogar así poder darle más independencia en su vida diaria.

Controlar varios sistemas en el hogar ayuda significativamente a una persona en estado de paraplejia ya que el diseño del sistema facilitara la interacción con el usuario.

#### **3.1.1. Estado Actual De Los Sistemas A Controlar En La Vivienda**

En la vivienda actualmente no existe algún sistema el cual opere o controle los dispositivos o mecanismos a ejecutar, al hablar de mecanismo directamente esta referido a puertas y ventanas, y los sistemas como iluminación y control de la corriente monofásica para el sistema de radio que opera la persona en estado de paraplejia.

De esta manera se entiende que todo se ejecuta de manera manual teniendo la necesidad de contar con una persona la cual pueda ejecutar las tareas antes mencionadas.

La vivienda tiene suministro de energía eléctrica, que será la fuente de alimentación del sistema domótico, además de internet necesarios para aplicarlo.

El área donde se aplicará se encuentra ubicado en el municipio del contadero-Nariño, donde se ubica una persona en condición de paraplejia, haciendo referencia a enfermedades huérfanas padece de distrofia muscular de Becker la cual con el tiempo hace que vaya perdiendo motricidad en todo su cuerpo.

### ***3.1.1.1. Descripción de la vivienda***

Uno de los factores cruciales al planificar una instalación domótica es familiarizarse con el espacio físico donde se implementará. Esto permite evaluar elementos clave como el coste, la cantidad de nodos que se utilizarán, y el tipo de nodos requeridos, entre otros aspectos. Generalmente, esta evaluación se lleva a cabo analizando los planos eléctricos y arquitectónicos.

La casa en cuestión presenta un diseño rústico denominado modelo en siete como de indica el la Figura 11 y se localiza en el departamento de Nariño municipio del Contadero.

#### **Figura 11**

*Ubicación de la vivienda*



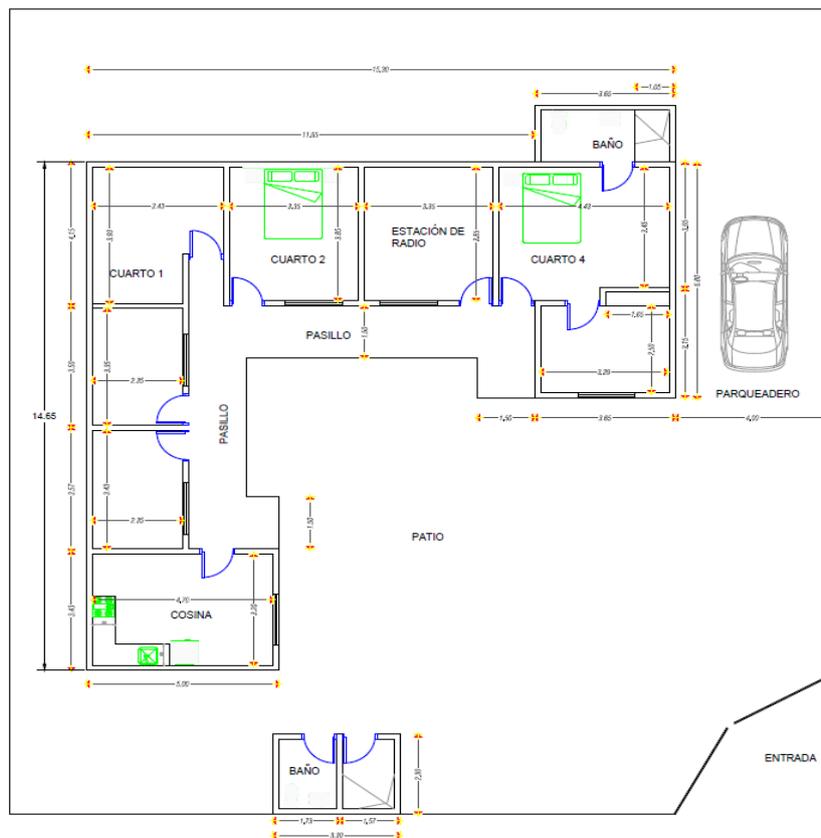
### ***3.1.1.1. Planos de la Vivienda***

Se ha diseñado el plano arquitectónico indicado en la Figura 12 de toda la vivienda ubicada en el departamento de Nariño-Contadero las cuales cuenta con las siguientes descripciones.

- Entrada Principal: Situada en el extremo inferior derecho del plano.
- Parqueadero: Ubicado en el extremo derecho, con espacio suficiente para un automóvil.
- Cuarto 1: Localizado en la esquina inferior izquierda, accesible a través del pasillo.
- Cocina: Situada debajo del cuarto 1, en la esquina inferior izquierda del plano.
- Pasillo: Fluye verticalmente en el centro del plano, conectando casi todas las habitaciones y áreas.
- Baño: Hay dos baños, uno accesible desde el pasillo central cerca de la cocina y el otro accesible desde el cuarto 4.
- Cuarto 2: Situado en la parte superior izquierda, justo al lado del pasillo.
- Estación de Radio: Se encuentra entre el cuarto 2 y el cuarto 4, marcado como un área especializada.
- Cuarto 4: Localizado en la esquina superior derecha, accesible desde el pasillo principal.
- Patio: Situado en el centro inferior del plano, accesible a través de una abertura en el pasillo.

**Figura 12**

*Plano arquitectónico de la vivienda donde se aplicará el sistema domótico*



*Nota: Elaboración propia, Usando software AutoCAD*

### **3.1.1.2. Sistema Eléctrico de la Vivienda**

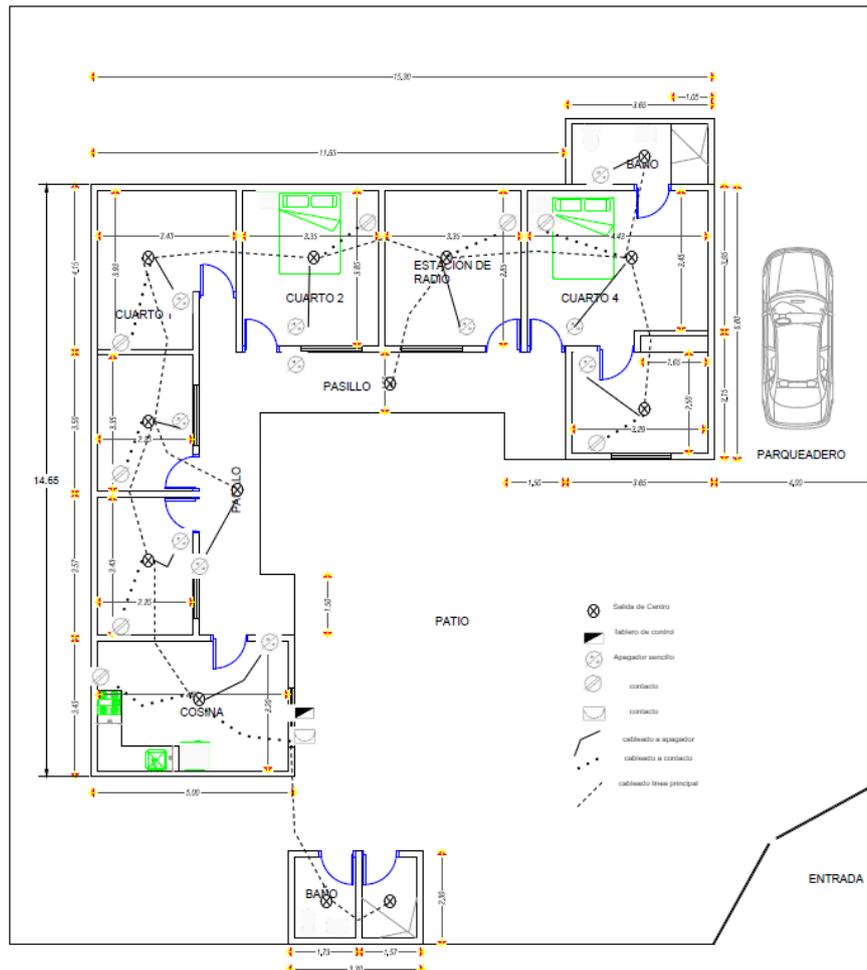
El sistema eléctrico de la vivienda ha sido examinado para determinar su conformación actual. Cada habitación está equipada con un contacto eléctrico, una bombilla y un interruptor sencillo. Dado que la instalación eléctrica es antigua, no cumple con todas las normativas y medidas de seguridad actuales. En respuesta a las necesidades de una persona con discapacidad que se desplaza principalmente entre el cuarto 4, la estación de radio y el baño, se ha decidido ubicar el sistema domótico en estas áreas. Esto se ilustra en la Figura 13, que muestra los planos eléctricos de la vivienda.

Debido a la necesidad de más tomas para la instalación del sistema domótico, y para evitar interferencias con los contactos eléctricos existentes, se ha optado por incrementar el

número de tomacorrientes en el cuarto 4 y la estación de radio. Esta medida garantiza el suministro eléctrico necesario para el sistema domótico sin afectar el funcionamiento de otros dispositivos eléctricos en la vivienda.

**Figura 13**

*Planos eléctricos de la vivienda*



*Nota: Elaboración propia, Usando software AutoCAD*

### 3.1.1.3. Situación Actual de Control de Sistemas

Wilman Maya vive con una condición conocida como distrofia muscular de Becker, una forma de paraplejía que limita significativamente su movilidad y fuerza física. En su vida cotidiana, enfrenta diversos desafíos que requieren la intervención de un cuidador para

realizar tareas básicas. A continuación, se describe cómo se gestionan actualmente algunas de estas actividades en su hogar, antes de la instalación de un sistema domótico.

### 3.1.1.3.1. Apertura de Puertas

Actualmente, Wilman depende completamente de la ayuda de otra persona para abrir y cerrar las puertas dentro de su hogar. Esta dependencia limita su capacidad para moverse libremente por su espacio, lo cual puede afectar su autonomía y privacidad. Cada vez que necesita entrar o salir de una habitación, Wilman tiene que esperar que alguien esté disponible para asistirlo, lo que puede resultar en una pérdida de independencia en su vida diaria.

#### Figura 14

*Apertura de Puertas*



*Nota: fotografía tomada de cómo se realiza la apertura de puertas actualmente*

### 3.1.1.3.2. Control de Iluminación

La capacidad de Wilman para encender y apagar las luces también está mediada por otra persona. Sin la fuerza necesaria para operar interruptores convencionales o la agilidad

para manejar controles remotos estándar, él depende de su cuidador para ajustar la iluminación de acuerdo con sus necesidades. Esta situación puede ser particularmente limitante durante la noche o en situaciones de emergencia donde el control rápido de la iluminación es crucial.

### Figura 15

*Encender/Apagar luces*



*Nota: fotografía tomada de cómo se realiza el encendido de la iluminación actualmente*

#### 3.1.1.3.3. Uso de Estación de Radio

Wilman disfruta de su pasión por la radio, ya que él mismo opera y trabaja en su propia estación de radio. Esta actividad no solo le proporciona una fuente de entretenimiento y conexión con el mundo exterior, sino que también forma parte esencial de su vida profesional. Sin embargo, debido a las limitaciones físicas impuestas por la distrofia muscular de Becker, siempre necesita la ayuda de otra persona para poder conectar a la energía eléctrica y encender todos sus equipos para poder estar al aire con todos sus oyentes.

**Figura 16***Estación de Radio*

*Nota: fotografía tomada actualmente como trabaja en la estación de radio*

#### **3.1.1.3.4. Dispositivos de Entretenimiento**

En su entorno actual, Wilman también enfrenta limitaciones para controlar dispositivos de entretenimiento personal, como la televisión. A pesar de que la tecnología televisiva moderna ofrece una variedad de opciones de entretenimiento accesibles, la falta de adaptaciones específicas significa que Wilman no puede disfrutar de estas comodidades de forma independiente. La instalación de un sistema domótico que incluya interfaces de usuario accesibles y controles de voz o de un solo toque podría transformar significativamente la experiencia de Wilman, permitiéndole manejar su televisión y otros dispositivos de entretenimiento con total independencia.

**Figura 17***Dispositivos de Entretenimiento*

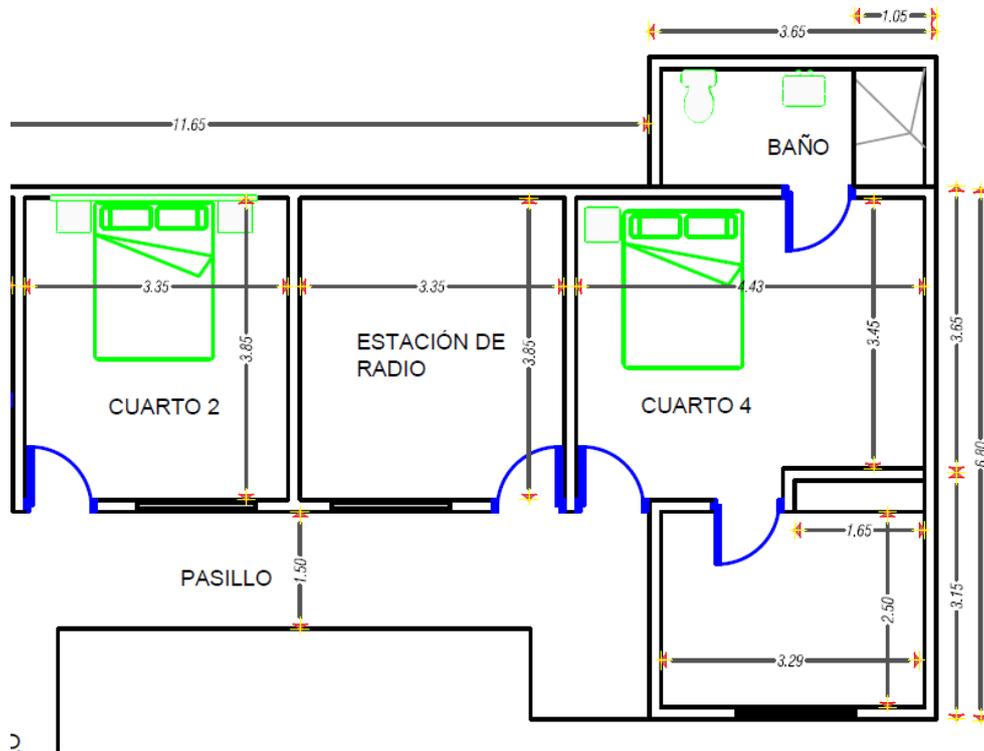
*Nota: fotografía tomada de cómo se encuentra el sistema de entretenimiento*

**3.1.2. Área Donde se Aplicará el Sistema Domótico**

El sistema domótico está siendo implementado en áreas clave de la vivienda para maximizar la autonomía de Wilman. En el cuarto 4, que es el principal, se han integrado funciones domóticas como el control de iluminación, la apertura de puertas y la gestión de dispositivos de entretenimiento como la televisión. Este cuarto también incluye un baño adaptado con sistemas automatizados para la apertura de puertas. Además, en la estación de radio, donde Wilman desarrolla su actividad profesional, se ha instalado automatización para la apertura de puertas y cortinas, así como para el control de la iluminación, facilitando su manejo independiente. En el cuarto 2, que alberga el router principal del proveedor de internet, se ha planificado la extensión de la cobertura mediante la instalación de un segundo router dirigido hacia la estación de radio, asegurando así una conexión ininterrumpida para todos los dispositivos involucrados en el sistema domótico.

**Figura 18**

*Área para aplicar el sistema domótico*



*Nota: Elaboración propia*

### 3.1.3. Conjunto De Actividades

Se analizan varias actividades a desarrollar para el sistema domótico, que se enumera a continuación, detallando que se deben controlar tantos sistemas, además se puede recalcar que se puedan operar dentro del sistema domótico y no pierden su funcionalidad de poder controlar manualmente ya que en la vivienda existen individuos que no necesariamente necesitan tener control del sistema domótico a incorporar.

1. Ingresar a las habitaciones por las puertas abatibles con mecanismos electromecánicos capaces de abrir y cerrar.
2. Controlar sistema de apertura de cortina de la ventana de la habitación con sistema electromecánico automático.
3. Controlar las tomas de energía monofásica para el sistema de radio

4. Controlar las tomas de energía monofásica para los electrodomésticos
5. Encender la luminaria de diferentes habitaciones
6. Controlar una alarma sonora para emergencias

#### **3.1.4. *Requerimientos Del Sistema***

En este marco, la norma ISO/IEC/IEEE 29148-2018 desempeña un papel clave, ya que proporciona pautas detalladas para la ingeniería de requisitos en sistemas y software. Esta etapa es esencial para garantizar que la solución domótica que se está diseñando no solo cumpla con las expectativas técnicas y funcionales, sino que también responda de manera efectiva a las necesidades específicas del usuario principal, en este caso una persona en condición de paraplejía. Se detallan las especificaciones que debe cumplir los distintos componentes del sistema.

Seguir estas pautas es fundamental para diseñar un sistema integrado y eficaz que combine adecuadamente diversos componentes y tecnologías, asegurando así un funcionamiento fluido y una mejor experiencia de usuario.

##### **3.1.4.1. *Designación de Stakeholders***

Los Stakeholders es un aspecto crucial en el desarrollo del sistema, bajo la norma ISO/IEC/IEEE 29148-2018. Esta norma establece un enfoque sistemático para la ingeniería de requisitos, destacando la importancia de identificar a los interesados sobre sus etapas iniciales. Garantizar que los requisitos del sistema sean completos y estén alineados con las necesidades de todos los usuarios, de igual manera promueve una mayor aceptación del sistema, se ha considerado el listado de las partes interesadas como se indica en la Tabla 6.

**Tabla 6***Designación de Stakeholders*

<b>Listado de Stakeholders</b>	
<b>Ing. Jaime Michilena MSc.</b>	Tutor de tesis
<b>Ing. Edgar Maya MSc.</b>	Asesor de Tesis
<b>Sr. Wilman Maya</b>	Usuario Directo
<b>Sr. Edwin Solano</b>	Desarrollador

**3.1.4.2. Nomenclatura de Requerimientos**

En la siguiente Tabla 7 se presentan las abreviaturas correspondientes a cada proceso que se llevará a cabo durante el desarrollo del proyecto.

**Tabla 7***Nomenclatura de Requerimientos*

<b>Abreviatura</b>	<b>Requerimientos</b>
<b>StSR</b>	Requerimientos de Stakeholders
<b>ArSR</b>	Requerimientos de Arquitectura
<b>SySR</b>	Requerimientos de sistema

**3.1.4.3. Requerimientos de Stakeholders**

En este contexto, donde el beneficiario directo es Wilmar Maya, se identifican varios requerimientos esenciales para el desarrollo del sistema domótico. Se analiza la situación actual, en la que Wilman comenta los principales desafíos que enfrenta al realizar tareas específicas. Esta información proporciona puntos relevantes para el desarrollo del proyecto, permitiendo abordar problemáticas concretas y ajustar el sistema para satisfacer eficazmente las necesidades específicas de Wilman, mejorando así su autonomía mediante soluciones tecnológicas adaptadas.

**Tabla 8***Requerimientos de Stakeholders*

Nro.	Requerimientos de Stakeholders	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>Requerimientos operacionales</b>				
<b>StSR1</b>	Los dispositivos deben contar con alimentación eléctrica	X		
<b>StSR2</b>	Los dispositivos necesitan tener sistemas de baterías			X
<b>StSR3</b>	Deben proporcionar una conexión a internet estable y rápida que soporte el funcionamiento continuo y eficiente del sistema domótico.	X		
<b>StSR4</b>	El sistema debe ser redundante y no solo funcionar por aplicación y asistente virtual, sino también de manera manual.	X		
<b>StSR5</b>	El sistema debe permitir al usuario controlar todos los dispositivos domóticos fácilmente a través de interfaces accesibles, como comandos de voz y una aplicación móvil adaptada.	X		
<b>StSR6</b>	El funcionamiento de los dispositivos del sistema debe ser continuo.	X		
<b>Requerimientos de usuario</b>				
<b>StSR7</b>	El usuario del sistema puede usar el sistema con el dispositivo móvil y asistente virtual.	X		
<b>StSR8</b>	El usuario tendrá facilidad de uso para controlar el sistema domótico	X		
<b>StSR8</b>	Se debe tener una infraestructura sólida y segura, para que cualquier fallo afecte la operatividad del sistema.	X		
<b>StSR9</b>	El sistema debe usarse con aplicación o asistente virtual.		X	

**3.1.4.4. Requerimientos de Arquitectura**

A partir del análisis detallado de estos requerimientos, se puede especificar con precisión las características de hardware y software que son necesarias para desarrollar un sistema domótico eficiente y adecuado. En la tabla presentada a continuación, se enumeran exhaustivamente estos requisitos, proporcionando una guía clara para cada aspecto del diseño y garantizando que los componentes que se requieren sean los óptimos para el sistema.

**Tabla 9***Requerimientos de Arquitectura*

Nro.	Requerimientos de Arquitectura	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>Requerimientos lógicos</b>				
<b>ArSR1</b>	El sistema domótico deberá emplear tecnologías de comunicación compatibles	X		
<b>ArSR2</b>	La conexión entre los dispositivos debe mantenerse estable	X		
<b>ArSR3</b>	Los sistemas deben tener sensores para saber el estado en que se encuentra	X		
<b>ArSR4</b>	El sistema debe funcionar con baterías			X
<b>Requerimientos de hardware</b>				
<b>ArSR5</b>	El microcontrolador debe tener mayores capacidades de procesamiento		X	
<b>ArSR6</b>	Los nodos deben soportar comunicación 802.11 b/g/n a 2.4 GHz	X		
<b>ArSR7</b>	Los actuadores deben tener contar con comunicación 802.11 b/g/n a 2.4 GHz	X		
<b>ArSR8</b>	Los sistemas mecánicos deben soportar cargas ligeramente fuertes	X		
<b>ArSR9</b>	Los sistemas deben contar con módulos que soporten voltaje elevado	X		
<b>ArSR10</b>	Se debe contar con fuentes de alimentación de diferentes voltajes	X		
<b>Requerimientos de software</b>				
<b>ArSR11</b>	El microcontrolador debe soportar lenguaje C/C++	X		
<b>ArSR12</b>	Los nodos deben soportar el lenguaje C/C++	X		
<b>ArSR13</b>	El sistema debe ser compatible con el asistente virtual Alexa	X		
<b>ArSR14</b>	El sistema debe tener compatibilidad con todos los dispositivos y actuadores.	X		

**3.1.4.4. Requerimientos del Sistema**

Se analizan los requerimientos del sistema, se consideran los pasos anteriores en los que este puede cumplir y satisfacer todas las necesidades propuestas para el usuario final y que el sistema cumpla con lo necesario y funcione correctamente.

**Tabla 10***Requerimientos del Sistema*

Nro.	Requerimientos del Sistema	Prioridad		
		Alta	Media	Baja
<b>Requerimientos Interfaces</b>				
<b>SySR1</b>	Alimentación eléctrica mediante el puerto tipo C de 3.5v o directamente 3.5v a la placa	X		
<b>SySR2</b>	Contar con numero de pines necesarios para conexión de todos los sensores y actuadores	X		
<b>SySR3</b>	Alimentación de 12v DC y 120v AC para motores	X		
<b>SySR4</b>	Aplicación de control amigable y sencilla para el usuario final.	X		
<b>Requerimientos de uso</b>				
<b>SySR5</b>	La instalación debe ser segura y en lugares estratégicos	X		
<b>SySR6</b>	Los nodos deben estar probados con anterioridad con el software cargado.	X		
<b>SySR7</b>	Los nodos deben estar en contaste comunicación	X		
<b>SySR8</b>	Los nodos deben tener conexión a la red WI-FI	X		
<b>SySR9</b>	El sistema solamente debe funcionar por la aplicación o asistente virtual			X
<b>Requerimientos de Estados</b>				
<b>SySR10</b>	El sistema debe estar siempre en funcionamiento	X		
<b>SySR11</b>	La aplicación y el asistente virtual deben permanecer siempre funcionando	X		
<b>SySR12</b>	Se debe tener sensores para ver en qué estado se encuentra el sistema	X		
<b>Requerimientos físicos</b>				
<b>SySR13</b>	Se debe contar con una carcasa que proteja el sistema	X		
<b>SySR14</b>	Se deben realizar pruebas de funcionamiento antes de implementar	X		
<b>SySR15</b>	La casa deberá contar con un análisis para determinar donde se montarán los sistemas	X		
<b>SySR16</b>	Se debe contar con vigilancia por daños o extravíos de los componentes en el lugar de implementación.			X

**3.2. Diseño Del Sistema**

Se abordará las etapas esenciales para el diseño de un sistema domótico eficiente y personalizado que cumpla con las necesidades específicas del usuario. Desde la

conceptualización hasta la selección de componentes, cada paso se detallará para garantizar una integración óptima y un rendimiento superior del sistema.

### **3.2.1. Consideraciones Previas**

Es crucial considerar múltiples factores que influyen en la toma de decisiones de planificación y ejecución de un sistema domótico. Este proceso se realiza a través de un análisis detallado de los Stakeholders, identificando todos los requerimientos necesarios para el sistema. Asimismo, se determina qué especificaciones de hardware y software son las más adecuadas para satisfacer estas necesidades.

Primero, se realiza un inventario exhaustivo de los requerimientos propuestos por todos los interesados involucrados, lo que permite entender completamente las expectativas y necesidades del sistema. Posteriormente, se analiza cada uno de estos requisitos para establecer cuáles son las opciones más viables de hardware y software, considerando factores como la compatibilidad, el rendimiento y el costo.

La selección adecuada de hardware y software no solo depende de las especificaciones técnicas, sino también de la capacidad de estos componentes para integrarse y funcionar de manera eficiente dentro del entorno domótico propuesto. Este enfoque integral asegura que la implementación final sea funcional, escalable y capaz de adaptarse a las necesidades cambiantes o futuras expansiones.

### **3.2.2. Selección de Hardware Y Software Para El Sistema Domótico**

La elección del hardware y software adecuados es fundamental para el desarrollo de un sistema domótico eficaz. Esta sección se centrará en los criterios de selección de los componentes electrónicos y programas que formarán la base del sistema. Se examinarán las últimas tecnologías disponibles en el mercado, considerando su compatibilidad, escalabilidad

y soporte técnico. La correcta selección de estos elementos es vital para asegurar la funcionalidad continua y la adaptabilidad del sistema frente a futuras actualizaciones o necesidades emergentes.

### 3.2.2.1. Selección de Hardware Para el Sistema

Para elegir los componentes más adecuados para nuestro proyecto, se hace una comparativa detallada basada en los requerimientos establecidos. Este análisis permite identificar las opciones que ofrecen la mejor relación costo-beneficio y que, al mismo tiempo, satisfacen todos los criterios necesarios para el sistema. Se evalúan diversas alternativas tomando en cuenta factores como eficiencia, compatibilidad, soporte técnico y escalabilidad, asegurando que la selección final no solo sea económica, sino también efectiva y sostenible a largo plazo. Este proceso meticuloso garantiza una implementación exitosa que cumple con las expectativas y necesidades del proyecto.

#### 3.2.2.1.1. Selección del Microcontrolador Con Soporte WI-FI

En este apartado, se lleva a cabo un análisis comparativo de varios microcontroladores, basándonos en los requerimientos específicos previamente identificados. El objetivo es seleccionar el microcontrolador más adecuado que cumpla con estos criterios. Este proceso implica evaluar aspectos como la capacidad de procesamiento, eficiencia energética, compatibilidad con sistemas existentes y costo.

**Tabla 11**

*Selección del Microcontrolador*

Requerimientos	Microcontrolador		
	ESP32	Raspberry PI 4	Arduino YÚN
SySR1	1	1	1
SySR2	1	1	1
SySR8	1	1	0
ArSR1	1	1	0

<b>ArSR6</b>	1	1	0
<b>ArSR11</b>	1	1	1
<b>ArSR13</b>	1	0	0
<b>ArSR14</b>	1	1	0
<b>Total</b>	8	7	3

En este análisis, tras revisar la tabla proporcionada anteriormente, se ha determinado que el microcontrolador ESP32 satisface todas las condiciones requeridas. Este dispositivo posee las características esenciales que se alinean con los requerimientos del proyecto, lo que lo convierte en la opción ideal para nuestra implementación. Este hallazgo se basa en una evaluación detallada de sus especificaciones técnicas y su capacidad para integrarse eficientemente en el sistema propuesto.

### Figura 19

*Microcontrolador ESP32*



*Fuente: (Xukyo, 2024)*

#### 3.2.2.1.2. Selección de Asistente Virtual

Para la selección del asistente virtual adecuado, se aplica un análisis similar, teniendo en cuenta los requerimientos específicos del proyecto. Además, es esencial que el asistente seleccionado tenga la capacidad de soportar y controlar otros dispositivos y actuadores dentro del sistema. Este enfoque asegura que el asistente no solo cumpla con las funciones básicas,

sino que también se integre efectivamente con el ecosistema más amplio de la instalación domótica.

**Tabla 12**

*Selección del asistente virtual*

Requerimientos	Microcontrolador	
	Google Nest	Echo Dot Alexa
<b>StSR7</b>	1	1
<b>SySR9</b>	1	1
<b>SySR11</b>	1	1
<b>ArSR1</b>	1	1
<b>ArSR6</b>	1	1
<b>ArSR13</b>	1	1
<b>ArSR14</b>	1	1
<b>Total</b>	8	8

Según el análisis previo indicado en la Tabla 12, tanto Google Nest como Amazon Echo Dot Alexa cumplen con los requisitos para integrarse en la infraestructura del sistema domótico. Sin embargo, para este proyecto se ha elegido el Amazon Echo Dot Alexa, principalmente debido a su amplia compatibilidad con diversos dispositivos. Esta característica lo hace particularmente adecuado para el sistema, asegurando una mayor flexibilidad y eficiencia en la gestión de los dispositivos y actuadores conectados en la Figura 19 se indica el dispositivo.

**Figura 20***Amazon Alexa Echo dot 5*

*Nota: Tomado de Echo Dot (5.ª generación, modelo de 2022) | Parlante inteligente con Alexa | Carbón (Amazon, 2024)*

**3.2.2.1.2. Selección de Actuadores Para Iluminación**

Para elegir adecuadamente al actuador, debe cumplir con especificaciones particulares, incluyendo su capacidad para controlarse de tres formas distintas: mediante comandos de voz, mediante una aplicación móvil, y manualmente. Estos criterios aseguran que el dispositivo sea versátil y accesible en diferentes situaciones y para usuarios con distintas preferencias de interacción.

**Tabla 13***Selección de actuadores de iluminación*

Requerimientos	Actuador para Iluminación	
	SonOFF	WIFI Smart Switch
<b>StSR1</b>	1	1
<b>StSR3</b>	1	1
<b>StSR4</b>	0	1
<b>StSR5</b>	1	1
<b>ArSR1</b>	1	1

<b>ArSR7</b>	1	1
<b>ArSR13</b>	1	1
<b>ArSR14</b>	1	1
<b>SySR9</b>	0	1
<b>Total</b>	7	9

Para seleccionar el actuador adecuado para la iluminación, el WIFI Smart Switch es la opción más conveniente, según la Tabla 13 del análisis. Este dispositivo satisface todos los requerimientos esenciales establecidos para el sistema. Su compatibilidad y funcionalidad lo hacen ideal para integrarse de manera eficiente en el control de la iluminación, proporcionando una operatividad flexible y confiable.

### Figura 21

*Modulo Interruptor Wifi Inteligente 2 Vías*



*Nota: tomado de (Modulo Interruptor Wifi Inteligente 2 Vías, 2024)*

#### 3.2.2.1.3. Selección de Actuadores Para Tomas De Corriente Monofásica

El adaptador de corriente seleccionado debe ser apropiado y compatible con todos los criterios especificados para el sistema. Además, es esencial que pueda manejar cargas superiores a 5 amperios y que sea compatible con los protocolos IEEE 802.11 b, g, y n. Esta compatibilidad asegura que el adaptador pueda integrarse sin problemas con la infraestructura de red existente y manejar eficientemente la demanda energética de los dispositivos conectados.

**Tabla 14***Selección actuador para tomas*

Requerimientos	Actuador para Tomas
	Smart Plug
StSR1	1
StSR3	1
StSR5	1
ArSR1	1
ArSR7	1
ArSR9	1
ArSR13	1
ArSR14	1
SySR9	1
<b>Total</b>	<b>9</b>

En esta ocasión, se ha optado por seleccionar únicamente el dispositivo Smart Plug, debido a su costo económico y su capacidad para cumplir con todas las especificaciones requeridas, como se detalla en la Tabla 14. Este dispositivo ha sido elegido para integrarse en el sistema, proporcionando una solución eficaz que combina funcionalidad y asequibilidad, garantizando así que se ajuste perfectamente a las necesidades del sistema sin comprometer el presupuesto.

**Figura 22***Enchufe Conector Inteligente Smart Plug Wifi Google Alexa*

*Nota: tomado de Enchufe Conector Inteligente Smart Plug Wifi Google Alexa (COLNOVA, 2024)*  
 ([Adaptador De Corriente Inteligente Para Alexa Y Google Home | Envío gratis \(mercadolibre.com.co\)](#))

### 3.2.2.1.4. Selección de Actuadores Para Electrónica de Potencia

De acuerdo con los requerimientos especificados, los actuadores para la electrónica de potencia son necesarios para controlar motores eléctricos y manejar corrientes monofásicas de 110v. Basándose en estas necesidades, es esencial que estos actuadores también puedan ser controlados por el microcontrolador ESP32. Esta integración permite una gestión eficiente y precisa de los motores, asegurando que el sistema funcione de manera óptima y acorde a las especificaciones técnicas establecidas.

**Tabla 15**

*Selección de actuadores para electrónica*

Requerimientos	Actuador para Electrónica	
	Modulo Relay 4 canales 5V	Modulo Relay 1 canal 5V
<b>StSR1</b>	1	1
<b>StSR8</b>	1	1
<b>ArSR8</b>	1	1
<b>ArSR9</b>	1	1
<b>ArSR10</b>	1	1
<b>SySR16</b>	1	0
<b>Total</b>	6	5

El módulo Relay de 4 canales a 5v ha sido seleccionado, como se muestra en la Tabla 15, porque cumple con la funcionalidad de controlar múltiples dispositivos y manejar más de un tipo de voltaje simultáneamente. Además, este módulo es capaz de soportar corrientes de hasta 10 amperios, tanto en voltaje continuo como alterno. Estas características lo hacen especialmente adecuado para aplicaciones que requieren versatilidad y fiabilidad en la gestión de la energía eléctrica en distintos dispositivos.

**Figura 23**

*Modulo Rele 4 Canales Relay Arduino 5v*



Nota: tomado de Modulo Rele 4 Canales Relay Arduino 5v (YOROBOTICS, 2024) ([Modulo Rele 4 Canales Relay Arduino 5v Microcontrolador Pic | Cuotas sin interés \(mercadolibre.com.co\)](#) )

### 3.2.2.1.5. Selección de Motores Eléctricos Para Apertura de Puertas y Ventanas

Para gestionar la apertura y cierre de puertas, es necesario utilizar motores eléctricos que ofrezcan la fuerza suficiente para estas funciones. Además, estos motores deben ser compactos, operar con voltaje de corriente continua (DC) y contar con capacidad para invertir el giro. Con el fin de seleccionar el motor más adecuado, se ha elaborado una tabla comparativa que analiza las características de diversos motores eléctricos. Este análisis detallado ayuda a asegurar que el motor elegido cumpla eficientemente con los requisitos del sistema.

**Tabla 16**

*Selección del motorreductor*

Requerimientos	Motores Eléctricos		
	Motorreductor 12v 10rpm 10kg	Motorreductor 12v 120rpm 16Kg	Motorreductor 12v 155rpm 4Kg
<b>StSR1</b>	1	1	1
<b>ArSR8</b>	1	1	0
<b>SySR3</b>	1	1	1
<b>Total</b>	3	3	2

De acuerdo con el análisis presentado en la Tabla 16, tanto el Motorreductor 12v 10rpm 10kg como el Motorreductor 12v 120rpm 16kg satisfacen los requerimientos necesarios. Para este proyecto, se utilizarán ambos tipos de motores, adaptándolos a diferentes sistemas según sus características específicas. El Motorreductor 12v 120rpm 16kg, que no es autoblocante, y el Motorreductor 12v 10rpm 10kg, que sí es autoblocante, serán asignados de manera estratégica para maximizar la eficiencia y funcionalidad en las diversas aplicaciones del sistema.

#### **Figura 24**

*Motorreductor 12v Motor De Fuerza*



*Nota: tomado de Motorreductor 12v Motor De Fuerza (Electrosena, 2024) ([Motoreductor 16kg 12v 120rpm Motor De Fuerza | MercadoLibre](#))*

#### **3.2.2.1.6. Selección de Alarma Sonora**

La función principal de la alarma sonora es activarse cuando es necesario emitir una alerta. Para ello, se disponen de dos tipos de alarmas: una multitono que opera a 12v DC y otra de tono único que se alimenta con 120v AC. Conforme a los requerimientos detallados en la Tabla 17, se seleccionará la alarma más adecuada para asegurar una respuesta eficaz en situaciones de alerta. Esta elección se basará en la evaluación de las características y necesidades específicas del sistema de seguridad implementado.

**Tabla 17***Selección de alarma*

Requerimientos	Alarma Sonora	
	Sirena 110v un tono	Sirena 12V multitono
<b>StSR1</b>	1	1
<b>StSR10</b>	1	1
<b>SySR3</b>	1	1
<b>Total</b>	3	3

Según la información proporcionada en la tabla, ambas sirenas cumplen con las funciones requeridas. Sin embargo, considerando que el voltaje más comúnmente disponible en el hogar es de 110v AC, se ha decidido optar por la sirena que opera bajo este voltaje debido a su mayor practicidad para la instalación en diversas ubicaciones de la casa. Esta elección garantiza una integración más sencilla y efectiva del sistema de alarma en el entorno doméstico.

### **3.2.2.1.7. Selección de Fuente de Alimentación Para el Sistema**

En este proyecto, se implementarán tres tipos de fuentes de alimentación para satisfacer las diferentes necesidades del sistema. Primero, se utilizará una fuente de alimentación diseñada para manejar cargas grandes que operan con la corriente alterna típica del hogar. Además, se dispondrá de una fuente de 5v específicamente para los microcontroladores, y otra de 12v destinada a los motores eléctricos. Para esta última, es crucial contar con fuentes que proporcionen 2 amperios de potencia, dado que los motorreductores operan dentro de este rango de consumo. Esta configuración asegura que cada componente reciba la energía adecuada para su óptimo funcionamiento.

### **3.2.2.2. Selección del Software Para el Sistema**

En esta situación, se ha seleccionado un software que es compatible con los microcontroladores ESP32 que vamos a utilizar. Este software permitirá programar todos los

algoritmos necesarios en cada microcontrolador, lo que es esencial para configurar las distintas funciones en cada nodo del sistema. Esta elección asegura que podamos maximizar la eficiencia y la efectividad de cada unidad, facilitando una integración fluida y una operación coherente del sistema completo.

### 3.2.2.2.1. Software de Gestión del Sistema

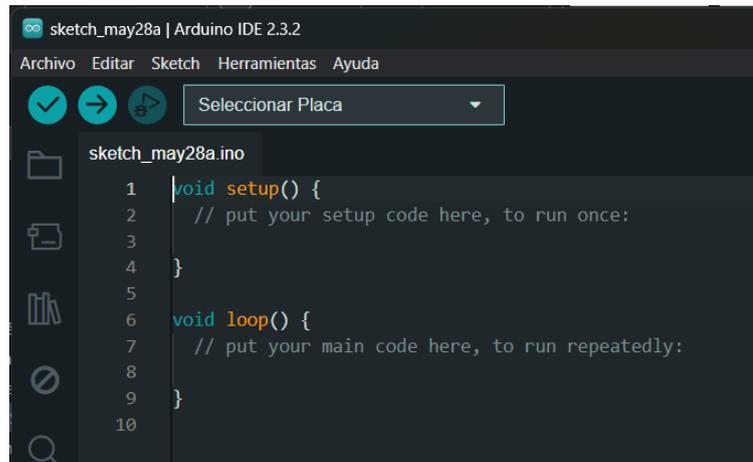
Se han evaluado dos opciones de programación para configurar y programar la ESP32: Python y Arduino IDE. Ambos lenguajes son compatibles con el dispositivo, pero la elección final se basará en un análisis detallado de los requerimientos, que se presentan en la tabla siguiente. Esta evaluación nos permitirá determinar cuál de estas herramientas se adapta mejor a las necesidades específicas del proyecto, asegurando así una implementación efectiva y eficiente.

**Tabla 18**

*Software para el sistema*

Requerimientos	Software para el sistema	
	Python	Arduino IDE
<b>ArSR11</b>	1	1
<b>ArSR12</b>	1	1
<b>StSR5</b>	1	1
<b>SySR6</b>	1	1
<b>Total</b>	4	4

Aunque ambos softwares son adecuados para la programación, la ESP32 se integra particularmente bien con el entorno de programación de Arduino. Por esta razón, se ha elegido Arduino IDE como la herramienta preferida para desarrollar los algoritmos en cada uno de los microcontroladores. Esta selección está motivada por la compatibilidad superior y la facilidad de uso que ofrece Arduino IDE, facilitando un proceso de desarrollo más fluido y eficiente.

**Figura 25***Interfaz gráfica de Arduino IDE*

*Nota: Se utilizarán la interfaz gráfica del IDE de Arduino para programar y cargar el firmware en los microcontroladores de las estaciones de monitoreo.*

### **3.2.3. Consideraciones Para el Diseño de la Red Inalámbrica**

Para el diseño de la red inalámbrica, es fundamental considerar que todos los actuadores y dispositivos funcionan conforme a los estándares Wi-Fi 802.11 b, g y n. Con este conocimiento, se puede estructurar de manera eficiente la comunicación entre los nodos y el proveedor de servicios de internet en el hogar. Este diseño garantizará que cada componente del sistema domótico funcione de manera óptima, asegurando una integración y operatividad fluidas de toda la infraestructura de red.

#### **3.2.3.1. Diseño de la Red Inalámbrica Wi-Fi**

La configuración de la red inalámbrica se determina según la ubicación específica de cada nodo dentro del modelo 3D de la Figura 26 en el espacio donde se instalarán los microcontroladores. Además, se define estratégicamente la posición del router en relación con cada componente del sistema domótico, incluyendo los actuadores de iluminación, tomacorrientes y otros nodos. Esta planificación cuidadosa asegura una cobertura óptima y

una comunicación eficiente entre todos los dispositivos, facilitando un control centralizado y mejorando la funcionalidad general del sistema.

### Figura 26

*Modelo 3D de los planos donde se ejecutará el sistema domótico*



Se explica cómo estará organizada la infraestructura de los nodos dentro del hogar, lo cual es esencial para entender el diseño de la red inalámbrica. Se detalla cómo cada uno de los nodos se interconectará con el nodo central y cómo se facilitará el acceso a internet a través del proveedor de servicios. Este esquema de conexión asegura que todos los componentes del sistema domótico puedan comunicarse eficazmente entre sí y con la red más amplia, permitiendo un manejo integrado y una funcionalidad completa del sistema.

En este caso en la Figura 27 se realiza un diseño de la infraestructura de red en los cuales se indican como se interconectan todos los nodos y los actuadores en una red descentralizada, además como se realiza la integración de los sistemas de domótica para activación de tomacorrientes e iluminación.

**Figura 27***Infraestructura de red Wi-Fi*

### 3.2.4. Construcción Del Sistema Domótico

En el siguiente apartado se expone el cómo se lleva a cabo el diseño y la construcción del sistema domótico completo. También, se proporciona una descripción de los diagramas esquemáticos, así como de los diseños eléctricos y electrónicos que constituyen la base del sistema. Además, se explica el procedimiento para integrar cada componente del sistema. Así se asegura una comprensión clara de cómo cada elemento interactúa dentro del sistema.

#### 3.2.4.1. Arquitectura del Sistema Domótico

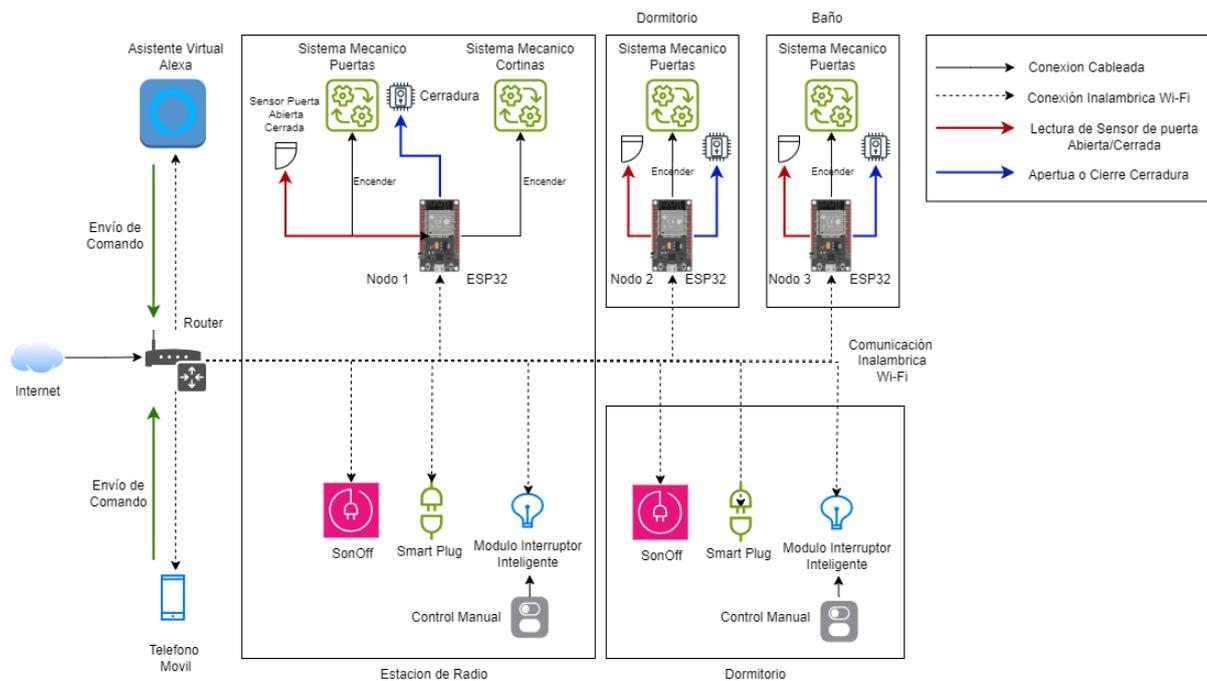
En el capítulo II en el apartado 2.2.4 de este documento, se especifica que existen diferentes arquitecturas posibles para el sistema. En este caso, se optó por una arquitectura descentralizada, donde se utilizan múltiples dispositivos ESP32 distribuidos por el sistema domótico. Cada ESP32 controla una parte específica del sistema, como actuadores y sensores, y se comunica de manera independiente con Alexa.

La ventaja principal de esta arquitectura es que proporciona mayor robustez y escalabilidad. A diferencia de una arquitectura centralizada, donde un fallo en el nodo central podría incapacitar todo el sistema y requerir mayor capacidad de procesamiento, la descentralizada permite que el sistema siga funcionando incluso si uno de los nodos falla.

En la Figura 28, se detalla la arquitectura del sistema domótico, ilustrando cómo los dispositivos están distribuidos y conectados para optimizar el funcionamiento y la gestión del hogar automatizado.

**Figura 28**

*Arquitectura del Sistema Domótico*



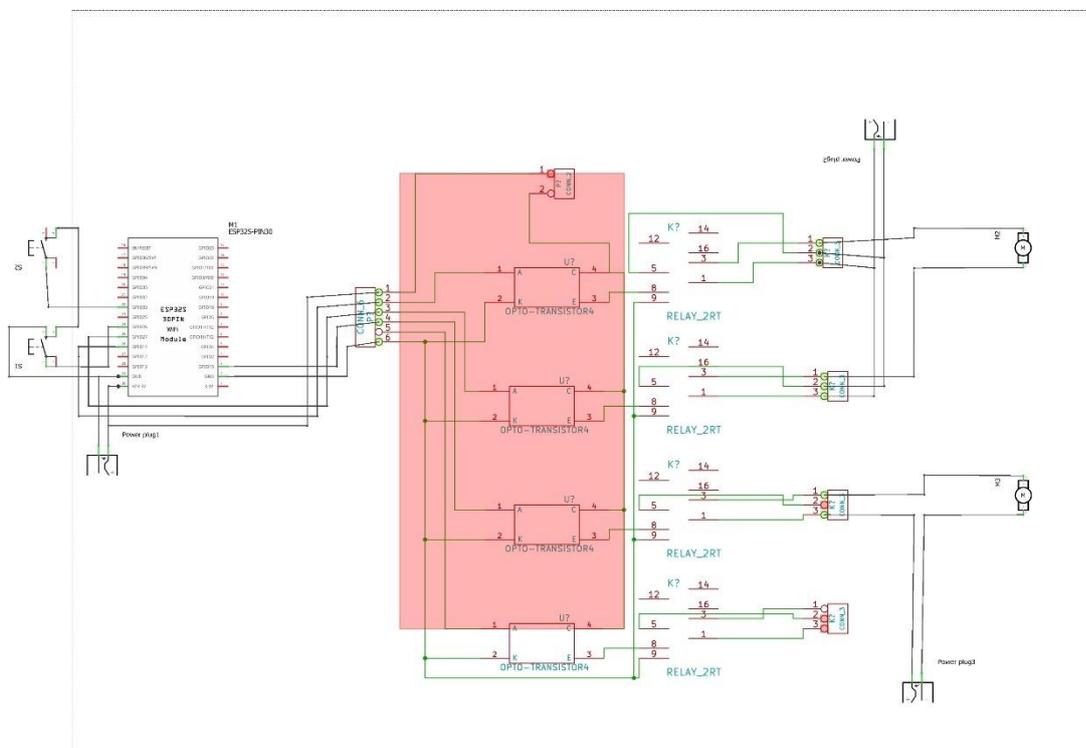
### 3.2.4.2. Diagrama de Conexiones Sistema de Puertas

Este nodo central, compuesto por un microcontrolador ESP32, juega un papel crucial en el control de diversos componentes. Específicamente, gestiona un módulo Relay que, a su vez, opera un motor encargado de desbloquear y abrir la puerta. Cuando se activa la orden de abrir, el motor libera la cerradura y comienza a mover la puerta. El proceso de apertura continúa hasta que un sensor, en este caso un switch de presión normalmente abierto (N/A),

detecta que la puerta está completamente abierta. Este switch, al cerrarse, envía una señal para que el motor se detenga. El mismo procedimiento se aplica en sentido inverso para cerrar la puerta. El accionamiento del motor se realiza a través de módulos Relay configurados en un arreglo de puente H, adaptando esta configuración mecánica para su funcionamiento efectivo con relés., en la Figura 29 se ilustra el diagrama esquemático del sistema de apertura de puertas.

**Figura 29**

*Esquemático del sistema de apertura de puertas*



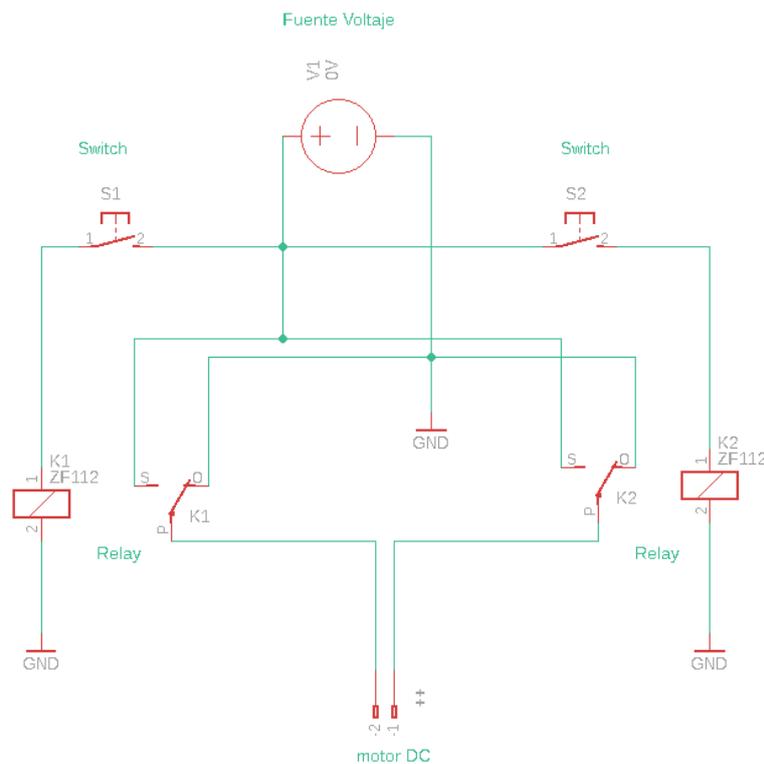
### 3.2.4.2.1. Esquemático de puente H con Relay

El puente H configurado con relés es un diseño de circuito que gestiona la dirección de rotación de un motor de corriente continua, facilitando su movimiento tanto en sentido horario como antihorario. Este sistema ajusta eficazmente la polaridad de la corriente suministrada al motor, permitiendo así el control preciso de la dirección en que gira. En la

Figura 30, se muestra un diagrama esquemático que ilustra cómo se realizan las conexiones en un puente H configurado con relés.

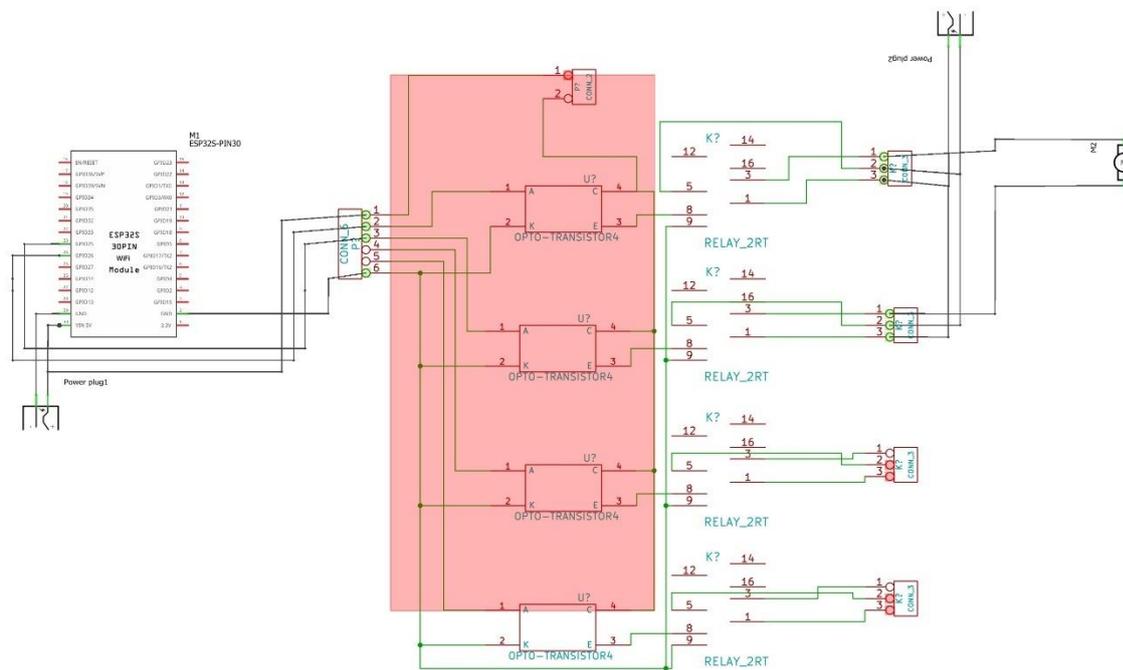
### Figura 30

Diagrama del puente H con relay



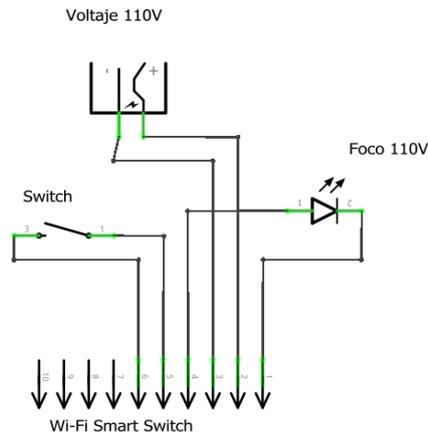
#### 3.2.4.3. Diagrama de Conexiones Sistema de Ventanas

Para el sistema de ventanas, se emplea un procedimiento similar utilizando el mismo diseño de puente H con relés. Sin embargo, en esta configuración no se incluyen sensores; en cambio, el funcionamiento del motor que abre y cierra la cortina se controla mediante un temporizador preestablecido mediante programación que determina los intervalos de activación y desactivación. En la Figura 31 se presenta el diagrama esquemático correspondiente a esta configuración. Asimismo, se utiliza un microcontrolador ESP32 para gestionar el funcionamiento del sistema.

**Figura 31***Esquemático control de ventanas*

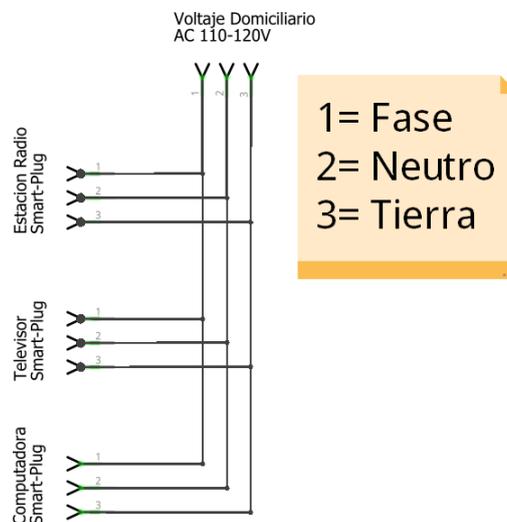
### 3.2.4.4. Diagrama de Conexiones Sistema de Iluminación

Para la gestión de los sistemas de iluminación, según el análisis de los interesados reflejado en la Tabla 14, se seleccionó el actuador WIFI Smart Switch, mostrado en la Figura 20. Para entender cómo se conecta este dispositivo, se ha elaborado un diagrama que muestra su integración y control a través de una aplicación, el asistente virtual, y de forma manual, asegurando que se satisfacen todos los requisitos establecidos. El diagrama de conexiones de este dispositivo se presenta en la Figura 32.

**Figura 32***Esquemático Control de iluminación*

### 3.2.4.5. Diagrama de Conexiones Sistema de Corriente Monofásica

Las conexiones para la corriente monofásica de 110V se realizan siguiendo las especificaciones de la Tabla 15 para el actuador Smart Plug. Este dispositivo está diseñado para activar los enchufes y se integra al sistema eléctrico del hogar, ofreciendo la capacidad de automatización. En la Figura 33, se presenta el diagrama esquemático que muestra cómo está conectado este sistema, detallando claramente la configuración y el funcionamiento del actuador dentro del sistema domótico.

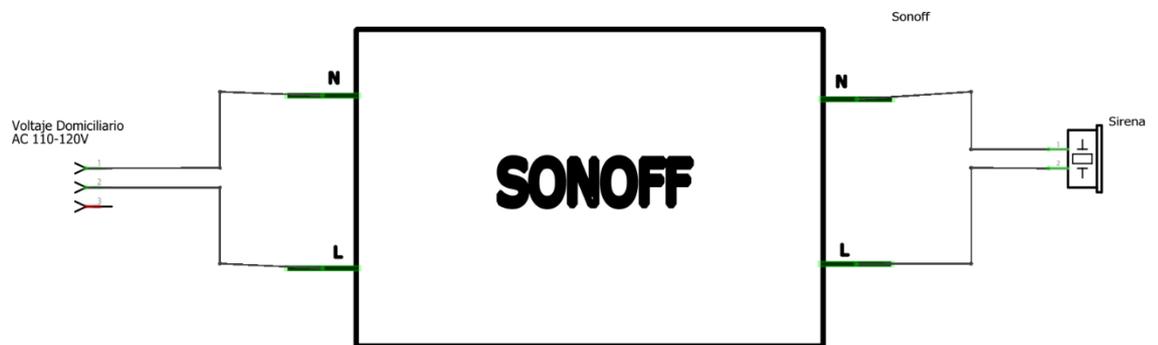
**Figura 33***Esquemático conexiones Smart Plug*

### 3.2.4.6. Diagrama de Conexiones Sistema de Alarma Emergente

También hay que incorporar una alarma sonora que se activará si hay que emitir una alerta ante cualquier eventualidad. Esta alarma se conectará a la red eléctrica domiciliar de AC 110-120V y será gestionada mediante un dispositivo Sonoff. En la Figura 34, se ilustra el diagrama esquemático que detalla cómo está conectado el dispositivo a la alarma dentro de la red eléctrica, asegurando una correcta integración y funcionalidad.

**Figura 34**

*Esquemático sistema de alarma*



### 3.2.5. Diseño Electromecánico

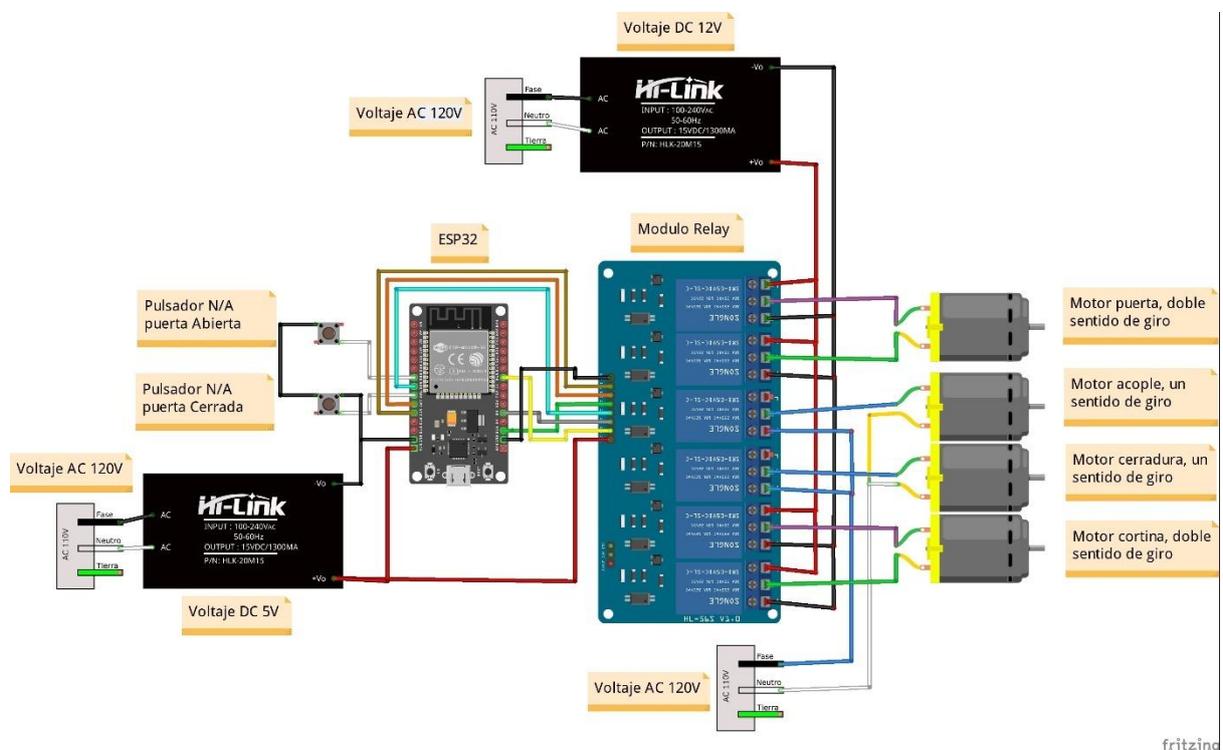
En este segmento, se detallan todos los diseños mecánicos, eléctricos y electrónicos del sistema domótico, incluyendo las interconexiones correspondientes a cada uno. Es importante destacar que estos diseños se fundamentan en los esquemáticos previamente elaborados para cada sistema. Cabe mencionar que algunos sistemas, como los de apertura de puertas y cortinas, operan de manera independiente y son controlados por nodos distintos. En relación con esto, se replicarán las conexiones para asegurar la coherencia y funcionalidad del diseño.

### 3.2.5.1. Sistema de Apertura Y Cierre De Puertas

También se ha hecho una simulación en 3D del sistema de puertas indicada en la Figura 35, que da una representación visual detallada de cómo cada componente está interconectado dentro del sistema. Esta simulación ayuda a visualizar la disposición y el funcionamiento de los componentes, facilitando una mejor comprensión de la estructura completa.

**Figura 35**

*Modelo eléctrico 3D del sistema de puertas*



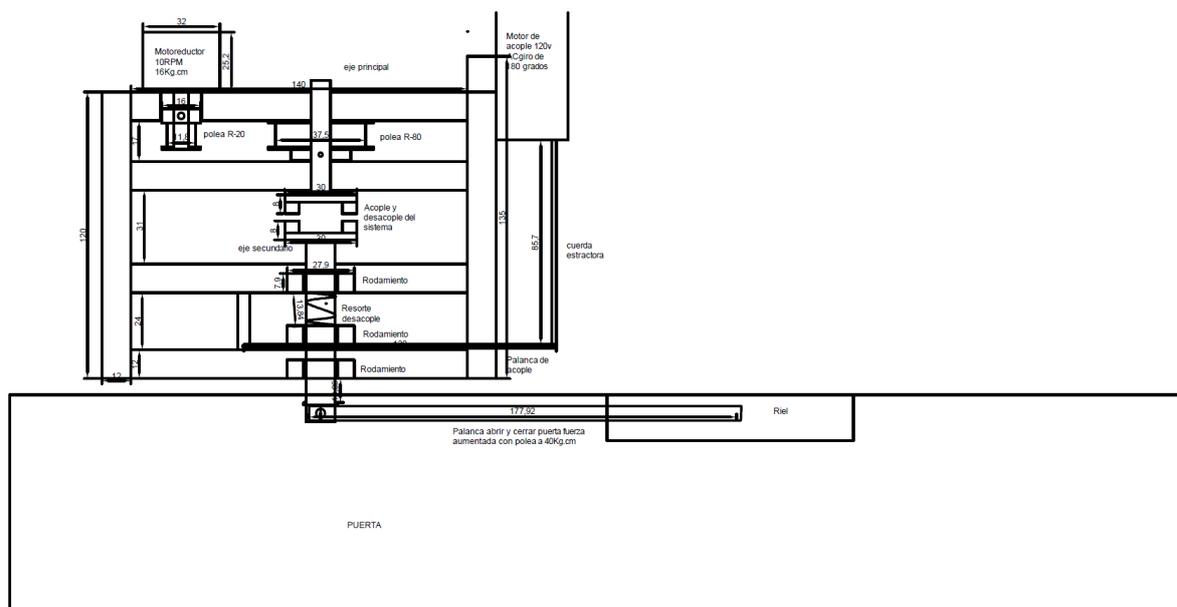
#### 3.2.5.1.1. Sistema Mecánico Puertas

Se ha diseñado un sistema mecánico para puertas que incluye un motorreductor de 10 RPM, alimentado a 12 voltios, capaz de generar una fuerza de 16 Kg.cm. Además, se ha implementado un sistema de acople y desacople accionado por un motor extractor. Este sistema permite acoplar las puertas cuando sea necesario y desacoplarlas en caso de falta de

energía, asegurando que las puertas no se bloqueen y permanezcan operativas en todo momento para cualquier eventualidad. Este diseño garantiza la funcionalidad continua y la seguridad del sistema de puertas, proporcionando una solución confiable, como se indica en la Figura 36 un modelo 2D del sistema mecánico de puertas.

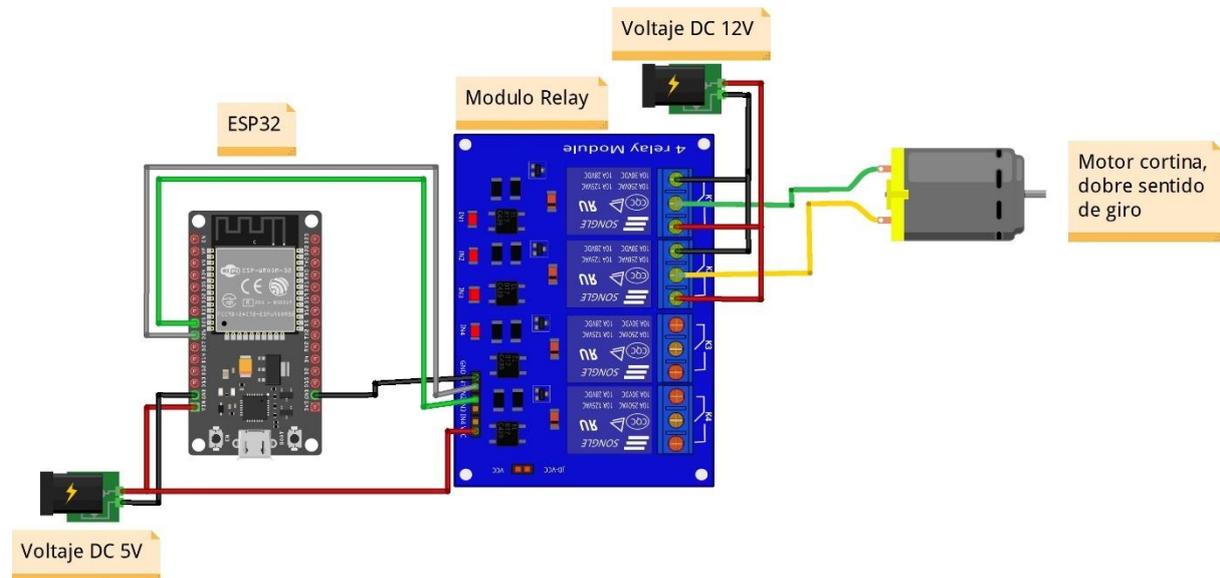
**Figura 36**

*Sistema mecánico de puertas*



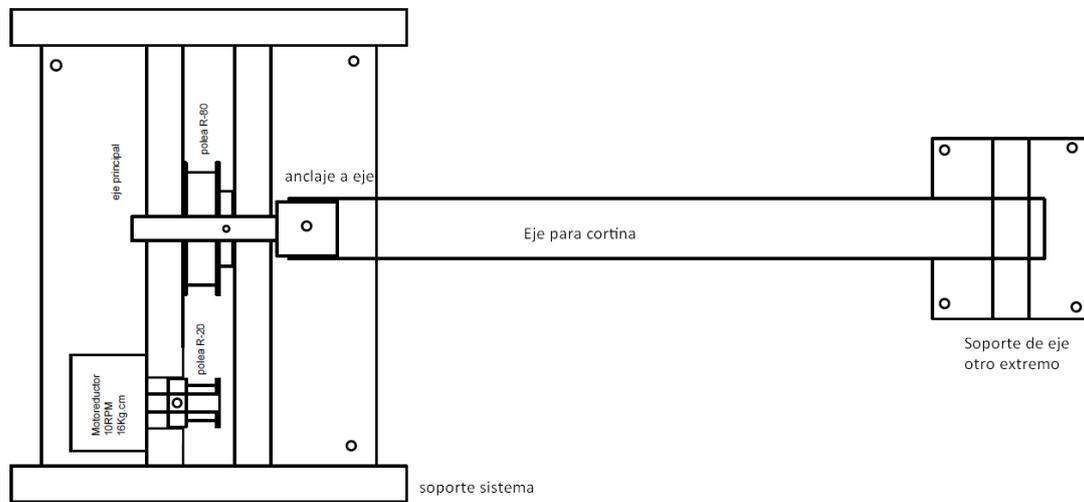
### 3.2.5.2. Sistema de Apertura Y Cierre De Ventanas

De forma similar, se ha creado un modelo 3D para el sistema de control de ventanas, proporcionando una representación visual clara del circuito. En la Figura 37, se pueden observar las conexiones específicas de este sistema. Es importante destacar que los circuitos se diseñaron de manera independiente; sin embargo, se planificó su interconexión de modo que el nodo central pueda gestionar tanto la puerta como la cortina. Además, otros nodos conectados supervisarán sistemas en distintas áreas de la casa dentro del sistema domótico.

**Figura 37***Modelo 3D sistema de control de cortinas*

### 3.2.5.2.1. Sistema Mecánico Ventanas

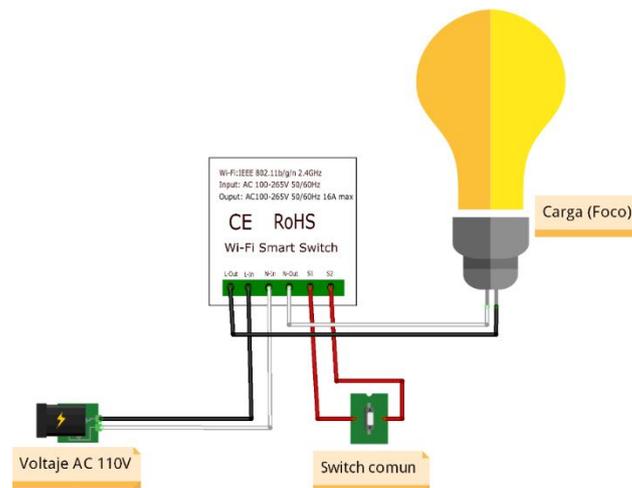
El sistema mecánico de las ventanas es más sencillo. Consiste en un motorreductor de 120 RPM alimentado por 12 voltios, capaz de generar una fuerza de 16 Kg.cm. Este motorreductor, a través de un sistema de poleas, transmite el movimiento al eje central donde está instalada la cortina. Al accionar el motorreductor en sentido horario o antihorario, se logra abrir o cerrar la cortina. En la Figura 38 se presentan los planos detallados de este sistema, mostrando cómo se integran todos los componentes para un funcionamiento eficiente y confiable.

**Figura 38***Sistema Mecánico de la cortina***3.2.5.3. Sistema de Control De Iluminación**

Se ha desarrollado un modelo 3D para proporcionar una representación visual clara de cómo se conecta este componente a la red doméstica. En este modelo, se ha aplicado un código de colores para el cableado de voltaje AC, utilizando blanco para el neutro, negro para la fase y rojo para el retorno o switch. Esta codificación facilita la comprensión y seguimiento de las conexiones eléctricas, tal como se muestra en la Figura 39 del modelo 3D del sistema de iluminación del sistema domótico.

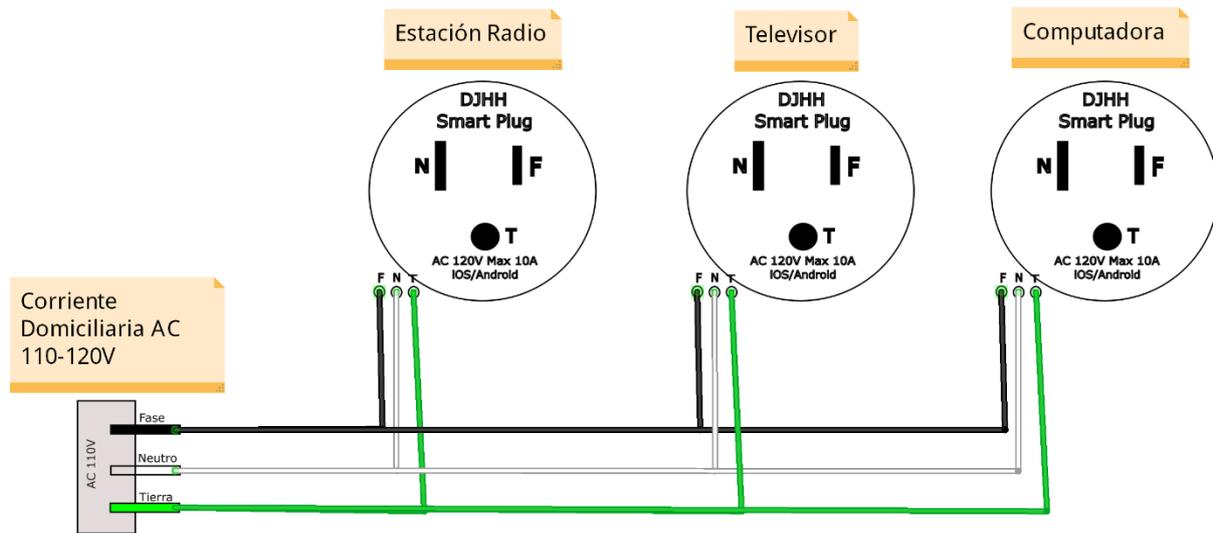
**Figura 39**

Modelo 3D sistema de iluminación



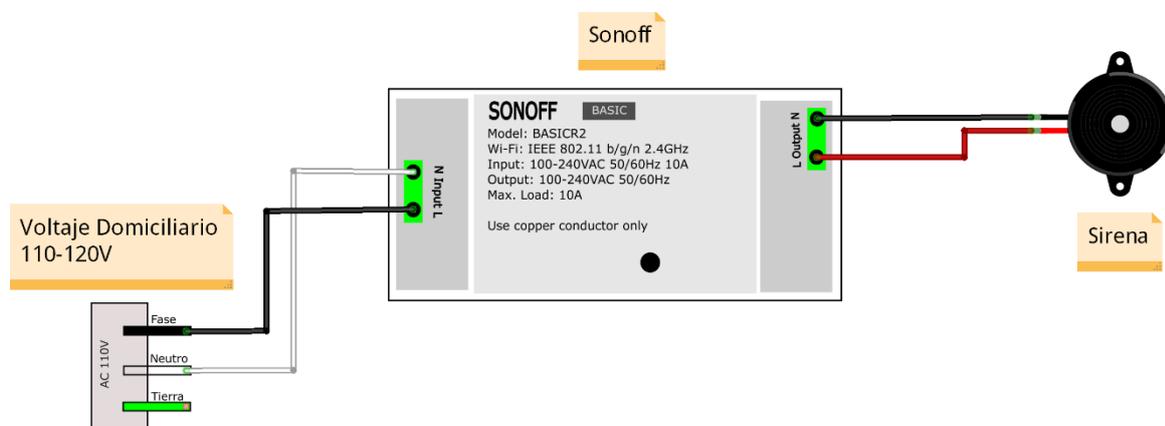
### 3.2.5.5. Sistema de Control De Tomas Corriente Monofásica

En la representación visual mostrada en la Figura 40, se detalla cómo se interconectan los Smart Plugs a la red doméstica, utilizando el esquemático proporcionado. Además, se identifican claramente los códigos de colores utilizados en la red doméstica. La figura visualiza la interconexión de estos dispositivos, y sugiere que, en un modelo real, el número de componentes podría aumentar dependiendo de la extensión del control requerido. Esto proporciona una comprensión clara de cómo podría escalarse el sistema según las necesidades específicas.

**Figura 40***Sistema de control de Tomacorrientes*

### 3.2.5.6. Sistema de Alarma

Del mismo modo, la Figura 41 ilustra el modelo del sistema de alarma, que opera con componentes de 110-120VAC. El dispositivo Sonoff, que es capaz de manejar este voltaje, se presenta como una solución eficaz para controlar una alarma integrada al sistema domótico. Esta representación ayuda a entender cómo el Sonoff facilita la gestión y automatización de la alarma dentro del entorno domótico.

**Figura 41***Sistema de alarma*

### 3.2.6. Diagramas de Flujo Del Sistema Domótico

Los diagramas de flujo para el sistema domótico ilustran detalladamente cómo operará el algoritmo de cada subsistema. Estos diagramas son cruciales porque permiten visualizar la capacidad del sistema para identificar su estado actual y, en base a ello, ejecutar acciones correspondientes. Además, estos flujos garantizan que el sistema pueda reconocer y procesar comandos enviados desde dispositivos móviles o asistentes virtuales como Alexa. Esta funcionalidad es esencial para una integración eficiente y una interacción fluida con el usuario, facilitando un control intuitivo y adaptativo de la automatización del hogar. Esto no solo mejora la usabilidad, sino que también aumenta la eficacia en la gestión de recursos del hogar, como la iluminación y la seguridad, adaptándose automáticamente a las necesidades y preferencias del usuario.

#### 3.2.6.1. Diagrama de Flujo de Nodo Principal

En el nodo central, se deben configurar y gestionar múltiples funciones. Para comenzar, es crucial definir las variables que se utilizarán, utilizando abreviaturas para facilitar la identificación: PT para 'Puerta', CT para 'Cortina', y SN para 'Sensor'. También se debe especificar cuáles pines funcionarán como entradas y cuáles como salidas; los pines de entrada recibirán señales de los sensores, mientras que los de salida activarán acciones específicas.

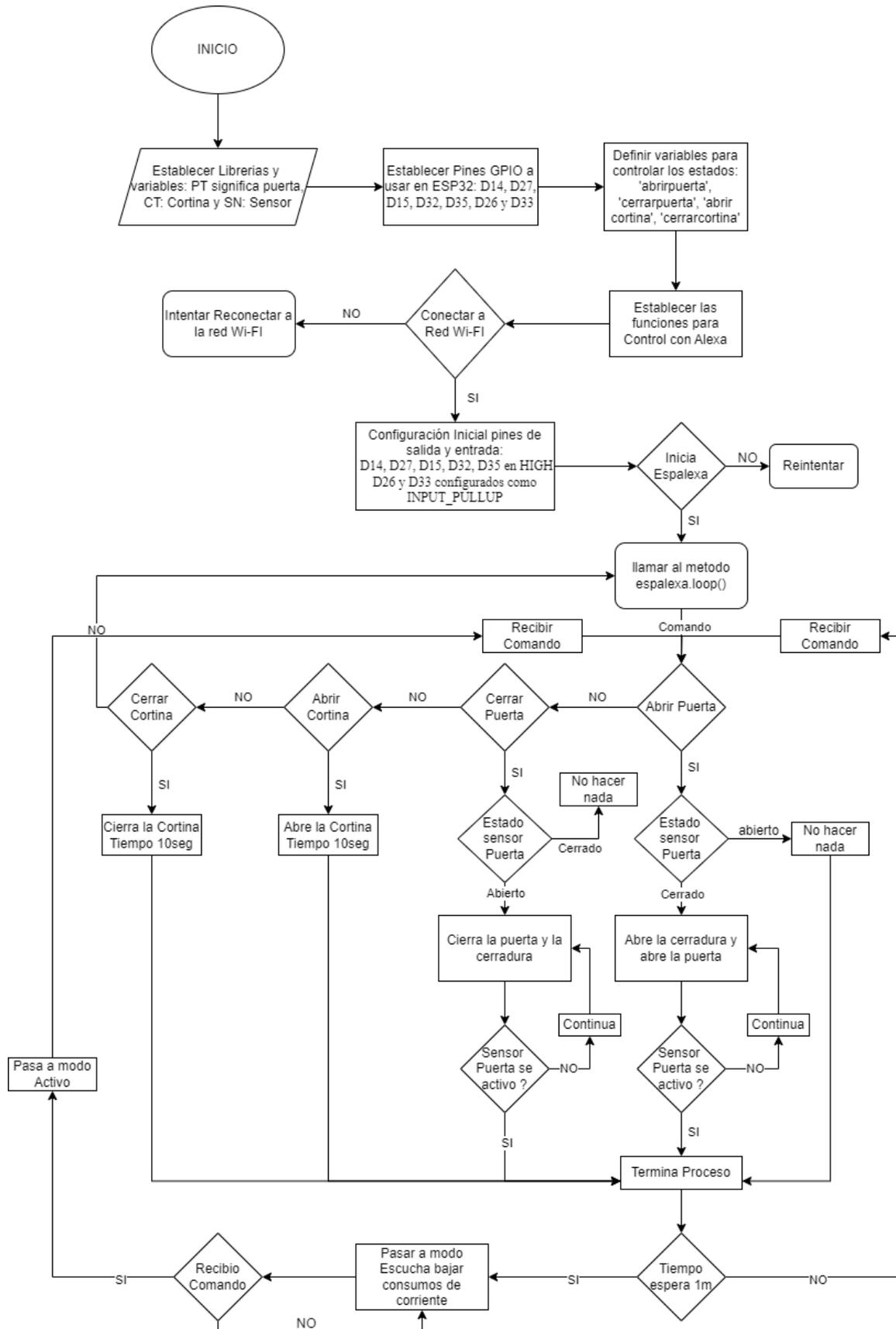
Además, se configura la conectividad a través de Wi-Fi con un sistema de redundancia para asegurar la operatividad en caso de que este se desconecte de la red. Es vital identificar y monitorear los estados de cada sensor para determinar la posición actual de elementos como la puerta. Con esta información, el sistema puede decidir qué acción ejecutar según las condiciones detectadas.

Estos procedimientos y configuraciones están detallados en el diagrama de flujo de la Figura 42, que explica el algoritmo que rige el funcionamiento del nodo principal. Este diagrama es esencial para entender cómo se integran y coordinan las operaciones del sistema, asegurando una automatización eficiente y una respuesta adecuada a las condiciones del entorno.

Adicional a esto se crea una rutina para pasar del modo activo al modo escucha el microcontrolador ESP32 con la finalidad de reducir los consumos de energía de este, estos procesos son definidos de acuerdo con la Tabla 19 sobre los diferentes consumos en diferentes estados, además se explica cómo realizar este proceso en la Figura 44 de este documento.

**Figura 42**

*Diagrama de Flujo nodo principal*

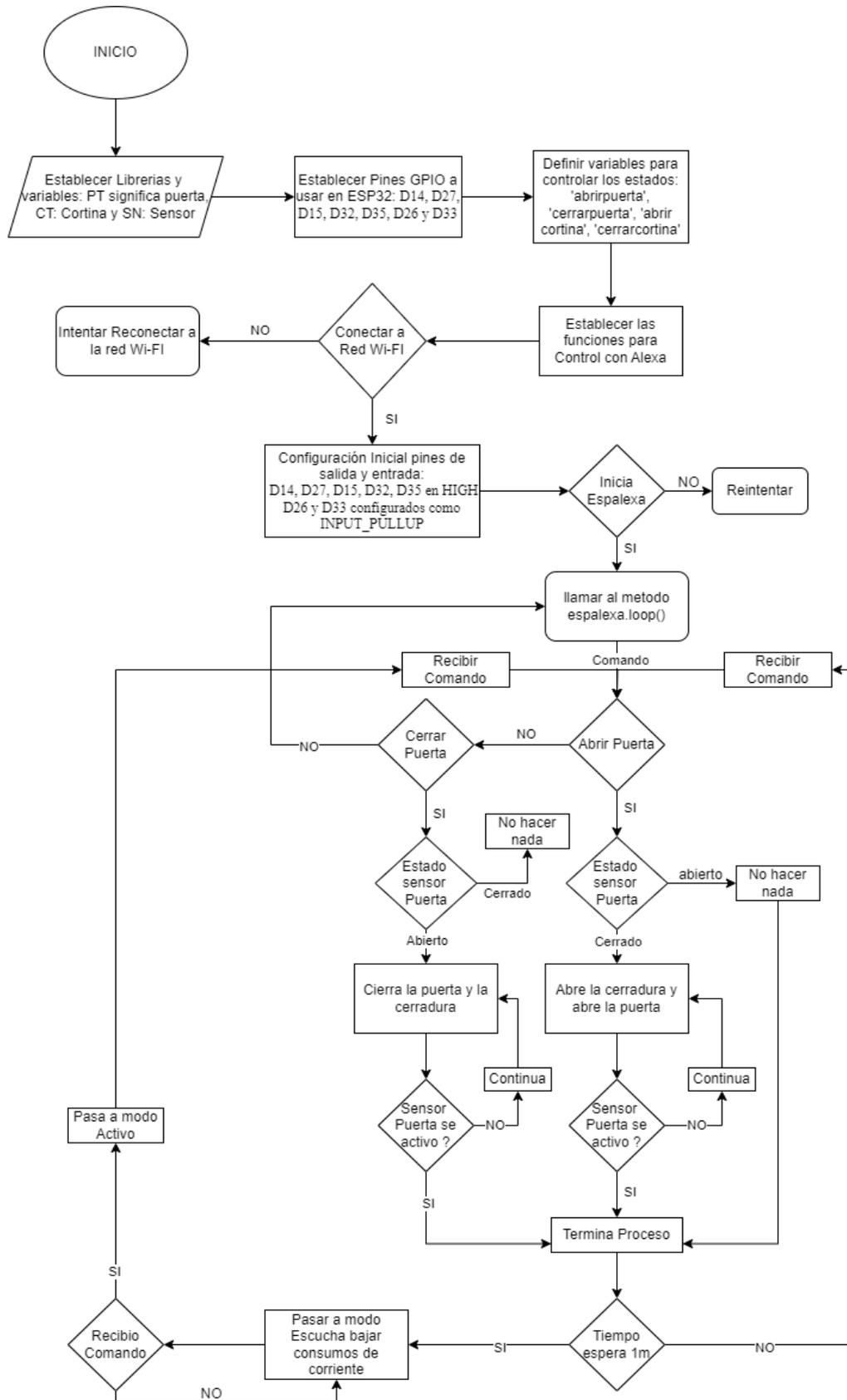


### ***3.2.6.2. Diagrama de Flujo de Nodos***

Como se muestra en la Figura 43 de forma similar, se elabora un diagrama para cada nodo secundario; pero se centrarán en controlar las puertas. Esto implica que el algoritmo será más simplificado en estos nodos, al igual que la cantidad de comandos y las ejecuciones que realizan. Este enfoque permite una gestión más directa y menos compleja, optimizando el rendimiento y la eficiencia en las tareas específicas de apertura y cierre de puertas. Los diagramas detallados de estos nodos facilitan la comprensión y el mantenimiento del sistema, asegurando que cada nodo funcione de manera efectiva dentro del conjunto del sistema domótico.

**Figura 43**

*Diagrama de flujo de los nodos*



### **3.2.7. Análisis de Consumo Energético**

Al instalar todos los nodos, es fundamental que cumplan con ciertos parámetros en su algoritmo, especialmente en términos de gestión del consumo energético. Por ejemplo, se puede programar que, si no se envían datos al nodo durante un período determinado, este entre en modo de escucha; es decir, que se prepare únicamente para recibir comandos de Alexa, lo que contribuye a reducir el consumo energético. Además, procesos como la reducción de la frecuencia del CPU también ayudan a optimizar el funcionamiento, permitiendo que los nodos operen de manera más eficiente y efectiva.

#### **3.2.7.1. Enfoque en Consumo de Energía Para la ESP32**

Para optimizar el consumo de energía utilizando el módulo Wi-Fi incorporado, es esencial aplicar distintas configuraciones en la ESP32, que es alimentada por una fuente de 5V en DC. Inicialmente, se realiza un análisis del consumo en diversos estados de funcionamiento del dispositivo, incluyendo el modo activo, modem sleep, light-sleep o modo de escucha, deep-sleep o modo de suspensión profunda, e hibernación.

Por ejemplo, activar el modo light-sleep es útil para bajar el consumo energético de la radio Wi-Fi, en la Tabla 19 no se logra apreciar que varía el consumo en los diferentes protocolos debido a que en este modo la mayor parte del sistema está en suspensión y el Wi-Fi se mantiene activo en un estado de bajo consumo. Además, es crucial desarrollar un algoritmo que esté optimizado con un control eficiente de tiempos y comandos para alternar entre estos diferentes modos. Asimismo, es recomendable ajustar la frecuencia de la CPU según la carga de trabajo prevista para el dispositivo usando el modo Modem-Sleep. En la tabla correspondiente, se detallan los consumos de energía de la ESP32 en cada uno de sus modos de funcionamiento.

Tabla 19

Consumo de corriente ESP32

MODO DE TRABAJO	DESCRIPCIÓN		CONSUMO DE CORRIENTE DEL ESP32
	Modo	Estándar o Frecuencia	
Activo (Trabajo Radiofrecuencia)	Transmisión	802.11b	170mA a 11Mbps
		802.11g	140mA a 54Mbps
		802.11n	120mA a 72.2Mbps
	Recepción	802.11b	60 mA
		802.11g	60 mA
		802.11n	60 mA
Activo (Trabajo CPU)	CPU Carga Alta	240MHz	120mA a 150mA
		160MHz	80mA a 100mA
		80MHz	40mA a 60mA
	Carga Normal	240MHz	70mA a 80mA
		160MHz	50mA a 60mA
		80MHz	30mA a 40mA
Modo Modem-Sleep	CPU activa a	240MHz	20mA a 30mA
		160MHz	15mA a 20mA
		80MHz	10mA a 15mA
		802.11b	0.8mA a 1.1mA
Modo Light-Sleep		802.11g	0.8mA a 1.1mA
		802.11n	0.8mA a 1.1mA
Modo Deep-Sleep	Co-procesador ULP (Ultra Low Power) activo		235 $\mu$ A
	Patrón monitoreado por sensor ULP		22 $\mu$ A
Hibernación	Temporizador RTC + memoria RTC		25 $\mu$ A
	Solamente Temporizador RTC		20 $\mu$ A

Nota: tabla adaptada y tomada de (El Osciloscopio, 2021), (<https://elosciloscopio.com/guia-reducir-consumo-energia-esp32/>)

Entonces, realizando el cálculo de consumos de manera teórica de acuerdo con la Tabla 19 se tendría lo siguiente:

### Modo Funcionamiento

- Consumo típico CPU: 120mA
- Consumo tarjeta Wi-Fi: 120mA
- Voltaje: 5V

$$P_{funcionamiento} = V \times I = 5V \times (120mA + 120mA) = 1.2W$$

### Modo Escucha

- Consumo típico CPU: 15mA
- Consumo tarjeta Wi-Fi: 1.1mA
- Voltaje: 5V

$$P_{escucha} = V \times I = 5V \times (15mA + 1.1mA) = 0.08W$$

El cálculo realizado es teórico, en prácticas reales estos valores variarían un poco, esto se debe a diferentes procesos que realiza la ESP32 en el nodo.

#### 3.2.7.2. Programación de los Nodos

Para programar cada nodo, teniendo definidos los modos en que puede operar la ESP32, se siguen parámetros establecidos en el algoritmo. En este caso, se agregan dos modos adicionales: Modem y Light-Sleep. La implementación de estos modos tiene como objetivo reducir el consumo energético del nodo cuando no está en uso. Se configura un temporizador que, al no recibir ningún comando a través de Alexa durante un minuto, automáticamente cambia el nodo al modo Wi-Fi Light-Sleep. Este modo, conocido también como modo de escucha, mantiene un bajo consumo de energía en el dispositivo. Además, se activa el modo Modem, en el que se configura la CPU para operar a la frecuencia óptima de 80 MHz, hasta recibir una nueva orden de Alexa y volver al modo activo. En la Figura 44 se muestra todas las configuraciones realizadas para que este cumpla con los modos especificados.

**Figura 44***Programación de los nodos*

```

// Cambiar a modo de escucha si no hay comandos de Alexa en 1 minuto
if (millis() - ultimoComandoAlexa >= tiempoEsperaAlexa) {
  // Código modo de bajo consumo, sólo escuchando comandos de Alexa
  WiFi.setSleep(true); // Activar modo de bajo consumo de WiFi
  delay(100);
  setCpuFrequencyMhz(80); // Reducir la frecuencia del CPU
} else {
  WiFi.setSleep(false); // Desactivar modo de bajo consumo de WiFi si hay actividad reciente
  setCpuFrequencyMhz(240); // Frecuencia normal para actividades
}

```

**3.2.7.3. Consumo Energético de Actuadores Relay con Optoacoplador**

Estos actuadores Relay con optoacoplador requieren una entrada de voltaje de 5V y una señal negativa para su activación. El consumo de estos actuadores es por canal, siendo necesario un consumo de corriente de 70 mA para activar cada uno de los canales.

**Modo Funcionamiento**

- Consumo por canal: 70mA
- Voltaje: 5V

$$P_{funcionamiento} = V \times I = 5V \times 70mA = 0.35W$$

En este caso el consumo sería 0.35W por canal en el caso que se activen los 4 canales sería una potencia de 1.4W

**Modo Standby**

- Consumo por canal: 3mA
- Voltaje: 5V

$$P_{standby} = V \times I = 5V \times 3mA = 0.015W$$

### 3.2.7.4. Consumo Energético de Actuadores Sonoff, Modulo Interruptor Wi-Fi y Smart Plug

Estos actuadores están diseñados para realizar diversas funciones y, dado que vienen preconfigurados por defecto, es posible calcular su consumo energético siguiendo las especificaciones proporcionadas por el fabricante. Además, disponen de dos modos de operación: activo y de escucha. Es importante destacar que el consumo energético estimado para estos modos se calcula independientemente del consumo de la carga que se conectará al actuador.

#### SonOff

- Consumo Activo: 80mA
- Consumo Escucha: 10mA
- Voltaje: 3.3V

$$P_{funcionamiento} = V \times I = 3.3V \times 80mA = 0.264W$$

$$P_{escucha} = V \times I = 3.3V \times 10mA = 0.033W$$

#### Modulo Interruptor Wi-Fi

- Consumo Activo: 100mA
- Consumo Escucha: 12mA
- Voltaje: 3.3V

$$P_{funcionamiento} = V \times I = 3.3V \times 100mA = 0.33W$$

$$P_{escucha} = V \times I = 3.3V \times 12mA = 0.0396W$$

#### Smart Plug

- Consumo Activo: 90mA

- Consumo Escucha: 11mA
- Voltaje: 3.3V

$$P_{funcionamiento} = V \times I = 3.3V \times 90mA = 0.297W$$

$$P_{escucha} = V \times I = 3.3V \times 11mA = 0.0363W$$

### 3.2.8. Interfaces de Usuario

Las interfaces de usuario son esenciales porque permiten enviar diversos comandos o acciones para que el sistema realice múltiples tareas. En este contexto, se dispone de varias interfaces: el asistente virtual como Alexa, un dispositivo móvil y la opción de operación manual. Estos tres sistemas ofrecen redundancia y garantizan la disponibilidad; por ejemplo, si el usuario no tiene acceso al asistente virtual, puede optar por utilizar su dispositivo móvil. Además, en situaciones donde el usuario no sea la persona con discapacidad o prefiera no usar tecnología digital o no haya energía para el sistema domótico, puede optar por el control manual. Esta variedad asegura que todas las necesidades y preferencias estén cubiertas, facilitando la interacción con el sistema bajo cualquier circunstancia.

#### 3.2.8.1. Sistema de Control Por Asistente Virtual

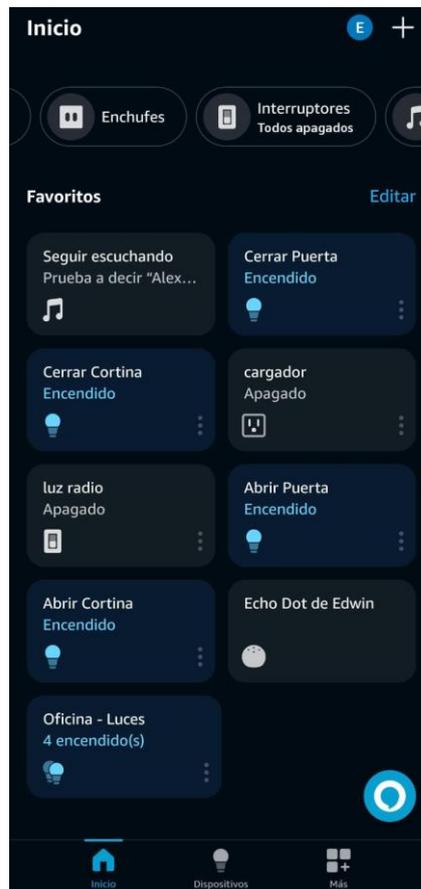
El asistente virtual seleccionado para nuestro sistema es el dispositivo Alexa. Esta elección permite la integración de diversos dispositivos, como Sonoff, Smart Plugs y también la ESP32, utilizando librerías específicas y comandos diseñados para ejecutar tareas concretas. Por ejemplo, se ha configurado Alexa para responder a comandos como “*Alexa, encender puerta oficina*” o “*Alexa, encender cerrar puerta oficina*”, y “*Alexa, encender abrir cortina*”. Estos comandos preprogramados facilitan la automatización de acciones específicas.

Además, los diferentes actuadores conectados se pueden manejar igualmente mediante comandos simples, tales como *“Alexa, encender luz oficina”* o *“Alexa, apagar luz cuarto”*. Para los tomacorrientes, se han configurado comandos como *“Alexa, encender UPS”*. Todos estos comandos se integrarán de la manera más eficaz posible, proporcionando una solución práctica y funcional al sistema domótico implementado.

### **3.2.8.2. Sistema de Control Por Dispositivo Móvil**

Además, gracias a la existencia de una aplicación propia de Alexa, se pueden integrar directamente estos actuadores en la aplicación. Esto permite que, al enviar un comando de voz a Alexa, los actuadores realicen el mismo proceso de automatización. Adicionalmente, la aplicación permite gestionar los dispositivos de manera visual, ofreciendo la opción de realizar tareas específicas, como abrir una puerta, con solo hacer un clic.

Esta funcionalidad se extiende a múltiples funciones dentro del sistema domótico, facilitando el control y la gestión de todos los dispositivos conectados. En la Figura 45, se puede observar cómo aparecen los dispositivos conectados en la interfaz de la aplicación móvil.

**Figura 45***Integración de dispositivos aplicación Alexa*

### 3.3. Implementación Del Sistema Domótico

Para llevar a cabo la implementación del sistema domótico, se analizan minuciosamente todos los parámetros relevantes y las funciones necesarias para garantizar un funcionamiento óptimo. Posteriormente, se diseña la placa electrónica encargada de controlar cada nodo del sistema. Este diseño incluye también la integración de la placa electrónica con los demás componentes, con el fin de verificar que todo opere de acuerdo con el diagrama de bloques descrito en el algoritmo presentado en la Figura 42.

Además, se realizan pruebas para asegurarse de que las partes mecánicas cumplan con los requerimientos establecidos, ya que estas trabajan en conjunto con el sistema electrónico. En las siguientes secciones, se detallan las características y el funcionamiento de cada

componente del sistema domótico, abarcando los aspectos mecánicos, electrónicos, de programación y la conexión mediante la red Wi-Fi.

### **3.3.1. Implementación Del Sistema Domótico en la Vivienda Que Habita Una Persona en Condición de Paraplejia.**

Para llevar a cabo la implementación del sistema, se realizó previamente un análisis detallado en el apartado 3.2.4 del capítulo III. Este análisis permitió determinar con precisión el lugar más eficiente para instalar el sistema, tomando en cuenta la movilidad de la persona en condición de paraplejia y sus actividades diarias.

El sistema está diseñado para adaptarse por completo a las necesidades de cualquier usuario. Esto significa que puede operarse de manera convencional si así se requiere, o mediante una interfaz conectada a un dispositivo móvil. Además, es compatible con el asistente virtual Alexa, permitiendo su control mediante comandos de voz.

Se consideraron cuidadosamente posibles situaciones como fallas en el suministro eléctrico o la preferencia de algunos miembros del hogar por utilizar el sistema de manera convencional en lugar de emplear las interfaces tecnológicas. Este enfoque garantiza versatilidad y accesibilidad para todos los usuarios.

#### **3.3.1.1. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Apertura y Cierre De Puertas**

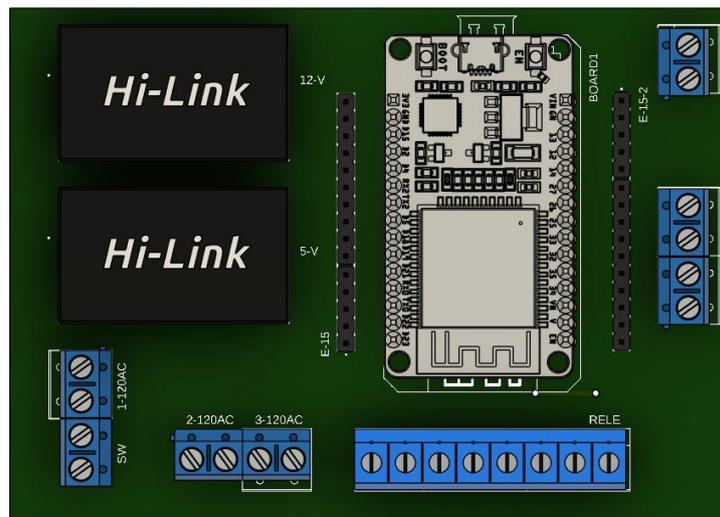
Para controlar la apertura y el cierre de las puertas, se desarrolló una placa controladora, asignando a cada puerta un nodo independiente. Esta placa fue diseñada utilizando el software Fusión 360, como se ilustra en la Figura 46, que presenta el modelo tridimensional generado por dicha herramienta.

El diseño incorpora un microcontrolador ESP32, reguladores de voltaje para alimentar tanto el microcontrolador con 5V como el motor con 12V. Asimismo, se incluyen todas las

salidas de voltaje necesarias, las conexiones para los activadores de los actuadores, un interruptor de apagado y dos salidas de voltaje de 120V en corriente alterna, elementos indispensables para el sistema mecánico que permite el funcionamiento de las puertas.

**Figura 46**

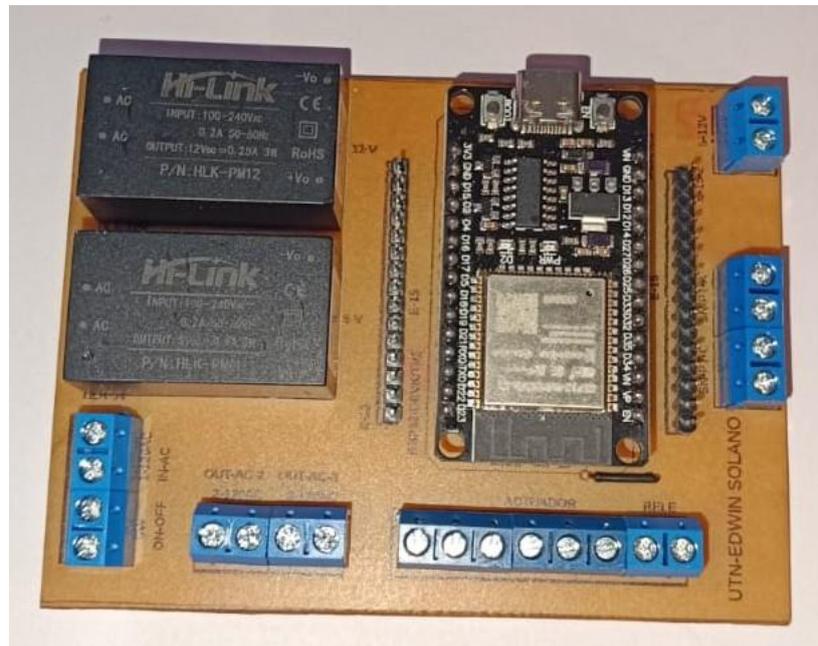
*Modelo 3D Nodo*



Una vez concluido el diseño, se procede a su fabricación. Es esencial verificar que todas las salidas de voltaje y señales coincidan con lo establecido en la simulación. En la Figura 47 se muestra el diseño de las tarjetas electrónicas de control, empleadas tanto para regular las puertas como para manejar las cortinas de las ventanas.

**Figura 47**

*Fabricación del nodo, placa controladora*



El diseño mecánico de las puertas se ajusta a los planos establecidos en el apartado 3.2.5.1.1, tal como se ilustra en la Figura 36. Tras probar varios modelos que presentaron algunas fallas, este se definió como el prototipo final al cumplir con todos los requerimientos y funcionar según lo previsto. Su estructura es robusta, con ejes fabricados en hierro para brindar mayor resistencia, así como poleas de reducción para aumentar el torque y disminuir las revoluciones del motor. Además, incorpora un sistema de acople y desacople que permite la operación convencional de las puertas.

**Figura 48***Sistema Mecánico de apertura de puertas*

En la Figura 48 se muestra la fabricación del sistema mecánico para la apertura y cierre de puertas, diseñado de acuerdo con el plano presentado en la Figura 36. Este sistema emplea una polea para reducir la velocidad y aumentar el par de potencia suministrado por el motorreductor. Además, el motor no se conecta de manera directa a la palanca de transmisión, sino que interviene un “motor extractor” que acciona una palanca de acoplamiento, uniendo el eje motriz con la palanca principal.

Al concluir el proceso de apertura o cierre, este motor libera la palanca y, gracias a la acción de resortes, vuelve a su posición original, evitando que la puerta quede bloqueada y garantizando un funcionamiento seguro del mecanismo.

### Figura 49

*Sistema montado en puerta para el sistema domótico*



En la Figura 49 se observa la implementación del sistema con la tarjeta controladora (uno de los nodos), acompañada de dos pulsadores que indican el estado de la puerta (abierta o cerrada) y registran la finalización de cada proceso. Además, se utiliza un riel que evita bloqueos al permitir que la palanca se deslice junto con la puerta, dotando al mecanismo de mayor flexibilidad.

### Figura 50

*Sistema mecánico puertas Nodo 3*



Este diseño cumple con los requisitos establecidos, ya que, cuando el sistema no está en funcionamiento, permanece desacoplado, lo que facilita la apertura y el cierre manual de la

puerta sin generar obstrucciones ni interferir en su uso cotidiano, en la Figura 50 se observa el sistema mecánico de las puertas instalado en la oficina donde se encuentra la estación de radio, este comprende al Nodo 3 del sistema domótico.

### 3.3.1.2. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Apertura y Cierre De Cortinas

La misma tarjeta controladora ilustrada en la Figura 46 se utiliza para gestionar este sistema, lo que significa que un solo nodo puede operar múltiples dispositivos al mismo tiempo. Durante la fase de implementación, se adaptó un diseño mecánico específico para la apertura y el cierre de cortinas indicado en la Figura 51, aplicándolo en la estación de radio donde Wilmar pasa gran parte de su tiempo. Esta decisión se tomó tras analizar cuidadosamente sus necesidades y recopilar información a través de preguntas dirigidas al usuario.

#### Figura 51

*Sistema mecánico de apertura y cierre de cortinas*



Además, el sistema incorpora características que facilitan su uso mediante diferentes medios, como comandos de voz o aplicaciones móviles, garantizando accesibilidad para personas con limitaciones de movilidad. También se consideraron posibles fallas eléctricas u

otras interrupciones, por lo que se incluyó un mecanismo de respaldo que permite accionar las cortinas de manera convencional cuando sea necesario, este mecanismo no es bloqueante es decir si hay un corte de energía se puede desenrollar sin ningún inconveniente. Con ello se busca ofrecer una solución versátil y eficiente, acorde con los principios de comodidad y funcionalidad de un entorno domótico.

### **3.3.1.3. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Iluminación y Corriente Monofásica**

Para implementar estos sistemas, es indispensable conocer cómo está configurada la red eléctrica en la vivienda donde se instalará el sistema domótico destinado a una persona con discapacidad; en este caso, se trata del hogar de Wilmar Maya. En primer lugar, el control de la iluminación debe cumplir con los parámetros establecidos, permitiendo su manejo mediante el sistema domótico a través del teléfono celular, con comandos de voz (usando el asistente virtual Alexa) y de manera convencional.

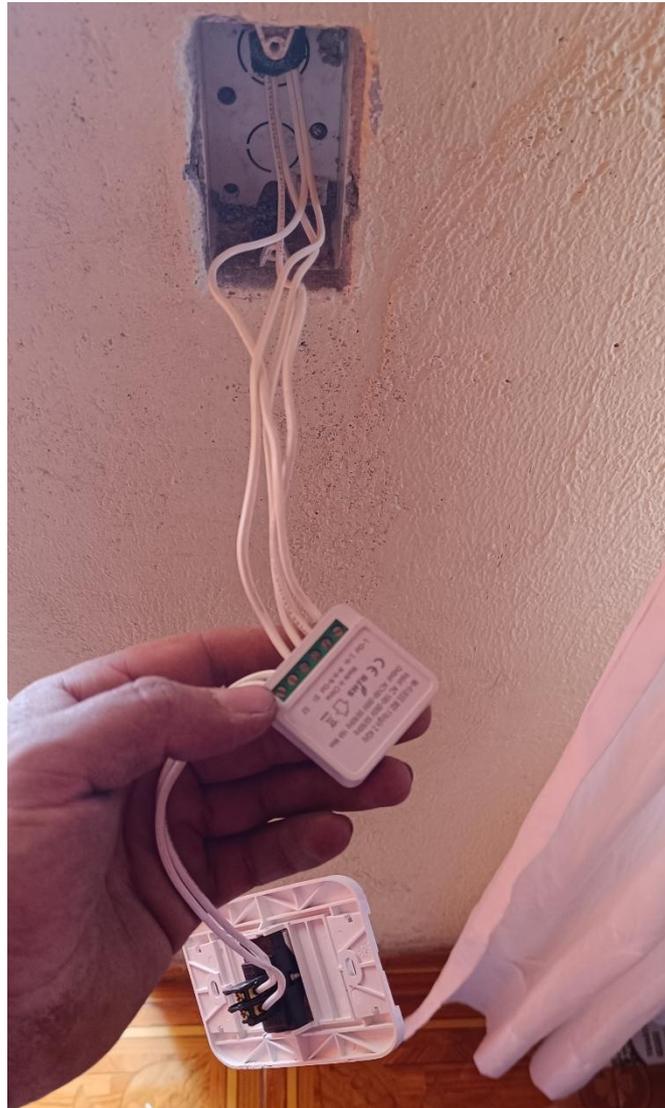
Tras analizar varias opciones, se determinó que el dispositivo que mejor se ajusta a estos requerimientos es un interruptor inteligente Wi-Fi, tal como se señala en la Tabla 13, y cuya implementación se aprecia en la Figura 52.

**Figura 52***Implementación del sistema de iluminación*

Este sistema se conecta directamente a la red eléctrica, por lo que fue necesario realizar modificaciones en la instalación, asegurando su correcto funcionamiento en la Figura 53 se indica el proceso de instalación del componente. Además, se reemplazaron conductores en mal estado para evitar posibles fallos y garantizar la seguridad del dispositivo.

**Figura 53**

*Instalación del componente para control de iluminación*



De igual manera, es necesario gestionar las salidas de corriente, como los tomacorrientes, para lo cual se emplea un enchufe inteligente Smart Plug indicado en la Figura 54, descrito en la Tabla 14. Este cumple con los requisitos de potencia requeridos y se integra por completo al sistema, en este caso se realiza la implementación en la habitación donde se controla el toma que conecta a la energía el televisor y el toma el cual conecta a la energía el cargador del teléfono, en la parte donde Wilman realiza radio se implementó un toma el cual energiza todos los componentes que se encuentran conectados a este y en otra

habitación donde se encuentra conectado el transmisor de la antena de radio también se logra conectar un control para él toma y lograr encender este componente.

#### **Figura 54**

*Instalación de control de tomas eléctricos*



#### **3.3.1.4. Implementación Del Sistema Domótico de Control De Alarma de Emergencia**

La alarma de emergencia se emplea en situaciones excepcionales y emite un sonido para advertir que algo inusual está sucediendo. En este caso, se utiliza un dispositivo Sonoff para su activación, el cual cumple con los requerimientos y puede manejarse tanto desde un teléfono inteligente como por medio del asistente virtual Alexa. Además, incluye un botón que permite su accionamiento manual. Tal como se muestra en la Figura 55, este sistema también se conecta a la red eléctrica convencional.

**Figura 55**

*Activador de alarma de emergencia*



De igual manera se procede con la implementación de la sirena la cual es activada con el Sonoff, esta sirena es instalada en una parte exterior debido al ruido que genera, indicando alguna alerta dentro del hogar, en la Figura 56 se indica el proceso de instalación de esta sirena.

**Figura 56**

*Implementación de Alarma de emergencia*

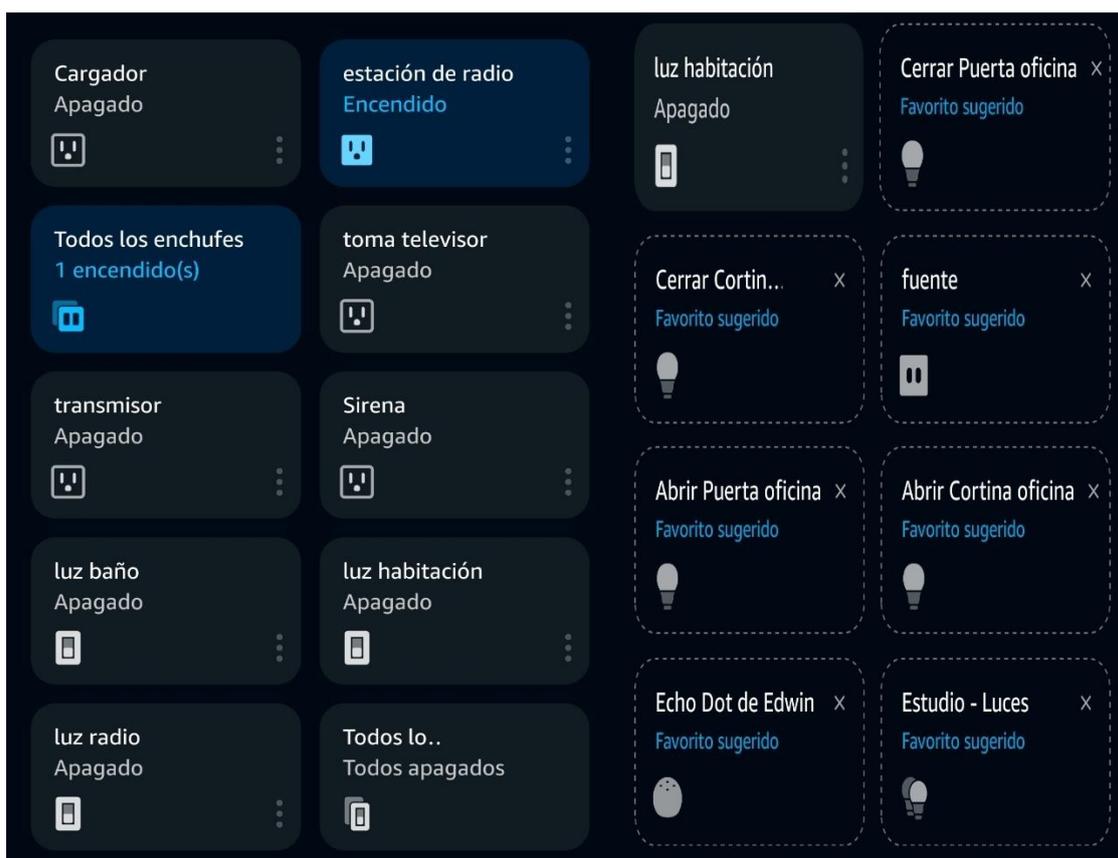


### 3.3.1.5. Implementación de Las Interfaces de Usuario

Las interfaces de usuario incluidas en este sistema domótico se dividen en tres categorías. La primera corresponde al uso convencional mediante los componentes físicos existentes. La segunda se basa en un dispositivo móvil, donde se integra todo el sistema y se puede activar cada función con tan solo abrir la aplicación y elegir el componente que se desea encender. Por último, se cuenta con la opción de control mediante el asistente virtual Alexa, el cual permite ejecutar acciones de encendido o apagado con solo pronunciar el nombre del dispositivo.

**Figura 57**

*Interfaz de usuario con dispositivo móvil*



Estas tres interfaces se ilustran en la Figura 57 y están diseñadas especialmente para cubrir las necesidades de la persona con paraplejía, brindando accesibilidad y comodidad en su entorno diario.

## **CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas para comprobar la operatividad y fiabilidad del sistema domótico desarrollado. Se incluyen evaluaciones de cada uno de los componentes integrados, como el control de puertas, cortinas, iluminación y la interacción con dispositivos móviles Android y el asistente virtual. Además, se describen las situaciones de uso y posibles fallas contempladas, con el propósito de asegurar que el sistema cumpla con los requerimientos de accesibilidad y comodidad para una persona en condición de paraplejía, garantizando así su óptimo desempeño en un entorno real.

### **4.1. Pruebas de Funcionamiento del Sistema Domótico**

Las pruebas de funcionamiento abarcan diversos escenarios donde se evalúa cada uno de los sistemas diseñados para resolver el problema planteado. Se contemplan pruebas que verifican la funcionalidad, la detección de errores y la recepción de comandos, así como la integración con el teléfono inteligente y el asistente virtual Alexa. Para ello, se ha planificado un conjunto de procedimientos específicos, destinados a garantizar el correcto desempeño de cada sistema.

#### **4.1.1. Escenarios de Prueba**

A continuación, se describen cada uno de los escenarios de prueba, en los cuales se examina cada componente del sistema domótico tanto a nivel de software como de hardware para garantizar que cumpla con los requisitos previamente establecidos.

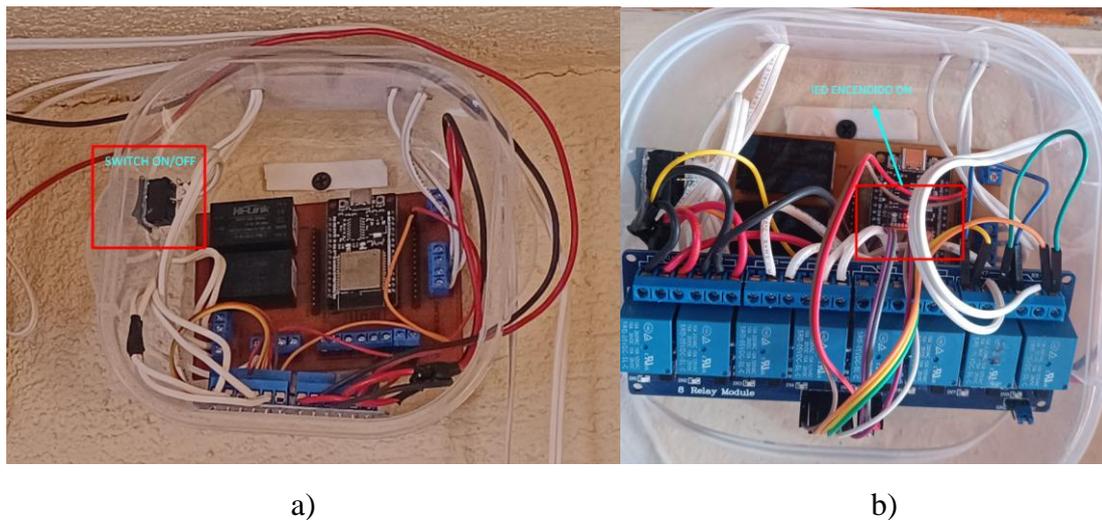
##### **4.1.1.1. Prueba de Encendido y Apagado de Dispositivos**

Los dispositivos mecánicos incluyen un botón de encendido y apagado como se indica en la Figura 58a, pensado para situaciones como tormentas eléctricas o cortocircuitos en el hogar. El resto de los sistemas se conecta directamente a la red eléctrica, sin necesidad de

contar con esta función. Además, en caso de cortes de luz o tras apagar y encender el dispositivo, este volverá automáticamente al último estado en el que se encontraba, en la Figura 58b se indica el estado de este, si el microcontrolador indica un LED en color rojo el equipo este encendido si no muestra nada esta apagado y desconectado de la energía.

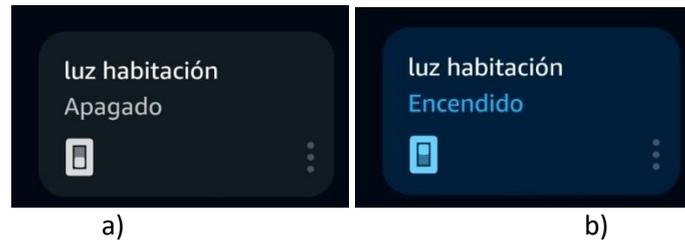
**Figura 58**

*Switch On/Off*

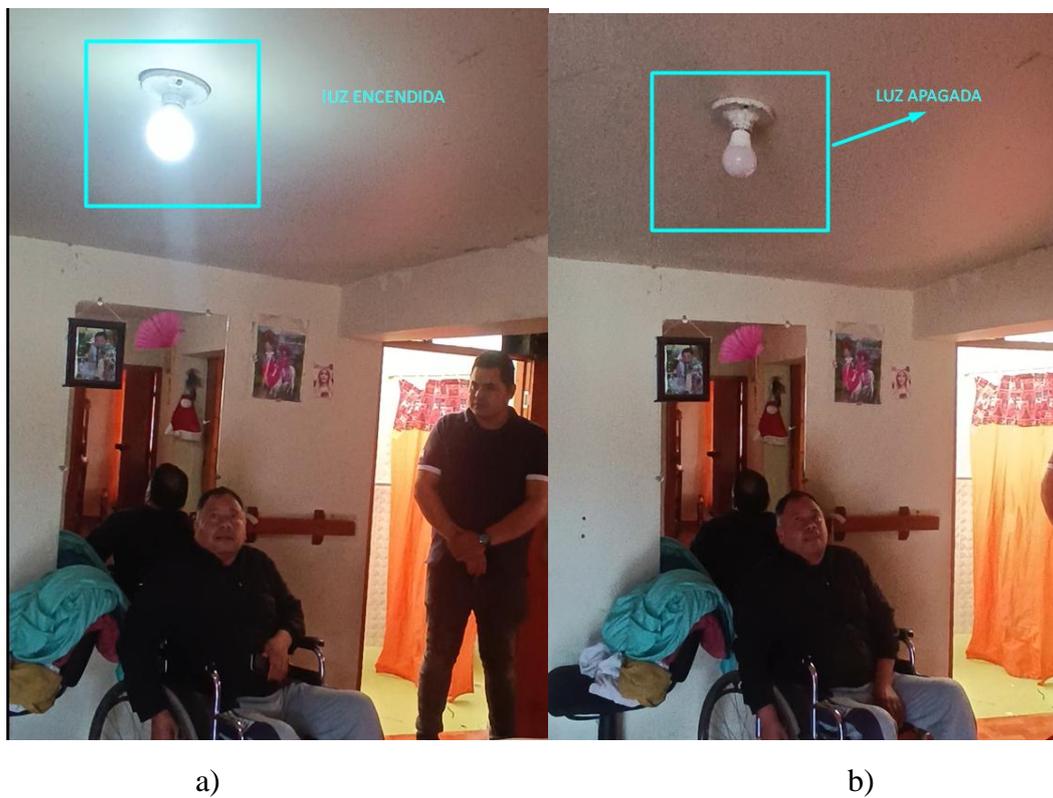


#### 4.1.1.2. Prueba de Control de Iluminación

La iluminación se gestiona mediante interruptores inteligentes Wi-Fi, que se instalaron en el baño, en la habitación principal y en la oficina donde se ubica la estación de radio. Estos dispositivos se conectan directamente a la red eléctrica, permitiendo su encendido y apagado tanto desde el teléfono móvil como a través de la aplicación de Alexa. Por ejemplo, al asignar el nombre “luz habitación” a uno de los interruptores, basta con pulsar sobre el dispositivo en la aplicación para encender Figura 59b o apagar Figura 59a la luz correspondiente, acción que se refleja en el estado mostrado en la interfaz y en la iluminación real.

**Figura 59***Botones de control dispositivo móvil*

De igual manera se nota en el estado de la iluminación respectivamente este se enciende o se apaga, en la Figura 60a se muestra el estado del foco de iluminación encendido respectivamente cuando se ejecuta el comando de luz habitación y en la Figura 60b se indica el estado apagado respectivamente.

**Figura 60***Encendido de luz habitación*

### 4.1.1.3. Prueba Apertura y Cierre de Puertas

Las pruebas realizadas en este sistema tienen como objetivo verificar que se ejecute la acción solicitada, ya sea a través de la aplicación en el dispositivo móvil o mediante un comando de voz dirigido al asistente virtual Alexa. Por ejemplo, al decir “Alexa, abrir puerta oficina”, la puerta se abrirá por completo, y el sistema se detendrá de manera automática al detectar que la puerta está totalmente abierta. Del mismo modo, si se indica “Alexa, cerrar puerta oficina”, el sistema procederá a cerrarla y se detendrá cuando confirme que la puerta está completamente cerrada, en la Figura 61 se indica el sistema mecánico y su funcionamiento.

**Figura 61**

*Sistema mecánico apertura y cierre de puertas Nodo 3*



Cabe señalar que el sistema únicamente permanece acoplado mientras recibe un comando. Si no se emite ninguna orden, se desacopla, permitiendo el uso convencional de la puerta sin obstaculizar su funcionamiento manual como se indica en la Figura 62 perteneciente al sistema mecánico de las puertas del nodo 1.

**Figura 62**

*Apertura de puertas mediante el sistema*



En el dispositivo móvil se han integrado de manera directa los comandos para abrir y cerrar la puerta. Con solo pulsar la opción correspondiente, el sistema ejecuta la acción seleccionada como se indica en la figura 63.

**Figura 63**

*Dispositivos agregados para control de puertas*



#### 4.1.1.4. Prueba de Apertura y Cierre de Cortinas

Al igual que el sistema de puertas, las cortinas también se controlan mediante el mismo nodo. En otras palabras, la tarjeta controladora de las puertas regula, además, el funcionamiento de las cortinas. Por ello, las aplicaciones y el modo de operación son bastante similares en ambos casos.

Para su manejo desde la aplicación móvil, basta con seleccionar la interfaz y el comando específico, por ejemplo: “abrir cortina oficina” indicado en la Figura 64. En cuanto al asistente virtual Alexa, puede usarse el comando de voz “Alexa, abrir cortina oficina” para ejecutar la acción deseada, o “Alexa, cerrar cortina oficina” para que el sistema mecánico cumpla la orden indicada según la programación establecida.

**Figura 64**

*Botones para el control de las cortinas*



A continuación, en la Figura 65a, se muestra cómo se ha instalado este sistema en el hogar este se encuentra en estado abierto por ende la cortina se encuentra subida en su totalidad, en la Figura 65b se indica el estado cerrado de la cortina, esta baja en su totalidad cerrado así el sistema, así como la manera de activarlo por medio de las distintas interfaces disponibles.

**Figura 65**

*Sistema Mecánico apertura y cierre de cortinas*



a)

b)

## 4.2. Pruebas de Hardware

Estas pruebas de hardware se enfocan específicamente en el microcontrolador, verificando que cumpla con una serie de parámetros diseñados para optimizar su eficiencia energética en sus distintos modos de operación.

### 4.2.1. Microcontrolador ESP32

Se abordan las pruebas realizadas en el microcontrolador ESP32, evaluando su rendimiento, consumo energético y comportamiento en diferentes modos operativos. Se enfoca en dos modos específicos: el modo activo y el modo de escucha Light-Sleep.

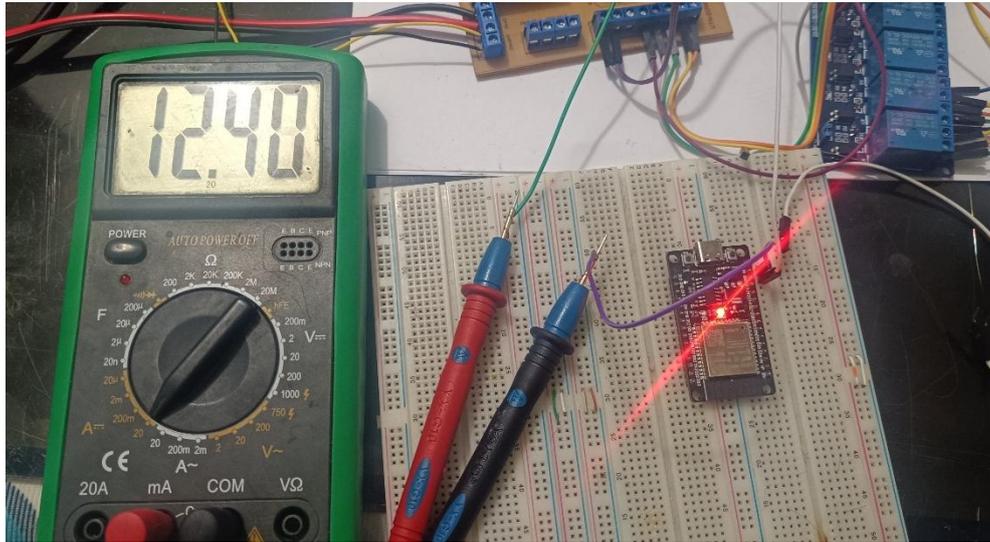
#### 4.2.1.1. Modo Activo

En el modo activo, el ESP32 está completamente operativo, con la CPU ejecutando instrucciones y todos los periféricos disponibles para su uso como se indica el consumo en la Figura 66. Este modo es el más intensivo en términos de consumo energético, ya que la CPU y otros componentes están en funcionamiento constante. Las pruebas realizadas en este modo incluyeron varias evaluaciones para determinar el consumo energético, el rendimiento y la estabilidad del microcontrolador. Para medir el consumo energético, se registró la corriente consumida por la CPU a la frecuencia de operación más alta: 240 MHz. Además, se comparó el consumo energético bajo diferentes cargas de trabajo, diferenciando entre condiciones de carga alta y carga normal.

Los resultados esperados de estas pruebas indican que el consumo energético del ESP32 varía significativamente según la frecuencia de operación de la CPU y la carga de trabajo. A una frecuencia de 240 MHz, el consumo esperado es de aproximadamente 120-150 mA en condiciones de carga alta y de 70-80 mA en carga normal. a 80 MHz, el consumo previsto es de 40-60 mA en condiciones de carga alta y 30-40 mA en condiciones normales. Estos datos proporcionan una visión clara de cómo la frecuencia de la CPU y la carga de trabajo influyen en el consumo energético del ESP32 en modo activo, lo cual es crucial para el diseño de aplicaciones eficientes en términos de energía.

**Figura 66**

*Modo activo, consumo energético ESP32*

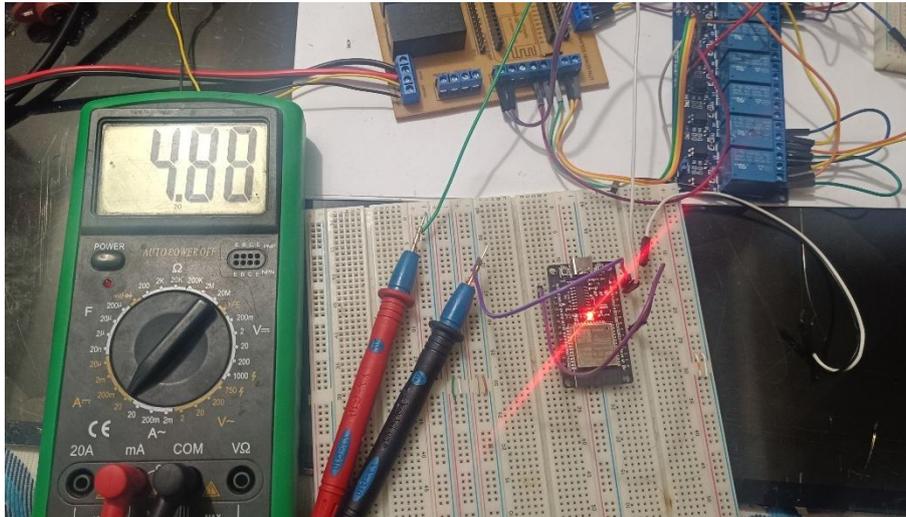


#### **4.2.1.2. Modo Escucha Light-Sleep**

En el modo Light-Sleep, el ESP32 optimiza el consumo energético al suspender la CPU y apagar muchos de sus periféricos. Sin embargo, la radio Wi-Fi se mantiene activa para recibir paquetes de datos, lo que permite al ESP32 despertarse rápidamente cuando es necesario. Las pruebas realizadas en este modo se enfocaron en medir el consumo energético mientras se utiliza Wi-Fi 802.11n. Además, se evaluó la latencia de despertar, es decir, el tiempo que tarda el ESP32 en reactivarse desde el modo Light-Sleep para procesar un evento. También se realizaron pruebas de conectividad para asegurar el mantenimiento de la conexión Wi-Fi durante largos periodos en modo Light-Sleep, y se evaluó la capacidad del ESP32 para manejar interrupciones y reconexiones automáticas.

**Figura 67**

*Modo de bajo consumo Light-Sleep*



Los resultados esperados de estas pruebas indican que el consumo energético en modo Light-Sleep es bastante consistente como se indica en la Figura 67, independientemente del protocolo Wi-Fi utilizado. Se espera un consumo de aproximadamente 1.2-5 mA para 802.11n. Estas cifras reflejan la eficiencia del ESP32 en la gestión de energía mientras mantiene la conectividad, lo cual es crucial para aplicaciones que requieren largos periodos de funcionamiento. La baja latencia de despertar y la capacidad de mantener la conectividad Wi-Fi aseguran que el ESP32 pueda responder rápidamente a eventos importantes, equilibrando así la eficiencia energética con la necesidad de rendimiento y conectividad constante.

#### **4.2.2. Actuadores y sensores**

Los actuadores se refieren a los dispositivos electrónicos capaces de soportar cargas de potencia, en este caso estos actuadores activan motores de 12v y motores de 120v respectivamente, además de evitar interferencia con la tarjeta de control, mientras que los sensores cumplen la función de detectar la posición de las puertas. Ambos trabajan de forma coordinada con la tarjeta electrónica: los actuadores se activan según el comando recibido, y

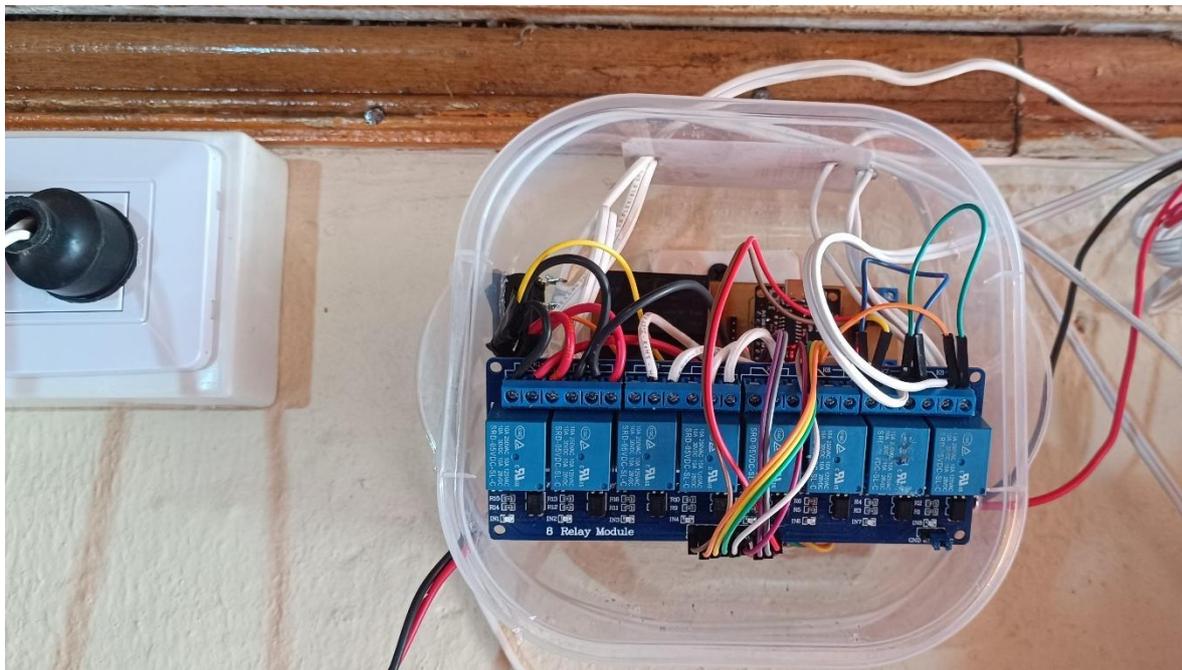
los sensores envían una señal a la tarjeta controladora o nodo para confirmar que la acción se ha llevado a cabo correctamente en la Figura 68 se indican estos componentes.

### Figura 68

*Actuadores y sensores*



De igual manera se tiene en la Figura 69 el nodo el cual controla las puertas y la cortina de la oficina, este este compuesto por el microcontrolador y los actuadores que realizan los procesos de potencia.

**Figura 69***Actuadores nodo 3*

### 4.2.3. Integración de Componentes

Para integrar todos los componentes en un único sistema, se emplea la aplicación de Alexa. Los dispositivos utilizados para controlar el encendido y apagado de la iluminación y las tomas de corriente son compatibles con esta plataforma, de modo que operan como un ecosistema. Del mismo modo, los nodos programados se añaden directamente a Alexa a través de la red Wi-Fi, con el propósito de concentrar su control en una sola aplicación. De esta manera, se logra una integración eficiente y se evitan posibles problemas de compatibilidad.

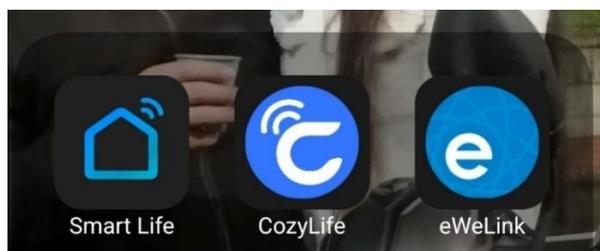
#### 4.2.3.1. Integración con Dispositivos Móviles

Para agregar los dispositivos, primero es necesario crear las cuentas de usuario correspondientes en la aplicación de Alexa. De igual forma, cada componente requiere de su aplicación nativa: los Smart Plug utilizan SmartLife, los Wi-Fi Smart Switch funcionan con CozyLife y los Sonoff se configuran mediante eWeLink como se indica en la Figura 70. Una

vez registrados en sus respectivas aplicaciones, se integran todos a Alexa para unificar su control, evitando así el uso de múltiples plataformas.

### Figura 70

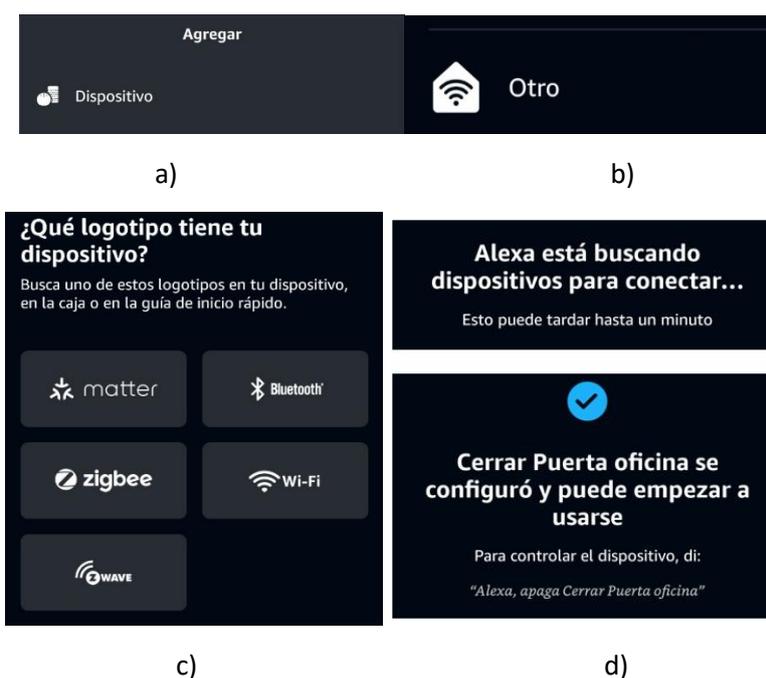
*Integración de componentes*



Además, los nodos se añaden directamente a Alexa a través de la red Wi-Fi. Basta con acceder a la sección “Más” en la aplicación, seleccionar la opción “Dispositivos” Figura 71a y, en el apartado “Otros” Figura 71b, realizar la búsqueda en la red mediante Wi-Fi Figura 71c. De esta manera, todo el sistema queda centralizado en una sola aplicación, encontrando los dispositivos de los nodos y se los agrega directamente a la aplicación como se indica en la Figura 71d facilitando su administración y evitando posibles conflictos de compatibilidad.

### Figura 71

*Integración del sistema de puertas*

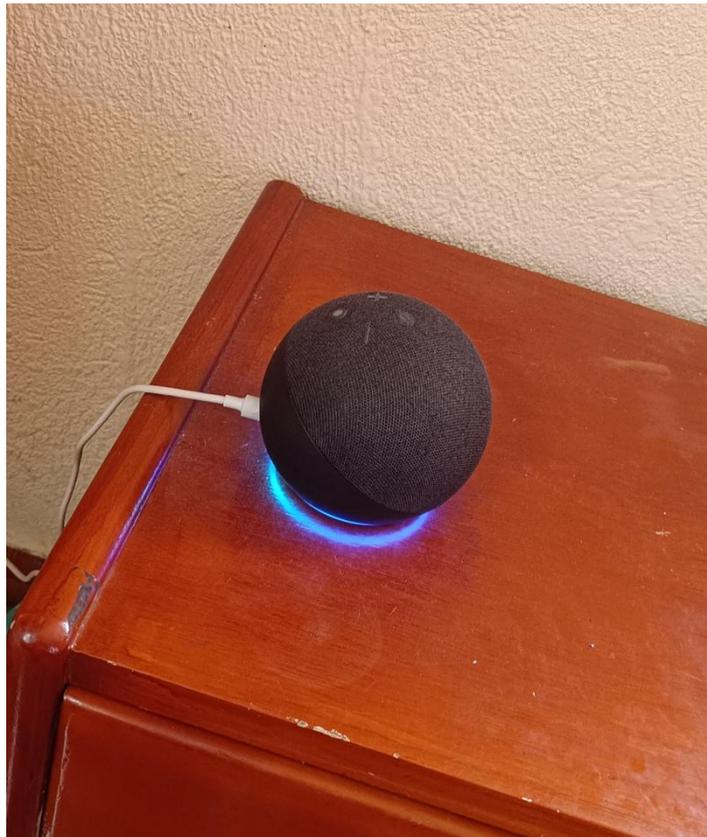


#### 4.2.3.2. Integración con Asistente Virtual Alexa

En el apartado 4.2.3.1 se describe que todo está centralizado en la aplicación de Alexa instalada en el dispositivo móvil. Esto permite que, si las acciones se ejecutan correctamente a través de la aplicación, el asistente virtual enlazado pueda reproducir las mismas funciones por medio de comandos de voz. La única diferencia radica en el uso de la palabra “Alexa” antes de indicar el componente que se desea activar. Es importante, por tanto, conocer el nombre de cada elemento integrado para que el sistema responda de manera adecuada, en la Figura 72 se muestra el dispositivo conocido como Alexa.

#### **Figura 72**

*Asistente virtual de Amazon Alexa*



#### 4.2.4. Pruebas de Control Manual

El control manual de los dispositivos permite utilizarlos de forma convencional, por lo que se seleccionaron componentes que cumplieran con este requisito. Además, en los sistemas mecánicos se incorporaron funciones que posibilitan acoplar y desacoplar los mecanismos, ofreciendo así la opción de operar de manera manual cuando se desee.

##### 4.2.4.1. Operación Directa de Dispositivos

La operación directa de los dispositivos suele resultar práctica para quienes no necesitan el sistema domótico o prefieren una respuesta inmediata. En el caso de la iluminación en la Figura 73, el componente seleccionado permite vincularse con un interruptor doméstico convencional para encender y apagar la luz sin sacrificar la posibilidad de controlarla mediante la aplicación o el asistente virtual de Alexa.

#### Figura 73

*Control manual apagador iluminación*



Asimismo, los dispositivos conectados a los tomacorrientes incluyen un interruptor en su carcasa que, al presionarlo, activa o desactiva la alimentación eléctrica como se aprecia en

la Figura 74; esto resulta especialmente útil en la estación de radio, donde puede ser necesario enchufar o desenchufar distintos equipos.

### Figura 74

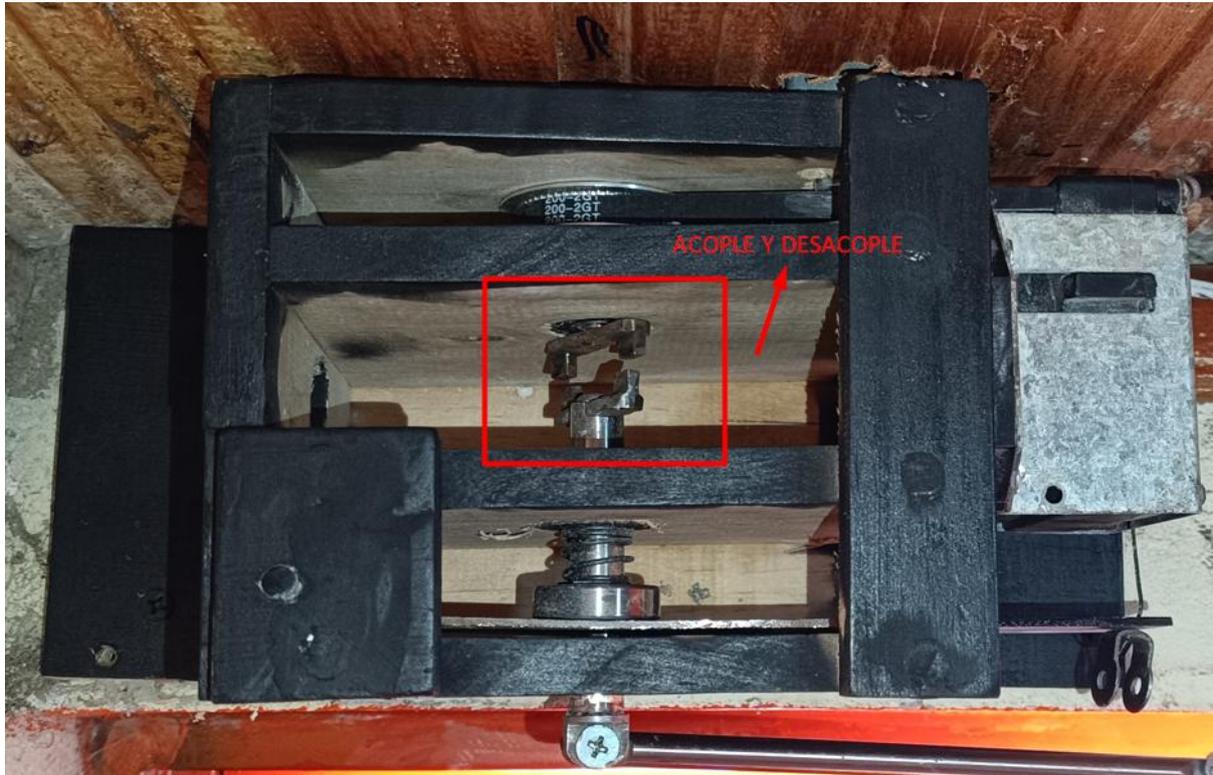
*Control manual tomas eléctricos*



Por su parte, los mecanismos de apertura y cierre de puertas y cortinas cuentan con una función que acopla o desacopla su sistema de tracción como se indica en la Figura 75, de modo que sea posible operarlos de forma manual. Cuando se requiera manejarlos desde la aplicación o por voz mediante Alexa, el sistema se acopla nuevamente para cumplir con su función. Esta característica se detalla en la Figura 36 del capítulo III de este documento.

**Figura 75**

*Mecanismo de acople y desacople*



#### **4.2.5. Pruebas de Control por Voz**

La interacción por comandos de voz depende de los nombres asignados a cada componente dentro de la aplicación de Alexa. En el apartado 4.2.3.1 del capítulo IV se describe el procedimiento para incorporar cada uno de estos componentes, así como los comandos específicos, que se detallan a continuación.

##### **4.2.5.1. Reconocimiento de Comandos**

Para que el asistente virtual Alexa ejecute una tarea específica en el sistema domótico, es imprescindible definir varios parámetros, entre ellos el nombre de cada dispositivo. Por ejemplo, para encender la luz de la habitación se emplea el comando: “Alexa, enciende luz habitación”, mientras que para apagarla se utiliza: “Alexa, apaga luz habitación”. Del mismo

modo, para controlar la iluminación del baño se usan los comandos “Alexa, enciende luz baño” y “Alexa, apaga luz baño”.

Si se desea manejar la luz de la estación de radio, a la que se le ha asignado el nombre “oficina”, basta con decir “Alexa, enciende luz oficina”, o “Alexa, apaga luz oficina” para apagarla. Para administrar los tomacorrientes inteligentes se sigue la misma lógica, nombrándolos según su ubicación. Así, para encender el tomacorriente de la oficina que controla el computador, se dice “Alexa, enciende toma computador”, mientras que para un televisor se usaría “Alexa, enciende toma televisor”.

Respecto a las puertas, cada una cuenta con su comando propio, y dado que funcionan como nodos descentralizados, si uno de ellos pierde conexión, los demás continúan operando con normalidad. Por ejemplo, para abrir la puerta del baño, el comando es “Alexa, encender abrir puerta baño”, y para cerrarla, “Alexa, encender cerrar puerta baño”. Lo mismo aplica a la puerta de la oficina, cuyos comandos son “Alexa, encender abrir puerta oficina” y “Alexa, encender cerrar puerta oficina”. Para las cortinas, se utilizan instrucciones similares, como “Alexa, encender abrir cortina oficina” y “Alexa, encender cerrar cortina oficina”.

Finalmente, Alexa confirma cada acción con la respuesta “Muy bien”, y este mismo procedimiento se aplica a cualquier otro componente que se integre al sistema domótico.

### **4.3. Pruebas de Software**

Las pruebas de software realizadas se enfocan específicamente en el control de puertas y cortinas, las cuales fueron programadas mediante un algoritmo diseñado para optimizar el proceso. El software debe ser capaz de aceptar y ejecutar los comandos correctamente. En caso de presentarse errores, estos se corrigen.

Las pruebas consisten en abrir y cerrar las puertas repetidamente utilizando tres métodos: el control desde un dispositivo móvil, el asistente virtual Alexa y el control manual. Es fundamental que el sistema mantenga su funcionalidad sin importar el estado en el que se encuentre previamente.

Para garantizar esto, el software debe ser robusto y capaz de interpretar adecuadamente el estado previo de los dispositivos esto lo hace por medio de los sensores, asegurando su correcto funcionamiento en cualquier circunstancia.

#### **4.4. Comunicación Entre Nodos Mediante la Red Wi-Fi**

Los nodos, al emplear una arquitectura descentralizada, se conectan directamente a la red Wi-Fi del router instalado en el hogar. No es necesario que los nodos se comuniquen entre sí, ya que, a diferencia de una arquitectura centralizada donde un nodo controlador gestiona los comandos y los demás nodos dependen de él, en este sistema descentralizado no existe tal dependencia. Si el nodo central fallara en un sistema centralizado, los demás dejarían de funcionar; sin embargo, en esta configuración, cualquier fallo o desconexión de un nodo no afecta el funcionamiento del resto, garantizando así una operación continua del sistema domótico, que debe mantenerse activo el mayor tiempo posible.

Cada nodo recibe dinámicamente una dirección IP asignada por el router según las disponibles. En caso de apagarse o reiniciarse, el nodo se reconectará a la red sin inconvenientes. Además, es posible utilizar un analizador de red para verificar todos los nodos conectados indicado en la Figura 76, así como los componentes integrados al sistema domótico, ya que forman parte de la misma infraestructura.

**Figura 76**

*Direcciones IP de todos los dispositivos conectados al sistema domótico*

WPRODUCCIONES (15)	
Wireless-N Broadband Router	
192.168.0.1	N/A >
N/A	
192.168.0.100	N/A >
N/A	
192.168.0.101	N/A >
N/A	
192.168.0.102	N/A >
N/A	
192.168.0.103	N/A >
N/A	
192.168.0.104	N/A >
N/A	
192.168.0.105	N/A >
N/A	
192.168.0.106	N/A >
N/A	
192.168.0.107	N/A >
N/A	
192.168.0.108	N/A >
N/A	
192.168.0.109	N/A >
N/A	
22101316G	
192.168.0.111	N/A >
Xiaomi	
linux	
192.168.0.112	N/A >
N/A	
192.168.0.113	N/A >
N/A	

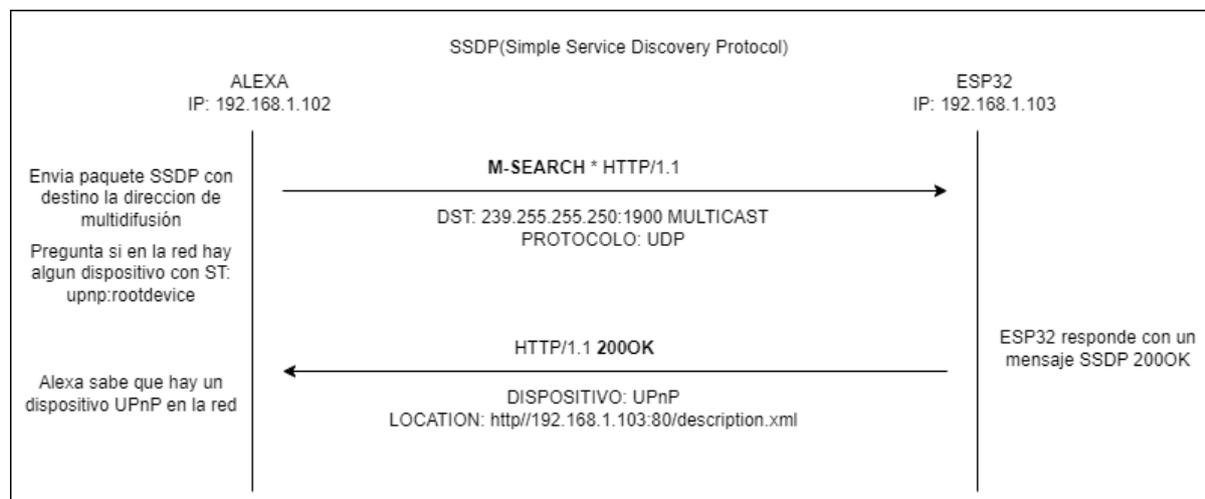
#### 4.4.1. Protocolo SSDP y UPnP Para Comunicación Entre Alexa y el ESP32

El protocolo SSDP (Simple Service Discovery Protocol) y UPnP (Universal Plug and Play) son fundamentales en la red para la detección y la comunicación entre dispositivos. En este caso, permiten que Alexa detecte el microcontrolador ESP32, el cual funciona como un dispositivo domótico. SSDP es un protocolo de descubrimiento que opera sobre HTTP y UDP; los dispositivos anuncian su presencia o buscan servicios disponibles mediante

mensajes multicast dirigidos a 239.255.255.250, una dirección IP reservada para uso en multicast, a través del puerto 1900.

**Figura 77**

*Proceso de descubrimiento protocolo SSDP*



En la interacción mostrada en la Figura 77 se observa el proceso mediante el cual Alexa descubre un dispositivo en la red; en este caso, se trata de la ESP32, que utiliza el protocolo SSDP. Alexa, con la dirección IP 192.168.1.102, envía un paquete SSDP M-SEARCH dirigido a la dirección de multidifusión 239.255.255.250, empleando el puerto 1900 propio de este protocolo. En dicho paquete, se consulta si existe en la red un dispositivo con el identificador ST: upnp:rootdevice, tal como se indica en la Figura 79. Esta comunicación se realiza sobre UDP, también en el puerto 1900.

La ESP32, con la dirección IP 192.168.1.103, responde con un mensaje SSDP 200 OK en unicast, indicando que se trata de un dispositivo UPnP y señalando la ubicación de su descripción (LOCATION: <http://192.168.1.103:80/description.xml>). De esta manera, Alexa detecta la presencia de un dispositivo UPnP en la red y lo reconoce como dispositivo inteligente.

**Figura 78**

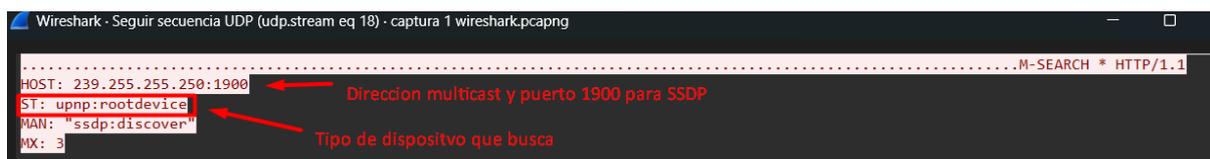
*Captura proceso de descubriendo Wireshark*

30366	260.196545943	192.168.1.102	239.255.255.250	SSDP	1126	M-SEARCH * HTTP/1.1
30367	260.207072046	192.168.1.102	239.255.255.250	SSDP	1126	M-SEARCH * HTTP/1.1
30368	260.216117035	192.168.1.102	239.255.255.250	SSDP	1126	M-SEARCH * HTTP/1.1
30369	260.228968388	192.168.1.102	239.255.255.250	SSDP	1126	M-SEARCH * HTTP/1.1
30370	260.238556755	192.168.1.102	239.255.255.250	SSDP	1126	M-SEARCH * HTTP/1.1
30372	260.242638260	192.168.1.103	192.168.1.102	SSDP	396	HTTP/1.1 200 OK
30380	260.247992443	192.168.1.103	192.168.1.102	SSDP	396	HTTP/1.1 200 OK

En la Figura 78 se muestra el proceso de descubrimiento capturado con el software Wireshark. Alexa envía varios mensajes M-SEARCH para que la búsqueda sea más efectiva. Gracias a la negociación SSDP, Alexa localiza el ESP32; posteriormente consultará la descripción XML y procederá a controlarlo según el protocolo UPnP/Hue, emulado por la librería Espalexa. Todo esto se realiza sobre Wi-Fi 802.11n.

**Figura 79**

*Secuencia UDP para búsqueda de dispositivos*



En la Figura 80 se explica la respuesta SSDP del dispositivo ESP32, que emula un puente Hue/UPnP. Dado que SSDP se basa en un formato similar a HTTP, sus cabeceras presentan un esquema parecido, aunque se transporten por UDP.

**Figura 80**

*Respuesta SSDP*

```
HTTP/1.1 200 OK
EXT:
CACHE-CONTROL: max-age=100
LOCATION: http://192.168.1.103:80/description.xml
SERVER: FreeRTOS/6.0.5, UPnP/1.0, IpBridge/1.17.0
hue-bridgeid: 8c4f001108ac
ST: urn:schemas-upnp-org:device:basic:1
USN: uuid:2f402f80-da50-11e1-9b23-8c4f001108ac::upnp:rootdevice
```

- **HTTP/1.1 200 OK:** indica que es una respuesta exitosa
- **CACHE-CONTROL: max-age=100:** la información de descubrimiento es válida por 100 segundos, pasado eso se debe volver a descubrir.

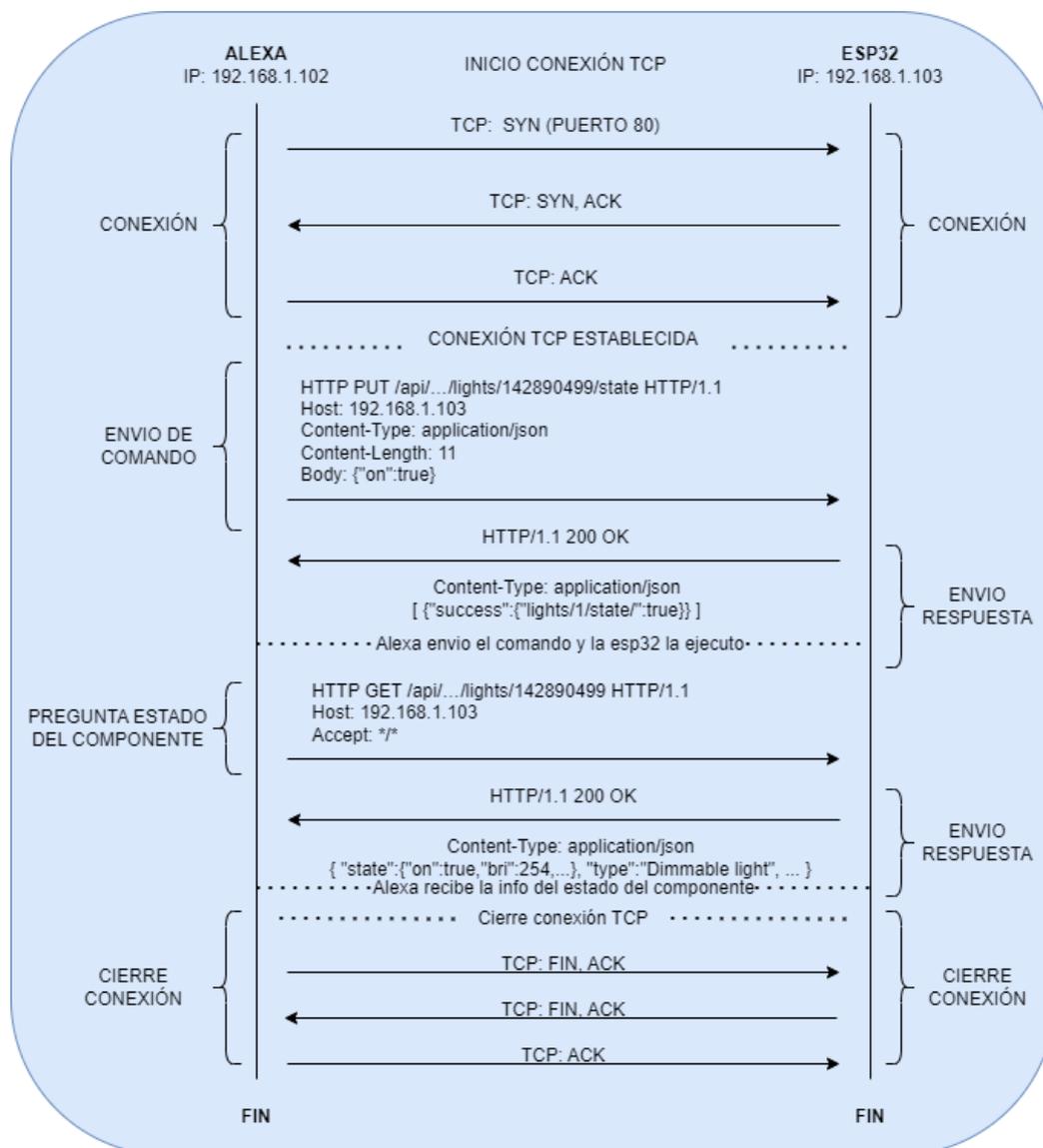
- **LOCATION:** `http://192.168.1.103:80/description.xml`: la URL donde Alexa encontrara la descripción detallada del dispositivo en formato XML
- **SERVER:** `FreeRTOS/6.0.5` identifica como sistema operativo embebido, `UPnP/1.0` versión del protocolo, `IpBridge/1.17.0` da a entender que se comporta como un puente Hue
- **ST:** `urn:schemas-upnp-org:device:basic:1`: así Alexa sabe que es un dispositivo UPnP básico
- **USN:** `uuid:2f402f80-da50-11e1-9b23-8c4f001108ac::upnp:rootdevice`: sirve para distinguir al dispositivo de cualquier otro en la red, Alexa usa el USN para identificarlo de forma inequívoca.

#### 4.4.2. Comunicación HTTP/TCP para Controlar Dispositivos Entre Alexa y ESP32

En la Figura 81 se muestra el diagrama de secuencia del proceso de comunicación HTTP/TCP entre Alexa y la ESP32. Para que Alexa envíe comandos HTTP, primero debe realizarse el proceso de conexión TCP con la ESP32 a través del puerto 80, utilizando el procedimiento de “tres vías” (three-way handshake). Alexa indica su intención de iniciar la conexión mediante un mensaje SYN; luego, la ESP32 responde con SYN,ACK para aceptar la conexión y, a su vez, envía su número de secuencia inicial. Finalmente, Alexa confirma la conexión, momento a partir del cual ambas partes pueden intercambiar datos HTTP.

**Figura 81**

*Intercambio HTTP/TCP para enviar comando y consultar estado*



Una vez establecida la conexión TCP, Alexa envía un comando para controlar el dispositivo deseado. Para ello, llama al método PUT en la ruta /api/.../state, incluyendo el payload {"on":true}. La librería Espalexa, al recibir este paquete, interpreta que debe ejecutar el comando correspondiente al ID asociado. La ESP32 procesa la petición y ajusta el estado del dispositivo, ejecutando la tarea que se requiera según el nuevo estado. Internamente, se llama al callback del dispositivo y se envía una respuesta HTTP/1.1 200 OK con el estado "success", lo cual confirma que el proceso se realizó satisfactoriamente. Además, se remite

un mensaje HTTP en formato JSON con la clave "/lights/1/state/" para indicar que el estado cambió al valor "true". Todo este procedimiento se ilustra en la Figura 82.

## Figura 82

*Mensaje PUT envió comando y respuesta 200 OK de confirmación*

```

PUT /api/2WLEDHardQrI3WHYTHoMcXHgEspm8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state HTTP/1.1
Host: 192.168.1.103
Accept: */*
Content-Type: application/json
Content-Length: 11

{"on":true}
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: application/json
Content-Length: 40
Connection: close

[{"success":{"/lights/1/state/": true}}]

```

En la Figura 83 se observa la trama, donde se indica la dirección IP de origen y destino, así como los puertos en uso. En este caso, se emplea el puerto 80 para HTTP y el puerto 49546 para Alexa, que corresponde a un puerto efímero para la conexión saliente. Además, puede verse el método PUT enviado mediante HTTP y la petición en formato JSON.

## Figura 83

*Petición PUT por HTTP/JSON*

```

▶ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.102, Dst: 192.168.1.103
▶ Transmission Control Protocol, Src Port: 49586, Dst Port: 80, Seq: 1, Ack: 1, Len: 182
▼ Hypertext Transfer Protocol
  ▼ PUT /api/2WLEDHardQrI3WHYTHoMcXHgEspm8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state HTTP/1.1\r\n
    Request Method: PUT
    Request URI: /api/2WLEDHardQrI3WHYTHoMcXHgEspm8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state
    Request Version: HTTP/1.1
    Host: 192.168.1.103\r\n
    Accept: */*\r\n
    Content-Type: application/json\r\n
  ▼ Content-Length: 11\r\n
    [Content length: 11]
  \r\n
  [Response in frame: 33788]
  [Full request URI: http://192.168.1.103/api/2WLEDHardQrI3WHYTHoMcXHgEspm8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state]
  File Data: 11 bytes
▼ JavaScript Object Notation: application/json
  ▼ Object
    ▼ Member: on
      [Path with value: /on:true]
      [Member with value: on:true]
      True value
      Key: on
      [Path: /on]

```

En la Figura 84 se muestra el mensaje 200 OK en formato HTTP, el cual indica la respuesta al comando solicitado por Alexa. Asimismo, se confirma que el comando se ha ejecutado y, en un JSON, se refleja el cambio de estado del componente en el callback.

**Figura 84**

*Respuesta HTTP//1.1 200 OK*

```

▶ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.103, Dst: 192.168.1.102
▶ Transmission Control Protocol, Src Port: 80, Dst Port: 49586, Seq: 91, Ack: 183, Len: 40
▼ [2 Reassembled TCP Segments (130 bytes): #33787(90), #33788(40)]
  [Frame: 33787, payload: 0-89 (90 bytes)]
  [Frame: 33788, payload: 90-129 (40 bytes)]
  [Segment count: 2]
  [Reassembled TCP length: 130]
  [Reassembled TCP Data [ ]: 485454502f312e3120323030204f4b0d0a436f6e74656e742d5479706553a206170706c696361746e74666e2f6a736f6e0d0a4
▼ Hypertext Transfer Protocol
  ▼ HTTP/1.1 200 OK\r\n
    Response Version: HTTP/1.1
    Status Code: 200
    [Status Code Description: OK]
    Response Phrase: OK
    Content-Type: application/json\r\n
  ▼ Content-Length: 40\r\n
    [Content length: 40]
  Connection: close\r\n
  \r\n
  [Request in frame: 33748]
  [Time since request: 0.102898214 seconds]
  [Request URI: /api/2WLEDHardQrI3WHYTHoMcXHgEpsM8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state]
  [Full request URI: http://192.168.1.103/api/2WLEDHardQrI3WHYTHoMcXHgEpsM8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state]
  File Data: 40 bytes
▼ JavaScript Object Notation: application/json
  ▼ Array
    ▼ Object
      ▼ Member: success
        ▼ Object
          ▼ Member: /lights/1/state/
            [Path with value: /[]/success//lights/1/state/:true]
            [Member with value: /lights/1/state/:true]
            True value
            Key: /lights/1/state/
            [Path: /[]/success//lights/1/state/]
            Key: success
            [Path: /[]/success]

```

En la Figura 84 se presenta el mensaje GET. En él se observa cómo Alexa solicita información completa sobre un comando en específico y cómo la ESP32 devuelve el JSON con sus atributos. En este caso, se confirma el estado del dispositivo como “true” y el modo de trabajo “homeautomation”, indicando que se trata de un dispositivo domótico disponible. También se incluye el nombre del comando ejecutado, “abrir Puerta Oficina”, y los metadatos del dispositivo emulado. Este JSON devuelto permite a Alexa verificar si el comando se ha ejecutado correctamente.

**Figura 85**

*GET para saber el estado del dispositivo y las propiedades*

```

GET /api/2wLEDHardQrI3WHYTHoMcXhgEpsM8ZZRpSKtBQr/lights/142890496 HTTP/1.1
Host: 192.168.1.103
Accept: */*
Content-Type: application/json

HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: application/json
Content-Length: 277
Connection: close

{"state":{"on":true,"bri":254,"alert":"none","mode":"homeautomation","reachable":true},"type":"Dimmable light","name":"Abrir Puerta oficina",
"modelid":"LWB010","manufacturername":"Philips","productname":"E1","uniqueid":"8C:4F:00:11:08:AC:00:11-01","swversion":"espallexa-2.7.0"}
    
```

En la Figura 85, se indica el proceso en la captura de wireshark de los métodos PUT y GET con su respectiva respuesta del mensaje en formato HTTP/JSON y confirmado con 200 OK

**Figura 86**

*Método PUT y GET respuesta 200 OK*

33748	279	357919760	192.168.1.102	192.168.1.103	HTTP/JSON	381	PUT /api/2wLEDHardQrI3WHYTHoMcXhgEpsM8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state HTTP/1.1, JSON (application/json)
33788	279	460817974	192.168.1.103	192.168.1.102	HTTP/JSON	159	HTTP/1.1 200 OK, JSON (application/json)
33810	279	47132583	192.168.1.102	192.168.1.103	HTTP	264	GET /api/2wLEDHardQrI3WHYTHoMcXhgEpsM8ZZRpSKtBQr/lights/142890496 HTTP/1.1
33813	279	480040968	192.168.1.103	192.168.1.102	HTTP/JSON	396	HTTP/1.1 200 OK, JSON (application/json)

Por último, se presenta un proceso completo del funcionamiento del protocolo TCP con HTTP/JSON para el envío de un comando que se ejecuta desde Alexa hacia la ESP32. Esta trama se ilustra en la Figura 86, en la captura realizada con Wireshark mediante el protocolo 802.11. De esta manera, se identifica cómo Alexa y la ESP32 gestionan los comandos a través de la librería Espallexa incorporada en el código.

**Figura 87**

*Funcionamiento del protocolo TCO con HTTP/JSON*

34748	284	878329967	192.168.1.102	192.168.1.103	TCP	139	49746 → 80 [SYN] Seq=0 Win=64240 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM TSval=1743870505 TSecr=0 WS=64
34751	284	880268970	192.168.1.103	192.168.1.102	TCP	123	80 → 49746 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Min=5760 Len=0 MSS=1436
34752	284	880340935	192.168.1.103	192.168.1.102	TCP	123	[TCP Retransmission] 80 → 49746 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Min=5760 Len=0 MSS=1436
34754	284	881576513	192.168.1.102	192.168.1.103	TCP	119	49746 → 80 [ACK] Seq=1 Ack=1 Min=64240 Len=0
34758	284	890633331	192.168.1.102	192.168.1.103	TCP	119	[TCP Dup ACK 34754#1] 49746 → 80 [ACK] Seq=1 Ack=1 Min=64240 Len=0
34759	284	890679726	192.168.1.102	192.168.1.103	HTTP/JSON	301	PUT /api/2wLEDHardQrI3WHYTHoMcXhgEpsM8ZZRpSKtBQr/lights/142890496/state HTTP/1.1, JSON (application/json)
35453	289	635697145	192.168.1.103	192.168.1.102	TCP	210	80 → 49602 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=147 Win=5614 Len=91 [TCP PDU reassembled in 35454]
35454	289	635859795	192.168.1.103	192.168.1.102	HTTP/JSON	308	HTTP/1.1 200 OK, JSON (application/json)
35455	289	636441658	192.168.1.103	192.168.1.102	TCP	119	80 → 49602 [FIN, ACK] Seq=371 Ack=147 Win=5614 Len=0

### 4.5. Resultados del Sistema Domótico

Los resultados obtenidos con la implementación de este sistema domótico son muy positivos, ya que proporcionan un amplio abanico de funcionalidades que antes no estaban al

alcance del señor Wilman Maya. Este usuario presenta distrofia muscular de Becker, una afección que limita considerablemente su movilidad, obligándolo a utilizar una silla de ruedas y reduciendo el uso de sus extremidades superiores, mientras que en las inferiores no tiene movilidad alguna.

Frente a estas necesidades, el sistema domótico ofrece la posibilidad de ejecutar diversas acciones en el hogar sin requerir la asistencia constante de familiares. Al ponerlo en marcha, se ha evidenciado una mejora sustancial en su independencia: ahora puede encender la iluminación, abrir puertas o activar su estación de radio de manera autónoma, fortaleciendo así su libertad personal.

Además, el sistema cuenta con múltiples funcionalidades manejables tanto desde el teléfono móvil como a través de comandos de voz mediante el asistente virtual de Alexa. Para quienes no necesiten usar estas opciones, sigue existiendo la modalidad de control manual, que opera sin dificultad alguna. De este modo, se garantiza que el sistema pueda adaptarse a diferentes usuarios y brindarles la mayor comodidad posible en su vida cotidiana.

#### **4.5.1. Comparación del Funcionamiento Anterior y Actual**

Se ha llevado a cabo un análisis comparativo entre la manera en que el señor Wilman Maya realizaba sus actividades cotidianas antes de la implementación del sistema domótico y la forma en que las ejecuta en la actualidad. Esta comparación proporciona una visión más amplia de las ventajas y funcionalidades que ofrece el nuevo sistema, evidenciando el impacto positivo en su vida diaria.

##### **4.5.1.1. Encendido de Iluminación**

La iluminación solía encenderse de forma manual. Si el señor Wilman Maya necesitaba activar alguna bombilla en su espacio de trabajo, antes debía pedir ayuda a otra

persona. Con la implementación del sistema domótico, ahora puede encenderla desde cualquier lugar, ya sea mediante su dispositivo móvil o usando comandos de voz con el asistente virtual Alexa. Esto le brinda una mayor autonomía y elimina la necesidad de depender de terceros para llevar a cabo esta tarea.

Anteriormente se necesitaba de una tercera persona la cual realice el trabajo de encender un foco como se indica en la Figura 88, aunque actualmente esta funcionalidad no se ha perdido, ahora se puede hacerlo directamente con el sistema domótico.

### **Figura 88**

*Funcionamiento anterior, encendido de iluminación*



Para poder realizar la misma actividad Wilman ya no requiere de otra persona, él lo puede realizar de manera directa usando el dispositivo móvil o más convenientemente se lo usa con el asistente virtual de alexa, ejecutando el comando correspondiente, dependiendo del lugar en el que se encuentre, en la Figura 89a se aprecia que la iluminación de la estación se encuentra apagado y en la Figura 89b se indica como Wilman lo puede realizar de manera autónoma el encendió de la iluminación.

**Figura 89**

*Actualmente sistema de iluminación mediante sistema domótico*



a)

b)

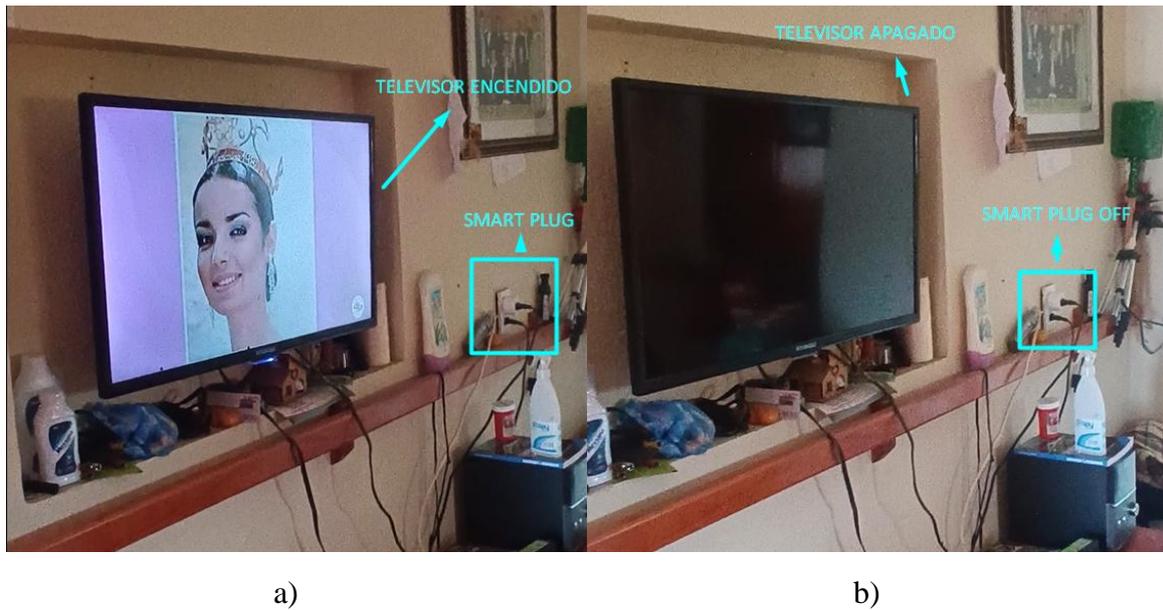
#### 4.5.1.2. Control de Tomas Eléctricos

Los tomacorrientes eléctricos necesarios para alimentar diversos dispositivos en el hogar, como el televisor, el cargador del celular y la computadora utilizada para operar su estación de radio, antes requerían la asistencia de una persona a la que Wilman Maya solicitaba ayuda. Con la implementación del sistema domótico, estos tomacorrientes ahora son inteligentes y están directamente conectados a sus dispositivos. Wilman puede encender o apagar cualquier aparato simplemente enviando una orden desde su dispositivo móvil o utilizando comandos de voz a través del asistente virtual Alexa. De esta manera, ya no necesita depender de terceros para realizar estas tareas, lo que no solo le ahorra tiempo, sino que también le proporciona una mayor autonomía en el hogar, en la Figura 90a se indica el dispositivo Smart plug instalado para el televisor en el hogar el cual Wilman puede

controlarlo de manera directa con comandos de voz o por medio de la aplicación móvil en este caso el dispositivo se encuentra encendido, en la Figura 90b se indica el estado apagado de este ya que se ejecutó el comando de apagado del dispositivo.

### Figura 90

*Control de tomas eléctricas*



#### 4.5.1.3. Control De Puertas y Cortinas

Uno de los sistemas más complejos es el control de puertas y cortinas, ya que estos elementos conectan los nodos programados con las ESP32 al sistema domótico completo. Los mecanismos de las puertas deben cumplir con ciertos parámetros, como evitar bloqueos y operar dentro de un rango establecido. Para cumplir con estos requisitos, se diseñó un sistema que permite al señor Wilman Maya abrir y cerrar las puertas sin necesidad de asistencia externa.

**Figura 91**

*Anteriormente se necesitaba ayuda para poder abrir las puertas*



Ahora, Wilman puede emitir un comando desde su dispositivo móvil o utilizar un comando de voz a través del asistente virtual Alexa para que el sistema realice la tarea de abrir o cerrar las puertas según sus necesidades en la Figura 92 se muestra el sistema operando. Es importante señalar que este sistema se encarga únicamente de la apertura y el cierre de las puertas; el aseguramiento de estas debe hacerse de forma manual.

**Figura 92**

*Sistema mecánico actual incorporado al sistema domótico*



Anteriormente, el control de puertas y cortinas dependía de la ayuda de una persona, lo que limitaba la autonomía de Wilman en la Figura 93 se indica el método anterior que solamente es una cortina normal el cual necesita de otra persona para poder abrir o cerrar la cortina.

### **Figura 93**

*Apertura y cierre de cortinas sin instalar el sistema domótico*



Con la implementación del sistema domótico, él puede gestionar estas funciones de manera independiente como se indica en la Figura 94 instalado el sistema de apertura y cierre de cortinas, lo que no solo facilita la realización de tareas diarias, sino que también aporta beneficios significativos en términos de seguridad y autonomía en su hogar.

**Figura 94***Sistema de apertura y cierre de cortinas*

Este avance tecnológico ha permitido que Wilman maneje de forma eficiente y autónoma aspectos fundamentales de su entorno doméstico, reduciendo la dependencia de terceros para actividades cotidianas.

#### **4.5.2. Fiabilidad y Robustez del Sistema**

La fiabilidad y robustez del sistema domótico implementado para una persona en estado de paraplejía son cruciales para garantizar un funcionamiento continuo y seguro. Esto es especialmente importante en entornos donde el usuario depende de estas tecnologías para mantener su autonomía diaria. Para asegurar esta fiabilidad, se han diseñado diversos parámetros que permiten al sistema continuar operando incluso en caso de fallas, ofreciendo

tanto control domótico como manual en situaciones de emergencia, esto se detalla en la Tabla 20 sobre algunos parámetros evaluados en el sistema domótico.

#### **4.5.2.1. Diseño para la Resiliencia**

El sistema domótico ha sido desarrollado con múltiples capas de protección y redundancia para evitar interrupciones en su funcionamiento. En caso de fallos, el sistema puede alternar entre el control automatizado y el manual, asegurando que todas las funciones esenciales permanezcan operativas.

#### **4.5.2.2. Pruebas de Estrés y Robustez**

Para evaluar la robustez del sistema, se llevaron a cabo pruebas de estrés que sometieron tanto los sistemas de control como los mecánicos a cargas máximas. Estas pruebas incluyeron:

- **Carga Máxima de Control:** Se incrementó el número de comandos simultáneos para verificar que el sistema de control mantuviera su rendimiento sin degradación.
- **Carga Máxima de Sistemas Mecánicos:** Se operaron las puertas y cortinas repetidamente en rápida sucesión para asegurar que los mecanismos respondieran adecuadamente bajo presión constante.

#### **4.5.2.3. Pruebas de Resiliencia de Nodos**

Se realizaron pruebas de desconexión aleatoria de nodos para confirmar que el sistema continuara funcionando correctamente con los nodos restantes. Los resultados demostraron que cada nodo opera de manera independiente, sin depender de un nodo central. Esto garantiza que, incluso si un nodo falla o se desconecta, el resto del sistema permanece funcional y operativo.

#### 4.5.2.4. Implementación de Mecanismos de Redundancia

Para incrementar la fiabilidad, se implementaron mecanismos de redundancia en todas las partes críticas del sistema domótico. Estos mecanismos incluyen:

- **Métodos de Control Alternativos:** Además del control domótico automatizado, el sistema puede ser operado manualmente, proporcionando una capa adicional de seguridad en caso de que los componentes automatizados fallen.

**Tabla 20**

*Pruebas de Fiabilidad y robustez*

<b>Prueba Realizada</b>	<b>Resultado</b>
<b>Pruebas de carga máxima</b>	Sistema de control mecánico opero sin fallas
<b>Desconexión aleatoria de nodos</b>	Sistema continuo funcionando con nodos restantes
<b>Implementación de redundancia</b>	Se sigue manteniendo la operatividad de manera manual

*Nota: Elaboración propia*

#### 4.5.4. Impacto en el Usuario

El sistema domótico ha transformado de manera significativa la vida del señor Wilman Maya, incrementando notablemente su autonomía. En la Tabla 21 se detallan diversos aspectos clave que han beneficiado al señor Wilman Maya, abarcando áreas como la independencia, el bienestar emocional y el confort físico.

Estos avances tecnológicos le han permitido realizar sus actividades diarias con mayor facilidad y seguridad, reduciendo la necesidad de asistencia constante por parte de terceros. Además, el sistema ha contribuido a crear un entorno más confortable y adaptado a sus necesidades específicas, lo que ha fortalecido su sentido de autonomía y ha mejorado su bienestar general.

A continuación, se presentan algunos de los aspectos más destacados que han impactado positivamente en la vida del señor Wilman Maya:

**Tabla 21**

*Impacto en el usuario*

<b>Aspecto</b>	<b>Impacto</b>
<b>Independencia en tareas diarias</b>	Wilman ahora puede controlar la iluminación, puertas, tomacorrientes, cortinas y su estación de radio sin necesidad de asistencia externa, lo que incrementa su independencia y reduce la carga sobre sus familiares
<b>Facilidad de uso</b>	El uso de dispositivos móviles inteligentes y comandos de voz con asistente virtual facilita el uso del sistema principalmente cuando se tiene una limitación física.
<b>Reducción de estrés</b>	La capacidad de controlar el entorno doméstico de manera autónoma disminuye la dependencia de terceros, reduciendo el estrés y aumentando la confianza en sus propias capacidades
<b>Incremento de autonomía</b>	Wilman ha expresado una mayor satisfacción con su entorno doméstico, destacando “Ahora puedo manejar mi hogar sin tener que pedir ayuda constantemente”, “la automatización ha hecho que mi día a día sea mucho más sencillo y cómodo”

*Nota: elaboración propia de acuerdo con las palabras expresadas por el señor Wilman Maya*

#### **4.6. Costo del Sistema**

La implementación de un sistema domótico controlado mediante dispositivos móviles Android y un asistente virtual requiere una inversión inicial que incluye tanto la adquisición de hardware y software como los costos de instalación. En el caso del señor Wilmar Maya, quien padece distrofia muscular de Becker y vive en estado de paraplejia, se han evaluado todos los gastos necesarios para la compra de los componentes y su posterior configuración en la vivienda. Este desembolso abarca no solo la adquisición de los dispositivos que permiten el funcionamiento del sistema, sino también los servicios de instalación y adaptación del entorno para satisfacer de manera óptima sus necesidades, garantizando así una mayor autonomía.

#### 4.6.1. Análisis de Costos de Hardware y Software

Se identifican los principales costos tanto en el ámbito de hardware como de software. En el apartado de hardware, se elabora un recuento detallado de todos los componentes necesarios para la implementación del sistema domótico, como los microcontroladores que operan los nodos, los actuadores y los motores de potencia, entre otros. Todos estos dispositivos son esenciales para el correcto funcionamiento del sistema.

Por otra parte, en el ámbito de software, se analiza el presupuesto destinado al desarrollo, el cual incluye desde la elaboración de placas y la programación del código que controla los nodos, hasta el diseño global del sistema. Todo ello se ha concebido específicamente para satisfacer las necesidades de una persona en estado de paraplejía, garantizando así un entorno más autónomo y adaptado a sus requerimientos.

##### 4.6.1.1. Costos de Hardware

En este caso, el hardware necesario para la implementación del sistema incluyó diversos componentes electrónicos y mecánicos, indispensables para asegurar un funcionamiento óptimo. Estos elementos se describen en el apartado 3.2.2, “Selección de Hardware y Software para el Sistema Domótico”, en el Capítulo III de este documento. Asimismo, en la Tabla 22 se detallan los costos relacionados con la construcción de tres nodos y el equipamiento requerido para el control de todos los subsistemas contemplados.

**Tabla 22**

*Costo de Hardware*

Ítem	Costo Hardware		
	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
ESP32	3	5.00	15.00
Amazon Alexa	1	53.00	53.00
Modulo Rele 5v	3	8.25	24.75
Modulo Interruptor	4	7.50	30.00

<b>Wi-Fi</b>			
<b>Motorreductor 10rpm 12v 16kg.cm</b>	3	19.92	59.76
<b>Adaptador de corriente inteligente</b>	4	7.50	30.00
<b>SonOff</b>	1	9.75	9.75
<b>Fuente 5V DC Hi-Link PM-01</b>	3	5.50	16.50
<b>Fuente 12V DC Hi-Link PM-01</b>	3	5.50	16.50
<b>Rodamientos</b>	12	2.00	24.00
<b>Motor Extractor 120v</b>	3	10.00	30.00
<b>Costo Total</b>			<b>309.26</b>

La inversión estimada en hardware asciende a \$309,26, lo que incluye todos los insumos necesarios para su construcción. Es importante señalar que el proyecto contempla tres nodos dentro del sistema domótico, así como los componentes indispensables para su desarrollo.

#### 4.6.1.2. Costos de Software

En lo que respecta al software, se incluyen todas las herramientas necesarias para el desarrollo del sistema domótico, desde la realización de simulaciones hasta la creación del código fuente de los nodos y el diseño de los sistemas electrónicos involucrados. En la Tabla 23 se detallan los costos asociados a estas aplicaciones y licencias, las cuales resultan imprescindibles para llevar a cabo las diferentes etapas de desarrollo y pruebas del proyecto.

**Tabla 23**

*Costos de Software*

<b>Ítem</b>	<b>Costo Software</b>		
	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (\$)</b>	<b>Precio Total (\$)</b>
<b>Eagle licencia estudiantil</b>	1	00.00	00.00
<b>Arduino IDE</b>	1	00.00	00.00
<b>Fritzing</b>	1	00.00	00.00

<b>Tinkercad</b>	1	00.00	00.00
<b>AutoCAD licencia estudiantil</b>	1	00.00	00.00
<b>SketchUP</b>	1	00.00	00.00
<b>Costo Total</b>			00.00

La inversión en software asciende a \$0.00, dado que se emplean herramientas de código abierto o licencias educativas de uso temporal. Todas estas aplicaciones se utilizan para diseñar las diferentes secciones del sistema domótico.

#### 4.6.2. Costo de Implementación

En la Tabla 24 se describen los costos de instalación del sistema domótico dirigido a una persona en condición de paraplejía. Dichos costos abarcan la fabricación de los sistemas mecánicos y la integración de los componentes eléctricos necesarios para el montaje y puesta en marcha del sistema. Estos elementos resultan fundamentales, ya que se complementan entre sí para garantizar un funcionamiento óptimo y continuo.

**Tabla 24**

*Costos de implementación*

Ítem	Costo de Implementación		
	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
<b>Estructura Sistema de puertas</b>	3	10.00	30.00
<b>Estructura sistema de cortinas</b>	1	10.00	10.00
<b>Canaletas</b>	2	2.50	5.00
<b>Cable Nº 16</b>	11m	0.45	5.00
<b>Tomacorrientes dobles</b>	2	2.00	4.00
<b>Tornillos</b>	100	0.02	2.00
<b>Costo Total</b>			56.00

El costo es de 56.00 dólares en el cual incluye la fabricación de las estructuras para el sistema mecánico de las puertas y las cortinas e implementos necesarios para el montaje de cada uno de los nodos en la vivienda del Señor Wilman Maya.

#### **4.6.3. Relación Costo-Beneficio**

El análisis de la relación costo-beneficio permite determinar si la inversión en el sistema domótico está justificada al confrontar los gastos de implementación con los beneficios obtenidos. En la Tabla 25 se señalan tanto los beneficios tangibles como los intangibles que este sistema proporciona a una persona en estado de paraplejía, evidenciando la mejora significativa en su vida y autonomía.

Incorporar un sistema domótico en el hogar de Wilman Maya, quien presenta una condición de paraplejía debido a una enfermedad conocida como distrofia muscular de Becker, se justifica ampliamente al analizar tanto los gastos iniciales como los beneficios tangibles e intangibles que se obtienen a largo plazo. Si bien la inversión abarca la adquisición de dispositivos inteligentes (como sensores, actuadores, controladores, etc) y su correspondiente instalación, el retorno se manifiesta en la mejora sustancial de la autonomía y el bienestar de la persona, al permitirle ejecutar tareas cotidianas. Dicha independencia reduce la carga sobre sus familiares o cuidadores y eleva su autoestima, ya que puede controlar luces, puertas y dispositivos electrónicos mediante comandos de voz o interfaces adaptadas como dispositivos móviles. Por otra parte, la implantación de este sistema aporta un valor inestimable al mejorar rotundamente la independencia en algunas actividades de Wilman, incrementando su participación en el entorno doméstico y convirtiendo en una inversión rentable desde el punto de vista social, emocional y económico.

En las propias palabras de Wilman comenta que estas nuevas herramientas ayudan bastante ya que anteriormente necesitaba de más personas para poder realizar principalmente

el encendido de sus componentes para realizar su trabajo que es radio, Wilman comenta “*me he vuelto más independiente realizando el trabajo más solo tranquilamente y de esta forma me siento más útil, más positivo, más animado ya que ahora todo lo puedo hacer desde este lugar*”. Además, agrega “*Me parece excelente. Estas ayudas son realmente espectaculares porque, cuando uno está en silla de ruedas, no puede realizar muchas actividades y se ve limitado. Sin embargo, con estos apoyos, uno se siente bien y puede seguir adelante, incluso motivándose a ser útil para la sociedad. Entonces, estas herramientas son fundamentales para que las personas en situación de discapacidad podamos aprovechar la tecnología y explotar al máximo nuestro talento*”.

**Tabla 25**

*Relación costo-beneficio*

Aspecto	Costo-Beneficio		
	Costo	Beneficio	Descripción
<b>Costo Total del sistema domótico</b>	365.26(\$)	-	Inversión inicial de hardware, software e implementación
<b>Aumento de autonomía</b>	-	No cuantificable	Mejora la autonomía personal
<b>Reducción de dependencia</b>	-	No cuantificable	Menor necesidad de asistencia externa o de terceros.

La implementación del sistema domótico en el hogar del señor Wilman Maya, quien padece distrofia muscular de Becker, se justifica plenamente gracias a los beneficios adicionales que brinda la automatización y el control de ciertas tareas cotidianas. Debido a esta enfermedad, que le ocasiona pérdida total de movilidad en las extremidades inferiores y movilidad parcial en las superiores con progresión paulatina, el uso de una silla de ruedas se ha vuelto indispensable.

Gracias al sistema domótico, el señor Wilman puede asumir de forma independiente algunas de las labores diarias que antes requerían asistencia, lo que contribuye a una mayor autonomía. Esto demuestra, a su vez, el gran respaldo que la tecnología ofrece en casos de limitaciones físicas y la manera en que puede adaptarse para brindar soluciones específicas a cada necesidad.

## CONCLUSIONES

La implementación de un sistema domótico para una persona en condición de paraplejía resulta no solo factible, sino también sumamente beneficiosa. Este tipo de soluciones incrementa de manera notable la autonomía del usuario, brindándole la posibilidad de llevar a cabo actividades que antes resultaban prácticamente imposibles de realizar por sí mismo. Asimismo, la automatización y el entorno domótico contribuyen de forma significativa a mejorar la vida y el bienestar de quienes presentan limitaciones físicas, reforzando su independencia dentro del hogar.

La integración de diversas tecnologías en un entorno domótico resulta sumamente eficiente, dado que cada componente se complementa para resolver necesidades específicas del usuario. En el caso de Wilman, quien padece distrofia muscular de Becker (una afección progresiva que limita por completo la movilidad de sus extremidades inferiores y, de manera parcial, la de las superiores), el sistema se adapta plenamente a sus requerimientos. Gracias al uso de asistentes virtuales que responden a comandos de voz, Wilman puede realizar múltiples tareas de manera autónoma, evidenciando así la efectividad y los beneficios que la automatización ofrece para personas con movilidad reducida.

A partir de los resultados obtenidos y las valoraciones de Wilman, se concluye que la implementación de un sistema domótico orientado a personas en estado de paraplejía facilita una mejor interacción con su entorno. Este enfoque contribuye a que la discapacidad no constituya una barrera para llevar a cabo diversas tareas domésticas, evitando la dependencia constante de terceros. Además, el sistema ofrece una alternativa de bajo costo y alta eficacia, al integrar componentes que proporcionan comodidad y soluciones prácticas a los distintos desafíos que enfrentan los usuarios.

La integración de diversas herramientas, desde microcontroladores y sensores hasta asistentes virtuales en este caso, Alexa, evidencia la eficacia de sumar tecnologías complementarias. Cada componente aporta una capa de funcionalidad que, en conjunto, potencia la capacidad de respuesta del sistema ante situaciones cotidianas. La posibilidad de ajustar el sistema según las necesidades específicas, en este caso de una persona con distrofia muscular de Becker, y el uso de comandos de voz y controles a través de dispositivos móviles se convierten en un elemento transformador, adaptándose a las limitaciones motoras y contribuyendo a su bienestar.

### **RECOMENDACIONES**

Aunque se ha demostrado la eficacia en personas con paraplejia el sistema podría adaptarse a otras discapacidades o limitaciones específicas, evaluar los requerimientos particulares de movilidad, comunicación o interacción permitirá ofrecer soluciones aún más inclusivas.

Incorporar técnica de eficiencia y ahorro de energía, con detecciones inteligentes o temporizadores, esto puede ayudar a reducir los costos de electricidad y prologar la vida útil de los dispositivos, de esta manera se mantendría la funcionalidad de todo el sistema para el usuario.

Al estar conectado a internet, el sistema domótico puede ser vulnerable a accesos no autorizados, se sugiere fortalecer los protocolos de autenticación, así como realizar pruebas de penetración para identificar brechas potenciales y así poder proteger todo el sistema y al usuario.

## REFERENCIAS

- 802.11, I. (2012). IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks- Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. *IEEE Std 802.11-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007)*, 11, 1–2793. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2012.6178212>
- Acosta Herrería, L. D. (2016). *Sistema domótico incluyendo plataformas de hardware y software libre para la residencia de una persona con paraplejia*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6451>
- Alban Mollocana, G. del R. (2018). *Sistema domótico de apoyo para personas con discapacidad motriz mediante tecnología móvil y reconocimiento de voz*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28012>
- Alonso Reyes, M. del Pilar., López Lena, M. Montero., & Sánchez Vega, Cuauhtémoc. (2020). *Miradas de la vejez: calidad de vida, identidad, violencia y trabajo*. 141.
- Amazon. (2024, May). *Amazon.com: Echo Dot (5.ª generación, modelo de 2022) | Parlante inteligente con Alexa | Carbón*. <https://www.amazon.com/-/es/generaci%C3%B3n-modelo-Parlante-inteligente-Carb%C3%B3n/dp/B09B8V1LZ3>
- Anastasia Stsepanets. (2023, January 17). *Modelo cascada (Waterfall), qué es y cuándo conviene usarlo*. <https://blog.ganttpro.com/es/metodologia-de-cascada/>
- Anju Thangam, J. (2023, February 10). *Qué es un actuador - Tipos y aplicaciones*. <https://tameson.es/pages/actuador>
- Arduino. (2020). *¿Qué es Arduino?*. <https://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Arduino. (2021). *Módulo Relé | Arduino*. [http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas\\_final/OA4/mdulo\\_rel.html](http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas_final/OA4/mdulo_rel.html)
- Biogeo, E. (2023). *¿Qué es AppInventor?* <http://web.mit.edu/>
- Capelini, C. M., da Silva, T. D., Tonks, J., Watson, S., Alvarez, M. P. B., De Menezes, L. D. C., Favero, F. M., Caromano, F. A., Massetti, T., & Monteiro, C. B. D. M. (2017). Improvements in motor tasks through the use of smartphone technology for individuals with Duchenne muscular dystrophy. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 13, 2209. <https://doi.org/10.2147/NDT.S125466>
- Claudio Valero. (2023, March 20). *Bombillas inteligentes recomendadas para Alexa, Google Home y Mi Home*. <https://www.adslzone.net/listas/domotica/bombillas-inteligentes/>
- Díaz Alarcón, B., MARYLIN Bach YABAR BERROCAL, P., DANIEL Asesor, J., & Valer, S. (2017). Diseño e implementación de un sistema domótico para aplicaciones en pacientes parapléjicos mediante control remoto a través de internet y reconocimiento de voz. *Repositorio Institucional - URP*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3355>
- El Osciloscopio. (2021). *Guía para reducir el consumo de energía del ESP32 en un 95% (2024)*. <https://elosciloscopio.com/guia-reducir-consumo-energia-esp32/>

- Fatima, M., Fabián, G.-L., & Julio Carlos, D.-H. (2014). Activación de funciones en edificios inteligentes utilizando comandos de voz desde dispositivos móviles. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(2), 175–186. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)72208-5](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)72208-5)
- Greenwald, W. (2023, November 6). *Amazon Echo Dot (5th Gen, 2022 Release) Review | PCMag*. <https://www.pcmag.com/reviews/amazon-echo-dot-5th-gen>
- Hagos, T. (2018). Android Studio. In *Learn Android Studio 3 : Efficient Android App Development* (pp. 5–17). Apress. [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3156-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3156-2_2)
- Hernández-Yépez, P. J., José Hernández-Yépez, P., Brando, M., Wright, T., Sloane, E., Webb, J., Erdman, R., Jurado, A., Farmer, V., Tree, D., John, H. S., Hunter, N., & Joiner, P. (2020). Hombres (1950) de Fred Zinnemann: paraplejía y principales protagonistas en la rehabilitación de una discapacidad. *Revista de Medicina y Cine*, 16(3), 185–191. <https://doi.org/10.14201/RMC2020163185191>
- IEEE 802.11b. (2001). IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Networks - Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz Band - Corrigendum 1. *IEEE Std 802.11b-1999/Cor 1-2001*, 1–24. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2001.93363>
- IEEE 802.11g. (2003). IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band. *IEEE Std 802.11g-2003 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edn. (Reaff 2003) as Amended by IEEE Stds 802.11a-1999, 802.11b-1999, 802.11b-1999/Cor 1-2001, and 802.11d-2001)*, 1–104. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2003.94282>
- IEEE 802.11n. (2009). IEEE Standard for Information technology– Local and metropolitan area networks– Specific requirements– Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC)and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput. *IEEE Std 802.11n-2009 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as Amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, and IEEE Std 802.11w-2009)*, 1–565. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.5307322>
- IEEE 2413. (2020). IEEE Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT). *IEEE Std 2413-2019*, 1–269. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.9032420>
- LEY ORGÁNICA DE DISCAPACIDADES. (2012, September 25). [https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/ley\\_organica\\_discapacidades.pdf](https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/ley_organica_discapacidades.pdf).
- Milagro Lardiés, F., & Los Santos Aransay, A. (2009). *Comparativa de IEEE 802.11 e IEEE 802.16 capas física y de enlace* [Doctorado en Ingeniería Telemática]. Universidad de Vigo.
- Mishra, B. K. (2023). *Intelligent engineering applications and applied sciences for sustainability* (IGI Global, Ed.). IGI Global.

- Modulo Interruptor Wifi Inteligente 2 Vías. (2024, May). *Modulo Interruptor Wifi Inteligente 2 Vías*. [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1951676842-modulo-interruptor-wifi-inteligente-2-vias-\\_JM?quantity=2&variation\\_id=180178676109](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1951676842-modulo-interruptor-wifi-inteligente-2-vias-_JM?quantity=2&variation_id=180178676109)
- Moreno, E., & Pilar Amaya. (n.d.). *Paraplejia: pasado y futuro del ser*. Retrieved July 23, 2023, from [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1132-12962009000300010](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962009000300010)
- Panda, S. L. (2024, April 7). *AI-Enhanced Smart Home Solutions for Individuals with Disabilities*. <https://www.linkedin.com/pulse/ai-enhanced-smart-home-solutions-individuals-sweta-leena-panda-zgd6c>
- Plascencia, J. L. (2023, March 28). *Qué es Alexa y qué puede hacer por ti*. <https://es.digitaltrends.com/inteligente/que-es-alexa/>
- Pozo Carrillo, C. S. (2021). *Sistema domótico para personas con discapacidad visual controlado mediante frecuencias neuronales*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11529>
- ProNet. (2023). *Sonoff Micro Adaptador Inteligente USB | ProNet Tecnología*. <https://pronet.uy/producto/sonoff-micro-adaptador-inteligente-usb/>
- Ramírez Velásquez, D. J., Pulgarín Espitia, L. A., & Presencial. (2022). *Propuesta de un Sistema Domótico de Bajo Costo Enfocado a Personas con Discapacidad que sea Usuaría de Silla de Ruedas*. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11482>
- Ramón, A. :, & Balibrea, H. (2012). *Tecnología domótica para el control de una vivienda. (Home Automation technology for the control of a house.)*.
- RGeymonat. (2023). *Sonoff Basic interruptor inteligente WiFi – Tehotech*. <https://tehotech.com.uy/producto/interruptor-inteligente-sonoff-wifi-module-domotica/>
- Rocha Façanha, A., Carneiro Araújo, M. da C., Viana, W., & Sánchez, J. (2018). M2TA - Mobile mouse touchscreen accessible for users with motor disabilities. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10907 LNCS, 273–286. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92049-8\\_20/FIGURES/6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92049-8_20/FIGURES/6)
- Rodríguez Medellín, C. G. (2020). *Diseño de un sistema domótico para personas en condición de paraplejia residentes en el municipio de Gachetá - 10596/36692* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://repositorio.unad.edu.co/handle/10596/36692>
- Schauer, L. (2018). Analyzing the Digital Society by Tracking Mobile Customer Devices. In R. and Z. M. Linnhoff-Popien Claudia and Schneider (Ed.), *Digital Marketplaces Unleashed* (pp. 467–478). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49275-8\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49275-8_42)
- Shelly. (2023). *Relé Shelly 1*. <https://shellyspain.com/rele-shelly-1.html>
- Soto Sánchez, & Ofelia Adriana. (2011). *Comparación de la eficiencia volumétrica entre redes inalámbricas WiFi y WiMAX* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Suntaxi Llumiquinga, J. A. (2013). *Diseño y construcción de un prototipo de control domótica inalámbrico para discapacitados*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6350>
- Vaish, K., Patra, S., & Chhabra, P. (2020). Functional disability among elderly: A community-based cross-sectional study. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 9(1), 253. [https://doi.org/10.4103/JFMPC.JFMPC\\_728\\_19](https://doi.org/10.4103/JFMPC.JFMPC_728_19)
- Veigl, C., Deinhofer, M., Aigner, B., & Miesenberger, K. (2017). Personalized computer access for people with severe motor disabilities asterics, flipmouse and the two-level personalization software engineering method. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10297 LNCS, 397–415. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58530-7\\_31/TABLES/4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58530-7_31/TABLES/4)
- Viteri, J., Morales Carrasco, A., Jácome, M., Rodríguez, V., María, ;, Morales, F., & Vinueza, D. (n.d.). *Orphaned Diseases*. 39, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263347>
- Wi-Fi Alliance. (2024). *Wi-Fi Alliance*. <https://www.wi-fi.org/>
- Witting, N., Duno, M., & Vissing, J. (2013). Becker muscular dystrophy with widespread muscle hypertrophy and a non-sense mutation of exon 2. *Neuromuscular Disorders*, 23(1), 25–28. <https://doi.org/10.1016/J.NMD.2012.07.004>
- Xukyo. (2024, February 18). *Descripción general del microcontrolador NodeMCU ESP32 • AranaCorp*. <https://www.aranacorp.com/es/descripcion-general-del-microcontrolador-nodemcu-esp32/>

## ANEXOS

### 9.1. ANEXO 1: código nodo 1

Este código es perteneciente al nodo 1 el cual controla la apertura y cierre de la puerta del baño, este código está ligado al algoritmo planificado en el apartado 3.2.6.2 en la Figura 43.

```
#include <WiFi.h>
#include <Espalexa.h>

// Definir los pines para controlar puertas y cortinas
const int PT_ABRIR = 14;
const int PT_CERRAR = 27;
const int PT_CERRADURA = 15;
const int PT_ACTUADOR = 25;
const int SI_DOMOTICA = 17;

// Definir los pines de entrada para detectar los pulsos positivos y negativos
const int SN_PT_ABIERTA = 26;
const int SN_PT_CERRADA = 33;

// Nombre de la red WiFi y contraseña
const char* ssid = "WPRODUCCIONES";
const char* password = "*****";

// Variables para controlar los estados
bool abrirPuerta = false;
bool cerrarPuerta = false;
bool preguntaPuerta = false;
unsigned long tiempoInicio = 0;
bool temporizadorIniciado = false;
unsigned long ultimoComandoAlexa = 0;

// Tiempo de espera antes de entrar en modo de escucha (3 minutos)
const unsigned long tiempoEsperaAlexa = 1 * 60 * 1000; // 3 minutos en milisegundos

// Funciones para el control de Alexa
void PuertaAbrir(uint8_t brightness) {
  abrirPuerta = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

void PuertaCerrar(uint8_t brightness) {
  cerrarPuerta = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

// Crear objetos de Espalexa
Espalexa espalexa;
```

```

void conectarWiFi () {
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Conectando a WiFi...");
  }
  Serial.println("Conectado a la red WiFi");
}

void setup () {
  Serial.begin(115200);

  // Configurar pines
  pinMode(PT_ABRIR, OUTPUT);
  pinMode(PT_CERRAR, OUTPUT);
  pinMode(PT_CERRADURA, OUTPUT);
  pinMode(PT_ACTUADOR, OUTPUT);
  pinMode(SI_DOMOTICA, OUTPUT);
  pinMode(SN_PT_ABIERTA, INPUT_PULLUP); // Configurar para
detectar pulsos Negativos
  pinMode(SN_PT_CERRADA, INPUT_PULLUP); // Configurar para detectar
pulsos negativos

  // Inicializar pines en HIGH
  digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
  digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
  digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
  digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
  digitalWrite(SI_DOMOTICA, HIGH);

  // Conectar a WiFi
  conectarWiFi();

  // Configurar dispositivos Espalexa
  espalexa.addDevice("Abrir Puerta baño", PuertaAbrir);
  espalexa.addDevice("Cerrar Puerta baño", PuertaCerrar);
  // Iniciar Espalexa
  espalexa.begin();
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

void loop () {
  espalexa.loop();

  // Estado de los sensores
  bool puertaAbiertaSensor = digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW; //
Detectar pulsos positivos
  bool puertaCerradaSensor = digitalRead(SN_PT_CERRADA) == LOW; //
Detectar pulsos negativos

  // Verificar si ambos sensores están en HIGH y manejar el
temporizador
  if (!puertaAbiertaSensor && !puertaCerradaSensor) {
    if (!temporizadorIniciado) {

```

```

    tiempoInicio = millis();
    temporizadorIniciado = true;
} else if (millis() - tiempoInicio >= 10000) {
    // Si ambos sensores están en HIGH por 10 segundos, abrir la
puerta

    digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
    digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
    delay(2000);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
    digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
    delay(4000);
    digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);
    delay(2000);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
    digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);

    // Esperar a que el sensor de puerta abierta se active
while (!digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW) {
    delay(10);
}

    // Una vez que la puerta esté abierta, volver a HIGH
    digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
    digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
    abrirPuerta = false;

    temporizadorIniciado = false;
}
} else {
    temporizadorIniciado = false;
}

// Control de la puerta
if (abrirPuerta) {
    if (puertaCerradaSensor && !puertaAbiertaSensor) {
        digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
        digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
        delay(3000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
        delay(3000);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);
        delay(2000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);

        // Esperar a que el sensor de puerta abierta se active
while (!digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW) {
    delay(10);
}

        // Una vez que la puerta esté abierta, volver a HIGH
        digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);

```

```

    digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
    digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
    abrirPuerta = false;
  }
}

if (cerrarPuerta) {
  if (puertaAbiertaSensor && !puertaCerradaSensor) {
    digitalWrite(PT_CERRAR, LOW);
    digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);

    // Esperar a que el sensor de puerta cerrada se active
    while (!digitalRead(SN_PT_CERRADA) == LOW) {
      delay(10);
    }

    // Una vez que la puerta esté cerrada, volver a HIGH
    digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
    cerrarPuerta = false;
  }
}

// Reconectar WiFi si se pierde la conexión
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  conectarWiFi();
}

// Cambiar a modo de escucha si no hay comandos de Alexa en 3
minutos
if (millis() - ultimoComandoAlexa >= tiempoEsperaAlexa) {
  // Código para poner la ESP32 en modo de bajo consumo, sólo
  escuchando comandos de Alexa
  WiFi.setSleep(true); // Activar modo de bajo consumo de WiFi
  delay(100);
} else {
  WiFi.setSleep(false); // Desactivar modo de bajo consumo de WiFi
  si hay actividad reciente
}
}
}

```

## 9.2. ANEXO 2: código nodo 2

Este código es perteneciente al nodo 2 el cual controla la apertura y cierre de la puerta de la habitación, este código está ligado al algoritmo planificado en el apartado 3.2.6.2 en la Figura 43.

```

#include <WiFi.h>
#include <Espalexa.h>

// Definir los pines para controlar puertas y cortinas
const int PT_ABRIR = 14;
const int PT_CERRAR = 27;
const int PT_CERRADURA = 15;
const int PT_ACTUADOR = 25;
const int SI_DOMOTICA = 17;

// Definir los pines de entrada para detectar los pulsos positivos y
negativos
const int SN_PT_ABIERTA = 26;
const int SN_PT_CERRADA = 33;

// Nombre de la red WiFi y contraseña
const char* ssid = "WPRODUCCIONES";
const char* password = "*****";

// Variables para controlar los estados
bool abrirPuerta = false;
bool cerrarPuerta = false;
bool preguntaPuerta = false;
unsigned long tiempoInicio = 0;
bool temporizadorIniciado = false;
unsigned long ultimoComandoAlexa = 0;

// Tiempo de espera antes de entrar en modo de escucha (3 minutos)
const unsigned long tiempoEsperaAlexa = 1 * 60 * 1000; // 3 minutos en
milisegundos

// Funciones para el control de Alexa
void PuertaAbrir(uint8_t brightness) {
  abrirPuerta = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

void PuertaCerrar(uint8_t brightness) {
  cerrarPuerta = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

// Crear objetos de Espalexa
Espalexa espalexa;

void conectarWiFi() {
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Conectando a WiFi...");
  }
  Serial.println("Conectado a la red WiFi");
}

void setup() {

```

```

Serial.begin(115200);

// Configurar pines
pinMode(PT_ABRIR, OUTPUT);
pinMode(PT_CERRAR, OUTPUT);
pinMode(PT_CERRADURA, OUTPUT);
pinMode(PT_ACTUADOR, OUTPUT);
pinMode(SI_DOMOTICA, OUTPUT);
pinMode(SN_PT_ABIERTA, INPUT_PULLUP); // Configurar para
detectar pulsos negativos
pinMode(SN_PT_CERRADA, INPUT_PULLUP); // Configurar para detectar
pulsos negativos

// Inicializar pines en HIGH
digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
digitalWrite(SI_DOMOTICA, HIGH);

// Conectar a WiFi
conectarWiFi();

// Configurar dispositivos Espalexa
espalexa.addDevice("Abrir Puerta habitacion", PuertaAbrir);
espalexa.addDevice("Cerrar Puerta habitacion", PuertaCerrar);

// Iniciar Espalexa
espalexa.begin();
ultimoComandoAlexa = millis();
}

void loop() {
    espalexa.loop();

    // Estado de los sensores
    bool puertaAbiertaSensor = digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW; //
Detectar pulsos positivos
    bool puertaCerradaSensor = digitalRead(SN_PT_CERRADA) == LOW; //
Detectar pulsos negativos

    // Verificar si ambos sensores están en HIGH y manejar el
temporizador
    if (!puertaAbiertaSensor && !puertaCerradaSensor) {
        if (!temporizadorIniciado) {
            tiempoInicio = millis();
            temporizadorIniciado = true;
        } else if (millis() - tiempoInicio >= 10000) {
            // Si ambos sensores están en HIGH por 10 segundos, abrir la
puerta

            digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
            digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
            delay(2000);
            digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
            digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);

```

```

delay(4000);
digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);
delay(2000);
digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);

// Esperar a que el sensor de puerta abierta se active
while (!digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW) {
    delay(10);
}

// Una vez que la puerta esté abierta, volver a HIGH
digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
abrirPuerta = false;

    temporizadorIniciado = false;
}
} else {
    temporizadorIniciado = false;
}

// Control de la puerta
if (abrirPuerta) {
    if (puertaCerradaSensor && !puertaAbiertaSensor) {
        digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
        digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
        delay(3000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
        delay(3000);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);
        delay(2000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);

        // Esperar a que el sensor de puerta abierta se active
        while (!digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW) {
            delay(10);
        }

        // Una vez que la puerta esté abierta, volver a HIGH
        digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
        digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
        digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
        abrirPuerta = false;
    }
}

if (cerrarPuerta) {
    if (puertaAbiertaSensor && !puertaCerradaSensor) {
        digitalWrite(PT_CERRAR, LOW);
        digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
    }
}

```

```

digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);

// Esperar a que el sensor de puerta cerrada se active
while (!digitalRead(SN_PT_CERRADA) == LOW) {
    delay(10);
}

// Una vez que la puerta esté cerrada, volver a HIGH
digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
cerrarPuerta = false;
}
}

// Reconectar WiFi si se pierde la conexión
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    conectarWiFi();
}

// Cambiar a modo de escucha si no hay comandos de Alexa en 3
minutos
if (millis() - ultimoComandoAlexa >= tiempoEsperaAlexa) {
    // Código para poner la ESP32 en modo de bajo consumo, sólo
    escuchando comandos de Alexa
    WiFi.setSleep(true); // Activar modo de bajo consumo de WiFi
    delay(100);
} else {
    WiFi.setSleep(false); // Desactivar modo de bajo consumo de WiFi
    si hay actividad reciente
}
}
}

```

### 9.3. ANEXO 3: código nodo 3

Este código es perteneciente al nodo 3 el cual controla la apertura y cierre de la puerta de la oficina, de igual manera controla la apertura y cierre de cortina en la misma oficina, este código está ligado al algoritmo planificado en el apartado 3.2.6.1 en la Figura 42.

```

#include <WiFi.h>
#include <Espalexa.h>

// Definir los pines para controlar puertas y cortinas
const int PT_ABRIR = 14;
const int PT_CERRAR = 27;
const int PT_CERRADURA = 15;
const int PT_ACTUADOR = 25;
const int SI_DOMOTICA = 17;
const int CT_ABRIR = 4;

```

```

const int CT_CERRAR = 16;

// Definir los pines de entrada para detectar los pulsos positivos y
negativos
const int SN_PT_ABIERTA = 26;
const int SN_PT_CERRADA = 33;

// Nombre de la red WiFi y contraseña
const char* ssid = "WPRODUCCIONES";
const char* password = "*****";

// Variables para controlar los estados
bool abrirPuerta = false;
bool cerrarPuerta = false;
bool abrirCortina = false;
bool cerrarCortina = false;
bool preguntaPuerta = false;
unsigned long tiempoInicio = 0;
bool temporizadorIniciado = false;
unsigned long ultimoComandoAlexa = 0;

// Tiempo de espera antes de entrar en modo de escucha (3 minutos)
const unsigned long tiempoEsperaAlexa = 1 * 60 * 1000; // 3 minutos en
milisegundos

// Funciones para el control de Alexa
void PuertaAbrir(uint8_t brightness) {
  abrirPuerta = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

void PuertaCerrar(uint8_t brightness) {
  cerrarPuerta = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

void CortinaAbrir(uint8_t brightness) {
  abrirCortina = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

void CortinaCerrar(uint8_t brightness) {
  cerrarCortina = true;
  ultimoComandoAlexa = millis();
}

// Crear objetos de Espalexa
Espalexa espalexa;

void conectarWiFi() {
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Conectando a WiFi...");
  }
}

```

```

    Serial.println("Conectado a la red WiFi");
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Configurar pines
    pinMode(PT_ABRIR, OUTPUT);
    pinMode(PT_CERRAR, OUTPUT);
    pinMode(PT_CERRADURA, OUTPUT);
    pinMode(PT_ACTUADOR, OUTPUT);
    pinMode(SI_DOMOTICA, OUTPUT);
    pinMode(CT_ABRIR, OUTPUT);
    pinMode(CT_CERRAR, OUTPUT);
    pinMode(SN_PT_ABIERTA, INPUT_PULLUP);           // Configurar para
detectar pulsos positivos
    pinMode(SN_PT_CERRADA, INPUT_PULLUP); // Configurar para detectar
pulsos negativos

    // Inicializar pines en HIGH
    digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
    digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
    digitalWrite(SI_DOMOTICA, HIGH);
    digitalWrite(CT_ABRIR, HIGH);
    digitalWrite(CT_CERRAR, HIGH);

    // Conectar a WiFi
    conectarWiFi();

    // Configurar dispositivos Espalexa
    espalexa.addDevice("Abrir Puerta oficina", PuertaAbrir);
    espalexa.addDevice("Cerrar Puerta oficina", PuertaCerrar);
    espalexa.addDevice("Abrir Cortina oficina", CortinaAbrir);
    espalexa.addDevice("Cerrar Cortina oficina", CortinaCerrar);

    // Iniciar Espalexa
    espalexa.begin();
    ultimoComandoAlexa = millis();
}

void loop() {
    espalexa.loop();

    // Estado de los sensores
    bool puertaAbiertaSensor = digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW; //
Detectar pulsos positivos
    bool puertaCerradaSensor = digitalRead(SN_PT_CERRADA) == LOW; //
Detectar pulsos negativos

    // Verificar si ambos sensores están en HIGH y manejar el
temporizador
    if (!puertaAbiertaSensor && !puertaCerradaSensor) {
        if (!temporizadorIniciado) {
            tiempoInicio = millis();
            temporizadorIniciado = true;
        }
    }
}

```

```

    } else if (millis() - tiempoInicio >= 10000) {
        // Si ambos sensores están en HIGH por 10 segundos, abrir la
puerta

        digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
        digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
        delay(2000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
        digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
        delay(4000);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);
        delay(2000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);

        // Esperar a que el sensor de puerta abierta se active
while (!digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW) {
            delay(10);
        }

        // Una vez que la puerta esté abierta, volver a HIGH
        digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
        digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
        digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
        abrirPuerta = false;

        temporizadorIniciado = false;
    }
} else {
    temporizadorIniciado = false;
}

// Control de la puerta
if (abrirPuerta) {
    if (puertaCerradaSensor && !puertaAbiertaSensor) {
        digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
        digitalWrite(PT_ACTUADOR, LOW);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
        delay(3000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);
        delay(3000);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);
        delay(2000);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
        digitalWrite(PT_ABRIR, LOW);

        // Esperar a que el sensor de puerta abierta se active
while (!digitalRead(SN_PT_ABIERTA) == LOW) {
            delay(10);
        }

        // Una vez que la puerta esté abierta, volver a HIGH
        digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
        digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
        digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
    }
}

```

```

    digitalWrite(PT_ACTUADOR, HIGH);
    abrirPuerta = false;
  }
}

if (cerrarPuerta) {
  if (puertaAbiertaSensor && !puertaCerradaSensor) {
    digitalWrite(PT_CERRAR, LOW);
    digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, LOW);

    // Esperar a que el sensor de puerta cerrada se active
    while (!digitalRead(SN_PT_CERRADA) == LOW) {
      delay(10);
    }

    // Una vez que la puerta esté cerrada, volver a HIGH
    digitalWrite(PT_ABRIR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRAR, HIGH);
    digitalWrite(PT_CERRADURA, HIGH);
    cerrarPuerta = false;
  }
}

// Control de la cortina
if (abrirCortina) {
  digitalWrite(CT_ABRIR, LOW);
  delay(10000);
  digitalWrite(CT_ABRIR, HIGH);
  digitalWrite(CT_CERRAR, HIGH);
  abrirCortina = false;
}

if (cerrarCortina) {
  digitalWrite(CT_CERRAR, LOW);
  delay(10000);
  digitalWrite(CT_CERRAR, HIGH);
  digitalWrite(CT_ABRIR, HIGH);
  cerrarCortina = false;
}

// Reconectar WiFi si se pierde la conexión
if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  conectarWiFi();
}

// Cambiar a modo de escucha si no hay comandos de Alexa en 3
// minutos
if (millis() - ultimoComandoAlexa >= tiempoEsperaAlexa) {
  // Código para poner la ESP32 en modo de bajo consumo, sólo
  // escuchando comandos de Alexa
  WiFi.setSleep(true); // Activar modo de bajo consumo de WiFi
  delay(100);
} else {
  WiFi.setSleep(false); // Desactivar modo de bajo consumo de WiFi
  // si hay actividad reciente
}

```

}