



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SAAC CON  
INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ELEVADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Electrónico

AUTOR: Darío Alexander Onofa Rendón

TUTOR: Carlos Germán Pillajo Angos

Quito-Ecuador

2026

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Darío Alexander Onofa Rendón con documento de identificación N°1723375695 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 26 de enero de 2026

Atentamente,



---

Dario Alexander Onofa Rendón

1723375695


**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Darío Alexander Onofa Rendón con documento de identificación No. 1723375695, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la proyecto técnico: “Implementación de un sistema de comunicación SAAC con inteligencia artificial en elevador”, la cual ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de enero de 2026

Atentamente,



---

Darío Alexander Onofa Rendón

1723375695

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Carlos Germán Pillajo Angos con documento de identificación N° 1709255119, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SAAC CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ELEVADOR, realizado por Darío Alexander Onofa Rendón, con documento de identificación N° 1723375695, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de enero de 2026

Atentamente,



---

Ing. Carlos Germán Pillajo Angos. PhD  
1709255119

## DEDICATORIAS

Dedico este proyecto técnico a mis padres, Juan Carlos Onofa y Karina Rendón, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y de mi formación profesional. Gracias a su esfuerzo, apoyo incondicional y perseverancia, he logrado alcanzar un peldaño más en mi camino como profesional. Han sido la fuente de mi fortaleza, mi valentía y mi motivación constante, acompañándome en cada dificultad sin rendirse hasta verme culminar este objetivo. Este título, que llevaré con orgullo toda mi vida, es también el reflejo de su sacrificio y dedicación. Les agradezco profundamente por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, cuando caí, dudé y quise rendirme, y aun así me impulsaron a continuar. La mejor herencia que me han dado es su ejemplo, su sabiduría y los conocimientos que hoy me permiten enfrentar un mundo lleno de retos y oportunidades.

Asimismo, dedico este proyecto a mis queridos abuelitos José Onofa, Carmen Vega, Fausto Rendón y María Dolores Ontaneda, quienes han sido una parte esencial de mi fortaleza personal. Aunque mi abuelito José ya no se encuentra físicamente conmigo, sé que desde el cielo me brindó la fuerza necesaria para seguir adelante. A cada uno de ellos les expreso mi más profundo agradecimiento por su apoyo incondicional, su preocupación constante y su acompañamiento en cada etapa de este proceso.

Finalmente, dedico este proyecto a Leomer Fernández, quien ha sido un apoyo incondicional durante todo este camino. Gracias por cada palabra de aliento, por la firmeza en los momentos necesarios y por acompañarme cuando las fuerzas parecían agotarse. Su guía y confianza me ayudaron a reconocer mi potencial y a comprender que cada esfuerzo realizado valió la pena. Hoy puedo afirmar con orgullo que culminé con éxito esta etapa, consciente de que este logro no es el final, sino el inicio de un camino de crecimiento continuo.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a toda mi familia por su apoyo constante y por estar siempre presentes. A mis tías **Fer y Caro**, a mi tío **Xavier**, y a mis primos **David, Esteban, Abigail y Amelia**, gracias por su respaldo incondicional y por acompañarme en cada etapa de este proceso.

Asimismo, expreso mi agradecimiento a mis tías **Ceci, Yoly y Pili**; a mis tíos **Luis, Arturo, Gilberth y Arturo**; y a mis primos **Jacque, Aracely, Alexis, Nathaly y José**, quienes de distintas maneras contribuyeron a la culminación de este proyecto, ya sea con palabras de ánimo o con apoyo práctico en los momentos necesarios. Los valoro y aprecio profundamente.

Agradezco de manera especial a **Mishell y Mishell**, una amistad que nació en el colegio y que se ha fortalecido con el tiempo. Su apoyo constante las convierte en parte de mi familia.

A mi amiga del alma **Gaby**, gracias por estar siempre presente y por brindarme un apoyo sincero e incondicional; más que una amiga, eres una hermana.

También agradezco a **los Sobris**, un grupo invaluable durante mi etapa universitaria, por el compañerismo, la confianza y los momentos compartidos que siempre recordaré con cariño.

Finalmente, agradezco a **Paola, David y Kevo** por su apoyo, motivación y valiosos consejos a lo largo de este camino.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO I.....	5
ANTECEDENTES.....	5
1.1 Problema de estudio.....	5
1.2 Justificación .....	9
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo General .....	10
1.3.2 Objetivo Específicos.....	10
1.4 Alcances y Limitaciones .....	10
CAPÍTULO II .....	12
2. MARCO TEORICO.....	12
2.1. Fundamentos de sistemas aumentativos y alternativos de comunicación (SAAC).....	12
2.2. Inteligencia artificial aplicada a sistemas de comunicación .....	14
2.3. Tecnologías Aplicadas en la implementación del proyecto .....	16
2.3.2. Desarrollo de aplicaciones móviles para accesibilidad .....	17
2.3.3. Teclé eléctrico. ....	19
2.3.4. Sistemas de seguridad en elevador. ....	19
CAPITULO III.....	17
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELEVATORIOT .....	17
3.1. Arquitectura general del sistema. ....	17
3.1.1 Descripción de la arquitectura. ....	17
3.1.2 Flujo de comunicación de sistema.....	18
3.2. Funcionamiento del sistema .....	18
3.2.1. Componentes mecánicos principales.....	18
3.2.2. Componentes electrónicos de control.....	19
3.3. Desarrollo del software del sistema elevadoriot.....	21
3.3.1. Firmware del ESP32.....	21
CAPITULO IV.....	33
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	33
4.1. Resultados del diseño del sistema saac multimodal .....	33
4.2. Control seguro del elevador con ESP32 .....	34

4.3.	Control seguro del elevador con ESP32 .....	35
4.4.	Análisis de los Resultados de las pruebas.....	36
ANEXOS.....		42
ANEXO 1- Encuesta de Usabilidad .....		42
ANEXO 2- Datos de pruebas del funcionamiento de la aplicación en las tres modalidades. .		43

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.0.1 Accidentes de adultos mayores por caídas en escaleras</i> .....	7
<i>Figura 3.0.1 Flujo de comunicación del proyecto</i> .....	18
<i>Figura 3.0.2 Foto elevador prototipo</i> .....	18
<i>Figura 3.0.3 Imagen de la página web de la esp32</i> .....	21
<i>Figura 3.0.4 Diagrama de bloque del sistema de control del elevador basado en ESP32</i> .....	21
<i>Figura 3.5 Interfaz de inicio de la app elevadoriot</i> .....	22
<i>Figura 3.6 Interfaz de la botonera manual</i> .....	23
<i>Figura 3.7 interfaz para control por voz</i> .....	24
<i>Figura 3.8 Interfaz de reconocimiento por color</i> .....	26
<i>Figura 3.9 Diagrama de bloques del proceso de la aplicación móvil ELEVADORIOT</i> .....	28
<i>Figura 3.10 Biblioteca de EASY EDA</i> .....	29
<i>Figura 3.11 Interfaz de diseño</i> .....	29
<i>Figura 3.12 Diseño de la PCB</i> .....	30
<i>Figura 3.13 Imagen para impresión de la PCB</i> .....	30
<i>Figura 3.14 Imagen de impresión del diseño</i> .....	31
<i>Figura 3.15 Preparación de la placa</i> .....	31
<i>Figura 3.16 Imagen de preparación de la PCB</i> .....	32
<i>Figura 3.17 Construcción del circuito en la PCB</i> .....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Frecuencia de caídas atendidas.....</i>	5
<i>Tabla 2 Lugar donde se producen caídas. ....</i>	6
<i>Tabla 3 Lesiones por caídas.....</i>	7
<i>Tabla 4 Validación de éxito y tiempo de ejecución de las instrucciones del elevador .....</i>	35
<i>Tabla 5 Pruebas de funcionamiento.....</i>	43

## RESUMEN

El incremento de limitaciones físicas y cognitivas de la población adulta mayor ha puesto en evidencia la dificultad que representa el uso de escaleras que están presentes en la mayoría de sus hogares y que restringen la movilidad, afectando directamente la autonomía personal. Frente a esta situación, la presente investigación se orientó al desarrollo de un sistema de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) apoyado en inteligencia artificial para el control de elevadores artesanales, con el propósito de facilitar el desplazamiento de este grupo etario.

El estudio se desarrolló mediante la integración de un microcontrolador ESP32 con una aplicación móvil diseñada para ofrecer tres formas de interacción: control manual a través de una interfaz táctil, control por voz con comandos en español e inglés (arriba, abajo y parar; up, down y stop), y control mediante visión artificial basada en el reconocimiento de tarjetas de colores. Para garantizar un funcionamiento seguro, se incorporaron finales de carrera, un sistema de enclavamiento eléctrico y relés destinados a la conversión de voltaje de 5 V a 220 V.

La validación del sistema se llevó a cabo mediante la construcción de un prototipo de elevador y la realización de pruebas funcionales. Los resultados obtenidos demostraron un desempeño adecuado del sistema, evidenciando que las tres modalidades de control permiten una interacción efectiva.

La propuesta constituye un aporte relevante al ámbito de la tecnología asistiva, al combinar comunicación aumentativa e inteligencia artificial para mejorar la accesibilidad y la calidad de vida de las personas adultas mayores.

**Palabras clave:** asistencia; accesibilidad; movilidad; SAAC; ESP32.

## ABSTRACT

The increase in physical and cognitive limitations among the older adult population has highlighted the difficulties associated with stair use, which are present in most homes and restrict mobility, directly affecting personal autonomy. In response to this situation, the present research focused on the development of an augmentative and alternative communication (AAC) system supported by artificial intelligence for the control of handmade elevators, with the aim of facilitating mobility for this age group.

The study was conducted through the integration of an ESP32 microcontroller with a mobile application designed to provide three interaction modalities: manual control via a touch-based interface, voice control using commands in Spanish and English (arriba, abajo, and parar; up, down, and stop), and control through computer vision based on color card recognition. To ensure safe operation, limit switches, an electrical interlocking system, and relays for voltage conversion from 5 V to 220 V were incorporated.

System validation was carried out through the construction of an elevator prototype and the execution of functional tests. The results demonstrated adequate system performance, confirming that the three control modalities enable effective user interaction.

The proposed system represents a significant contribution to the field of assistive technology by combining augmentative communication and artificial intelligence to improve accessibility and enhance the quality of life of older adults.

**Keywords:** assistance; accessibility; movility; AAC; ESP32

## INTRODUCCIÓN

El envejecimiento poblacional constituye uno de los fenómenos demográficos más significativos del siglo XXI, caracterizado por el incremento progresivo del número de personas mayores de 65 años a nivel mundial. De acuerdo con proyecciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la población global de personas de 60 años o más aumentará de aproximadamente 1 000 millones en el año 2020 a 1 400 millones en 2030, y alcanzará los 2 100 millones en el año 2050 (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022). Esta transición demográfica plantea importantes desafíos en términos de accesibilidad, inclusión social y adaptación de los entornos tecnológicos, especialmente en lo relacionado con la movilidad y la autonomía de los adultos mayores.

A partir de los datos presentados, se evidencia que la población de adultos mayores experimentará un crecimiento aproximado del 40 % durante la primera década y cercano al 50 % hasta el año 2050, lo que refleja una expansión acelerada de este grupo etario. Este crecimiento implica la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas que respondan de manera efectiva a las limitaciones físicas, sensoriales y cognitivas asociadas al proceso natural de envejecimiento.

En este contexto, los sistemas de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) han adquirido relevancia como herramientas fundamentales para superar las barreras que enfrentan diversos grupos poblacionales, tanto personas con discapacidad como aquellas con dificultades de movilidad o comunicación. Según Torres (2001), los SAAC constituyen formas de expresión distintas al lenguaje oral, cuyo objetivo es aumentar o compensar las dificultades de comunicación y lenguaje en personas con discapacidad. Estos sistemas proporcionan métodos alternativos de expresión y comprensión, incluyendo recursos visuales, auditivos y táctiles, que permiten satisfacer las necesidades de personas con limitaciones en la visión, el habla o la motricidad (Inclusión, 2021). En el ámbito tecnológico, los SAAC representan una oportunidad de inclusión al facilitar el acceso a dispositivos y servicios adaptados a las capacidades individuales de cada usuario.

La incorporación de tecnologías de inteligencia artificial en los sistemas SAAC ha ampliado significativamente las posibilidades de interacción humano-máquina, posibilitando el desarrollo de interfaces más intuitivas, flexibles y adaptables. De acuerdo con Pilotto (2018), los asistentes de voz basados en inteligencia artificial emplean técnicas

de procesamiento de lenguaje natural, aprendizaje automático y reconocimiento de voz para interpretar y ejecutar las solicitudes de los usuarios. El reconocimiento de voz, el procesamiento de lenguaje natural y la visión artificial constituyen herramientas tecnológicas que pueden transformar de manera significativa la experiencia de personas con limitaciones físicas o cognitivas, al ofrecer múltiples modalidades de comunicación que se ajustan a sus preferencias y capacidades específicas.

En relación con la movilidad vertical, es decir, el desplazamiento mediante la subida y bajada de gradas, los elevadores representan elementos arquitectónicos esenciales para garantizar la accesibilidad en edificaciones de más de dos niveles. No obstante, los sistemas de control convencionales presentan limitaciones para usuarios con dificultades motoras, visuales o cognitivas, lo que incrementa la dependencia de terceros y reduce la autonomía personal. Estas limitaciones evidencian la necesidad de sistemas de control más inclusivos y adaptativos.

La implementación de controles basados en SAAC e inteligencia artificial en elevadores puede constituir un aporte innovador al proporcionar mayor seguridad funcional, accesibilidad y adaptabilidad a un costo reducido. La propuesta desarrollada en esta investigación integra tres modalidades de interacción: control manual mediante una interfaz táctil desde un dispositivo inteligente con sistema operativo Android (teléfono móvil o tableta), reconocimiento de voz multilingüe (español e inglés) y visión artificial basada en el reconocimiento de colores.

Desde el punto de vista técnico, el sistema involucra la integración de hardware especializado, incluyendo microcontroladores ESP32, sistemas de actuación mecánica y elementos de seguridad, junto con el desarrollo de software en la plataforma Android utilizando el lenguaje de programación Kotlin. La validación experimental del sistema se realiza mediante pruebas de usabilidad en un prototipo funcional, evaluado por un adulto mayor con movilidad reducida y por personas con deficiencias auditivas y visuales, con el fin de verificar la efectividad, accesibilidad y seguridad de la solución propuesta.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 Problema de estudio

El envejecimiento poblacional a nivel mundial ha generado una creciente demanda de soluciones tecnológicas orientadas a mejorar la seguridad, la autonomía y la calidad de vida de los adultos mayores. Diversos estudios evidencian que este grupo etario presenta una alta incidencia de accidentes domésticos, siendo las caídas una de las principales causas de lesiones graves, hospitalizaciones e incluso fallecimientos.

De acuerdo con datos del Centers for Disease Control and Prevention (CDC), más de uno de cada cuatro adultos mayores de 65 años sufre al menos una caída cada año, y estas constituyen la principal causa de muerte por lesiones y de hospitalizaciones relacionadas con traumatismos no fatales en esta población (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2024). Asimismo, se estima que cada 11 segundos un adulto mayor es atendido en una sala de emergencias debido a una caída, y cada 19 minutos ocurre una muerte asociada a este tipo de accidentes (Age Safe America, 2017).

Esta tabla demuestra que una caída para un adulto mayor representa un riesgo alto, según los datos planteados estadísticamente se podría considerar lo siguiente:

*Tabla 1 Frecuencia de caídas atendidas*

Evento	Frecuencia	Segundos
<b>Tratado en emergencia por caídas</b>	Cada 11 segundos	11
<b>Muerte por caída</b>	Cada 19 minutos	1140

Referencia: (Age Safe America, 2017).

Para realizar el análisis de estos datos se considerarán los eventos ocurridos por 1 hora, para esto se realizarán los siguientes cálculos (1 hora = 3600 seg):

- **Tasa de atención en emergencias:**

- $3600 / 11 = 327.27$  lo que significa que aproximadamente 327 adultos mayores por hora tratados en emergencias por caídas.

- **Tasa de muertes por caídas:**

- $3600 / 1140 = 3.16$  lo que significa que aproximadamente 3 adultos mayores por hora mueren por caídas.

Los datos indican que de cada 330 adultos mayores 3 mueren por caídas, lo que significa que el 0.9% pierde la vida por este tipo de accidentes y parece un valor pequeño en referencia a los que han sido atendidos por caídas, sin embargo hay que considerar que las lesiones de los adultos mayores por caídas pueden ser dolorosas, de difícil recuperación, y en muchos casos muy costosas, e inclusive puede afectar permanentemente en la independencia de movilización de este grupo etario, agravando el cuadro su cuadro de enfermedades.

La problemática se agudiza cuando se considera que según Age Safe America (2017), el 55% de caídas se producen dentro del hogar como se puede observar en los siguientes datos:

**Tabla 2** Lugar donde se producen caídas.

Lugar de la caída	Porcentaje
<b>Dentro del hogar</b>	55 %
<b>Afuera, cerca de la casa</b>	23 %
<b>Otros lugares (restante)</b>	22 %

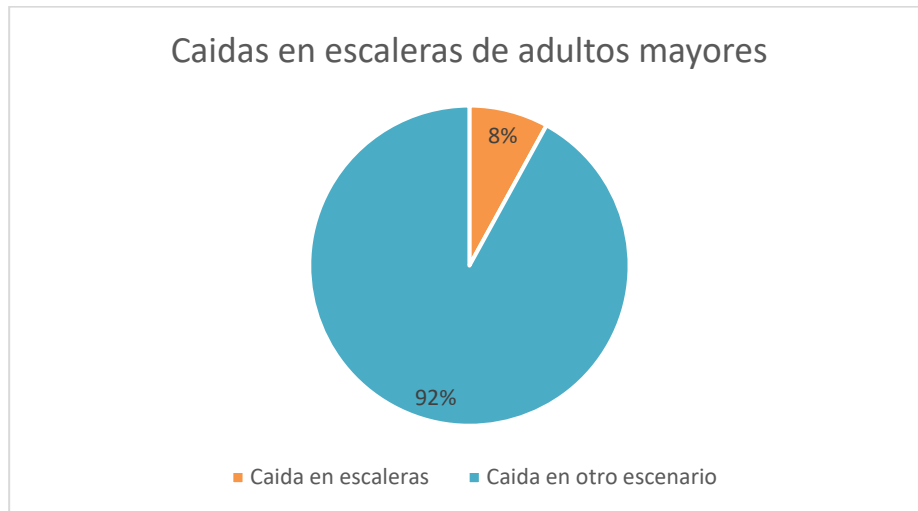
Referencia: Lugar donde se producen las caídas en los Adultos Mayores (Age Safe, 2017).

Según el estudio Stevens en su artículo Circumstances and outcomes of falls among high risk community-dwelling older adults (Stevens, 2014), aproximadamente el 10 % de las caídas en adultos mayores ocurren en escaleras, tanto interiores como exteriores, siendo este tipo de caída una de las principales causas de lesiones graves o incapacitantes en este grupo etario.

Analizando la tabla y la información mencionada anteriormente estamos hablando que de las 330 caídas por hora el 78% que representan aproximadamente 257 adultos mayores

sufren caídas dentro y fuera de sus casas y de ese porcentaje el 10% más o menos es debido al uso de escaleras por lo tanto podemos decir que alrededor de 25 adultos mayores tienen caídas por escaleras en una hora.

**Figura 1.1** Accidentes de adultos mayores por caídas en escaleras



Referencia: Fall prevention facts & statistics (Age Safe, 2017) y Circumstances and outcomes of falls among high risk community-dwelling older adults (Stevens, 2014)

La tabla a continuación refleja la gravedad e impacto que tienen los accidentes de adultos mayores en la escalera

Tabla 3 Lesiones por caídas.

TIPO DE LESIÓN	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%)	GRAVEDAD (CONCEPTUAL 1-5)	DESCRIPCIÓN / IMPACTO
<b>Contusiones y hematomas graves</b>	40%	3 (Moderada a alta)	Golpes múltiples que limitan movilidad y aumentan el riesgo de nuevas caídas.
<b>Fracturas</b>	25%	4 (Alta)	Principalmente de cadera, muñeca o tobillo; requieren cirugía y rehabilitación prolongada.
<b>Laceraciones o heridas abiertas</b>	15%	2 (Moderada)	Cortes o heridas profundas con riesgo de infección.
<b>Lesiones de columna vertebral</b>	8%	4 (Alta)	Compresión o fracturas vertebrales con riesgo de discapacidad permanente.
<b>Traumatismo craneoencefálico (TCE)</b>	7%	5 (Muy alta)	Lesiones en cabeza que pueden provocar discapacidad cognitiva grave o muerte.
<b>Lesiones múltiples combinadas</b>	5%	5 (Muy alta)	Combinación de fracturas, TCE y contusiones; alta mortalidad y discapacidad severa.

Referencia: Lesiones por caídas según su probabilidad vs. Riesgo. Circumstances and outcomes of falls among high risk community-dwelling older adults (Stevens, 2014) y Important facts about falls (Centers for Disease Control, 2024).

Como se puede observar en la tabla anterior las lesiones por caídas en escaleras van de moderadas a muy graves y en las condiciones de un adulto mayor se vuelven mucho más graves, por lo tanto, se observa la necesidad de implementar sistemas que faciliten la movilidad vertical específicamente diseñados para esta población vulnerable y sus limitaciones.

En el contexto de los sistemas de seguridad para hogares, existe una brecha significativa entre las tecnologías disponibles y la accesibilidad para adultos mayores. Como señala el estudio de Majumder, "los hogares inteligentes para el cuidado de la salud de los ancianos presentan avances recientes y desafíos de investigación" (S. Majumder, 2017) relacionados principalmente con la usabilidad y la adaptabilidad de las interfaces tecnológicas. Los sistemas IoT tradicionales frecuentemente carecen de interfaces de comunicación alternativas que permitan a los usuarios con diferentes capacidades físicas y cognitivas interactuar de manera efectiva con la tecnología.

El problema central identificado radica en la ausencia de sistemas que integren los sistemas de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) con tecnologías IoT, por lo tanto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede la implementación de un sistema SAAC con IA mejorar la interacción de los adultos mayores con un sistema de movilidad vertical como un elevador?

## **1.2 Justificación**

El envejecimiento progresivo de la población mundial ha intensificado la necesidad de desarrollar soluciones tecnológicas orientadas a garantizar la seguridad, la accesibilidad y la independencia de los adultos mayores. Considerando que más de una cuarta parte de esta población sufre caídas anualmente, y que una proporción significativa de estos accidentes ocurre en el hogar y en escaleras, resulta prioritario abordar esta problemática desde un enfoque preventivo y tecnológico (Age Safe America, 2017; Stevens, 2014).

La implementación de un sistema de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) con inteligencia artificial para el control de elevadores responde a la necesidad de diseñar interfaces de interacción accesibles, inclusivas y adaptadas a las capacidades individuales

de los usuarios. Este enfoque permite reducir la dependencia de terceros, mejorar la experiencia de uso y aumentar la seguridad durante el desplazamiento vertical en entornos domésticos.

Desde el punto de vista académico, el proyecto contribuye al campo de la ingeniería electrónica y la tecnología asistiva al integrar conceptos de inteligencia artificial, sistemas embebidos, visión artificial y procesamiento de lenguaje natural en una aplicación práctica orientada a la accesibilidad. Asimismo, aporta evidencia experimental sobre la viabilidad de sistemas multimodales de control aplicados a elevadores artesanales.

Desde una perspectiva social, la propuesta tiene el potencial de mejorar la calidad de vida de los adultos mayores y de personas con discapacidad motora, visual o auditiva, promoviendo su autonomía y participación activa en las actividades cotidianas. Además, el desarrollo de soluciones de bajo costo favorece su posible implementación en contextos domésticos y comunidades con recursos limitados.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Implementar un sistema de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) con inteligencia artificial para el control de elevadores, orientado a mejorar la accesibilidad, seguridad y autonomía de los adultos mayores.

#### **1.3.2 Objetivo Específicos**

- Diseñar un sistema SAAC que integre comandos por voz, reconocimiento de imágenes y control manual táctil para la interacción accesible con elevadores.
- Desarrollar un módulo de inteligencia artificial que procese comandos del sistema SAAC y ejecute órdenes seguras de subida, bajada y parada en el elevador.
- Evaluar experimentalmente la funcionalidad, usabilidad y accesibilidad del sistema implementado mediante pruebas con usuarios en un entorno controlado.

### **1.4 Alcances y Limitaciones**

#### **1.4.1 Alcances**

El presente proyecto abarca el desarrollo completo de un sistema SAAC con inteligencia artificial, incluyendo:

- Diseño e implementación de una aplicación móvil multiplataforma con capacidades de IA
- Desarrollo del firmware para microcontrolador ESP32
- Diseño y fabricación de placa de circuito impreso personalizada
- Construcción de prototipo físico de elevador con estructura metálica
- Integración completa de todos los componentes del sistema
- Documentación técnica completa del proyecto

#### **1.4.2 Limitaciones**

Las principales limitaciones identificadas incluyen:

- El prototipo desarrollado está diseñado para validación experimental y no para implementación comercial inmediata
- Las pruebas con usuarios se limitarán a un grupo controlado debido a consideraciones éticas y logísticas
- La evaluación se enfocará en funcionalidades básicas de elevador, sin incluir sistemas de emergencia complejos
- El sistema requiere conectividad Wi-Fi para funcionalidad completa
- Las capacidades de IA están limitadas por los recursos computacionales del dispositivo móvil

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. Fundamentos de sistemas aumentativos y alternativos de comunicación (SAAC)

Desde su origen en la década de 1960, los Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC) han experimentado una notable evolución. Inicialmente, estos sistemas se dividían en dos categorías principales: los métodos sin ayuda, que se basan únicamente en gestos o señales corporales, y los métodos con ayuda, los cuales requieren el uso de apoyos externos como tableros de comunicación, dispositivos electrónicos o aplicaciones digitales (Beukelman & Miranda, 2020)

En años recientes, el avance tecnológico ha transformado de manera considerable el desarrollo y la aplicación de los SAAC. Existen estudios que destacan la incorporación de dispositivos móviles ha mejorado sustancialmente la efectividad de estas herramientas, especialmente entre personas con dificultades complejas de comunicación (Light & McNaughton, 2019).

En cuanto a su aplicación en adultos mayores, algunas investigaciones evidencian que el uso de SAAC adaptados puede disminuir hasta en un 45% las barreras comunicativas presentes en sus actividades cotidianas (García-Betances, Fico, Salvi, Ottaviano, & Arredondo, 2021). No obstante, la revisión de literatura sugiere que aún existe una carencia importante de estudios y desarrollos que apliquen estos sistemas en interfaces específicas de control ambiental, como es el caso de los elevadores.

##### 2.1.1. Definición y conceptos fundamentales

Los Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC) comprenden un conjunto de métodos, recursos y estrategias diseñados para facilitar la interacción de personas que presentan limitaciones en su comunicación oral en situaciones cotidianas

(Speech-Language-Hearing Association (ASHA), 2022). El término "aumentativo" hace referencia a aquellos recursos que complementan el habla natural, mientras que "alternativo" se emplea cuando la persona necesita reemplazar completamente el lenguaje oral debido a su imposibilidad de uso funcional.

Estos sistemas se organizan tradicionalmente en dos grupos principales:

- **Sistemas sin ayuda:** Incluyen modos de comunicación que no requieren objetos o dispositivos externos, como gestos, expresiones faciales, mímica o el uso de la lengua de señas. Su funcionamiento depende exclusivamente de las capacidades físicas y motoras del usuario.
- **Sistemas con ayuda:** Son aquellos que requieren soportes o herramientas adicionales, que van desde tableros de comunicación con pictogramas y símbolos gráficos, hasta dispositivos electrónicos avanzados, aplicaciones móviles o tecnologías con síntesis de voz para facilitar la expresión de mensajes.

### 2.1.2. Componentes de un sistema SAAC

Para que un sistema de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) funcione de manera adecuada, es esencial que contemple cuatro elementos clave:

- **Símbolos:** Son representaciones que pueden ser visuales, auditivas o táctiles, utilizadas para transmitir mensajes. Estos incluyen imágenes, pictogramas, palabras escritas o sonidos específicos.
- **Dispositivos de apoyo:** Comprenden herramientas físicas o digitales que facilitan la comunicación, abarcando desde tableros de símbolos sencillos hasta aplicaciones móviles avanzadas.
- **Estrategias:** Son métodos aplicados para emplear los símbolos y dispositivos de apoyo de manera eficiente en distintos escenarios comunicativos, asegurando la correcta transmisión del mensaje.

- **Métodos de enseñanza:** Consisten en procedimientos organizados y sistemáticos que permiten desarrollar y fortalecer las habilidades comunicativas de los usuarios al interactuar con el sistema SAAC.

### **2.1.3. Sistema SAAC aplicado a la cotidianidad de los adultos mayores**

El uso de los Sistemas Aumentativos y Alternativos de Comunicación (SAAC) en personas adultas mayores requiere considerar las particularidades asociadas al proceso natural de envejecimiento. Existen varios factores críticos que influyen en su implementación (Bourgeois, Hickey, & Nichols, 2021):

- **Deterioro cognitivo:** Incluye la disminución en funciones como la memoria de trabajo, la atención sostenida y la velocidad de procesamiento, lo cual dificulta la adquisición y manejo de nuevos sistemas de comunicación.
- **Alteraciones sensoriales:** Se presentan en forma de reducción de la agudeza visual, pérdidas auditivas o disminución de la sensibilidad táctil, condiciones que obligan a realizar adaptaciones específicas en los diseños de las interfaces.
- **Limitaciones motoras:** Comprenden problemas como menor destreza manual, limitaciones en movilidad, o enfermedades que afectan directamente la capacidad de manipular tanto dispositivos o herramientas de comunicación como a su independencia en las actividades cotidianas.

## **2.2. Inteligencia artificial aplicada a sistemas de comunicación**

### **2.2.1. Visión por computadora en aplicaciones de accesibilidad**

La visión artificial se basa en métodos computacionales que permiten a los sistemas interpretar y procesar información proveniente de su entorno visual. En el ámbito de las tecnologías de accesibilidad, esta disciplina se aplica principalmente en el reconocimiento de objetos, la identificación de patrones y la asistencia en la navegación para personas con discapacidad.

}

### 2.2.2. Algoritmos de detección de color.

El reconocimiento de colores constituye una aplicación fundamental en sistemas de accesibilidad.

### 2.2.3. Procesamiento en espacio RGB

El modelo de color RGB es ampliamente utilizado en visión por computadora por su compatibilidad con dispositivos de captura como cámaras y sensores digitales. Cada pixel de la imagen contiene tres componentes de intensidad (R, G, B) que, combinados, forman el color percibido.

### 2.2.4. Clasificación por umbrales diferenciales

- El algoritmo compara los valores promedio de cada canal para detectar colores específicos, aplicando condiciones de umbral que consideran:
- Dominancia de un canal sobre los otros (ej. verde  $>$  rojo + 35 y azul + 35).
- Valores mínimos requeridos para confirmar la presencia del color ( $>110$  o  $>130$  según el color).
- Razón de dominancia (dominanceRatio), que asegura que el color detectado sea suficientemente representativo en la región analizada.

### 2.2.5. Reconocimiento de colores específicos

Para este Proyecto se utilizarán los siguientes colores:

- **Verde:** Alta intensidad en el canal G comparada con R y B.
- **Rojo:** Alta intensidad en R comparada con G y B.
- **Amarillo:** Altos valores en R y G y bajo en B, ya que amarillo en RGB resulta de la combinación de rojo y verde.

### 2.2.6. Reconocimiento de voz y procesamiento de lenguaje natural

El reconocimiento de voz es una tecnología que permite a los sistemas interpretar comandos hablados y convertirlos en texto o acciones programadas. Se fundamenta en el procesamiento de señales acústicas y modelos de lenguaje natural, utilizando algoritmos de reconocimiento de patrones para identificar palabras y frases en tiempo real (Jurafsky & Martin, 2021).

### **2.2.7. Control de sistemas embebidos mediante comandos de voz**

El código presentado integra reconocimiento de voz en Android con el control de un microcontrolador ESP32, un módulo ampliamente utilizado en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) por su bajo costo, conectividad Wi-Fi y facilidad de programación. En este proyecto, el ESP32 actúa como receptor de comandos enviados desde el dispositivo móvil a través de la red local (IP: 192.168.100.173, puerto 80).

Los comandos procesados incluyen instrucciones para subir, bajar o detener un elevador, representando un sistema de movilidad vertical asistiva controlado por voz, orientado a mejorar la accesibilidad y autonomía de personas adultas mayores o con discapacidad motora.

### **2.2.8. Estados y lógica de control**

El algoritmo define una enumeración `ElevatorState` para representar los estados operativos del elevador:

- **STOPPED:** Elevador detenido.
- **GOING\_UP:** Elevador subiendo.
- **GOING\_DOWN:** Elevador bajando.

La función `processVoiceCommand(spokenText: String)` analiza el texto reconocido, identifica palabras clave como “subir”, “bajar”, “parar”, “up”, “down” o “stop”, y envía el comando correspondiente al ESP32 mediante la función `sendCommand()`. Esta estructura de control asegura una operación intuitiva y segura del sistema mediante interfaces naturales de comunicación.

## **2.3. Tecnologías Aplicadas en la implementación del proyecto**

### **2.3.1. Microcontroladores ESP32**

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo con capacidades Wi-Fi integradas, diseñado específicamente para aplicaciones IoT. Sus características principales incluyen:

El ESP32 incorpora un procesador de doble núcleo a 240 MHz, lo que permite realizar múltiples tareas en paralelo, tales como (Espressif, ESP32 Series Datasheet, 2023):

- Escuchar comandos por voz.
- Analizar imágenes captadas por la cámara.

- Controlar dispositivos físicos (relés, sensores).
- Mantener la conectividad de red de forma estable.

Esta capacidad resulta esencial en un sistema donde varias interfaces (voz, imagen y tacto) operan simultáneamente.

El módulo cuenta con Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth (BLE) integrados, lo cual permite:

- Conexión directa a redes domésticas.
- Control remoto del elevador desde una app móvil.
- Comunicación con asistentes virtuales, sensores IoT o dispositivos auxiliares.

El ESP32 dispone de más de 30 pines GPIO, ideales para conectar:

- Botoneras físicas.
- Relés industriales de hasta 30A con optoacopladores.
- Sensores de posición, contacto o proximidad.
- Indicadores luminosos o acústicos.

### **2.3.2. Desarrollo de aplicaciones móviles para accesibilidad**

Para el desarrollo de la aplicación móvil de este Proyecto se utilizarán los siguientes recursos:

- **Kotlin y Android Studio**

El desarrollo de la aplicación se realiza utilizando Kotlin, un lenguaje moderno de programación oficial para Android que se caracteriza por su concisión, seguridad de tipos, interoperabilidad con Java y soporte de corrutinas para manejo asíncrono (JetBrains, 2023). Kotlin facilita la creación de aplicaciones robustas y mantenibles, siendo ampliamente adoptado en proyectos de accesibilidad y tecnologías asistivas.

La plataforma de desarrollo utilizada es Android Studio, el entorno de desarrollo integrado (IDE) oficial de Google para aplicaciones Android. Este IDE proporciona herramientas avanzadas de depuración, diseño de interfaces gráficas (XML) y emulación de dispositivos, permitiendo probar funcionalidades antes de su implementación real (Android, 2023)

- **Arquitectura MVVM**

El proyecto adopta la arquitectura Model-View-ViewModel (MVVM), la cual separa la lógica de negocio de la interfaz de usuario. Esta arquitectura facilita la escalabilidad, el

mantenimiento del código y la implementación de pruebas unitarias, elementos clave en proyectos de control y accesibilidad donde la confiabilidad del software es prioritaria (Google, 2022).

- **Corrutinas Kotlin para manejo para manejo asíncrono**

Las corrutinas Kotlin permiten realizar operaciones de red, como el envío de comandos HTTP al ESP32, sin bloquear el hilo principal de la interfaz de usuario. Su uso garantiza una experiencia fluida y responsiva, evitando bloqueos o cierres inesperados de la aplicación durante la ejecución de tareas intensivas (JetBrains, 2023).

- **ESP32 como microcontrolador IoT**

El ESP32 es un microcontrolador con capacidad Wi-Fi integrado, utilizado para controlar el elevador artesanal. Este módulo permite recibir comandos desde la aplicación Android a través de HTTP, actuando como un servidor web local en la red doméstica. Su bajo costo, facilidad de programación y compatibilidad con plataformas como Arduino lo convierten en un estándar en proyectos de domótica e IoT (Espressif, 2021).

- **SpeechRecognizer y RecognizerIntent**

El módulo de reconocimiento de voz utiliza la clase SpeechRecognizer de Android, la cual habilita la interpretación de comandos hablados mediante el modelo de lenguaje libre (LANGUAGE\_MODEL\_FREE\_FORM) configurado en RecognizerIntent. Esta integración permite implementar sistemas SAAC que facilitan la interacción natural de adultos mayores y personas con discapacidad motora con el elevador (Android, 2023).

- **CameraX y vision artificial**

El módulo de control visual emplea la API CameraX, la cual simplifica la integración de la cámara en aplicaciones Android modernas, proporcionando acceso a imágenes en tiempo real. El sistema implementa algoritmos de análisis de color en espacio RGB para detectar cartulinas de colores específicos (verde, amarillo y rojo) y enviar comandos correspondientes al elevador. Esta técnica forma parte de la visión por computadora, disciplina de la inteligencia artificial que permite a los sistemas interpretar información visual para realizar acciones autónomas (Szeliski, 2011).

- **HTTPURLConnection para comunicación en red**

Para la comunicación entre la aplicación y el ESP32, se utiliza la clase HTTPURLConnection, la cual facilita solicitudes HTTP GET para enviar comandos de subir, bajar y parar. Este enfoque es práctico y ligero para sistemas embebidos que implementan servidores web sencillos en proyectos IoT (Android, 2023)

### 2.3.3. Tecele eléctrico.

Un tecele eléctrico es un dispositivo electromecánico diseñado para elevar, descender y mover cargas pesadas de manera segura y eficiente, utilizando un motor eléctrico como fuente de potencia principal.

#### **Características generales:**

Los tecles eléctricos están compuestos por los siguientes elementos:

- **Motor eléctrico:** Genera la potencia necesaria para la elevación.
- **Reductor de velocidad:** Disminuye las revoluciones del motor y aumenta el torque para el levantamiento.
- **Tambor o carrete:** Enrolla el cable de acero durante la elevación o descenso.
- **Cable o cadena de carga:** Elemento de izaje que sostiene la carga.
- **Gancho de carga:** Diseñado para sujetar objetos de forma segura.
- **Sistema de control eléctrico:** Incluye botoneras, contactores y frenos eléctricos para operación segura.

### 2.3.4. Sistemas de seguridad en elevador.

#### **Finales de carrera**

Los finales de carrera cumplen un papel esencial dentro del control de un ascensor, ya que permiten delimitar con exactitud el punto máximo de subida y el mínimo de bajada. Gracias a su accionamiento mecánico, se evita que la cabina sobrepase el recorrido previsto, lo que protege la estructura y previene daños en el sistema. Además, generan una señal de control confiable que informa al circuito cuándo detener el motor, garantizando un desplazamiento seguro y preciso. Su implementación no solo mejora la seguridad del usuario, sino que también ayuda a prolongar la vida útil de los componentes al impedir esfuerzos innecesarios.

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELEVATORIOT

#### 3.1. Arquitectura general del sistema.

En este capítulo, se detallará la arquitectura y elementos utilizados para la implementación del proyecto ELEVATORIOT, se explicarán los aspectos relacionados con el diseño, los recursos y los puntos esenciales para integrar el elevador con una aplicación que permita incluir SAAC en los controles de subida, bajada y detención del elevador.

Se incluirá un análisis tanto de la escalabilidad en Hardware y Software del proyecto tanto como en las pruebas en un prototipo.

#### 3.1.1 Descripción de la arquitectura.

El sistema ELEVADORIOT implementa una arquitectura distribuida IoT compuesta por tres subsistemas principales que trabajan de manera coordinada:

##### Subsistema de hardware (nivel físico):

- Canasta de elevación de acero estructural (89×103×84 cm)
- Tecle eléctrico BP de 1200 kg con sistema de poleas industriales
- Microcontrolador ESP32 con conectividad WiFi integrada
- Sensores de posición (microswitches) para control de límites
- Sistema de guías y rieles de acero para movimiento estable

##### Subsistema de software embebido (nivel de control):

- Servidor HTTP integrado para comunicación inalámbrica
- Sistema de control de tiempo acumulativo con memoria persistente
- Algoritmos de posicionamiento relativo y protección de seguridad
- Interfaz web responsive para monitoreo y control remoto

### Subsistema de aplicación móvil (nivel de usuario):

- Aplicación Android nativa desarrollada en Kotlin
- Tres modalidades de control: táctil, voz y visión artificial
- Interfaz de usuario optimizada para adultos mayores
- Comunicación HTTP asíncrona con manejo robusto de errores
- Sistema de accesibilidad compatible con tecnologías para asistencia.

#### 3.1.2 Flujo de comunicación de sistema.

Figura 3.0.1 Flujo de comunicación del proyecto



Referencia: Flujo de comunicación diseñado para este proyecto, fuente: Darío Onofa

### 3.2. Funcionamiento del sistema

#### 3.2.1. Componentes mecánicos principales

##### Canasta de elevación:

Figura 3.0.2 Foto elevador prototipo



Referencia: Prototipo de pruebas de elevador

- **Dimensiones:** 89 cm × 103 cm × 84 cm (ancho × largo × alto)
- **Material:** Estructura de acero al carbono soldado con tratamiento anticorrosivo
- **Piso:** Plancha de aluminio antideslizante de 3mm de espesor
- **Peso máximo:** 120 kg (persona + silla de ruedas + margen de seguridad)
- **Barras de seguridad:** Tubo de acero de 1" con altura de 84 cm
- **Puerta de acceso:** Sistema de bisagras industriales con seguro manual

#### **Sistema de elevación:**

- **Teclé eléctrico BP:** Capacidad 1200 kg, 220V monofásico, 1800W
- **Altura de elevación:** 3.2 metros (primer piso a segundo piso)
- **Velocidad:** 8 metros/minuto (0.133 m/s) - velocidad segura para adultos mayores
- **Sistema de poleas:** Relación 4:1 para mayor seguridad y suavidad
- **Cable de acero:** 6mm de diámetro, alma de acero, carga de rotura 1800 kg

Sistema de Guías:

- **Rieles principales:** Acero estructural 3×6 cm, longitud 4 metros
- **Guías laterales:** Perfiles en U para estabilidad horizontal
- **Rodamientos:** Tipo industrial con lubricación permanente

### **3.2.2. Componentes electrónicos de control**

#### **Microcontrolador principal:**

##### **Procesador:**

- Doble núcleo Xtensa® 32-bit LX6 operando a 240MHz (frecuencia por defecto, algunos modelos pueden ir a 160MHz)
- Algunos modelos tienen un solo núcleo activo.

##### **Memoria:**

- SRAM interna: hasta 520KB
- ROM interna: 448KB
- Memoria flash externa (SPI): 4MB o más (dependiendo del módulo)
- PSRAM externa (opcional): disponible en algunos módulos (como el WROVER), hasta 8MB

**Conectividad:**

- Wi-Fi: 802.11 b/g/n, modo estación, punto de acceso y mixto
- Bluetooth: Versión 4.2 BR/EDR y BLE
- Soporte para redes IPv4, IPv6, TLS, HTTP/HTTPS, MQTT, mDNS, etc.

**Periféricos:**

- GPIO: hasta 34 pines configurables
- ADC: 18 canales ADC de 12 bits
- DAC: 2 canales de 8 bits
- PWM: Salida por casi cualquier GPIO
- I2C: 2 interfaces
- SPI: 4 interfaces
- UART: hasta 3
- I2S: Audio digital
- CAN, RMT, SD/MMC, Táctil capacitivo, entre otros

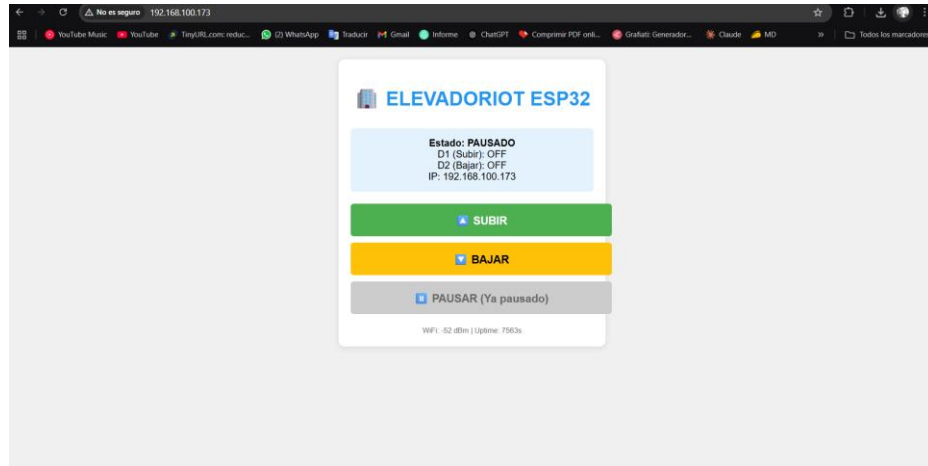
**Programación:** Puerto micro-USB con conversor CH340**Finales de carrera:**

- Tipo de dispositivo: interruptor de límite de acción mecánica con microcontacto interno.
- Diseño: carcasa plástica en colores rojo y negro, con actuador tipo palanca metálica y rodillo en la punta.
- Tensión de trabajo: entre 125 y 250 voltios en corriente alterna.
- Capacidad de corriente: aproximadamente 5 amperios a 250 V (puede variar según el fabricante).
- Configuración de contactos: incluye un contacto normalmente abierto (NO) y uno normalmente cerrado (NC).
- Durabilidad mecánica: diseñado para soportar más de un millón de accionamientos.
- Rango térmico de operación: desde -25 °C hasta +80 °C.
- Aplicaciones comunes: límites de recorrido en ascensores, automatización industrial, impresoras 3D, sistemas CNC y proyectos de robótica.

### 3.3. Desarrollo del software del sistema elevadoriot

#### 3.3.1. Firmware del ESP32

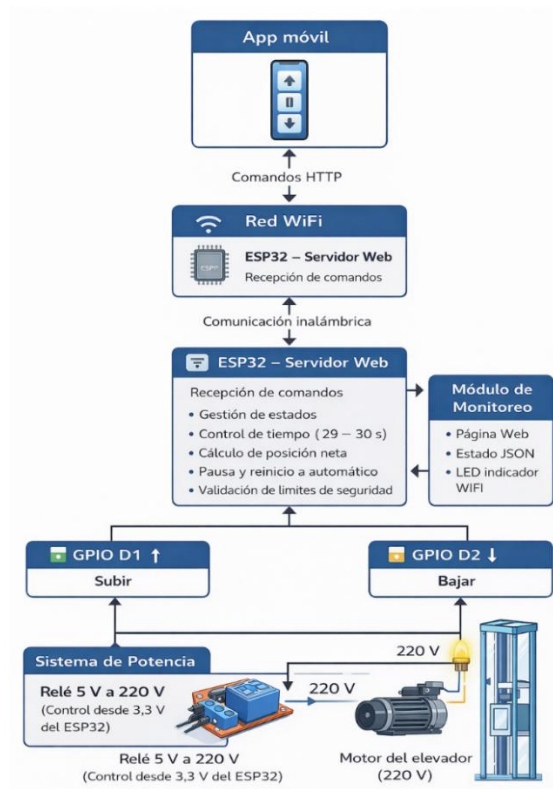
Figura 3.0.3 Imagen de la página web de la esp32



Referencia: IP de visualización de la ejecución de las acciones enviadas por la APP.

El firmware desarrollado implementa un sistema de control inteligente con múltiples características avanzadas de seguridad y usabilidad.

Figura 3.0.4 Diagrama de bloque del sistema de control del elevador basado en ESP32



Referencia: Descripción del control del elevador con ESP32

### 3.3.2. Características avanzadas del firmware

#### Sistema de tiempo acumulativo:

- **Memoria persistente:** El tiempo se acumula incluso después de pausas
- **Límite de seguridad:** Máximo 29 segundos de subida para proteger el motor
- **Reset automático:** Al regresar a posición inicial, el contador se reinicia
- **Movimiento de retorno ilimitado:** Bajar no tiene restricción de tiempo

#### Protocolos de seguridad:

- **Doble verificación:** Control por tiempo Y finales de carrera físicos
- **Parada inmediata:** Cualquier comando de parar detiene el sistema instantáneamente
- **Verificación continua:** Monitoreo de finales de carrera en bucle principal
- **Prevención de sobre-recorrido:** Imposible exceder límites físicos del sistema

#### Sistema de comunicación:

- **API RESTful:** Endpoints estándar /subir, /bajar, /parar, /status
- **Respuestas JSON:** Información estructurada del estado del sistema
- **Interfaz web responsive:** Control desde cualquier navegador
- **Monitoreo en tiempo real:** Actualización automática cada 2 segundos

### 3.3.3. Aplicación android - estructura principal

*Figura 3.5 Interfaz de inicio de la app elevadoriot*



Referencia: Menú de interfaz de control del elevador.

La aplicación Android está desarrollada en Kotlin utilizando las mejores prácticas de desarrollo móvil moderno, con arquitectura MVVM y manejo asíncrono de operaciones de red.

### 3.3.4. Implementación del `ButtonsActivity` (control manual)

*Figura 3.6 Interfaz de la botonera manual*



Referencia: Botonera para control manual táctil del elevador

El `ButtonsActivity` proporciona la interfaz de control más directa y confiable, especialmente diseñada para adultos mayores con botones grandes y retroalimentación clara.

#### 3.3.4.1. Características técnicas del `ButtonsActivity`

##### Arquitectura de comunicación HTTP:

- **Corrutinas Kotlin:** Operaciones de red asíncronas sin bloquear la UI
- **Timeout configurado:** 5 segundos para comandos, 3 segundos para verificación
- **Manejo robusto de errores:** Recuperación automática de fallos de conectividad
- **Retroalimentación inmediata:** Toast messages y cambios visuales instantáneos

##### Interfaz de usuario optimizada:

- **Botones grandes:** Fáciles de presionar para adultos mayores
- **Colores intuitivos:** Verde (subir), Amarillo (bajar), Rojo (parar)

- **Estados visuales:** Botones se deshabilitan visualmente sin conexión
- **Indicadores de estado:** Texto y colores cambian según el estado del elevador

**Sistema de verificación de conectividad:**

1. **Verificación inicial:** Al abrir la aplicación
2. **Verificación continua:** Después de cada comando enviado
3. **Indicadores visuales:** Estado de conexión siempre visible
4. **Recuperación automática:** Reintenta conexión después de fallos
5. **Prevención de comandos:** Botones inactivos sin conexión
6. **Monitoreo continuo:** Verificación de conectividad y estado en tiempo real

**3.3.5 Implementación del voiceactivity (control por voz)**

*Figura 3.7 interfaz para control por voz*



Referencia: Interfaz de la app que controla por voz el elevador.

El VoiceActivity implementa un sistema avanzado de reconocimiento de voz que permite a los adultos mayores controlar el elevador mediante comandos hablados en español e inglés. La implementación incluye características de accesibilidad y manejo robusto de permisos del sistema Android.

### 3.3.5.1. Características avanzadas del VoiceActivity

#### Sistema de reconocimiento de voz multiidioma:

- **Idiomas soportados:** Español (primario) e inglés (secundario)
- **Comandos en español:** "subir", "bajar", "parar", "arriba", "abajo", "alto"
- **Comandos en inglés:** "up", "down", "stop" (para usuarios bilingües)
- **Procesamiento:** Texto convertido a minúsculas para coincidencia flexible
- **Retroalimentación:** Toast messages confirman comando reconocido

#### Características de accesibilidad implementadas:

- **Doble modalidad:** Touch prolongado para usuarios con destreza + Click simple para lectores de pantalla
- **Descripción de contenido:** ContentDescription para tecnologías asistivas
- **Retroalimentación háptica:** Vibración confirmatoria al activar grabación
- **Grabación automática:** 3 segundos automáticos para usuarios con limitaciones motoras
- **Estados visuales:** Cambios de color y texto para usuarios con discapacidad auditiva

#### Comunicación HTTP integrada:

- **Misma arquitectura:** Reutiliza sistema de comunicación de ButtonsActivity
- **Corrutinas asíncronas:** Comandos HTTP sin bloquear interfaz de usuario
- **Manejo de errores:** Recuperación automática de fallos de conectividad
- **Validación de estado:** Verificación de conexión antes de enviar comandos

#### Ventajas para adultos mayores:

- **Facilidad de uso:** No requiere recordar secuencias de botones
- **Comandos naturales:** Palabras cotidianas en español
- **Retroalimentación clara:** Confirmación audible y visual de comandos
- **Recuperación de errores:** Manejo elegante de comandos no reconocidos

- **Accesibilidad total:** Compatible con tecnologías asistivas

### 3.3.6. Implementación del CameraActivity (control por visión artificial)

*Figura 3.8 Interfaz de reconocimiento por color*



Nota: Reconocimiento por visión artificial (color)

El CameraActivity implementa el sistema más avanzado de control mediante reconocimiento de colores en tiempo real. Utiliza la cámara del dispositivo Android para detectar cartulinas de colores específicos (verde, amarillo, rojo) y envía comandos correspondientes al elevador, proporcionando una interfaz intuitiva y visual para adultos mayores.

#### Características técnicas avanzadas del CameraActivity

##### Sistema de control por colores:

- **Verde → Subir:** Cartulina verde activa comando "subir" del elevador
- **Amarillo → Bajar:** Cartulina amarilla activa comando "bajar" del elevador
- **Rojo → Parar:** Cartulina roja activa comando "parar" del elevador
- **Sin color:** Estado de espera sin envío de comandos

##### Algoritmo de detección inteligente:

- **Análisis de área central:** Muestreo optimizado del centro de la imagen (adaptativo)
- **Umbral de intensidad:** Evita detección falsa en condiciones de poca luz (mínimo 150)

- **Ratio de dominancia:** Verifica que el color detectado sea realmente dominante (>40%)
- **Diferencia cromática:** Requiere diferencia mínima de 35 puntos entre componentes RGB
- **Muestreo eficiente:** Análisis cada 4 píxeles para mejor rendimiento

#### **Optimizaciones de rendimiento:**

- **Estrategia KEEP\_ONLY\_LATEST:** Procesa solo el frame más reciente, descarta frames atrasados
- **Executor de hilo único:** Análisis de imagen en hilo dedicado sin bloquear UI
- **Liberación de memoria:** Reciclaje automático de bitmaps para evitar memory leaks
- **Logging detallado:** Sistema completo de debugging para análisis de rendimiento

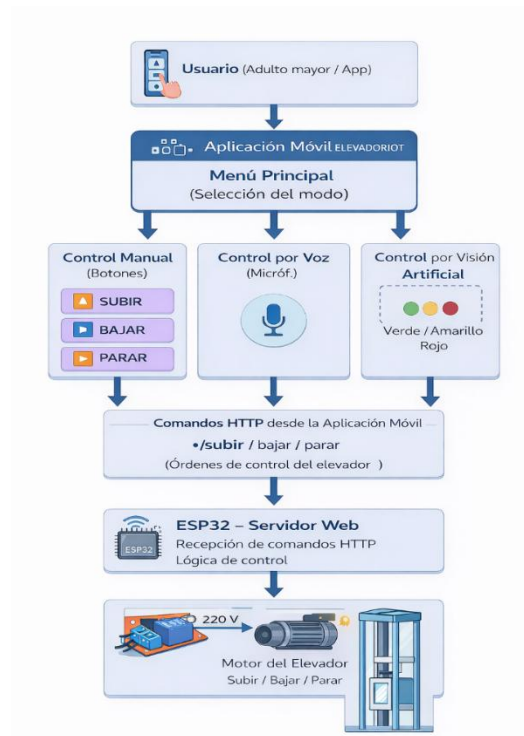
#### **Características para adultos mayores:**

- **Interfaz visual intuitiva:** Colores grandes y claramente diferenciados
- **Retroalimentación inmediata:** Cambios visuales al detectar colores
- **Sistema robusto:** Tolerante a condiciones de iluminación variables
- **Operación sin contacto:** Control del elevador sin tocar dispositivos
- **Vista previa en tiempo real:** Usuario puede ver lo que detecta la cámara

#### **Integración con sistema de control:**

- **Misma arquitectura HTTP:** Reutiliza comunicación de otras actividades
- **Comandos estándar:** /subir, /bajar, /parar enviados al ESP32
- **Verificación de conectividad:** Monitoreo continuo del estado de conexión
- **Manejo de errores:** Recuperación automática de fallos de comunicación

**Figura 3.9** Diagrama de bloques del proceso de la aplicación móvil ELEVADORIOT



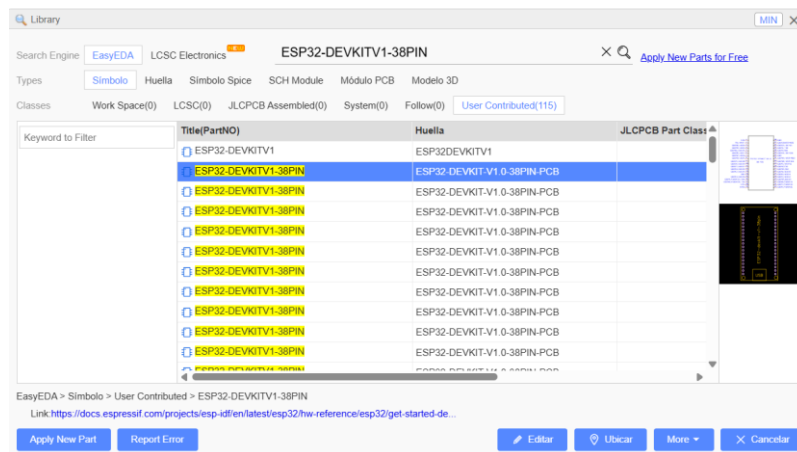
Referencia: Diagrama de funcionamiento.

### 3.7 Diseño y construcción de PCB personalizada

#### 3.7.1 Pasos para crear la PCB

1. El primer paso es realizar el diseño de la PCB, en este caso utilice un software en línea llamado EASY EDA.
2. Para comenzar con el proyecto se realiza el esquemático en donde conseguimos todos los componentes antes de poder hacer las respectivas conexiones, comenzamos con la esp32, la cual la buscas en la biblioteca como ESP32-DEVKITV1-38PIN, luego continuamos con las borneras de 2 y de 3 yo los encontré como RELAY.

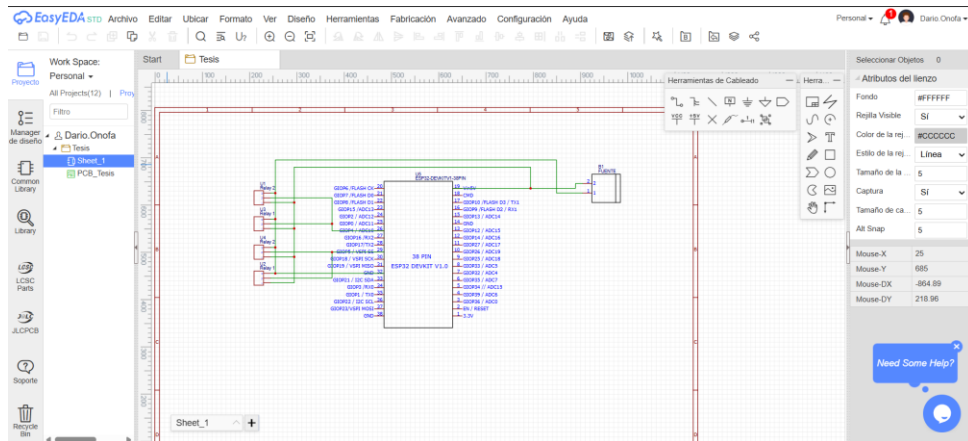
Figura 3.10 Biblioteca de EASY EDA.



Referencia: Biblioteca donde se escoge el dispositivo, en este proyecto es el ESP32.

3. Una vez que se obtuvo los materiales necesarios se procede a la conexión de los dispositivos entre si, verificando que los pines sean los correctos para conectar el VCC con la conexión de 5v y el GND con el GND de la tarjeta ESP32 como lo muestra la siguiente imagen

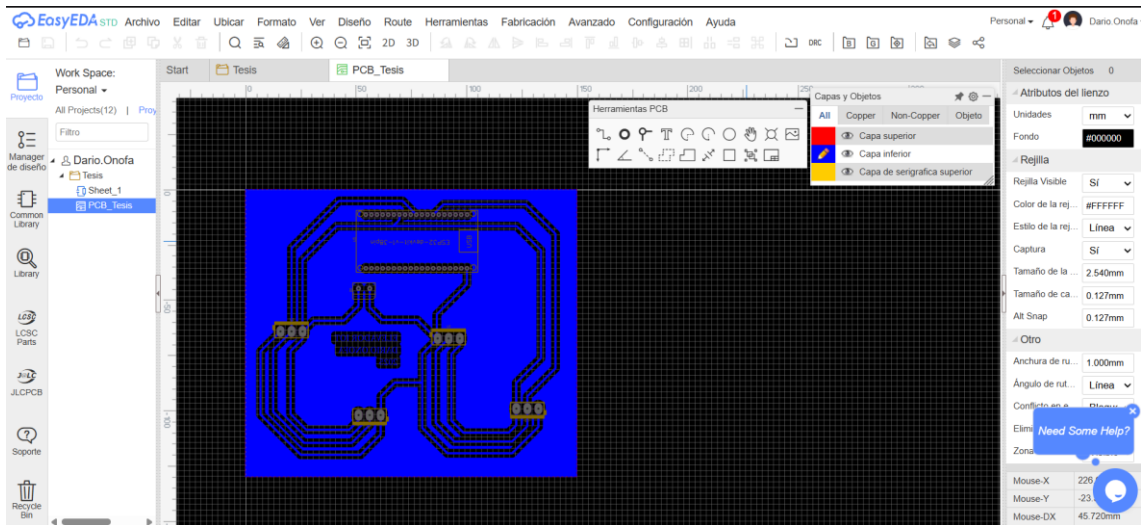
Figura 3.11 Interfaz de diseño



Referencia: Diagrama de conexión de la PCB.

4. Luego de guardar el archivo procedemos a realizar el PCB en donde vamos a tener los componentes y las líneas guías para poder realizar las pistas, el grosor de las pistas las deje en 1.0, además de adecuar los espacios donde van los pines de la ESP32 para hacer un trabajo más eficiente a la hora de taladrar los agujeros y pase la ESP32 use un grosor de 2mm como se muestra en la siguiente imagen.

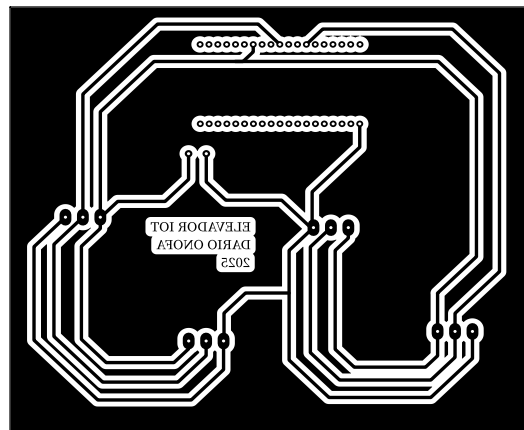
**Figura 3.12** Diseño de la PCB.



Referencia: Construcción de las pistas para los componentes del proyecto.

5. Al momento de haber concluido con el diseño de la placa se procede a crear el archivo en PDF de del circuito realizado como se muestra en la siguiente imagen

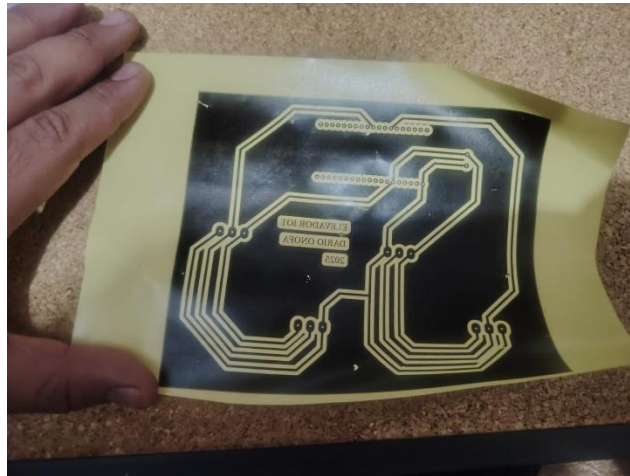
**Figura 3.13** Imagen para impresión de la PCB



Referencia: Diseño de la placa PCB.

6. Hay que imprimir en hoja transfer de preferencia usar la hoja específica para poder pasar el diseño de la PCB en la placa, la adquirí en una electrónica como se muestra en la siguiente imagen y es importante recatar que debes usar una impresora láser para poder hacer todo este proceso sino no funciona.

*Figura 3.14 Imagen de impresión del diseño*



Referencia: Impresión del diseño de la placa PCB.

7. Se debe tener una placa del tamaño que la necesite en este caso yo realice con una PCB de 150mm x 130mm

*Figura 3.15 Preparación de la placa*



Referencia: Preparación de la PCB

8. Una vez que se tiene la placa con un rastrillo de metal fino para lavar platos, se lija la placa y luego usamos alcohol y un trapito para poder tener lista nuestra placa para poder quemar nuestra PCB con el método de planchado.
9. Proseguimos a poner nuestro diseño en la placa y con cinta masking la sujetamos a una hoja de papel bond luego pasamos la plancha por encima de la hoja de papel bond

por un aproximado de 10 a 15 min dependiendo de cómo vayas viendo que el diseño se vaya pasando la tinta a la placa.

10. Después de eso se retira y con ayuda de un marcador permanente se corrigen las fallas que hayan ocurrido al momento de pasar el diseño a la placa.
11. Con ayuda de un dremell realizamos los agujeros en nuestra PCB, en donde corresponden con una punta de 0.8mm y luego pasamos a una de 1.0mm
12. Una vez realizado los agujeros procedemos a utilizar el ácido férrico para poder disolver el cobre sobrante de la PCB, para ello se le sumerge totalmente a la placa en un recipiente que ya no lo vayan a usar para el consumo alimenticio, y con movimientos suaves le vamos sacando todo ese cobre restante, hasta que veamos que el cobre que no estaba debajo del diseño se elimine completamente, al momento de sacar del ácido es importante que con ayuda del rastrillo saquemos la tinta y nos quede el diseño de nuestra PCB en cobre, como se muestra en las siguientes figuras.

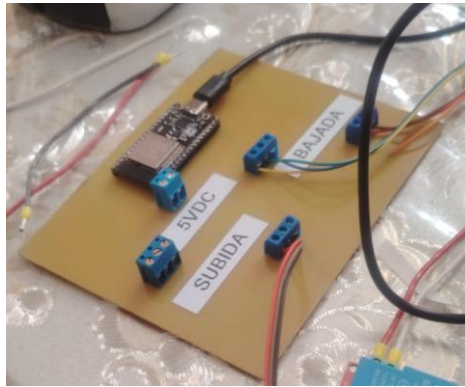
**Figura 3.16** Imagen de preparación de la PCB



Referencia: Placa en ácido para crear la pista.

13. Después de todo este proceso llegando al punto final en la cual se debe soldar los dispositivos que usamos en nuestro diseño y soldarlos con ayuda de un caudín, su pomada y un alambre de estaño, teniendo todas las precauciones posibles para prevenir quemaduras, como se muestra en la siguiente imagen.

*Figura 3.17 Construcción del circuito en la PCB.*



Referencia: Conexión de los componentes en la PCB.

14. Y con eso ya tendríamos nuestra PCB en óptimas condiciones para poder usarlo en el circuito para el control del elevador.

## **CAPITULO IV**

### **4. ANÁLISIS Y RESULTADOS**

Este capítulo expone los resultados obtenidos tras la implementación del sistema de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) con inteligencia artificial para el control de elevadores, enfocado en personas adultas mayores. Se presenta el análisis conforme a los tres objetivos específicos propuestos en el capítulo

#### **4.1. Resultados del diseño del sistema saac multimodal**

El primer objetivo planteó la integración de una interfaz accesible multimodal mediante comandos por voz, visión artificial y botones físicos. El sistema fue diseñado con tres canales de entrada:

- **Voz:** Se utilizó la API SpeechRecognizer en Android para interpretar comandos como “SUBIR”, “BAJAR” y “PARAR” en español y “UP”, “DOWN” y “STOP” en inglés respectivamente.

- **Visión artificial:** Implementación de CameraX para detección de colores dominantes (rojo, verde y amarillo), relacionados con acciones específicas del elevador como son:
  - Rojo – Bajar.
  - Verde – Subir.
  - Amarillo - Parar.
- **Control manual táctil:** Interfaz con botones grandes y colores de fácil identificación, que faciliten la utilización de usuarios con limitaciones motrices.

Resultado técnico:

La interfaz funcionó adecuadamente en pruebas funcionales, con una tasa de éxito promedio superior al 90%. La estructura modular facilitó el manejo de eventos desde múltiples canales sin conflictos de sincronización.

#### 4.2. Control seguro del elevador con ESP32

El segundo objetivo implicaba desarrollar un módulo inteligente capaz de ejecutar los comandos recibidos desde el sistema SAAC, activando físicamente el elevador. El sistema utilizó un ESP32 como unidad de control, conectado a un conjunto de relés electromecánicos de 30 A, capaces de soportar el alto consumo del motor del elevador.

Por las características mencionadas en el capítulo III, este dispositivo permitió que se realice la integración entre la aplicación Android y el motor del elevador (tecle), facilitando la interacción del usuario a través de los tres canales de entrada: voz, visión artificial y control manual táctil.

El sistema demostró alta confiabilidad y bajo retardo en el procesamiento y ejecución de comandos. Los relés de alta capacidad aseguraron la conmutación del motor sin sobrecalentamiento ni caída de tensión.

A continuación, presentamos una serie de pruebas en el prototipo para validar la tasa de éxito y el tiempo medio:

**Tabla 4** Validación de éxito y tiempo de ejecución de las instrucciones del elevador

Modo de activación	Total de pruebas	Éxitos (E)	Fallos (F)	Porcentaje de éxito (%)
<b>C - Color</b>	8	7	1	87.5%
<b>V - Voz</b>	8	5	3	62.5%
<b>B - Botón</b>	8	8	0	100%

Referencia: Tabla de validación de funcionamiento del elevador

La interacción por botones fue la más rápida y confiable. Sin embargo, el control por voz y visión también fueron de interés, especialmente para los usuarios con limitaciones de visión.

Cabe indicar que, Para lograr una mayor efectividad en los sistemas de visión artificial basados en detección de color, es recomendable utilizar colores de alta saturación y tono fuerte, evitando materiales brillantes o reflectantes. Esto se debe a que los colores intensos y opacos ofrecen un mayor contraste y reducen la interferencia provocada por reflejos o variaciones de iluminación, lo cual facilita la segmentación precisa de los objetos en el procesamiento de imagen.

#### **4.3. Control seguro del elevador con ESP32**

Con el fin de cumplir el tercer objetivo, se realizaron pruebas en un entorno controlado simulando condiciones reales de uso por adultos mayores.

Metodología aplicada:

- 10 usuarios simulaban tareas de control del elevador con cada una de las modalidades.
- Se aplicó la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS) y se cronometraron los tiempos de interacción.
- Se evaluaron accesibilidad, facilidad de uso y confianza percibida.

Resultados generales:

## **Tabla**

En base a la tabla que se encuentra en el Anexo 2 se obtienen los siguientes resultados: Al probar por visión de las 8 pruebas que se realizó 7 tuvieron éxito y 1 no tuvo éxito, en las pruebas que se realizó por medio de comandos de voz 5 se realizaron con éxito y 3 no tuvieron éxito, por último, en las pruebas con los botones que se encuentran en el control manual se realizó 8 con éxito, en total son 24 pruebas realizadas.

Observaciones:

El sistema fue considerado intuitivo y adaptable.

Los usuarios valoraron especialmente la redundancia de canales de control.

### **4.4. Análisis de los Resultados de las pruebas**

Los resultados obtenidos durante la fase de pruebas confirman que el sistema desarrollado cumple adecuadamente con los objetivos establecidos, tanto en funcionalidad técnica como en accesibilidad. La integración del microcontrolador ESP32 resultó clave para lograr una gestión eficiente y estable del sistema, debido a su capacidad de manejar múltiples tareas simultáneamente, conectividad robusta y compatibilidad con tecnologías de comunicación modernas. Esto permitió una interacción fluida entre los módulos de entrada y los actuadores del elevador, incluso en tiempo real.

Por su parte, la elección de relés de alto amperaje (hasta 30 A) garantizó la operación segura del sistema eléctrico, al permitir el manejo directo de corrientes elevadas sin riesgo de sobrecarga. Esta decisión técnica fue fundamental para proteger tanto al usuario como al propio elevador, asegurando una operación confiable y prolongada.

Desde la perspectiva de accesibilidad, la combinación de control por voz, reconocimiento de color y botones físicos permitió que el sistema se adaptara a diferentes tipos de usuarios, incluyendo personas mayores o con discapacidades. Cada modalidad funcionó de manera autónoma, pero al trabajar en conjunto ofrecieron una experiencia más versátil y tolerante a posibles fallos o limitaciones del entorno, como baja iluminación o dificultades en el habla.

El diseño de los comandos fue intuitivo, y se observó que el uso de colores planos y de tonos intensos mejoró notablemente la precisión del reconocimiento visual. Esta observación es relevante para futuras implementaciones en espacios donde la iluminación puede ser variable.

Al momento de realizar las pruebas respectivas, se fue calibrando el tiempo necesario para lograr que el elevador llegue tanto al punto de arriba como de abajo, para mayor precisión se puso los finales de carrera tanto en la parte superior como en la parte inferior, con el fin de que el ascensor tenga mas seguridad y no haya riesgo de que falle el tiempo de funcionamiento y se detenga en el momento justo que se necesita para que la persona que se encuentra usando el elevador pueda llegar al final del recorrido de forma segura.

El sistema desarrollado no solo cumple su función de control de elevador, sino que se presenta como una plataforma adaptable a otros contextos domóticos. Su arquitectura modular permite añadir sensores, alarmas u otros dispositivos compatibles sin necesidad de rediseñar la solución desde cero. Esto lo convierte en una propuesta sostenible y ampliable, útil para proyectos orientados a la mejora de la calidad de vida y la autonomía en el hogar.

Además, la experiencia de los usuarios durante las pruebas fue positiva. La interacción fue percibida como simple, rápida y comprensible, lo cual demuestra que el enfoque centrado en la usabilidad fue efectivo. El sistema logró responder con precisión a los comandos, aportando confianza y reduciendo la necesidad de asistencia externa para su uso.

## 5. Conclusiones

- El desarrollo del trabajo de titulación permitió implementar un sistema de comunicación aumentativa y alternativa (SAAC) integrado con tecnologías de inteligencia artificial para el control de un elevador artesanal, logrando mejorar la accesibilidad, la seguridad y la autonomía de los adultos mayores mediante una solución tecnológica funcional y adaptable.
- La integración de diferentes modalidades de interacción, como el control manual mediante botones, el uso de comandos de voz y la visión artificial, demostró ser una estrategia efectiva para atender las diversas capacidades físicas, sensoriales y cognitivas de los usuarios, fortaleciendo el enfoque inclusivo del sistema propuesto.
- La aplicación móvil ELEVADORIOT permitió interpretar correctamente las acciones del usuario y transformarlas en comandos de control definidos, los cuales fueron transmitidos de manera estable a través de comunicación WiFi utilizando el protocolo HTTP hacia el microcontrolador ESP32, garantizando una interacción confiable entre la aplicación y el sistema de control.
- El microcontrolador ESP32, configurado como servidor web, facilitó la recepción y ejecución de los comandos enviados desde la aplicación móvil, permitiendo el control adecuado de los pines GPIO y la activación de un relé encargado de conmutar el motor del elevador, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente del sistema.
- Las pruebas realizadas al prototipo evidenciaron un correcto desempeño del sistema ante las órdenes de subir, bajar y detener, validando su estabilidad y confiabilidad, y demostrando que el uso de tecnologías de bajo costo constituye una alternativa viable para el desarrollo de soluciones de accesibilidad en entornos domésticos y asistivos.

## 6. Recomendaciones

- Se sugiere que la implementación de la aplicación móvil ELEVADORIOT vaya acompañada de una inducción básica dirigida al usuario final, especialmente a personas adultas mayores, con el objetivo de facilitar la comprensión del menú principal y de las distintas modalidades de control, promoviendo así un uso seguro y eficiente del sistema.
- Antes de iniciar la operación del elevador, es recomendable comprobar la correcta comunicación entre la aplicación móvil y el microcontrolador ESP32 mediante la red WiFi, con el fin de asegurar la estabilidad de la conexión y evitar interrupciones durante el funcionamiento del sistema.
- Se aconseja elegir la modalidad de control más adecuada de acuerdo con las capacidades y condiciones del usuario; por ejemplo, el uso de botones físicos para personas con adecuado control motriz, el control por voz para usuarios con limitaciones de movilidad y la visión artificial para aquellos con restricciones auditivas o del habla.
- Es conveniente establecer revisiones periódicas del sistema, que incluyan la comprobación del estado de los relés, el desempeño del motor y el funcionamiento de los indicadores visuales, con el propósito de detectar de manera temprana posibles fallas eléctricas o mecánicas que puedan afectar la seguridad del usuario.
- Se recomienda utilizar la aplicación móvil en dispositivos Android que cuenten con versiones actualizadas del sistema operativo y con los recursos de hardware necesarios, tales como micrófono, cámara y conectividad estable, para asegurar el correcto desempeño de los módulos de reconocimiento de voz y de visión artificial.
- Se sugiere que la instalación del sistema se realice en entornos adecuados y bajo condiciones de seguridad eléctrica apropiadas, considerando la incorporación de protecciones adicionales para el manejo de cargas de 220 V, a fin de reducir riesgos durante la operación del elevador.
- Finalmente, se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo tanto a nivel de software como de hardware, que contemple la revisión periódica del código, la actualización de la aplicación móvil y la inspección de los componentes electrónicos y mecánicos, garantizando la confiabilidad y durabilidad del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Age Safe America. (2017). Fall prevention facts & statistics.  
<https://agesafeamerica.com/fall-prevention-facts/>
- Android Developers. (2023). SpeechRecognizer.  
<https://developer.android.com/reference/android/speechRecognizer>
- Beukelman, D. R., & Mirenda, P. (2020). *Augmentative & alternative communication: Supporting children and adults with complex communication needs* (5th ed.). Paul H. Brookes Publishing Co.
- Bourgeois, M. S., Hickey, E. M., & Nichols, A. D. (2021). *Introduction to neurogenic communication disorders* (8th ed.). Jones & Bartlett Learning.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Important facts about falls.  
<https://www.cdc.gov/falls/facts.html>
- Espressif Systems. (2023). ESP32 series datasheet.  
[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf)
- García-Betances, R. I., Fico, G., Salvi, D., Ottaviano, M., & Arredondo, M. T. (2021). Ambient assisted living systems for older adults: A review. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 68(8), 1–12.
- Google Developers. (2022). Guide to app architecture (MVVM).  
<https://developer.android.com/jetpack/guide>
- JetBrains. (2023). Kotlin documentation: Coroutines overview.  
<https://kotlinlang.org/docs/coroutines-overview.html>
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2021). *Speech and language processing* (3rd ed.). Stanford University.
- Light, J., & McNaughton, D. (2019). Communicative competence for individuals who require augmentative and alternative communication. *Augmentative and Alternative Communication*, 35(2), 1–16.
- Majumder, S., Mondal, T., & Deen, M. J. (2017). Smart homes for elderly healthcare—Recent advances and research challenges. *Sensors*, 17(11), 1–25.
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Ageing and health.  
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
- Pilotto, A., & Ferrucci, L. (2018). A multidimensional approach to frailty in older people. *Ageing Research Reviews*, 41, 1–10.
- Plena Inclusión. (2021). *Comunicación y discapacidad intelectual*.  
<https://www.plenainclusion.org/informate/discapacidad-intelectual/comunicacion/>

- Speech-Language-Hearing Association. (2022). Augmentative and alternative communication (AAC). <https://www.asha.org/public/speech/disorders/AAC/>
- Stevens, J. A. (2014). Circumstances and outcomes of falls among high-risk community-dwelling older adults. *Injury Epidemiology*, 1(1), 1–9.
- Szeliski, R. (2011). *Computer vision: Algorithms and applications*. Springer Science & Business Media.
- Torres, C. (2001). *Sistemas aumentativos y alternativos de comunicación: Una propuesta para la intervención educativa*. Editorial Universitaria.
- Wong, R. P. (2025). Technological inclusion and aging populations in Latin America. *Journal of Gerontology and Social Technology*, 45, 45–62.

## ANEXOS

### ANEXO 1- Encuesta de Usabilidad

Objetivo: Evaluar qué tan fácil fue usar el sistema y cómo se sintió el usuario al utilizarlo.

Instrucciones: Coloque SI o No según su experiencia.

PREGUNTA	SI	NO
1. La aplicación fue fácil de entender		
2. El ascensor funciona bien		
3. Fue fácil utilizar la cámara para reconocer los colores		
4. Fue fácil utilizar los comandos de voz para que funcione el elevador		

Datos del usuario:

Edad: \_\_\_\_\_

**ANEXO 2- Datos de pruebas del funcionamiento de la aplicación en las tres modalidades.**

*Tabla 5 Pruebas de funcionamiento*

Prueba No.	Modo de activación (C - color V - voz B - botón)	Tiempo de activación (segundos)	Resultados (E - Éxito F- Fallo)
1	C	29	E
2	C	28	E
3	C	20	F
4	C	28	E
5	C	29	E
6	C	28	E
7	C	29	E
8	C	28	E
9	V	29	E
10	V	28	E
11	V	25	F
12	V	28	E
13	V	24	F
14	V	21	F
15	V	29	E
16	V	28	E
17	B	29	E
18	B	28	E
19	B	29	E
20	B	28	E
21	B	29	E
22	B	28	E
23	B	29	E
24	B	28	E