

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

Diseño y validación de un dispositivo mecatrónico para la detección de somnolencia y correcto uso de equipos para los operadores de carretillas elevadoras de una empresa multinacional

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

André Kim

Jhonny Javier Vargas Paz

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## **Dedicatoria**

---

A mi familia, por su comprensión y ánimo en cada paso de mi educación. A mis amigos, por compartir risas y aliviar las tensiones de esta travesía académica. A mis profesores y mentores, por su sabiduría y orientación que han enriquecido mi conocimiento. A todos los que creyeron en mí, esta tesis está dedicada a ustedes; gracias por ser mi fuente de inspiración y fortaleza.

**Jhonny Javier Vargas Paz**

## Dedicatoria

---

Deseo dedicar este trabajo a mi familia, los cuales me han enseñado principios y valores que han servido como inspiración a buscar excelencia.

**André Kim**

## Agradecimientos

---

Quiero tomar este espacio para expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas y entidades que han desempeñado un papel fundamental en la realización de esta tesis:

A mi tutor Ph.D. Marcelo Fajardo por su orientación experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos y consejos han sido invaluable para el desarrollo de este trabajo.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y aliento constante. Gracias por estar a mi lado en cada etapa de mi educación y por ser mi fuente inagotable de motivación.

A mis amigos y compañeros de estudio, por compartir conmigo esta travesía académica, por las horas de estudio conjunto y por las palabras de aliento en los momentos más desafiantes.

A mis profesores y a la institución educativa, por proporcionarme las herramientas y el conocimiento necesario para llevar a cabo esta investigación.

A quienes, de una forma u otra, contribuyeron a este proyecto, su apoyo ha sido fundamental y estoy profundamente agradecido por ello.

Por último, quiero agradecer a aquellos que, a pesar de las dificultades y los desafíos, creyeron en mí y me alentaron a seguir adelante. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo y representa el apoyo inquebrantable que he recibido a lo largo de mi camino académico.

¡Gracias a todos!

**Jhonny Javier Vargas Paz**

## Agradecimientos

---

Agradezco a mi familia por su apoyo en todos los aspectos de mi vida y por darme un buen hogar y educación.

A mis compañeros y profesores en todos los niveles de mi educación, por la compañía y lecciones de vida que me han enseñado.

A mi compañero de materia integradora Jhonny Vargas por su dedicación en el proyecto.

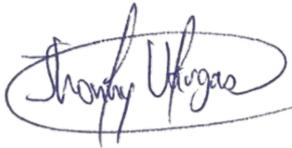
Al Ph.D. Carlos Saldarriaga y al Ph.D. Marcelo Fajardo por su guía en el proyecto.

**André Kim**

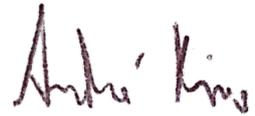
## Declaración Expresa

---

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponden conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; André Kim y Jhonny Javier Vargas Paz damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Jhonny Javier Vargas Paz



André Kim

## **Evaluadores**

---

**Carlos Saldarriaga Mero, Ph.D.**

Profesor de Materia

---

**Marcelo Fajardo Pruna, Ph.D.**

Tutor de proyecto

## Resumen

En los últimos veinte años, se ha notado un aumento significativo en la creación de leyes para proteger la salud de los empleados en Ecuador. Las compañías en Ecuador están obligadas a seguir estrictamente las regulaciones dictadas por el Ministerio del Trabajo.

Esta situación es relevante en las industrias manufactureras, las cuales están sometidas a garantizar la seguridad de sus empleados. En empresas donde se realizan trabajos que involucran cargas pesadas y turnos rotativos, los trabajadores pueden verse expuestos a jornadas de descanso limitadas. Esta situación plantea desafíos significativos en la evaluación precisa del estado de los trabajadores en la empresa.

Por lo tanto, el propósito de este proyecto es desarrollar y validar un sistema mecatrónico diseñado específicamente para identificar la fatiga en los conductores de carretillas elevadoras. Se han elaborado diseños tanto para los componentes mecánicos como para los electrónicos de dicho sistema. La implantación de este dispositivo permitirá a la empresa asegurar la seguridad de sus operarios durante el desempeño de sus labores.

Se llevaron a cabo pruebas de validación englobando la evaluación del dispositivo en sí y del algoritmo diseñado para detectar la somnolencia. Finalmente, sometió el prototipo a pruebas durante su jornada laboral, documentando a través de grabaciones en video si experimentaba estados de somnolencia. Los resultados de estas pruebas respaldan la eficacia del dispositivo en la detección de la somnolencia entre los empleados, lo que, contribuye a prevenir posibles accidentes durante sus tareas laborales.

**Palabras Clave:** Reconocimiento facial, Seguridad ocupacional, aprendizaje profundo, detección de somnolencia

## Abstract

*Over the last two decades, there has been a notable increase in the enactment of legislation aimed at safeguarding workers' health in Ecuador. Ecuadorian companies are obliged to rigorously apply the regulations established by the Ministry of Labor. This situation is relevant in manufacturing industries, which are required to ensure the safety of their employees. In companies where work involving heavy loads and rotating shifts is performed, workers may be exposed to limited rest days. This situation poses significant challenges in accurately assessing the status of workers in the company.*

*Therefore, this project aims to design and validate a mechatronic system specifically designed to detect drowsiness in forklift operators. Designs have been developed for both the mechanical and electronic components of such a system. The implementation of this device will enable the company to ensure the safety of its operators during the performance of their work.*

*Furthermore, in the study's third chapter, we conducted validation tests on a prototype made using 3D printing with ABS filament. These evaluations looked at the device and the algorithm developed to spot drowsiness.*

*Finally, he subjected the prototype to tests during a working day, documenting through video recordings whether it experienced drowsiness states. The results of these tests support the effectiveness of the device in detecting drowsiness among employees, which helps to prevent possible accidents during their work tasks.*

**Keywords:** *Facial recognition, occupational safety, deep learning, drowsiness detection.*

## Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de tablas.....	X
Índice de planos.....	XI
Capítulo 1.....	1
1.1    Introducción.....	2
1.2    Descripción del problema.....	3
1.3    Justificación del problema.....	5
1.4    Objetivos.....	6
1.4.1    Objetivo general.....	6
1.4.2    Objetivos específicos.....	7
1.5    Marco teórico.....	7
1.5.1    Impactos de la somnolencia y fatiga en conductores.....	8
1.5.2    Indicadores de somnolencia y fatiga.....	9
1.5.3    Procesamiento y reconocimiento de imágenes utilizando Machine Learning...	11
1.6    Estado del arte.....	13
Capítulo 2.....	15

2.1	Metodología .....	16
2.2	Alternativas de solución .....	16
2.3	Proceso de concepción y desarrollo del diseño .....	19
2.4	Requerimientos del diseño .....	20
2.5	Diseño conceptual .....	22
2.6	Diseño mecánico .....	22
2.6.1	Estudio de resistencia a fuerzas externas .....	23
2.7	Diseño electrónico .....	25
2.7.1	Identificación de parámetros de entrada y salida .....	25
2.7.2	Selección de placa de desarrollo y microcontrolador .....	26
2.7.3	Cálculos de consumo de energía .....	29
2.8	Diseño de algoritmo de detección de somnolencia .....	30
Capítulo 3.....		32
3.1	Resultados y análisis .....	33
3.2	Diseño mecánico .....	33
3.2.1	Dimensionamiento del sistema de sujeción .....	34
3.2.2	Resistencia a fuerzas externas.....	35
3.2.3	Impresión de la carcasa y sistema de sujeción en filamento ABS .....	37
3.3	Diseño electrónico.....	38
3.3.1	Cálculo de consumo de corriente del sistema .....	38
3.4	Modos de funcionamiento .....	38
3.5	Validación del sistema completo .....	39
3.6	Evaluación de gastos .....	41

Capítulo 4.....	43
4.1    Conclusiones y recomendaciones.....	44
4.1.1    Conclusiones .....	44
4.1.2    Recomendaciones .....	45
Referencias.....	47
Apéndices.....	52

### Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IESS	Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social
SISO	Sistemas de Gestión de la Seguridad Industrial y Salud Ocupacional
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional
AI	Inteligencia Artificial
IBM	Internacional Business Machines Corporation
ADAS	Sistemas avanzados de asistencia al conductor
AGV	Automated Guided Vehicle
CAD	Diseño asistido por Computadora
EEG	Electroencefalograma
ECG	Electrocardiografía
EMG	Electromiografía
EOG	Electrooculografía
RC	Ritmo cardíaco
VRC	Variabilidad en el ritmo cardíaco
RR	Ritmo respiratorio
PERCLOS	Porcentaje del ojo cerrado
EDC	Duración de ojo cerrado
FEC	Frecuencia de ojo cerrado
POM	Porcentaje de apertura de la boca
OIT	Organización Internacional de Trabajo
OMS	Organización Mundial de la Salud

**Simbología**

Mm	Milímetro
N	Factor de seguridad
M	Metro
mV	Milivoltio
V	Voltio
W	Watts
A	Amperio
mA	Miliamperio
mAh	Miliamperio hora
3D	Tres Dimensiones
Sy	Resistencia a la fluencia

## Índice de figuras

Figura 1.1 Accidentes de trabajo reportados por su tipo de incapacidad.....	4
Figura 1.2 Accidentes de Trabajo reportados por su rama de actividad .....	4
Figura 1.3 Número de casos reportados y casos calificados con respecto a Accidentes de Trabajo .....	8
Figura 1.4 Respuestas a la pregunta: ¿Ha dormido o cabeceado mientras conducía? .....	9
Figura 1.5 Estudio de señales de EEG utilizando electrodos para reconocer estado de somnolencia .....	10
Figura 1.6 Determinación de PERCLOS .....	11
Figura 1.7 Proceso ilustrado de filtrado de una imagen en una red neuronal .....	12
Figura 1.8 Datos para entrenamiento del algoritmo.....	12
Figura 1.9 Configuración del experimento con su plataforma de conducción .....	13
Figura 2.1 Enfoque de diseño empleado en el proyecto .....	20
Figura 2.2 Boceto de la carcasa (diseño) .....	22
Figura 2.3 Idea de diseño de la carcasa.....	23
Figura 2.4 Placa de Desarrollo Jetson Nano .....	27
Figura 2.5 Microcontrolador ESP32 .....	28
Figura 2.6 Sensor Infrarrojo Arduino.....	28
Figura 2.7 Esquemático de la conexión eléctrica entre los componentes.....	29
Figura 2.8 Diagrama de flujo de la lógica para la programación.....	31
Figura 3.1 Modelo de carcasa .....	34
Figura 3.2 Modelos del sistema de sujeción .....	34
Figura 3.3 Análisis de elementos finitos .....	35
Figura 3.4 Impresión 3D de la carcasa y el sistema de sujeción.....	37
Figura 3.5 Detección de no somnolencia en el usuario .....	40

Figura 3.6 Detección de somnolencia en el usuario .....	41
---	----

**Índice de tablas**

Tabla 2.1	Parámetros de elección.....	18
Tabla 2.2	Resultado de la clasificación de opciones por importancia .....	19
Tabla 2.3	Especificaciones de diseño del dispositivo mecatrónico .....	21
Tabla 2.4	Parámetros de entrada y salida del sistema.....	25
Tabla 2.5	Especificaciones del Jetson Nano .....	27
Tabla 3.1	Nivel de seguridad en cada punto de interés.....	36
Tabla 3.2	Gasto de energía diario.....	38
Tabla 3.3	Costo de fabricación del dispositivo .....	42

### **Índice de planos**

PLANO 1	Piezas del dispositivo detector de somnolencia
PLANO 2	Cara frontal del dispositivo
PLANO 3	Cara inferior del dispositivo
PLANO 4	Soporte del dispositivo
PLANO 5	Componentes electrónicos del sistema

## **Capítulo 1**

## 1.1 Introducción

Los accidentes de trabajo son definidos por el IESS (Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social) como: “Es todo suceso imprevisto y repentino que sobrevenga por causa, consecuencia o con ocasión del trabajo originado por la actividad laboral relacionada con el puesto de trabajo, que ocasione en el afiliado lesión corporal o perturbación funcional, una incapacidad, o la muerte inmediata o posterior [1].”

Según la OIT (Organización Internacional de Trabajo), se estima que 2.3 millones de trabajadores fallecen anualmente por accidentes de trabajo (incluyendo enfermedades relacionadas al trabajo), de los cuales 19 % es atribuido a lesiones ocupacionales (caídas, golpes, atropellos, etc.). Además, se estima que suceden 340 millones de lesiones ocupacionales al año mundialmente, de los cuales 40 % son accidentes causados por vehículos [2],[3].

En el 2019, el 40% de las lesiones ocupacionales fueron incidentes de transportación. El equipo que se utiliza comúnmente para facilitar el transporte de materiales dentro de una fábrica es la carretilla elevadora, el cual permite el traslado de grandes cargas sin ocupar mucho espacio. Se prevé que el uso de carretillas elevadoras seguirá aumentando, principalmente en países en desarrollo económico [4],[5].

Con la introducción de vehículos pesados que operan constantemente cerca de peatones dentro del establecimiento, la OIT estableció nuevas medidas de seguridad para reducir los accidentes causados por vehículos pesados dentro de los establecimientos industriales [6]. Sin embargo, el uso de carretillas elevadoras sigue siendo responsable de aproximadamente 11% las lesiones ocupacionales causadas. Según el OSHA (Occupational Safety and Health Administration), el 70 % de los accidentes causados por carretillas elevadoras se podrían prevenir con las medidas de seguridad adecuadas [7]–[9]; por lo tanto, el objetivo es reducir los accidentes a través de disminuir el error humano que contribuyen a accidentes de tráfico,

como comportamiento de conducción arriesgado, exceso de confianza, distracción, somnolencia y/o fatiga [10].

El presente trabajo se centrará en la fatiga y somnolencia de los conductores, para lo cual se aplicará un sistema de vigilancia que puedan reconocer el nivel de somnolencia y fatiga a través de analizar sus características fisiológicas.

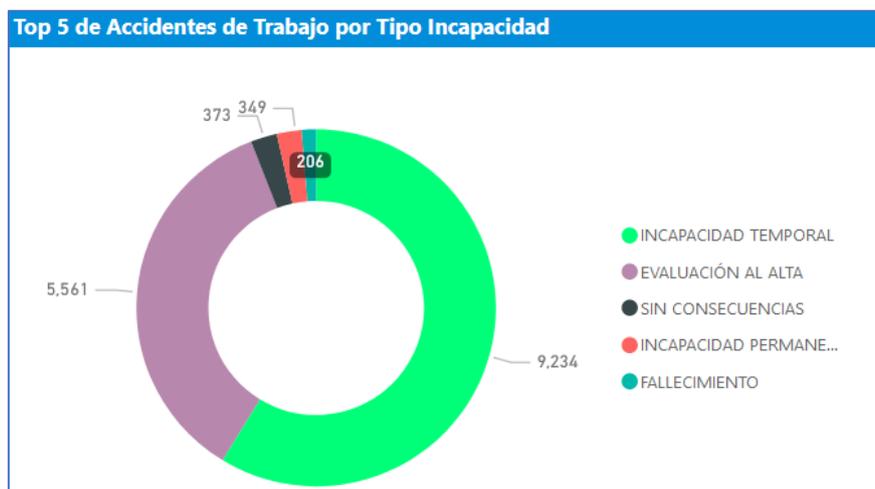
## **1.2 Descripción del problema**

En Ecuador, el Ministerio de Trabajo ha fomentado la “Dirección de Seguridad, Salud en el Trabajo y Gestión Integral de Riesgos del Ministerio Rector del Trabajo”, la cual consiste en asegurar que se implementen las medidas de seguridad y salud en el trabajo de todas las instituciones que operen en Ecuador, siguiendo su Constitución y las reglas aceptadas en varios convenios [11].

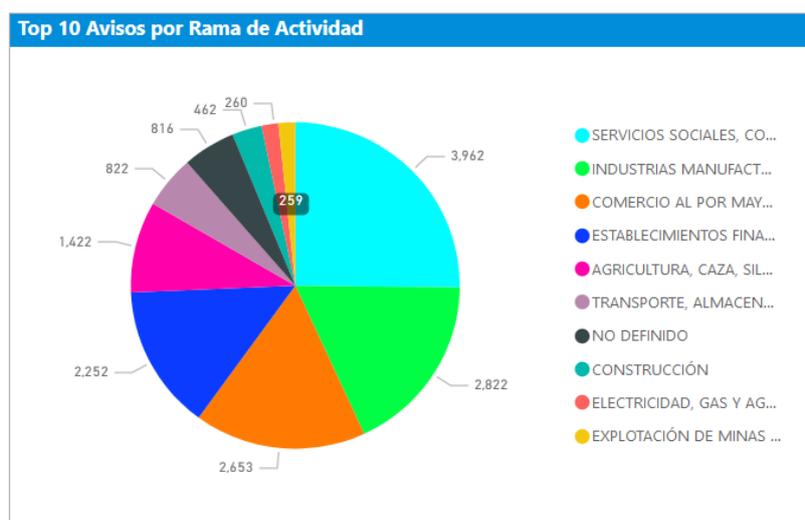
En 2020, Ecuador fue considerado uno de los países con el mayor porcentaje de accidentes de trabajo en Latinoamérica, donde se estima que el 15% de hombres y 8.4% de mujeres sufrió un accidente o enfermedad en su entorno de trabajo [12]. Según el IESS (2022), en su base de datos de Seguro General de Riesgos de Trabajo se reportaron 15723 accidentes de trabajo, con 206 fallecimientos. La Industria de Servicio Comunal, Social y Personal representó el 25.19% de los accidentes de trabajo; seguido por la Industria Manufacturera, con 17.9%, como se puede observar en la Figura 1.2 [13]. Por lo tanto, una prioridad en las empresas es mejorar las medidas de prevención de accidentes en las distintas industrias.

**Figura 1.1**

*Accidentes de trabajo reportados por su tipo de incapacidad [13]*

**Figura 1.2**

*Accidentes de Trabajo reportados por su rama de actividad [13]*



Una empresa multinacional en Ecuador se rige a las regulaciones nacionales, sin embargo, así los accidentes y lesiones ocupacionales son comunes, y entre estos accidentes, los relacionados a carretillas elevadoras siguen siendo de gran preocupación, por la severidad de las lesiones que estos vehículos pueden causar. Por lo tanto, se busca otras medidas preventivas

que reduzcan los siniestros, principalmente los que se pueden prevenir al reducir el error humano.

Entre una de las preocupaciones está la somnolencia y fatiga del conductor al operar carretillas elevadoras, el cual resulta en un menor nivel de alerta y atención del conductor, afectando la capacidad motriz y capacidad de realizar decisiones. La OMS (Organización Mundial de la Salud) ha realizado varios estudios relacionando los riesgos de la somnolencia, fatiga y horas de sueño de los conductores y su correlación con la capacidad de conducir, encontrando que la accidentalidad incrementa proporcionalmente con la somnolencia [14].

Por estas razones se necesita una medida de seguridad que observe el comportamiento del conductor y le notifique mantener su estado de alerta, sin la necesidad de vigilancia constante de otro personal.

### **1.3 Justificación del problema**

La detección de somnolencia y el uso correcto de los dispositivos por parte de los operadores de carretillas elevadoras en la organización son de vital importancia para disminuir los riesgos de la generación de accidentes durante la jornada laboral. Este problema conlleva riesgos considerables para la seguridad y eficiencia diaria de la compañía, lo que influye directamente en la productividad y la salud de los colaboradores.

Primero, es importante destacar que la somnolencia es un factor de riesgo importante en el lugar de trabajo, especialmente en operaciones que requieren alta atención y responsabilidad, como los operadores de carretillas elevadoras. Los empleados que experimentan somnolencia durante sus cambios de turno ven una disminución en la capacidad cognitiva, lo que puede resultar en un mayor riesgo de accidentes laborales, daños materiales y, lo que es más preocupante, lesiones fatales.

Además, el uso correcto de equipos de carretillas elevadores es muy importante para garantizar la seguridad de los empleados y proteger la integridad de las instalaciones y

productos de la empresa. El uso inapropiado de este equipo puede dar lugar a accidentes graves, daños a la propiedad y pérdida de inventario, lo que tiene un impacto directo en la rentabilidad y la reputación de la organización.

En este contexto, el diseño y la validación de dispositivos mecatrónicos desarrollados específicamente para detectar somnolencia y promover el correcto uso de estos equipos se presenta como una solución necesaria y efectiva para reducir este riesgo. Este tipo de dispositivo podrá monitorear constantemente la vigilancia a los operadores de carretillas elevadoras, y notificarles a ellos y sus supervisores si detectan signos de somnolencia. Además, esto puede proporcionar un indicador de tiempo real sobre el uso de equipos apropiados, detectar situaciones de riesgo y proporcionar comentarios directos al operador.

Al adoptar este dispositivo mecatrónico, la empresa demostrará su dedicación a la seguridad y el bienestar de sus empleados, así como a la mejora de la eficiencia y la calidad de sus operaciones. No sólo reduciremos el riesgo de accidentes y lesiones, sino que también optimizaremos la productividad al prevenir los trastornos innecesarios y minimizar el daño a los equipos e instalaciones de la empresa.

En resumen, la detección de la somnolencia y el correcto uso del equipo por parte de los operadores es un desafío importante en la empresa multinacional. El diseño y la validación de dispositivos mecatrónicos dedicados a superar este problema nos permitirá mejorar la seguridad y la eficiencia de las operaciones, proteger así a los colaboradores y proteger los intereses de la organización en general.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Diseñar un dispositivo mecatrónico para la prevención de accidentes durante el uso de carretillas elevadoras a través de un sistema de alerta que identifique el correcto uso del vehículo y el estado de somnolencia en el conductor.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

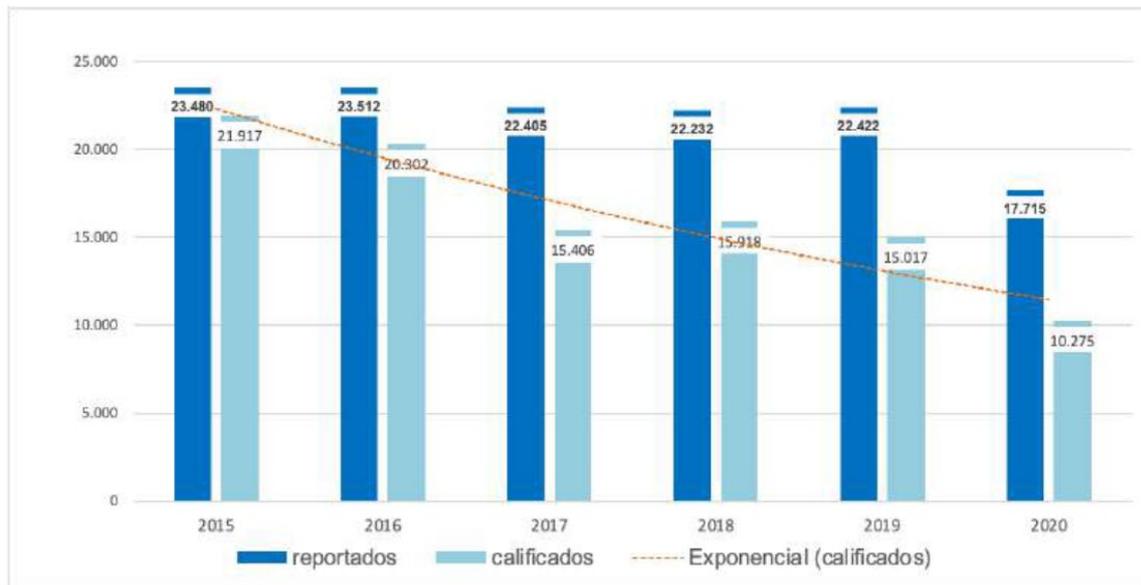
1. Desarrollar el programa de identificación de imágenes que detecte comportamiento somnoliento y postura correcta del conductor.
2. Diseñar el sistema embebido con los componentes de memoria, señalización y recolección de video para el sistema de alarma.
3. Investigar los factores de riesgo en la empresa para determinar las medidas de seguridad para los accidentes más comunes.
4. Establecer el diseño mecánico del dispositivo que permita montar el sistema embebido.

## **1.5 Marco teórico**

Según el reporte del Ministerio de Salud (2022), los accidentes de trabajo reportados han disminuido cada año, con 23.480 reportes en 2015 a 17.715 reportes en 2020, como se muestra en la Figura 1.3. Esto demuestra las industrias están implementando las medidas de seguridad para reducir los accidentes con respecto a las regulaciones, pero estos datos también están afectados por la reducción de puestos trabajo, uso de teletrabajo y otros [15].

**Figura 1.3**

*Número de casos reportados y casos calificados con respecto a Accidentes de Trabajo [15]*



Ecuador es un país en desarrollo económico e industrial, implementando cada año una mayor cantidad de tecnologías y equipos que facilitan el proceso de industrialización [16]. En este proceso se están utilizando una mayor cantidad de equipos pesados, los cuales se rigen a medidas de seguridad de alta prioridad en las industrias, debido a que los accidentes relacionados a vehículos tienden a ser severos y resultar en lesiones.

El uso de carretillas elevadoras tiende a producir un efecto de exceso de confianza en los conductores por la maniobrabilidad y tamaño de estos vehículos al compararlos con carros particulares, pero en realidad estos vehículos son más pesados por su contrapeso.

### ***1.5.1 Impactos de la somnolencia y fatiga en conductores***

Según el diccionario de Merriam-Webster, la somnolencia es el estado listo para conciliar sueño, induciendo un estado de indolencia y letargia [17] y la fatiga es el cansancio o agotamiento producido del labor, esfuerzo o estrés [18].

La Organización Mundial de la Salud (OMS) presentó que los conductores en estado de somnolencia contribuyen de 3% a 30% (dependiendo de cómo se calcula la somnolencia)

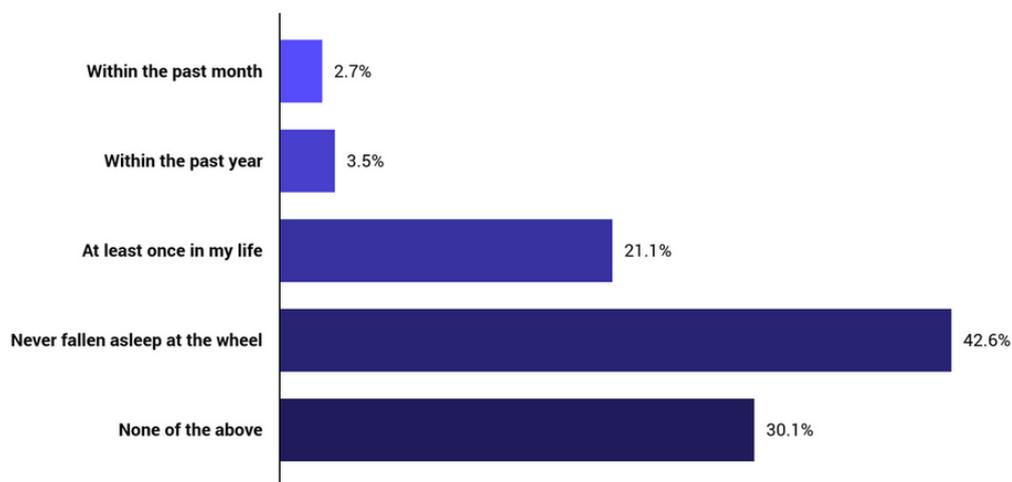
de los accidentes de tráfico. Además, se observa un incremento de 33% de probabilidad de sufrir un accidente en personas que duermen 6 horas comparado con 7-8 horas de sueño [14].

La somnolencia y fatiga no son lo mismo, por lo tanto, una persona que tiene somnolencia puede no tener fatiga, y viceversa; sin embargo, ambos estados resultan en pérdida de habilidades motriz, velocidad de reacción y velocidad de toma de decisión, siendo ambos estados peligrosos para los conductores.

En una encuesta realizada en Estados Unidos por The Zebra en 2019, se obtuvo los datos en la Figura 1.4. con respecto a la somnolencia durante tráfico a 2000 individuos [19].

**Figura 1.4**

*Respuestas a la pregunta: ¿Ha dormido o cabeceado mientras conducía? [19]*



### ***1.5.2 Indicadores de somnolencia y fatiga***

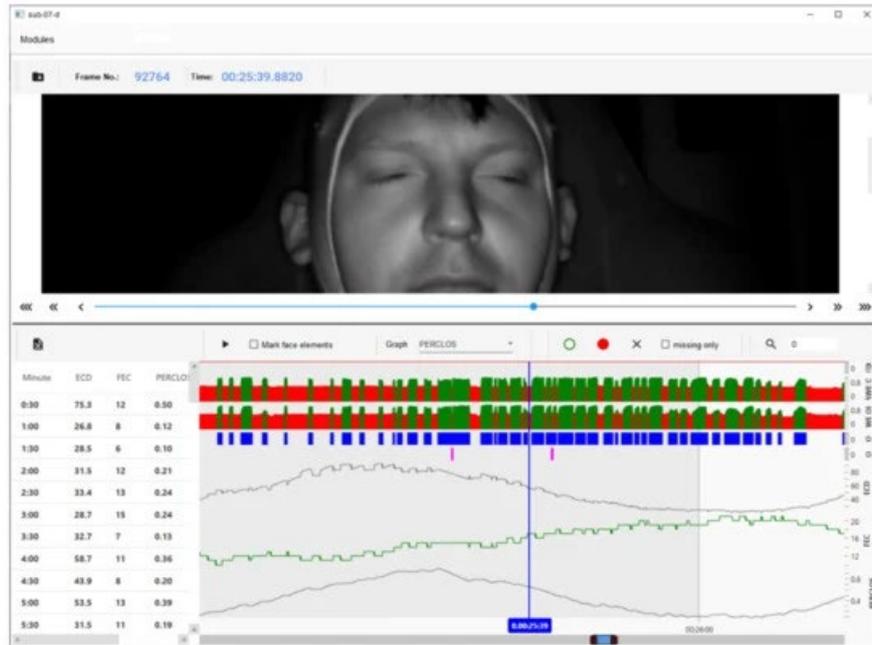
Los niveles de somnolencia y fatiga se pueden obtener a través de observar los parámetros fisiológicos del conductor, los parámetros de conducción del vehículo y/o las características faciales, utilizando los sensores respectivos para cada caso [20].

Parámetros fisiológicos: Electroencefalografía (EEG), electrocardiografía (ECG), ritmo cardíaco (RC), electromiografía (EMG), electrooculografía (EOG), variabilidad en el ritmo cardíaco (VRC) y el ritmo respiratorio (RR). Con estos parámetros se puede analizar el estado

físico del conductor de una manera precisa, sin embargo, estas señales se obtienen a través de contacto directo con la piel del usuario a través del uso de electrodos [20].

**Figura 1.5**

*Estudio de señales de EEG utilizando electrodos para reconocer estado de somnolencia [20]*



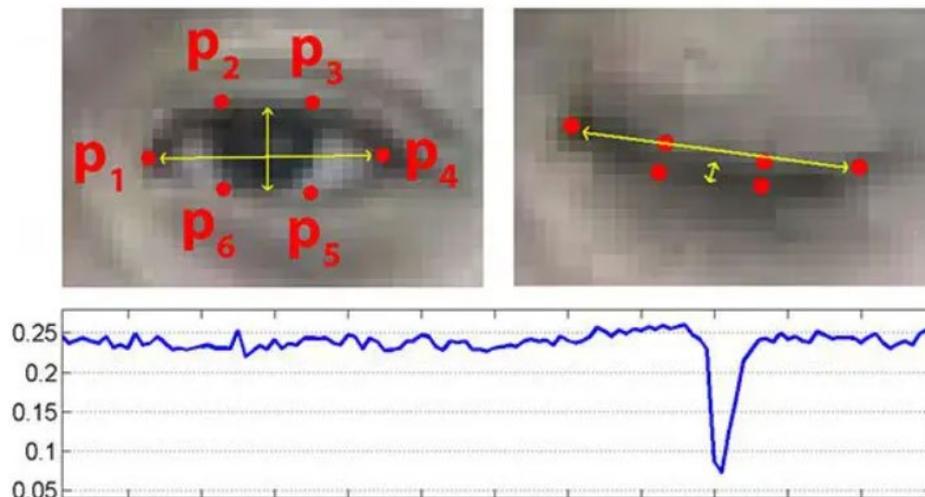
Parámetros de conducción: Se utilizan sensores para conocer si el conductor está tocando el volante, la posición del volante, la velocidad de cambio del ángulo del volante y la velocidad del vehículo. Estas señales dan a conocer cómo el conductor está conduciendo, y junto con la información del comportamiento común de conducción del conductor y con el comportamiento actual del conductor se puede realizar una comparación y deducir si el nuevo comportamiento es peligroso, pero este análisis es limitado en el ámbito de detectar la somnolencia o fatiga del conductor [21].

Características faciales: Con el uso de una cámara se puede analizar el nivel de fatiga y/o somnolencia del conductor utilizando el indicador de Porcentaje del Ojo Cerrado (PERCLOS), Duración de Ojo Cerrado (EDC), Frecuencia de Ojo Cerrado (FEC), Porcentaje de Apertura de la Boca (POM), frecuencia de cabeceo, posición de la cabeza y bostezos. Estos

indicadores son comúnmente captados por cámaras con iluminadores infrarrojo para no ser obstruidos por el nivel de luz, y a la vez, no obstruir al conductor [21] [22].

**Figura 1.6**

*Determinación de PERCLOS [23]*



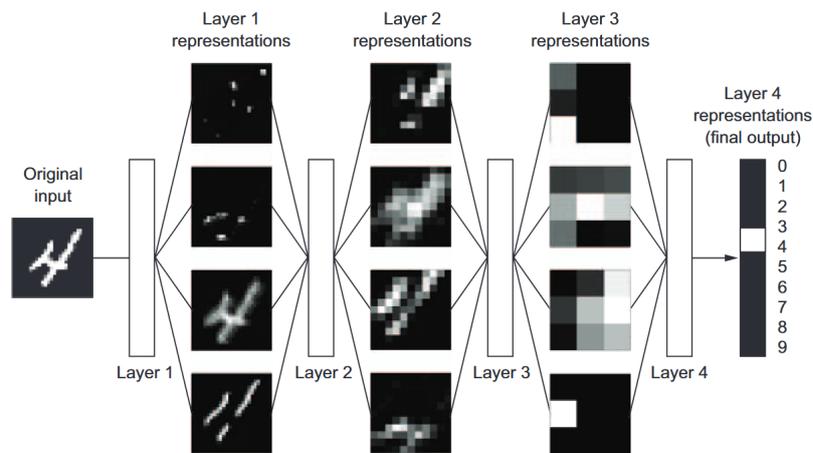
### **1.5.3 Procesamiento y reconocimiento de imágenes utilizando Machine Learning**

Según la IBM (International Business Machines Corporation), Machine Learning es “una forma de la IA que permite a un sistema aprender de los datos en lugar de aprender mediante la programación explícita” [23].

En el procesamiento y la identificación de imágenes se emplea una rama del aprendizaje automático conocida como Deep Learning, que se inspira en la organización neuronal de los organismos vivos. Este enfoque se caracteriza por utilizar múltiples capas de nodos interconectados que simulan la filtración de información inicial y la asignación de pesos a las distintas características que atraviesan estos filtros. Durante el entrenamiento se corrige la asignación de los pesos hasta que las características más importantes de las imágenes procesadas son correctamente asignadas.

**Figura 1.7**

*Proceso ilustrado de filtrado de una imagen en una red neuronal [25]*



Para obtener un buen algoritmo que identifique correctamente las imágenes es necesario una gran cantidad de datos, dado a que la posición, coloración, rotación, luminosidad, calidad de imagen, etc., cambian totalmente la información ingresada al algoritmo, dado que el algoritmo no ve las imágenes, sino que sólo las observa como una matriz de información. Para resolver este problema, durante el entrenamiento del algoritmo se aplican cambios aleatorios a las imágenes, cambiando su tamaño, posición, contraste y entre otros cambios para mejorar la capacidad de identificación de objetos del algoritmo [24].

**Figura 1.8**

*Datos para entrenamiento del algoritmo [26]*



## 1.6 Estado del arte

La identificación de la somnolencia y fatiga en un conductor ha sido investigada desde varios puntos, una de las maneras más comunes de detección es el uso de cámaras y utilizar un programa de procesamiento de imágenes para observar el PERCLOS para determinar el nivel de somnolencia y fatiga del conductor [25] u observar combinaciones de factores fisiológicos como el PERCLOS y el FEC [26] o el PERCLOS y el POM [27] para obtener una mayor precisión.

Otra vía es a través de detectar el nivel de somnolencia mediante el uso de la electroencefalografía, utilizando una banda con electrodos para observar la actividad neuronal y determinar la fatiga y/o somnolencia; estos estudios demostraron que la precisión es mejor con el uso de electroencefalografía, sin embargo, ese método es invasivo al conductor al necesitar contacto directo de los electrodos con la cabeza [28], [29].

### Figura 1.9

*Configuración del experimento con su plataforma de conducción [30]*



Un estudio realizado por H. Wang et al. [30] se consideró el método de observar la postura del conductor para determinar su estado de atención utilizando sensores basados en

visión, sensores de distribución de fuerza o sensores de proximidad, comparando la efectividad y aplicación en la postura del conductor.

Actualmente existen sistemas de detección de somnolencia y fatiga en los conductores, entre estas soluciones se encuentra OPTALERT, el cual utiliza una cámara y un sistema de detección de somnolencia basado en la Escala de Somnolencia Karolinska (KSS) para detectar la fatiga y la Escala de Somnolencia de Johns (JSS) para la somnolencia [31].

Otras soluciones están integradas directamente por los manufactureras de automóviles como Audi, Mercedes, Volvo, Bosch y entre otros: integrando este sistema directamente con el sistema ADAS (Sistemas avanzados de asistencia al conductor) de sus vehículos [32]. Bosch también ha implementado un sistema de detección de somnolencia usando el reconocimiento del patrón de movimiento del volante del conductor [33].

VIA Mobile 360 es un sistema ADAS para carretillas elevadoras, el cual incluye sensores de proximidad para dar alerta si alguien está cerca del vehículo, observa la atención del conductor y cámaras para dar una mayor visibilidad y reducir los puntos ciegos [34].

## **Capítulo 2**

## 2.1 Metodología

En esta sección, se describe la estructura general del enfoque del proyecto y se detallan los pasos necesarios para elegir un diseño que alcance los objetivos propuestos. El proceso de selección de un diseño específico comienza con la exploración de diversas soluciones alternativas. Estas alternativas se eligen mediante la aplicación de parámetros de valoración que tienen en cuenta los requerimientos del usuario. Una vez seleccionada una opción, se procede a un desarrollo más detallado de los aspectos que abarcan el diseño relacionado con la mecánica, la electrónica y la gestión.

## 2.2 Alternativas de solución

En consecuencia, se generaron cuatro posibles soluciones en función de los requisitos planteados en la definición del problema y las necesidades del cliente. Estas opciones se sometieron a un análisis que evaluó sus atributos y su relevancia mediante un proceso de ponderación.

- **Alternativa 1:**

Dispositivo que permita la detección de somnolencia y correcto uso de la carretilla elevadora con funcionalidades de alertas.

- **Alternativa 2:**

Sistema de monitorización de la fatiga del conductor MR688 que permite detectar la fatiga y distracciones del conductor enviando alertas al conductor y al personal de supervisión.

- **Alternativa 3:**

Dispositivo inteligente capaz de distinguir en tiempo real entre peatones y obstáculos, y alertar al conductor del peligro sin emplear alarmas.

- **Alternativa 4:**

Equipo AGV (Automated Guided Vehicle) para mejorar la eficiencia y optimizar los flujos de materiales en intralogística sin requerir conductor evitando los accidentes dentro del almacén.

Las opciones mencionadas previamente se han desglosado en diversos parámetros, que se encuentran detallados en la Tabla 2.1. Estos parámetros se utilizaron como puntos de referencia durante el proceso de selección de la opción más adecuada. Se asignaron ponderaciones a estos parámetros en función de su importancia o relevancia en comparación con los demás, con el fin de tomar una decisión definitiva. Mediante este proceso, se consiguió establecer un orden de importancia entre las alternativas, otorgando prioridad a aquellas con una mayor probabilidad de cumplir con el objetivo definido. Los criterios de evaluación se enfocaron en los siguientes aspectos.

- **Fácil implementación:** El dispositivo debe ser capaz de adaptarse a cualquier ubicación dentro del vehículo manteniendo siempre una visión frontal con el conductor.
- **Compacto:** Tamaño del sistema no debe de obstruir la visión ni movimiento del operador de carretilla elevadora.
- **Portabilidad:** Dimensiones físicas que permitan que el dispositivo pueda alojarse en un espacio determinado del vehículo para tener las alertas de forma individual en todo momento de su trabajo.
- **Costo:** El cliente debe realizar una inversión que sea competitiva en comparación con otras opciones disponibles en el mercado para llevar a cabo la implementación del dispositivo en sus equipos.

- **Conectividad:** La habilidad del dispositivo para establecer una conexión con una red de comunicación con el propósito de transmitir datos de alerta.

**Tabla 2.1***Parámetros de elección*

<b>Parámetros para evaluar y decidir entre diferentes opciones disponibles</b>			
<b>Criterio</b>	<b>Peso</b>	<b>Porcentaje de decisión %</b>	<b>Jerarquía</b>
Fácil implementación	4,5	30	1
Compacto	4,5	30	2
Portabilidad	3	20	3
Costo	2	13	4
Conectividad	1	7	5
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>100</b>	

Después de evaluar los criterios de selección, se procedió a realizar cálculos para cada una de las alternativas con el objetivo de compararlas. Se analizó cada opción considerando diferentes criterios, y el total de estos análisis estableció un orden de preferencia para seleccionar la alternativa más conveniente para la situación. En este escenario, según lo mostrado en la Tabla 2.2, se concluyó que la alternativa 1 era la más idónea. Esto se debió a que esta alternativa satisfizo de manera sobresaliente los criterios de selección que tenían una importancia significativa en la toma de decisión.

La siguiente elección sería la opción 2, que corresponde a un "dispositivo de monitoreo de fatiga del conductor". En contraste, la opción de menor relevancia durante el proceso de selección sería la alternativa número 4, que hace referencia a una "carretilla elevadora autónoma". La elección se basó en que un vehículo autónomo es notablemente caro y su puesta

en marcha es intrincada, lo que contradice las preferencias del cliente.

**Tabla 2.2**

*Resultado de la clasificación de opciones por importancia*

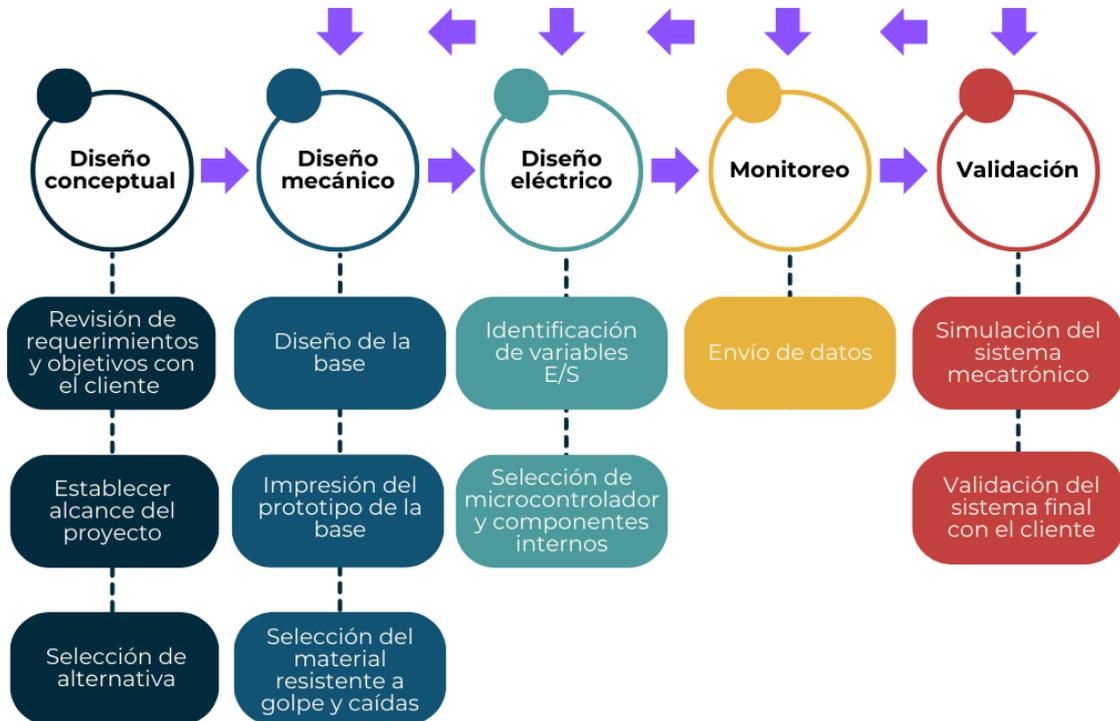
Alternativas	Criterios					Resultado	
	Costo	Conectividad	Portabilidad	Compacto	Fácil implementación	Porcentaje de decisión %	Prioridad
Alternativa 1	0.03	0.01	0.08	0.09	0.08	29%	1
Alternativa 2	0.01	0.02	0.06	0.06	0.12	27%	2
Alternativa 3	0.05	0.03	0.02	0.12	0.03	25%	3
Alternativa 4	0.04	0.01	0.04	0.03	0.07	19%	4

### 2.3 Proceso de concepción y desarrollo del diseño

Durante el desarrollo del proyecto se describe el proceso metodológico utilizado para su ejecución, el cual se presenta en la Figura 2.1. Comienza con la fase de concepción, en la que se establecen los requisitos y metas del problema en reuniones con el cliente. Luego, se desarrollan los diseños mecánicos, eléctricos y de control, asegurándose de cumplir con las pautas de elección.

Figura 2.1

*Enfoque de diseño empleado en el proyecto*



## 2.4 Requerimientos del diseño

Durante la fase inicial de diseño, se determinaron los requerimientos concretos del cliente con relación al aparato creado para solucionar la problemática. La Tabla 2.3 detalla estos requisitos en distintos aspectos del dispositivo que deben ser satisfechos. Los requisitos de la fase inicial son de naturaleza general y se afinan durante la implementación del sistema mecatrónico, teniendo la posibilidad de ser modificados o eliminados.

**Tabla 2.3***Especificaciones de diseño del dispositivo mecatrónico*

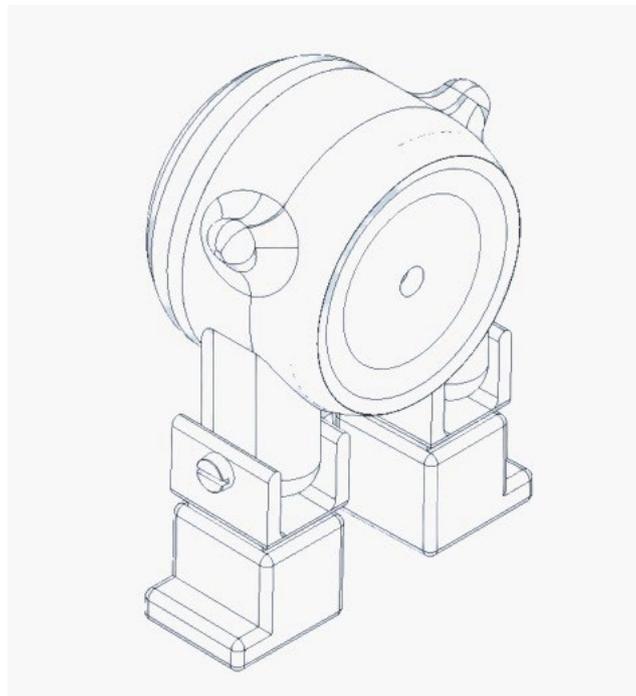
<b>Requerimientos de diseño</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Descripción</b>
Funciones	22/05/2023	<p>Detección de somnolencia</p> <p>Control del nivel de Horquillas</p> <p>Alerta de somnolencia e incorrecto uso del equipo</p> <p>Sin interrupción con las tareas diarias</p> <p>Programable</p>
Dimensiones	22/05/2023	No invasivo, capaz de colocarse en áreas determinadas del equipo
Fuerzas	22/05/2023	<p>Fijación al ser portátil</p> <p>Capacidad de soportar golpes o impactos</p>
Materiales	22/05/2023	Grado alimenticio
Señales y control	22/05/2023	<p>Señal de aviso antes y durante las actividades diarias</p> <p>Transmisión</p>
Vida útil	22/05/2023	<p>5 años para la placa de desarrollo</p> <p>2 años para la capa protectora del mecanismo</p>
Costes y plazos	22/05/2023	<p>El precio por componente es típico en dispositivos de seguridad</p> <p>Periodo de 1 año para la implementación</p>
Aspectos legales	22/05/2023	Adherencia a las regulaciones de salud y seguridad laboral

## 2.5 Diseño conceptual

El esquema del dispositivo se encuentra representado en la Figura 2.2. En este diseño, el prototipo incorpora una cámara que se encarga de capturar imágenes, las cuales son posteriormente transmitidas y procesadas en la placa de desarrollo para detectar el estado de somnolencia. Un componente fundamental de este diseño es la base, que servirá como alojamiento para la placa y otros elementos.

**Figura 2.2**

*Boceto de la carcasa (diseño)*



## 2.6 Diseño mecánico

Para esta sección de la configuración de aspectos mecánicos del sistema, se consideró una dimensión adecuada que no obstruyera las labores del operador ni causara distracciones durante sus tareas habituales. Por esta razón, se desarrolló el diseño deseado, el cual se muestra en la Figura 2.3. Se llevó a cabo un análisis de las fuerzas a las que la base podría estar expuesta en caso de golpes, caídas o debido a la desaceleración de la carretilla elevadora.

**Figura 2.3***Idea de diseño de la carcasa*

### 2.6.1 Estudio de resistencia a fuerzas externas

Se examinaron las circunstancias típicas que pueden surgir en el entorno laboral de un almacén. Para este fin, se llevó a cabo un análisis de las resistencias a las fuerzas, considerando situaciones tales como caídas, impactos accidentales y vibraciones. A partir de estos escenarios, se procedió a calcular la fuerza externa que se encuentra en común, siendo ejemplificada por la caída de un objeto desde una altura promedio de 150 centímetros. Después de realizar esta evaluación, se identificaron los puntos de vulnerabilidad en los que el sistema podría experimentar daños físicos en su estructura.

Después, la energía potencial gravitatoria ( $U$ ) se transforma en trabajo cuando se permite que un objeto caiga y colisione con el suelo. Luego, la energía cinética ( $K$ ) se considerará en su punto más bajo durante la caída. Por lo tanto, se procedió al cálculo utilizando la fórmula (2.1).

$$U = m \times g \times h \quad (2.1)$$

$$U = 0.4 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1.5 \text{ m}$$

$$U = 5.88 \text{ J}$$

Asimismo, al efectuar el cálculo de la energía cinética, se llega al mismo resultado obtenido con la energía potencial gravitacional, ya que esto se debe a la conservación de energía del sistema. Es por ello, que empleamos las expresiones (2.2) y (2.3) para realizar los siguientes cálculos:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2.2)$$

$$v = \sqrt{2 \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 1.5 m}$$

$$v = 5.42 \frac{m}{s}$$

$$K = \frac{1}{2} mv^2 \quad (2.3)$$

$$K = \frac{1}{2} \times 0.4kg \times \left(5.42 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$K = 5.88 J$$

En la conclusión obtenida se utilizó en la evaluación del principio de trabajo y energía utilizando la fórmula (2.4). Durante un choque en descenso sin restricciones por la gravedad, un elemento sufre una fuerza de colisión (F) que está relacionada con la distancia que recorre (d) después de la colisión.

$$K = F \times d \quad (2.4)$$

$$F = \frac{5.88 J}{0.05 m}$$

$$F = 117.6 N$$

Se realizarán análisis de elementos finitos para observar los límites de estrés mecánico que puede soportar el sistema para identificar si el modelo de la carcasa tiene puntos débiles que puedan resultar en daños inesperados y reforzar los puntos donde se pueda dañar por torque.

El sistema debe de tener una sujeción que debe de ser ajustable para mejorar su adaptabilidad en diferentes modelos de carretillas elevadoras. A la vez, debe de tener una buena sujeción, de modo que este no se desvíe y resulte que la cámara no observe la cara del conductor.

El material utilizado debe de tener una resistencia a vibraciones, dado a que este estará dentro de un vehículo en movimiento.

## 2.7 Diseño electrónico

Las siguientes secciones presentan los dispositivos utilizados para el montaje de sistemas electrónicos y sus características. Cada elemento se elige considerando su flexibilidad, eficiencia y propósito.

### 2.7.1 Identificación de parámetros de entrada y salida

En cuanto a los componentes electrónicos del sistema, se examinaron los parámetros de entrada y salida relacionados con el progreso del sistema, tal como se detalla en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4**

*Parámetros de entrada y salida del sistema*

<b>Variables de entrada</b>	<b>Variables de salida</b>
Cantidad de veces que cierra los ojos	Alarma por estado de somnolencia
Cantidad de veces que bosteza el operador	Alarma por estado de somnolencia
Posición incorrecta del mástil	Alerta por mala posición del mástil

Se puede observar cuáles son las variables de entrada que se quiere identificar con su correspondiente respuesta en el sistema de alarma. El sistema de alarma estará compuesto por un sistema de leds y se utilizará un timbre para la alarma de somnolencia y fatiga, de modo que el conductor pueda escuchar la alarma en caso de no estar atento al sistema de leds y también

poder despertar al conductor en caso de entrar en un estado de sueño.

### ***2.7.2 Selección de placa de desarrollo y microcontrolador***

Para iniciar, se eligió la placa de desarrollo encargada de la tarea principal y un microcontrolador que desempeña una función secundaria dentro del circuito lógico. La plataforma de desarrollo, ilustrada en la Figura 2.4, fue seleccionada debido a su considerable capacidad de procesamiento de imágenes y su tamaño compacto. Estas características resultaron fundamentales en el proceso de selección, como se detalla en la Tabla 2.5, ya que la placa debía ubicarse en la base del dispositivo. La placa de desarrollo Jetson Nano es de código abierto y cuenta con un sistema Linux que permite la ejecución de sistemas de inteligencia artificial de pequeño consumo energético. Para su programación, se utiliza el JetPack SDK, que incluye bibliotecas optimizadas para el aprendizaje profundo, visión por computadora, gráficos multimedia y otras aplicaciones. Además, en la tabla se proporcionan las especificaciones técnicas proporcionadas por la Jetson Nano.

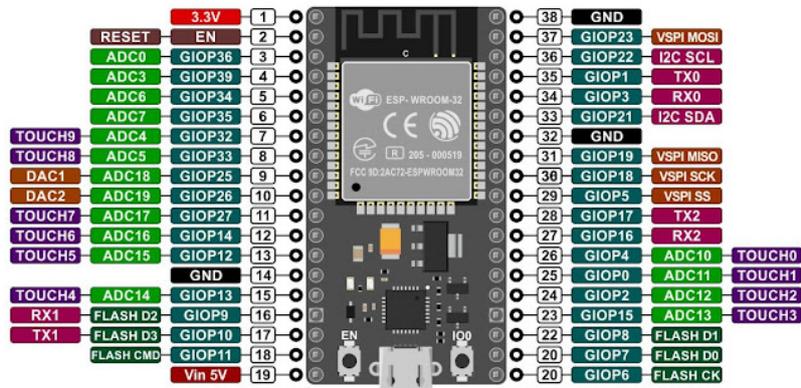
Por otro lado, se optó por el microcontrolador que se muestra en la Figura 2.5 debido a su tamaño compacto, potente capacidad de procesamiento, bajo coste y un consumo de energía extremadamente bajo. Un rasgo adicional es su capacidad para conectarse a través de Bluetooth y a una red Wi-Fi de bajo consumo. El ESP32 está provisto de librerías avanzadas que tienen como propósito simplificar la configuración de entradas digitales y analógicas, lo que agiliza este proceso gracias a su lenguaje de programación y a las interfaces físicas que son de fácil acceso.

**Figura 2.4***Placa de Desarrollo Jetson Nano***Tabla 2.5***Especificaciones del Jetson Nano [35]*

<b>GPU</b>	128-core Maxwell
<b>CPU</b>	Quad-core ARM A57 @ 1.43 GHz
<b>Memoria</b>	4 GB 64-bit LPDDR4 25.6 GB/s
<b>Storage</b>	MicroSD
<b>Video Encode</b>	4K @ 30   4x 1080p @ 30   9x 720p @ 30 (H.264/H.265)
<b>Video Decode</b>	4K @ 60   2x 4K @ 30   8x 1080p @ 30   18x 720p @ 30 (H.264/H.265)
<b>Puerto de cámara</b>	1x MIPI CSI-2 DPHY lanes
<b>Conectividad</b>	Gigabit Ethernet, M.2 Key E
<b>Display</b>	HDMI 2.0 and eDP 1.4
<b>USB</b>	4x USB 3.0, USB 2.0 Micro-B
<b>Otros</b>	GPIO, I2C, I2S, SPI, UART
<b>Dimensiones</b>	100 mm x 80 mm x 29 mm

Figura 2.5

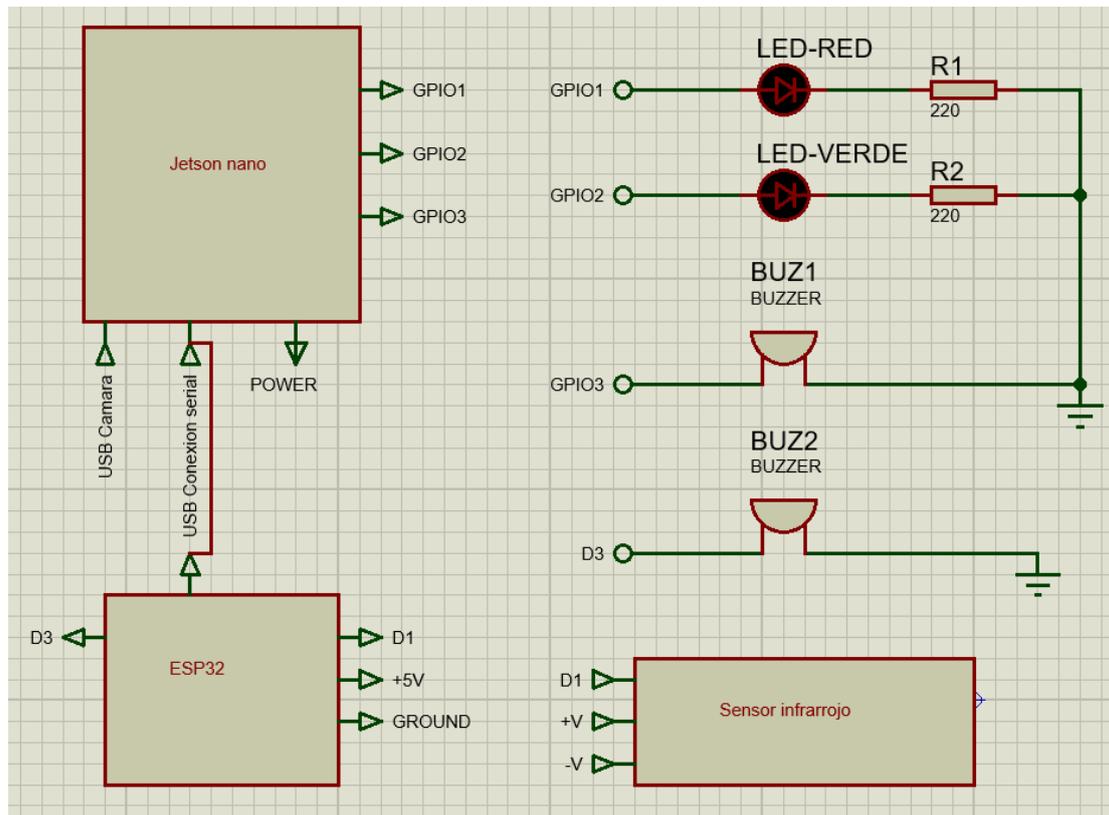
Microcontrolador ESP32



componentes destinados a capturar información de las luces LED, con el propósito de transmitir señales visuales de alarma.

**Figura 2.7**

*Esquemático de la conexión eléctrica entre los componentes*



### 2.7.3 Cálculos de consumo de energía

El módulo ESP32 tiene 3 modos: Activo (160-260 mA), sueño modem (3-20 mA), sueño ligero (0.8 mA) y sueño profundo (10 $\mu$ A). Donde, durante horas de trabajo siempre se encontrará en el modo activo y cuando no se utilice estará totalmente apagado, dado a que el sistema estará conectado al vehículo.

- ✓ El Jetson nano consume de 5 a 10 W.
- ✓ La cámara consume aproximadamente 4 W.

Dado estos valores podemos calcular un consumo aproximado de potencia empleando las siguientes ecuaciones (2.5) y (2.6):

$$P = VI \quad (2.5)$$

$$P_1 = 3V * 0.26mA$$

$$P_1 = 0.78 W$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2.6)$$

$$P_T = 10 + 4 + 0.78$$

$$P_T = 14.78 W$$

## 2.8 Diseño de algoritmo de detección de somnolencia

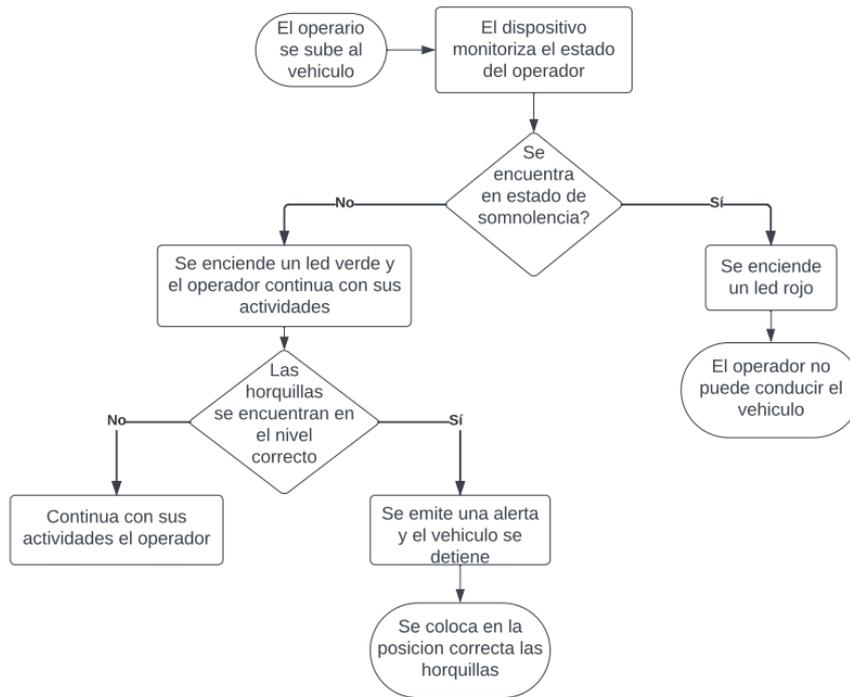
La programación se basó en los lenguajes C++ y Python. Se optó por el primero para la plataforma Arduino, ya que utiliza una variante de este lenguaje para crear el programa destinado al ESP32. Por otro lado, se recurrió al segundo lenguaje para la placa Jetson Nano, dado que esta incorpora el sistema operativo Linux, donde se generó el programa destinado al procesamiento de imágenes. La programación se elaboró de manera lógica y estructurada, definiendo los posibles escenarios a los que el dispositivo podría enfrentarse, como se ilustra en la Figura 2.8.

El algoritmo de detección de somnolencia será realizado con los principios de aprendizaje profundo para aprender automáticamente del Dataset y reconocer los elementos que representan una cara en el video obtenido por la cámara.

El entrenamiento de los elementos se realizará con aprendizaje supervisado en dos etapas: En la primera etapa se utilizará el algoritmo para identificar la ubicación de la cara de una persona, luego, se identificará las características faciales de la persona, observando signos de fatiga y somnolencia en el conductor.

**Figura 2.8**

*Diagrama de flujo de la lógica para la programación*



## **Capítulo 3**

### **3.1 Resultados y análisis**

Este capítulo muestra los hallazgos obtenidos de las pruebas mecánicas y electrónicas efectuadas sobre el dispositivo. En cuanto al diseño mecánico, se han obtenido resultados provenientes de pruebas que evalúan la resistencia del dispositivo frente a fuerzas externas o impactos, garantizando su capacidad de funcionar sin experimentar fallos. También se realizaron pruebas utilizando modelos de inteligencia artificial para identificar la fatiga. Por otro lado, en lo que respecta al diseño electrónico, se procedió a calcular el consumo de corriente del sistema.

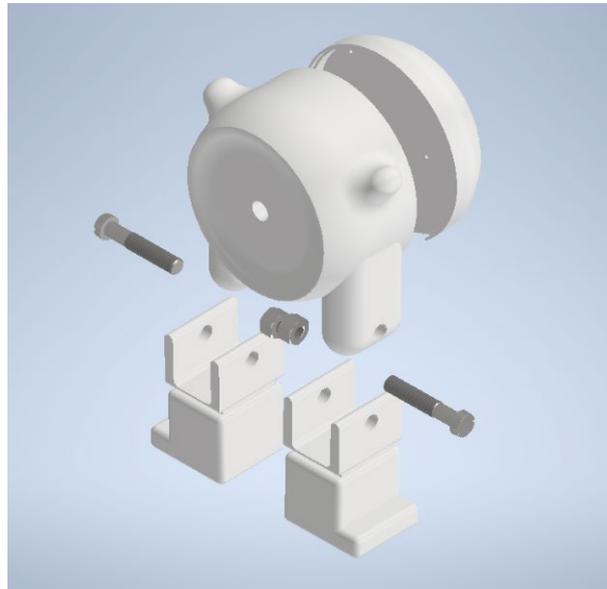
### **3.2 Diseño mecánico**

El diseño tridimensional de la carcasa en el aspecto mecánico se compone de dos partes, una tapa superior y una tapa inferior, tal como se ilustra en la Figura 3.1. Estas tapas tienen la función de resguardar de manera segura y eficaz los componentes electrónicos del dispositivo, ofreciendo al mismo tiempo una adecuada protección contra factores externos. Un aspecto de suma importancia en este diseño es el sistema de sujeción, el cual actúa como un mecanismo de fijación para asegurar que la carcasa permanezca firmemente anclada a la superficie en la que se instalará, tal como se muestra en la imagen.

Posteriormente, se exponen los resultados de una serie de evaluaciones llevadas a cabo para verificar que el artículo terminado es una cubierta resistente y perdurable, competente para cumplir con los requerimientos establecidos en este proyecto.

**Figura 3.1**

*Modelo de carcasa*

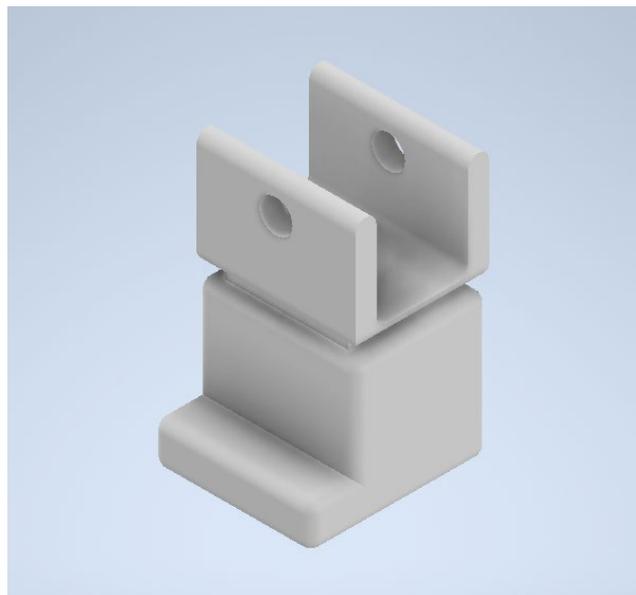


### **3.2.1 Dimensionamiento del sistema de sujeción**

Para lograr la sujeción de la carcasa se utilizó un sistema conformado por dos piezas que se encargan de mantener firme la carcasa en todo momento. Esto se puede apreciar en la Figura 3.2 a continuación:

**Figura 3.2**

*Modelos del sistema de sujeción*



### 3.2.2 Resistencia a fuerzas externas

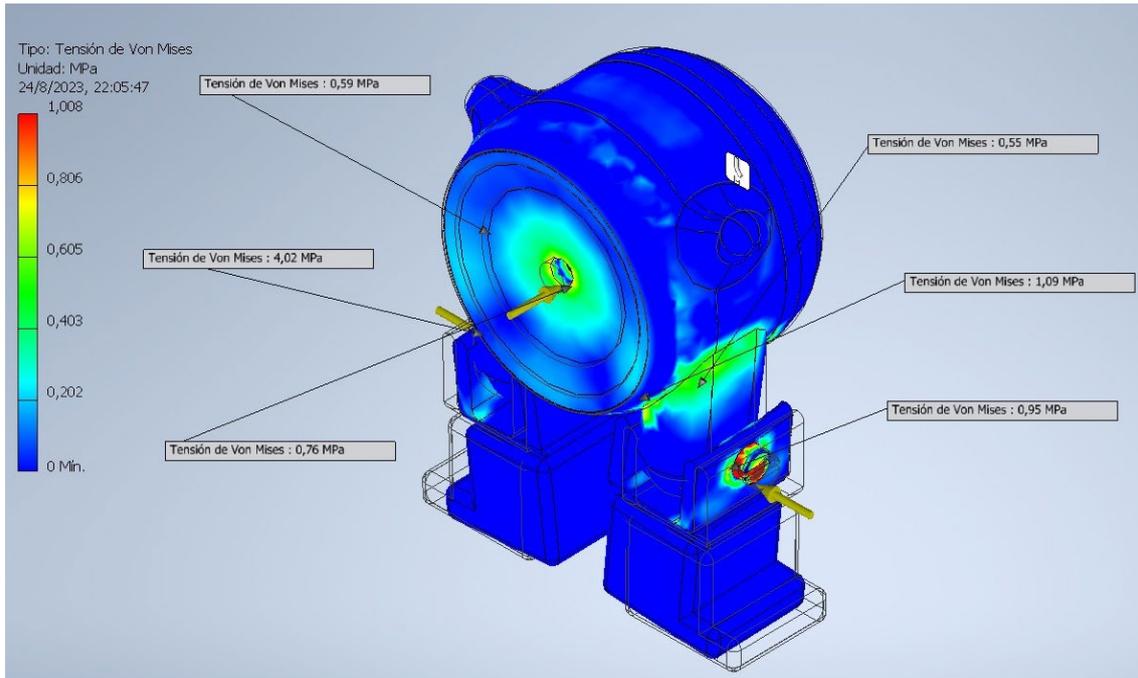
Cuando se evaluó la aptitud del cuerpo para preservar su equilibrio ante influencias externas, se tomó en cuenta su vulnerabilidad ante golpes y caídas. En el capítulo anterior, se llevó a cabo un análisis de la magnitud de la fuerza de impacto a la cual podría estar expuesto, resultando en un valor de 117,6 Newtons.

Para realizar esta valoración, se utilizó el programa CAD Inventor junto con un análisis de esfuerzos fundamentado en la teoría de defectos de energía de distorsión (DE). Se destacaron tres zonas relevantes, dos de las cuales presentan niveles superiores de tensión de Von Mises. El tercer punto se posicionó en el centro de la superficie sobre la cual se aplicó la carga. Con el propósito de simular la tensión ejercida sobre la estructura, se debió asignar un material específico al proyecto. La elección se orientó hacia el plástico ABS, reconocido por su destacada resistencia al impacto, una propiedad fundamental para el diseño en cuestión.

A partir de la información obtenida de la simulación, que contempló una carga de 117,6 Newtons en la parte inferior de la estructura, se determinaron las tensiones de Von Mises en las áreas clave, tal como se observa en la Figura 3.3.

#### **Figura 3.3**

*Análisis de elementos finitos*



Empleando la expresión (3.1), junto con un valor establecido en 45 MPa para la resistencia a la fluencia, y tomando en cuenta las tensiones de Von Mises resultantes mediante la simulación, se procedió al cálculo de los valores del factor de seguridad en cada punto de interés. Estos resultados se detallan en la Tabla 3.1:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (3.1)$$

**Tabla 3.1**

*Nivel de seguridad en cada punto de interés*

Factor de seguridad	
<b>N1</b>	80.36
<b>N2</b>	11.25
<b>N3</b>	59.21
<b>N4</b>	80.36

N5	40.54
N6	47.87

---

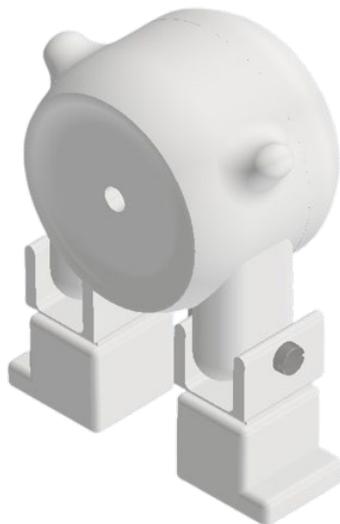
A partir de los hallazgos de esta investigación, se concluyó que el diseño mecánico es adecuado y no mostrará defectos a causa de la carga impuesta. Además, el cálculo del factor de seguridad respalda la afirmación de que la estructura en cuestión no experimentará deformaciones permanentes dentro de los límites considerados.

### ***3.2.3 Impresión de la carcasa y sistema de sujeción en filamento ABS***

Con el propósito de verificar el funcionamiento del sistema en situaciones reales, se procedió a realizar una impresión en 3D del diseño utilizando la impresora Mingda Magician X 3D. Como resultado de este proceso, se obtuvieron cuatro componentes con un acabado de alta calidad, lo que posibilitó el montaje del prototipo que se exhibe en la Figura 3.4.

**Figura 3.4**

*Impresión 3D de la carcasa y el sistema de sujeción*



### 3.3 Diseño electrónico

Para el diseño electrónico se utilizó el Jetson Nano como el componente principal, el cual contiene la programación y los componentes para procesar las imágenes, y se conectó el sistema de alarma (leds y zumbador), el sensor (cámara) y el sistema de comunicación (ESP32).

#### 3.3.1 Cálculo de consumo de corriente del sistema

En la Tabla 3.2, se realizó los cálculos de consumo de energía promedio y máximo, la cual la carretilla elevadora debe de suplir en el modo activo del dispositivo en dos jornadas de 8 horas de trabajo en un día. Los valores de consumo de energía reales son menores a los calculados, dado a que las carretillas elevadoras no son utilizadas constantemente las 16 horas del día.

**Tabla 3.2**

*Gasto de energía diario*

<b>Componentes principales</b>	<b>Consumo promedio[mA]</b>	<b>Consumo máximo[mA]</b>	<b>Tiempo [H]</b>	<b>mAh Promedio</b>	<b>mAh Máximo</b>
Jetson Nano	2000	4000	16	32000	64000
Cámara	150	2000	16	2400	32000
ESP32	210	260	16	3360	4160
Leds	15	15	0.5	7.5	7.5
Zumbador	10	10	0.5	5	5
<b>Total</b>	<b>2385</b>	<b>6285</b>	<b>49</b>	<b>37772.5</b>	<b>100172.5</b>

### 3.4 Modos de funcionamiento

Este dispositivo fue construido con la finalidad de prevenir futuros accidentes debido a la fatiga o somnolencia que tenga el operador de carretilla elevadora.

El primer modo de funcionamiento del dispositivo ocurre cuando el sistema no detecta somnolencia en el operador, entonces el Buzzer se mantiene apagado y el indicador visual

(LED VERDE) se mantiene encendido. Este led nos indicará que el operador se encuentra en condiciones óptimas para poder operar el vehículo sin ningún riesgo.

El segundo modo de funcionamiento sucede cuando el sistema detecta somnolencia en el operador, entonces la alerta preventiva es activada por medio del Buzzer que emite un sonido indicado que el operador no se encuentra en condiciones óptimas para operar el vehículo. Asimismo, el indicador visual (LED ROJO) se mantendrá encendido y el Led Verde permanecerá apagado. Cabe indicar que al detectar somnolencia en el operador el sistema tomar una fotografía y graba un videoclip con fecha y hora del momento en que detecto el cuadro de somnolencia en el operador.

Por otra parte, un sensor infrarrojo se encargará de detectar si las horquillas de la carretilla elevadora se encuentran en el nivel correcto para poner en marcha el vehículo. En este caso, al detectar que no se encuentra en el nivel correcto las horquillas el sistema emitirá una señal visual por medio un Led Rojo indicando la novedad del incorrecto uso del vehículo. Asimismo, si las horquillas se encuentran en la altura correcta tendremos un Led Verde que nos indicará que todo se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

### **3.5 Validación del sistema completo**

Después de realizar investigaciones para validar el diseño de impresión, se procedió a ensamblar de manera completa el primer prototipo funcional del dispositivo. Este prototipo se llevó al almacén con el propósito de someterlo a exhaustivas pruebas en un entorno real del sistema. Se llevó a cabo una capacitación rigurosa para los empleados involucrados, con el fin de asegurar que utilicen correctamente los dispositivos y garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados. Al incorporar el dispositivo en los vehículos, los operadores de carretillas elevadoras informaron que su experiencia fue cómoda y no interfirió en sus tareas.

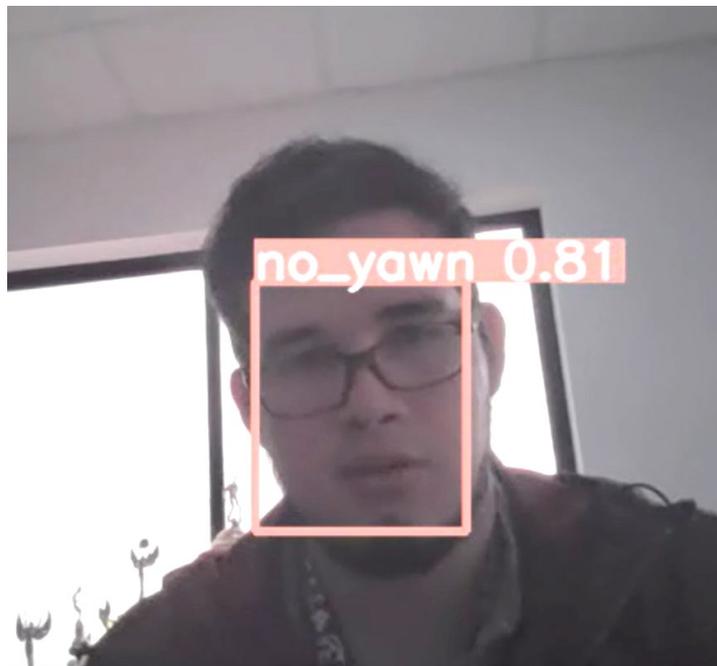
En contraste, se efectúa un test de detección de somnolencia y cansancio en tiempo real para comprobar el desempeño adecuado del aparato, tal como se refleja en las Figura 3.5 y

Figura 3.6. Estas imágenes señalan si el operador está o no somnoliento, acompañado de un número a la derecha que muestra la exactitud con la que el algoritmo identificó el estado.

Los resultados obtenidos tras una larga jornada de trabajo por parte de los operadores de carretillas elevadoras son consistentes. Esto demuestra que es un dispositivo valioso y eficaz con una precisión excelente para detectar somnolencia en los operadores.

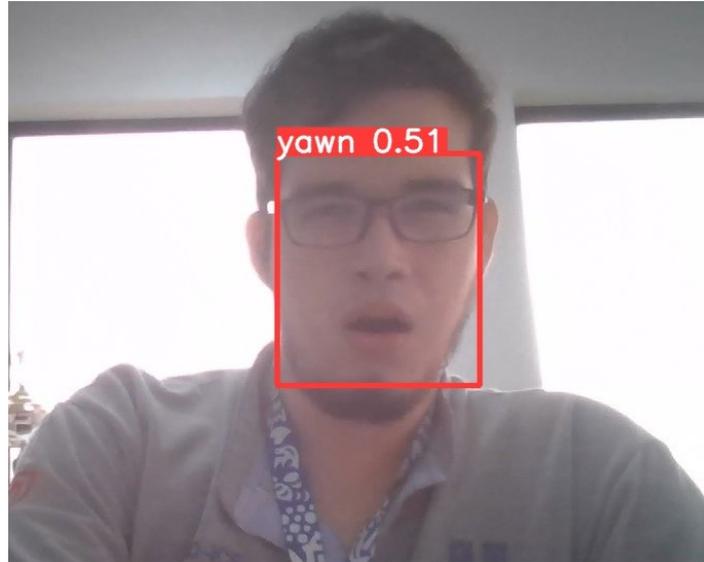
### Figura 3.5

*Detección de no somnolencia en el usuario*



**Figura 3.6**

*Detección de somnolencia en el usuario*



### **3.6 Evaluación de gastos**

La Tabla 3.3 proporciona un desglose de las referencias y las organiza según su clasificación dentro del sistema que se va a implementar. En lo que respecta a los componentes físicos, el elemento material más significativo es el kit de desarrollo Jetson Nano, que habilita la ejecución simultánea de múltiples redes neuronales para aplicaciones como la clasificación de imágenes, la detección de objetos, la segmentación y el procesamiento de datos de voz. Asimismo, se incorporan componentes adicionales requeridos para la construcción de la cubierta externa que resguarda los elementos internos. En la categorización electrónica se engloban los elementos fundamentales para el funcionamiento de los circuitos internos.

**Tabla 3.3***Costo de fabricación del dispositivo*

<b>Categorización</b>	<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo por Unidad USD</b>	<b>Costo Total USD</b>
Físico	Kit de desarrollo NVIDIA Jetson Nano	1	\$ 392,00	\$ 392,00
	ESP32	1	\$ 15,00	\$ 15,00
	Cámara web	1	\$ 20,00	\$ 20,00
	Filamento ABS	1	\$ 35,00	\$ 35,00
	Pernos	4	\$ 2,00	\$ 2,00
	Buzzer	1	\$ 2,00	\$ 2,00
	Sensor Infrarrojo	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Electrónico	Adaptador de fuente de alimentación 5V 4A	1	\$ 45,00	\$ 45,00
	Leds	4	\$ 2,00	\$ 2,00
Otros	Mano de obra de fabricación	1	\$ 30,00	\$ 30,00
			<b>Total</b>	<b>\$ 546,00</b>

En la propuesta de cotización considerada, se tuvo en cuenta que el Kit de desarrollo NVIDIA Jetson Nano no solo proporciona una capacidad para operar redes neuronales, sino que también permite el desarrollo de proyectos en el campo de la robótica. Después, se incluye el costo asociado a la mano de obra requerida para la impresión y el ensamblaje de cada dispositivo. El precio por unidad de esta solución es de \$546.00 y se mantiene competitivo en comparación con otras propuestas, ya que brinda la flexibilidad de agregar más dispositivos al sistema para aumentar su potencia y funcionalidad. En contraste, algunos otros dispositivos pueden ser más económicos, pero ofrecen una funcionalidad única en comparación con los dispositivos desarrollados.

## **Capítulo 4**

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

- Se consiguió elaborar todos los elementos necesarios, abarcando las áreas electrónicas, mecánicas y de supervisión. La producción exitosa del prototipo mecánico es un hito crucial en el desarrollo del dispositivo ya que permitió avanzar hacia las siguientes etapas de prueba y refinamiento. Utilizando el software de modelado 3D, como Inventor, se validó la resistencia del diseño frente a fuerzas externas. Esto es esencial para garantizar la robustez y la durabilidad del dispositivo. El factor de seguridad en las pruebas sugiere una preocupación por la seguridad y la confiabilidad del dispositivo, especialmente en un entorno industrial, donde las condiciones pueden ser rigurosas.
- El sistema de monitoreo en la carretilla elevadora, con su conjunto de sensores, permite el análisis del estado de fatiga y somnolencia del conductor y el nivel de horquillas en las horas de trabajo y realiza las alarmas adecuadas dependiendo del problema presentado para prevenir accidentes.
- El algoritmo de identificación de somnolencia y fatiga para mantener el estado de alerta del conductor tiene una precisión de 99% y una exactitud de 97.5%, el cual permite realizar la alerta en los momentos necesarios para dar a conocer al conductor que no está en buenas condiciones para conducir.
- El uso del Jetson Nano como base del sistema embebido resultó correcto para el procesamiento de las imágenes captadas por el sensor visual y el sensor infrarrojo y enviar las señales de alarmas correctamente.
- La identificación de somnolencia y fatiga en el conductor reducirá los accidentes relacionados a carretillas elevadoras que resultan por error humano y la alarma de posición de horquilla prevendrá accidentes de mayor severidad.

- El costo total del proyecto es de \$546.00 considerando los componentes de mercado local y los importados, resultando ser un costo rentable y competitivo en el mercado, el cual puede reducirse el costo a través de utilizar un microcontrolador dedicado y una carcasa producida con moldes.
- El sistema de monitoreo mostró de compactibilidad al ocupar espacio en el campo de visión del operador de carretilla elevadoras de pequeño tamaño, pero tuvo menor obstrucción en carretillas de mayor tamaño.

#### **4.1.2 Recomendaciones**

- En la fase de diseño, se sugiere la creación de múltiples opciones para que el cliente tenga la oportunidad de elegir la que mejor se adapte a sus necesidades. Esto permitiría una distribución más efectiva de los recursos necesarios para elaborar un prototipo definitivo.
- A lo largo del proceso de impresión del prototipo, se llevaron a cabo diversas iteraciones para optimizar el diseño final. En la etapa inicial, se reconoce que este proceso involucra una serie de pruebas y correcciones. En consecuencia, se recomienda explorar diversas disposiciones del objeto en el software de impresión hasta obtener el resultado deseado de manera exitosa.
- Cuando se trabaja en el diseño de componentes electrónicos, se aconseja optar por elementos que sean compatibles entre sí y que se puedan ensamblar sin dificultad. Esto se mostró como una consideración esencial cuando fue necesario reemplazar una pieza, ya que no fue necesario realizar ajustes adicionales ni llevar a cabo nuevas soldaduras.
- En lugar de implementar el dispositivo en todas las carretillas elevadoras de manera simultánea, considerar una implementación gradual. Esto permitirá a los operadores y al equipo de gestión familiarizarse con el dispositivo y abordar cualquier problema o duda que surja antes de su implementación completa.

- El sistema de alerta del dispositivo debe ser configurable para adaptarse a las preferencias y necesidades de cada operador. Algunos individuos pueden responder mejor a ciertos tipos de alertas (visuales, sonoras, táctiles), por lo que la posibilidad de personalización puede mejorar la eficacia general.
- Se recomienda establecer un calendario de mantenimiento regular para asegurar que el dispositivo esté en óptimas condiciones de funcionamiento. Esto incluye verificar la precisión de los sensores, el estado de las alertas y la funcionalidad general del sistema.
- Realizar evaluaciones periódicas del impacto del dispositivo en términos de seguridad, eficiencia y reducción de accidentes. Estos resultados pueden ser compartidos con la alta dirección para respaldar la inversión continua en tecnologías de seguridad laboral.
- Utilizar un led para iluminar al conductor en horas oscuras para aumentar la precisión del algoritmo y no resultar en pérdida de información por falta de luz.
- Aumentar y diversificar el dataset para el entrenamiento del algoritmo con diferentes posiciones de cámaras en caso de desear ubicar la cámara en lugares no comunes, como vistas frontales superiores.

## Referencias

- [1] “Seguros de Riesgos del Trabajo,” *IESS*. <https://www.iess.gob.ec/seguro-riesgos-del-trabajo-pf/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [2] “WHO/ILO: Almost 2 million people die from work-related causes each year.” <https://www.who.int/news/item/17-09-2021-who-ilo-almost-2-million-people-die-from-work-related-causes-each-year> (accessed Jun. 14, 2023).
- [3] G. Todorov, “20+ Important Workplace Injury Statistics [and Facts] 2023.” <https://thrivemyway.com/workplace-injury-statistics/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [4] “ForkLift Trucks Market Size, Share | Growth Analysis [2021-2028].” <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/forklift-trucks-market-101541> (accessed Jun. 14, 2023).
- [5] “Forklift Market Size, Share & Trends Analysis | 2023-2032,” *Global Market Insights Inc.* <https://www.gminsights.com/industry-analysis/forklift-market> (accessed Jun. 14, 2023).
- [6] “Vehículos en el lugar de trabajo (Administración e inspección del trabajo).” <https://www.ilo.org/global/topics/labour-administration-inspection/resources-library/publications/guide-for-labour-inspectors/vehicles-in-the-workplace/lang--es/index.htm> (accessed Jun. 14, 2023).
- [7] “Industrial vehicle and forklift accident statistics | A-SAFE,” *Forklift Accident Statistics | The Hidden Cost | A-SAFE*. <https://www.asafe.com//thehiddencost/news/forklift-accident-statistics/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [8] “Powered Industrial Trucks - Forklifts - Overview | Occupational Safety and Health Administration.” <https://www.osha.gov/powered-industrial-trucks> (accessed Jun. 14, 2023).
- [9] “Forklift Accident Statistics.” <https://www.mccue.com/blog/forklift-accident-statistics> (accessed Jun. 14, 2023).

- [10] “Human factors contributing to the road traffic accident occurrence,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 45, pp. 555–561, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.trpro.2020.03.057.
- [11] “Seguridad y Salud en el Trabajo – Ministerio del Trabajo.” <https://www.trabajo.gob.ec/seguridad-y-salud-en-el-trabajo/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [12] M. Silva-Peñaherrera, P. Merino-Salazar, F. G. Benavides, M. López-Ruiz, and A. R. Gómez-García, “Saúde do trabalhador no Equador: uma comparação com inquéritos sobre condições de trabalho na América Latina,” *Rev. Bras. Saúde Ocupacional*, vol. 45, p. e20, 2020, doi: 10.1590/2317-6369000010019.
- [13] “Visor Riesgos - IESS.” <https://www.iesgob.ec/es/web/guest/visor-riesgos#> (accessed Jun. 15, 2023).
- [14] S. Saleem, “Risk assessment of road traffic accidents related to sleepiness during driving: a systematic review,” *World Health Organization - Regional Office for the Eastern Mediterranean*. <http://www.emro.who.int/emhj-volume-28-2022/volume-28-issue-9/risk-assessment-of-road-traffic-accidents-related-to-sleepiness-during-driving-a-systematic-review.html> (accessed Jun. 14, 2023).
- [15] Ministerio de Salud Pública, “PANORAMA NACIONAL DE SALUD DE LOS TRABAJADORES.” Ministerio de Salud Pública, 2022. [Online]. Available: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2022/05/Panorama-Nacional-de-Salud-de-los-Trabajadores-Encuesta-de-Condiciones-de-Trabajo-y-Salud-2021-2022.pdf>
- [16] L. C. Juca, P. U. Aguirre, and N. A. Vivanco, “Ecuador: análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018.,” *Rev. Científica Tecnológica UPSE*, vol. 8, no. 1, Art. no. 1, Jun. 2021, doi: 10.26423/rctu.v8i1.547.
- [17] “Definition of DROWSINESS,” May 19, 2023. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/drowsiness> (accessed Jun. 15, 2023).

- [18] “Definition of FATIGUE,” Jun. 10, 2023. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/fatigue> (accessed Jun. 15, 2023).
- [19] “Drowsy Driving Statistics in 2023 | The Zebra.” <https://www.thezebra.com/resources/research/drowsy-driving-statistics/> (accessed Jun. 15, 2023).
- [20] Ł. Dziuda *et al.*, “Evaluation of a Fatigue Detector Using Eye Closure-Associated Indicators Acquired from Truck Drivers in a Simulator Study,” *Sensors*, vol. 21, no. 19, Art. no. 19, Jan. 2021, doi: 10.3390/s21196449.
- [21] S.-Y. Shi, W.-Z. Tang, and Y.-Y. Wang, “A Review on Fatigue Driving Detection,” *ITM Web Conf.*, vol. 12, p. 01019, 2017, doi: 10.1051/itmconf/20171201019.
- [22] C. Fors *et al.*, *Camera-based sleepiness detection : final report of the project SleepEYE*. Statens väg- och transportforskningsinstitut, 2011. Accessed: Jun. 14, 2023. [Online]. Available: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-5270>
- [23] “Machine Learning,” Mar. 01, 2023. <https://www.ibm.com/mx-es/analytics/machine-learning> (accessed Jun. 15, 2023).
- [24] F. Chollet, *Deep learning with Python*. Shelter Island, New York: Manning Publications Co, 2018.
- [25] I. García Daza, “Detección de fatiga en conductores mediante fusión de sistemas ADAS,” 2011, Accessed: Jun. 14, 2023. [Online]. Available: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/16621>
- [26] M. POURSADEGHIYAN, A. MAZLOUMI, G. NASL SARAJI, M. M. BANESHI, A. KHAMMAR, and M. H. EBRAHIMI, “Using Image Processing in the Proposed Drowsiness Detection System Design,” *Iran. J. Public Health*, vol. 47, no. 9, pp. 1371–1378, Sep. 2018.

- [27] Z. Zhao, N. Zhou, L. Zhang, H. Yan, Y. Xu, and Z. Zhang, "Driver Fatigue Detection Based on Convolutional Neural Networks Using EM-CNN," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2020, p. e7251280, Nov. 2020, doi: 10.1155/2020/7251280.
- [28] Y. Ma *et al.*, "Driving Fatigue Detection from EEG Using a Modified PCANet Method," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2019, p. e4721863, Jul. 2019, doi: 10.1155/2019/4721863.
- [29] "A Review on EEG-Based Automatic Sleepiness Detection Systems for Driver." <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8306377> (accessed Jun. 14, 2023).
- [30] H. Wang, M. Zhao, G. Beurier, and X. Wang, "Automobile Driver Posture Monitoring Systems: A Review," *Zhongguo Gonglu XuebaoChina J. Highw. Transp.*, vol. 32, pp. 1–18, Feb. 2019.
- [31] "Automotive - Optalert." <https://www.optalert.com/solutions/automotive/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [32] E. A. Taub, "Sleepy Behind the Wheel? Some Cars Can Tell," *The New York Times*, Mar. 16, 2017. Accessed: Jun. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.nytimes.com/2017/03/16/automobiles/wheels/drowsy-driving-technology.html>
- [33] "Driver drowsiness detection." <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/assistance-systems/driver-drowsiness-detection/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [34] "Prevent Accidents with the VIA Mobile360 AI Forklift Safety System," *VIA Mobile360*. <https://viamobile360.com/en/products/ai-systems/ai-forklift-safety-kit/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [35] "Kit de Desarrollo Jetson Nano," *NVIDIA Corporation*. <https://www.nvidia.com/es-es/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano-developer-kit/> (2023).

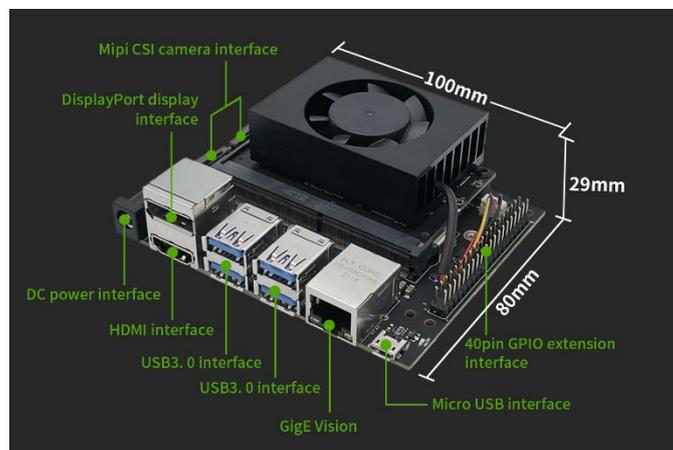
- [36] “Especificaciones del módulo ESP32,” *Blogspot*.  
<https://vasanza.blogspot.com/2021/07/especificaciones-del-modulo-esp32.html> (Victor Asanza A., 2019).
- [37] “ESP32 – Especificação Técnica,” *XProjetos*. <https://xprojetos.net/esp32-especificacao-tecnica/> (Jailson Oliveira., Jul. 22, 2018).

## **Apéndices**

## Apéndice A

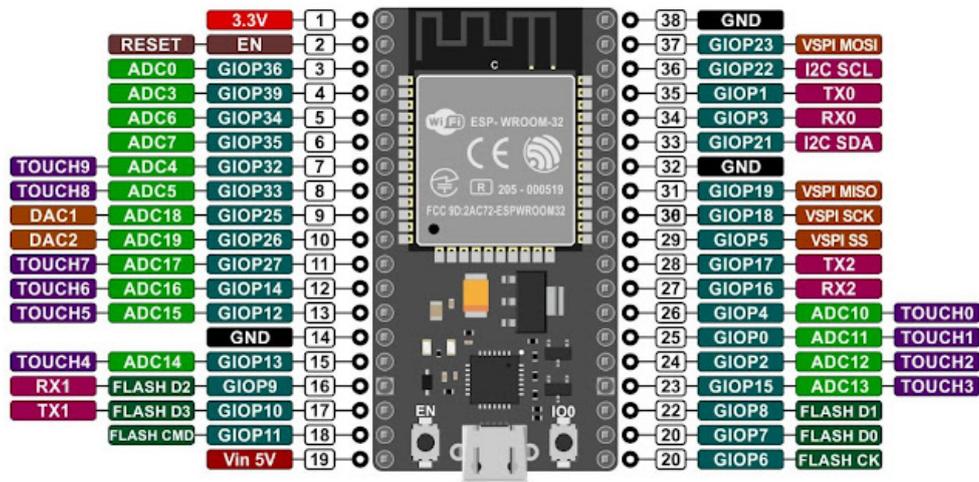
### Ficha técnica de los elementos

#### Ficha técnica Kit de Desarrollo Jetson Nano



<b>GPU</b>	GPU con arquitectura NVIDIA Maxwell™ de 128 núcleos
<b>CPU</b>	Procesador de cuatro núcleos ARM® Cortex®-A57 MPCore
<b>Memoria</b>	LPDDR4 de 4 GB y 64 bits
<b>Almacenamiento</b>	microSD (tarjeta no incluida)
<b>Codificación de vídeo</b>	1x 4K30   2x 1080p60   4x 1080p30   9x 720p30 (H.264/H.265)
<b>Descodificación de vídeo</b>	1x 4K60   2x 4K30   4x 1080p60   8x 1080p30   18x 720p30 (H.264/H.265)
<b>Redes</b>	Gigabit Ethernet, clave E M.2
<b>Cámara</b>	2 conectores de cámara MIPI CSI-2 de 15 pines y 2 vías
<b>Pantalla</b>	1x HDMI 2.0, 1x DP 1.2
<b>USB</b>	4 conectores USB 3.0 tipo A 1x conector USB 2.0 Micro-B
<b>Otras E/S</b>	Cabezal de 40 pines (UART, SPI, I2S, I2C, PWM, GPIO) Cabezal de automatización de 12 pines Cabezal del ventilador de 4 pines Cabezal de PoE de 4 pines Conector de alimentación de CC Botones de encendido, recuperación forzosa y reinicio
<b>Mecánicas</b>	100 mm x 79 mm x 30,21 mm (La altura incluye la placa portadora, el módulo y la solución térmica)

## Ficha técnica ESP32



Alimentación:	2,2V ~ 3,3V DC
Corriente de Consumo:	Media de 80mA
Temperatura de Operación:	-40°C ~ +85°C
Procesador:	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6
Procesador secundario:	ULP (Ultra Low Power coprocesor) 8MHz con consumo de 150uA.
Frecuencia de Operación:	80MHz ~ 240MHz
Memoria FLASH:	4MB
Memoria RAM:	520KB
Memoria ROM:	448KB
GPIOs (Entradas e Salidas):	34 GPIOs de 3.3V e 12mA.
Conversores ADC (Análogo para Digital):	18 ADC con 12-bit de resolución (4096 bits)
Conversores DAC (Digital para Analógico):	2 ADC con 8-bit de resolución (256 bits)
WiFi:	2,4 GHz, 802.11 b/g/n/e/i (802.11n até 150 Mbps)
Bluetooth:	Bluetooth Low Energy v4.2 (BLE)
Criptografía:	AES, RSA, SHA e ECC
Seguridad:	WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
Protocolos de Rede:	IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
Temporizadores:	4 Timers de 64-bit.
Interfaces de Módulos:	Card SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, I2C, IR
Sensores:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor de temperatura interno.</li> <li>• 1 sensor de efecto Hall.</li> <li>• 10 sensores de Toque Capacitivo.</li> </ul>
Recursos:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 Watchdogs</li> <li>• Deep Sleep</li> <li>• Preamplificador analógico de bajo ruido</li> <li>• Tres canales de temporizador de 16 bits generan formas de onda PWM</li> <li>• Entrada y salida estéreo hacia/desde el códec de audio y salida de datos en paralelo desde la pantalla LCD</li> <li>• Ocho canales emisores y receptores de infrarrojos para diversas formas de onda</li> <li>• 4 interfaces virtuales de Wi-Fi</li> </ul>

## Apéndice B

### Programación del dispositivo

1.- Descargar paquetes necesarios.

```
!apt-get update
!apt-get install git cmake libpython3-dev python3-numpy
!git clone --recursive https://github.com/dusty-nv/jetson-inference
!cd jetson-inference
!mkdir build
!cd build
!cmake ../
!make -j$(nproc)
!sudo make install
!sudo ldconfig
```

2.- Cargue las imágenes y las anotaciones siguiendo estos pasos.

```
!unzip TrainingTools
```

La celda inferior montará tu unidad y su contenido en el portátil para su uso.

```
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

3.- Mueva Annotations y JPEGImages a TrainingTools/ssd/.

```
!cp -r drive/MyDrive/Somnolencia/Annotations/ TrainingTools/ssd/
!cp -r drive/MyDrive/Somnolencia/JPEGImages/ TrainingTools/ssd/
```

4.- La celda inferior crea el directorio ImageSets/Main y crea los archivos train.txt y trainval.txt y los mueve al directorio ImageSets/Main.

```
%cd TrainingTools/ssd
!mkdir ImageSets
!mkdir ImageSets/Main
!python3 readImage.py
!mv train.txt ImageSets/Main/
%cd ImageSets/Main/
!cp train.txt trainval.txt
%cd ../../
!pwd

# Upload labels.txt before running
%cd /content/
!mv labels.txt TrainingTools/ssd
%cd TrainingTools/ssd
```

5.- Antes de ejecutar la celda siguiente, cargue un archivo labels.txt que se utilizará para el entrenamiento.

```
!pwd
!python3 vision/datasets/generate_vocdata.py ./labels.txt
```

6.- La celda inferior crea un directorio models/Capstone e instala los requisitos.

```
!mkdir models
!mkdir models/Capstone
!wget
https://nvidia.box.com/shared/static/djf5w54rjvpqocsiztzaandqlm3avr7c.p
th -O models/mobilenet-v1-ssd-mp-0_675.pth
!pip3 install -v -r requirements.txt
```

7.- Ejecutar sólo si no se utiliza un modelo preentrenado.

```
!python3 train_ssd.py --dataset-type=voc --data=./ --model-
dir=models/Somnolencia --batch-size=16 --workers=2 --epochs=200
```

```
2023-08-09 15:49:25 - Namespace(dataset_type='voc', datasets=['./'], balance_data=False, net='mb1-ssd', freeze_base_net=False, freeze_net=False, mb2_width_mult=1.0, base_net=None, pi
2023-08-09 15:49:25 - Prepare training datasets.
2023-08-09 15:49:25 - VOC Labels read from file: ('BACKGROUND', 'yawn', 'no_yawn')
2023-08-09 15:49:25 - Stored labels into file models/Somnolencia/labels.txt.
2023-08-09 15:49:25 - Train dataset size: 1042
2023-08-09 15:49:25 - Prepare Validation datasets.
2023-08-09 15:49:25 - VOC Labels read from file: ('BACKGROUND', 'yawn', 'no_yawn')
2023-08-09 15:49:25 - Validation dataset size: 96
2023-08-09 15:49:25 - Build network.
2023-08-09 15:49:25 - Init from pretrained ssd models/mobilenet-v1-ssd-mp-0_675.pth
2023-08-09 15:49:25 - Took 0.07 seconds to load the model.
2023-08-09 15:49:25 - Learning rate: 0.01, Base net learning rate: 0.001, Extra Layers learning rate: 0.01.
2023-08-09 15:49:25 - Uses cosineAnnealingLR scheduler.
2023-08-09 15:49:25 - Start training from epoch 0.
/usr/local/lib/python3.10/dist-packages/torch/optim/lr_scheduler.py:139: UserWarning: Detected call of `lr_scheduler.step()` before `optimizer.step()`. In PyTorch 1.1.0 and later, you
warnings.warn("Detected call of `lr_scheduler.step()` before `optimizer.step()`.")
/usr/local/lib/python3.10/dist-packages/torch/nn/_reduction.py:42: UserWarning: size_average and reduce args will be deprecated, please use reduction='sum' instead.
warnings.warn(warning.format(ret))
2023-08-09 15:50:35 - Epoch: 0, Step: 10/66, Avg Loss: 8.2651, Avg Regression Loss 2.9341, Avg Classification Loss: 5.3310
2023-08-09 15:51:39 - Epoch: 0, Step: 20/66, Avg Loss: 5.2969, Avg Regression Loss 2.0490, Avg Classification Loss: 3.2479
2023-08-09 15:52:40 - Epoch: 0, Step: 30/66, Avg Loss: 4.6828, Avg Regression Loss 1.7118, Avg Classification Loss: 2.9711
2023-08-09 15:53:40 - Epoch: 0, Step: 40/66, Avg Loss: 4.2063, Avg Regression Loss 1.3836, Avg Classification Loss: 2.8228
2023-08-09 15:54:37 - Epoch: 0, Step: 50/66, Avg Loss: 3.6145, Avg Regression Loss 1.0762, Avg Classification Loss: 2.5383
2023-08-09 15:55:35 - Epoch: 0, Step: 60/66, Avg Loss: 3.4282, Avg Regression Loss 1.0148, Avg Classification Loss: 2.4135
2023-08-09 15:56:10 - Epoch: 0, Validation Loss: 2.6142, Validation Regression Loss 0.5656, Validation Classification Loss: 2.0486
2023-08-09 15:56:10 - Saved model models/Somnolencia/mb1-ssd-Epoch-0-Loss-2.6141955852588545.pth
2023-08-09 15:57:25 - Epoch: 1, Step: 10/66, Avg Loss: 3.5446, Avg Regression Loss 0.9943, Avg Classification Loss: 2.5503
2023-08-09 15:58:26 - Epoch: 1, Step: 20/66, Avg Loss: 3.0520, Avg Regression Loss 0.8724, Avg Classification Loss: 2.1796
2023-08-09 15:59:25 - Epoch: 1, Step: 30/66, Avg Loss: 2.7243, Avg Regression Loss 0.6934, Avg Classification Loss: 2.0309
```

8.- Copiamos el resultado del entrenamiento a una carpeta dentro del Drive.

```
!cp -r "/content/TrainingTools/ssd/models" "/content/drive/My
Drive/Somnolencia/Results"
```

## Convertir el modelo a ONNX

```
#!/usr/bin/env python3
# converts a saved PyTorch model to ONNX format
import os
import sys
import argparse

import torch.onnx

from vision.ssd.vgg_ssd import create_vgg_ssd
from vision.ssd.mobilenetv1_ssd import create_mobilenetv1_ssd
from vision.ssd.mobilenetv1_ssd_lite import create_mobilenetv1_ssd_lite
from vision.ssd.squeezenet_ssd_lite import create_squeezenet_ssd_lite
from vision.ssd.mobilenet_v2_ssd_lite import
create_mobilenetv2_ssd_lite

from vision.ssd.config import mobilenetv1_ssd_config

# parse command line
parser = argparse.ArgumentParser()
parser.add_argument('--net', default="ssd-mobilenet", help="The network
architecture, it can be mbl-ssd (aka ssd-mobilenet), mb1-ssd-lite, mb2-
ssd-lite or vgg16-ssd.")
parser.add_argument('--input', type=str, default='', help="path to
input PyTorch model (.pth checkpoint)")
parser.add_argument('--output', type=str, default='', help="desired
path of converted ONNX model (default: <NET>.onnx)")
parser.add_argument('--labels', type=str, default='labels.txt',
help="name of the class labels file")
parser.add_argument('--resolution', type=int, default=300, help="the
NxN pixel resolution of the model (can be changed for mbl-ssd only)")
parser.add_argument('--batch-size', type=int, default=1, help="batch
size of the model to be exported (default=1)")
parser.add_argument('--model-dir', type=str, default='',
help="directory to look for the input PyTorch model in, and export the
converted ONNX model to (if --output doesn't specify a directory)")

args = parser.parse_args()
print(args)

# set the device
device = torch.device('cuda:0' if torch.cuda.is_available() else 'cpu')
print(f"=> running on device {device}")

# format input model paths
if args.model_dir:
    args.model_dir = os.path.expanduser(args.model_dir)
```

```

# find the checkpoint with the lowest loss
if not args.input:
    best_loss = 10000
    for index, file in enumerate(os.listdir(args.model_dir)):
        if not file.endswith(".pth"):
            continue
        try:
            loss = float(file[file.rfind("-")+1:len(file)-4])
            if loss < best_loss:
                best_loss = loss
                args.input = os.path.join(args.model_dir, file)
        except ValueError:
            args.input = os.path.join(args.model_dir, file)
            continue

    if not args.input:
        raise IOError(f"couldn't find valid .pth checkpoint under
'{args.model_dir}'")

    print(f"=> found best checkpoint with loss {best_loss}
({args.input})")

# append the model dir (if needed)
if not os.path.isfile(args.input):
    args.input = os.path.join(args.model_dir, args.input)

if not os.path.isfile(args.labels):
    args.labels = os.path.join(args.model_dir, args.labels)

# determine the number of classes
class_names = [name.strip() for name in open(args.labels).readlines()]
num_classes = len(class_names)

# construct the network architecture
print(f"=> creating network: {args.net}")
print(f"=> num classes: {num_classes}")
print(f"=> resolution: {args.resolution}x{args.resolution}")

if args.net == 'vgg16-ssd':
    net = create_vgg_ssd(len(class_names), is_test=True)
elif args.net == 'mb1-ssd' or args.net == 'ssd-mobilenet':
    mobilenetv1_ssd_config.set_image_size(args.resolution)
    net = create_mobilenetv1_ssd(len(class_names), is_test=True)
elif args.net == 'mb1-ssd-lite':
    net = create_mobilenetv1_ssd_lite(len(class_names), is_test=True)
elif args.net == 'mb2-ssd-lite':
    net = create_mobilenetv2_ssd_lite(len(class_names), is_test=True)

```

```

elif args.net == 'sq-ssd-lite':
    net = create_squeezenet_ssd_lite(len(class_names), is_test=True)
else:
    print("The net type is wrong. It should be one of vgg16-ssd, mb1-ssd and mb1-ssd-lite.")
    sys.exit(1)

# load the model checkpoint
print(f"=> loading checkpoint: {args.input}")

net.load(args.input)
net.to(device)
net.eval()

# create example image data
dummy_input = torch.randn(args.batch_size, 3, args.resolution,
args.resolution).cuda()

# format output model path
if not args.output:
    args.output = args.net + '.onnx'

if args.model_dir and args.output.find('/') == -1 and
args.output.find('\\') == -1:
    args.output = os.path.join(args.model_dir, args.output)

# export to ONNX
input_names = ['input_0']
output_names = ['scores', 'boxes']

print("=> exporting model to ONNX...")
torch.onnx.export(net, dummy_input, args.output, verbose=True,
input_names=input_names, output_names=output_names)
print(f"model exported to: {args.output}")

```

## Código de ejecución del algoritmo

```
import cv2
import os
import datetime
import time
#import RPi.GPIO as GPIO
import jetson.inference
import jetson.utils

#GPIO.setwarnings(False)
#GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
#GPIO.setup(7,GPIO.OUT)

#Se carga el modelo
net = jetson.inference.detectNet("ssd.mobilenet-v2", ["--
model=/somnolencia/ssd-mobilenet.onnx", "--
labels=/somnolencia/labels.txt", "--input-blob=input_0", "--output-
cvg=scores", "--output-bbox=boxes"])

# Carpeta donde se guardarán los videos
ruta = "jetson-inference"
folder_name = "grabaciones"
output_folder = os.path.join(ruta, folder_name)

#S valida si la carpeta existe
if not os.path.exists(output_folder):
    os.makedirs(output_folder)      #Se crea la carpeta
    print("Se ha creado con éxito la carpeta")
else:
    print("La carpeta ya existe")

#abrir la cámara web
cam = cv2.VideoCapture(1)

# Verificar si la cámara se abrió correctamente
if not cam.isOpened():
    print("Error al abrir la cámara")
    exit()

#Definir el tamaño del video y el formato
frame_width = int(cam.get(3))
frame_height = int(cam.get(4))
fps = 60 #cam.get(cv2.CAP_PROP_FPS)
```

```

#Especificamos la clase
claseDeseada = 'yawn'

# Inicializar el objeto VideoWriter para grabar el video
out = None

recording = False

while cam.isOpened():
    ret, frame = cam.read()
    #img = cam.Capture()
    if not ret:
        break

    #Convertir el marco a un formato compatible con jetson.inference
    img = jetson.utils.cudaFromNumpy(frame)

    #realizamos la detección
    detection = net.Detect(img)

    #validamos si se detecta la clase deseada
    detected = any(det.ClassID != -1 and net.GetClassDesc(det.ClassID) ==
claseDeseada for det in detection)
    print(detected)

    #Si se detecta la clase deseada, inicia la grabación
    if detected and not recording:
        recording = True
        # Generar un nombre de archivo único basado en la fecha y hora
actual
        file_name = datetime.datetime.now().strftime("%Y-%m-%d_%H-%M-%S") +
".avi"
        output_path = os.path.join(output_folder, file_name)
        out = cv2.VideoWriter(output_path, cv2.VideoWriter_fourcc(*'XVID'),
fps, (frame_width, frame_height))

    elif not detected and recording:
        # Detener la grabación si no se detecta la clase deseada
        recording = False
        out.release()
        print("Se grabo el video con éxito")

```

```

for det in detection:
    #print(det)
    left = int(det.Left)
    top = int(det.Top)
    right = int(det.Right)
    bottom = int(det.Bottom)
    class_id = det.ClassID
    class_name = net.GetClassDesc(class_id)

    cv2.rectangle(frame, (left,top), (right, bottom), (0, 255, 0), 2)
    cv2.putText(frame, class_name, (left, top-10),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0,255,0),2)

# Mostrar el video en una ventana
cv2.imshow('Video', frame)
key = cv2.waitKey(1) & 0xFF

# Si estamos grabando, agregar el marco al video
if recording:
    out.write(frame)

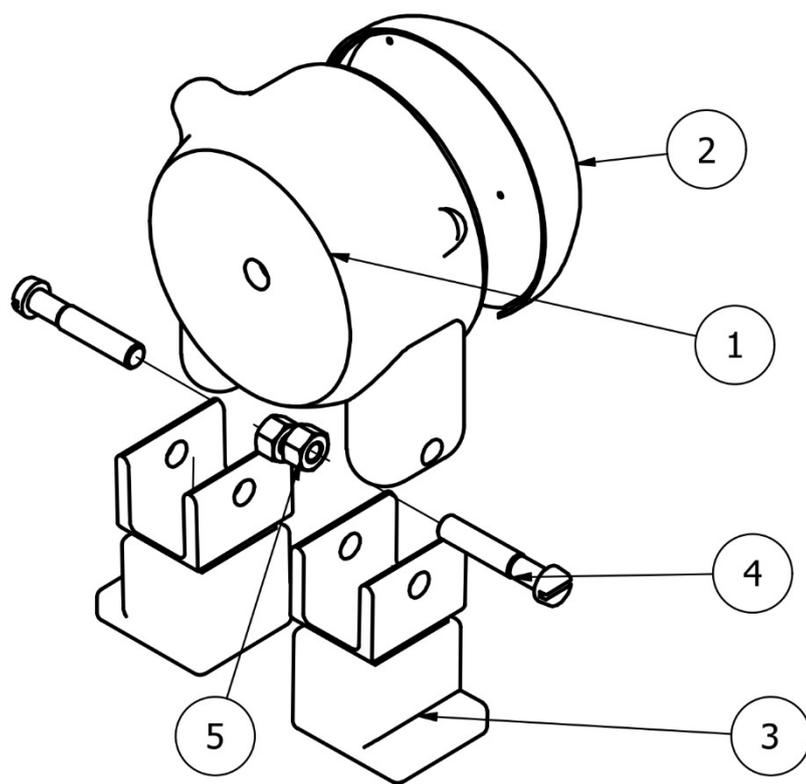
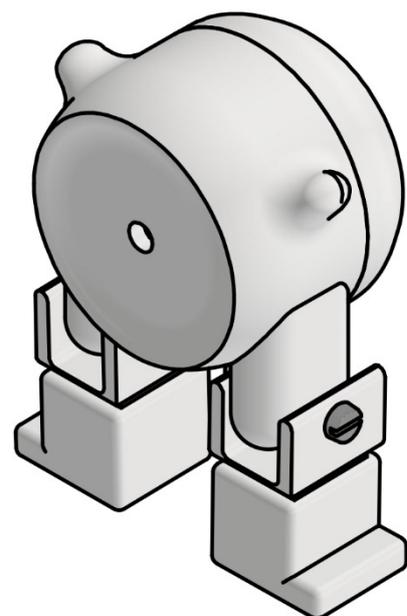
# Salir del bucle al presionar la tecla 'q'
if key == ord('q'):
    break

# Liberar los recursos
cam.release()
if out:
    out.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

## **Apéndice E**

### **Planos del dispositivo**



### LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Cara frontal	Plástico ABS
2	1	Cara trasera	Plástico ABS
3	2	Soporte	Plástico ABS
4	2	Tornillo M12 x 75	Tornillos para maquinaria de cabeza ranurada - Serie métrica
5	2	Tuerca - M12	Pernos de acero Perno hex

Diseño de  
Jhonny Vargas Paz - Andre Kim

Revisado por  
Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, PhD

Escala  
1:4

Fecha  
13/8/2023

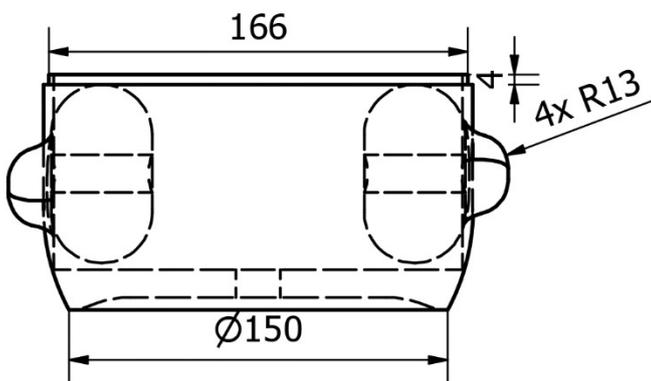
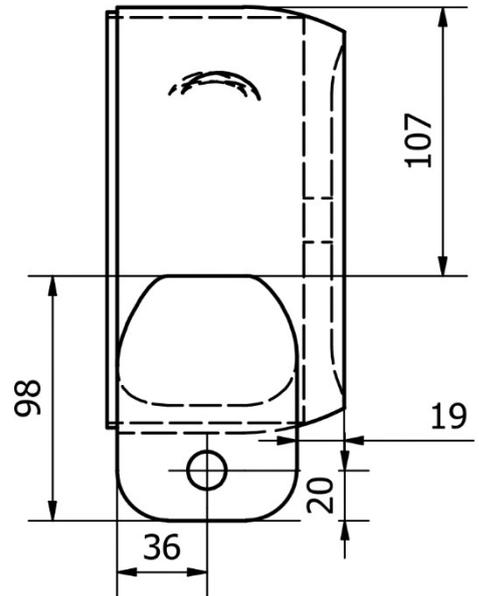
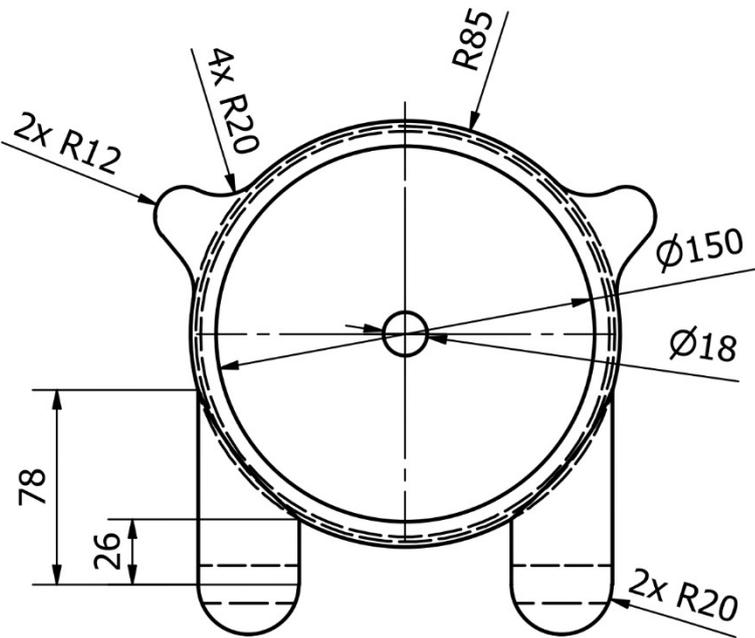
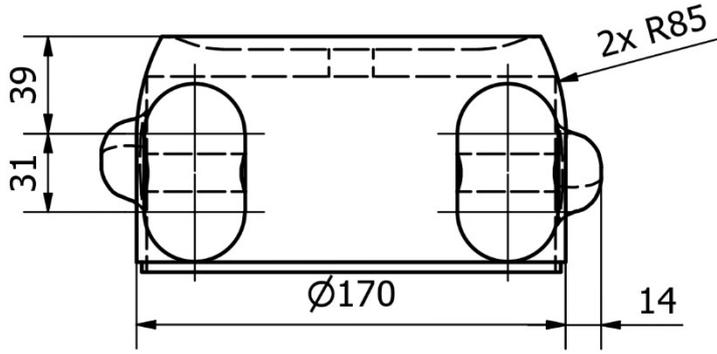
ESPOL

Prototipo Final

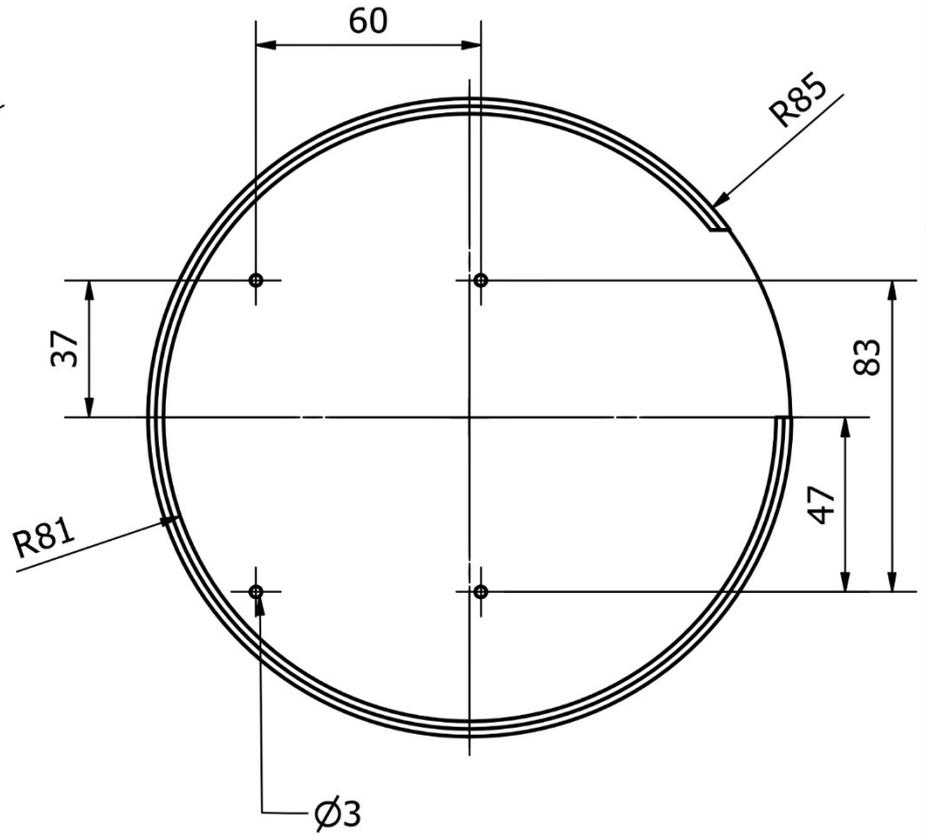
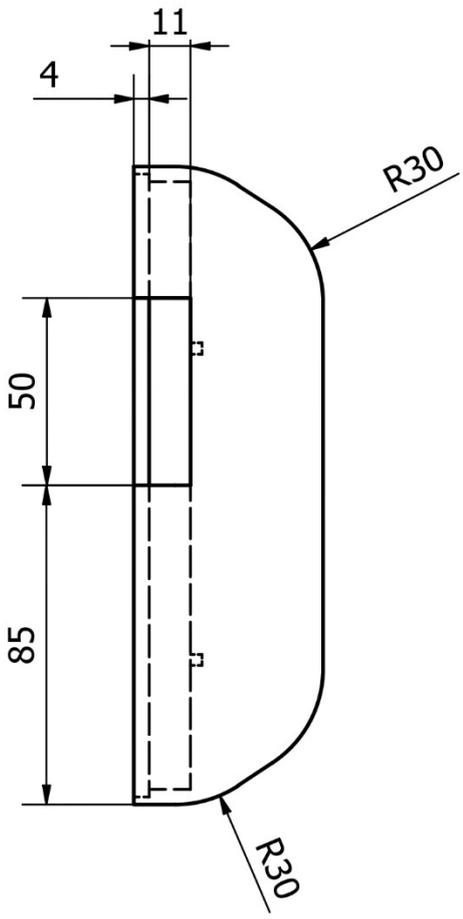
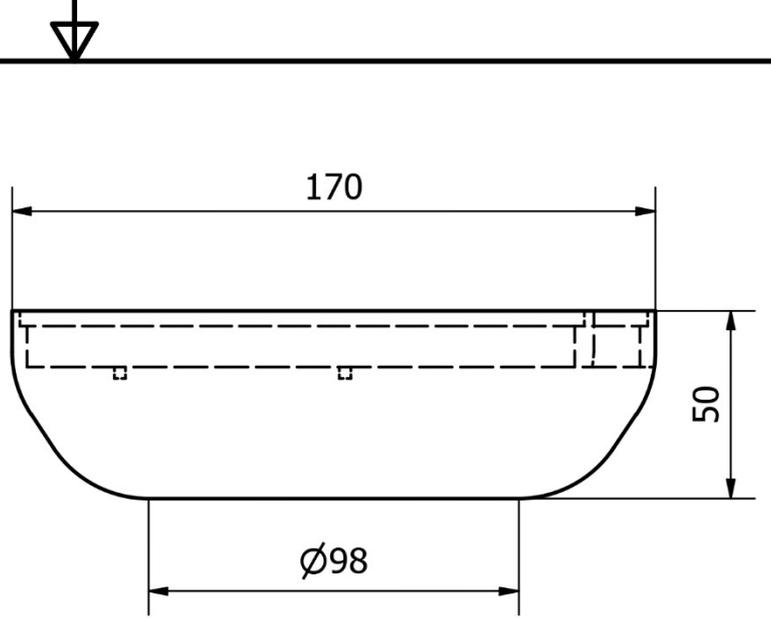
Somnolencia.001

Hoja  
1 / 4

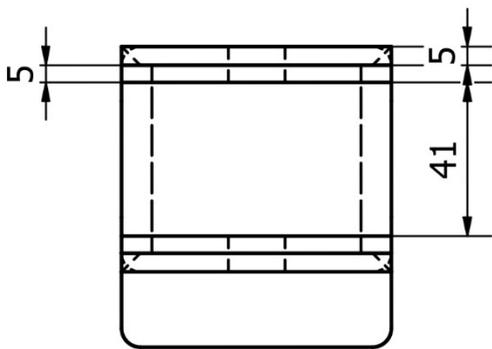
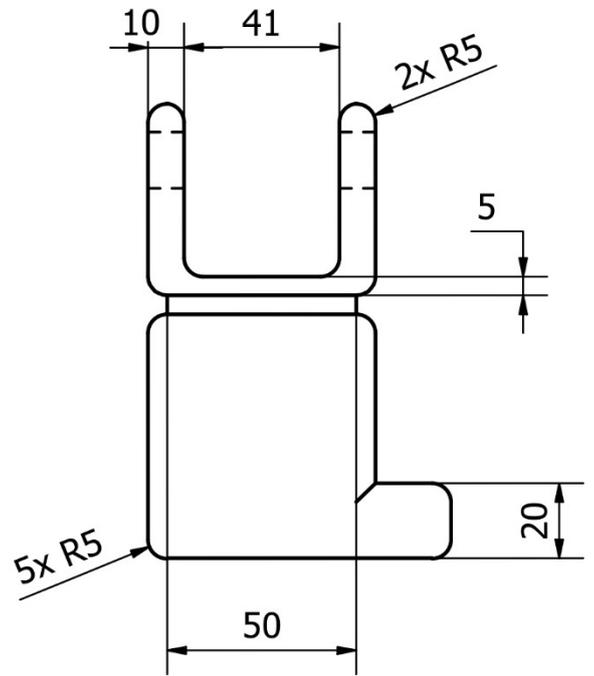
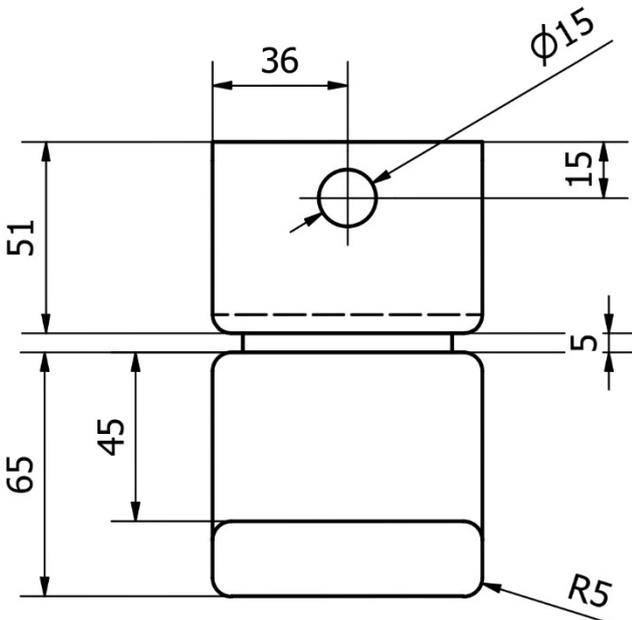
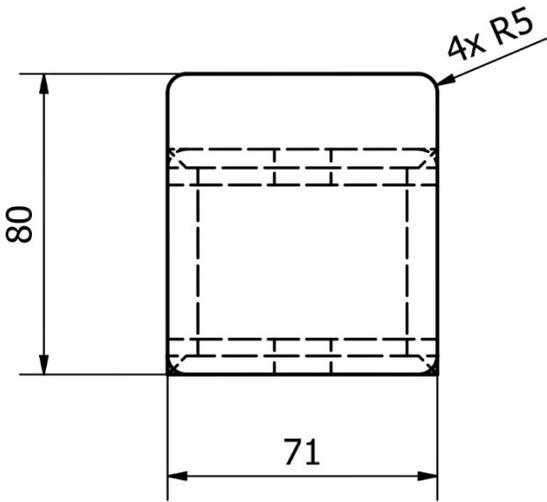




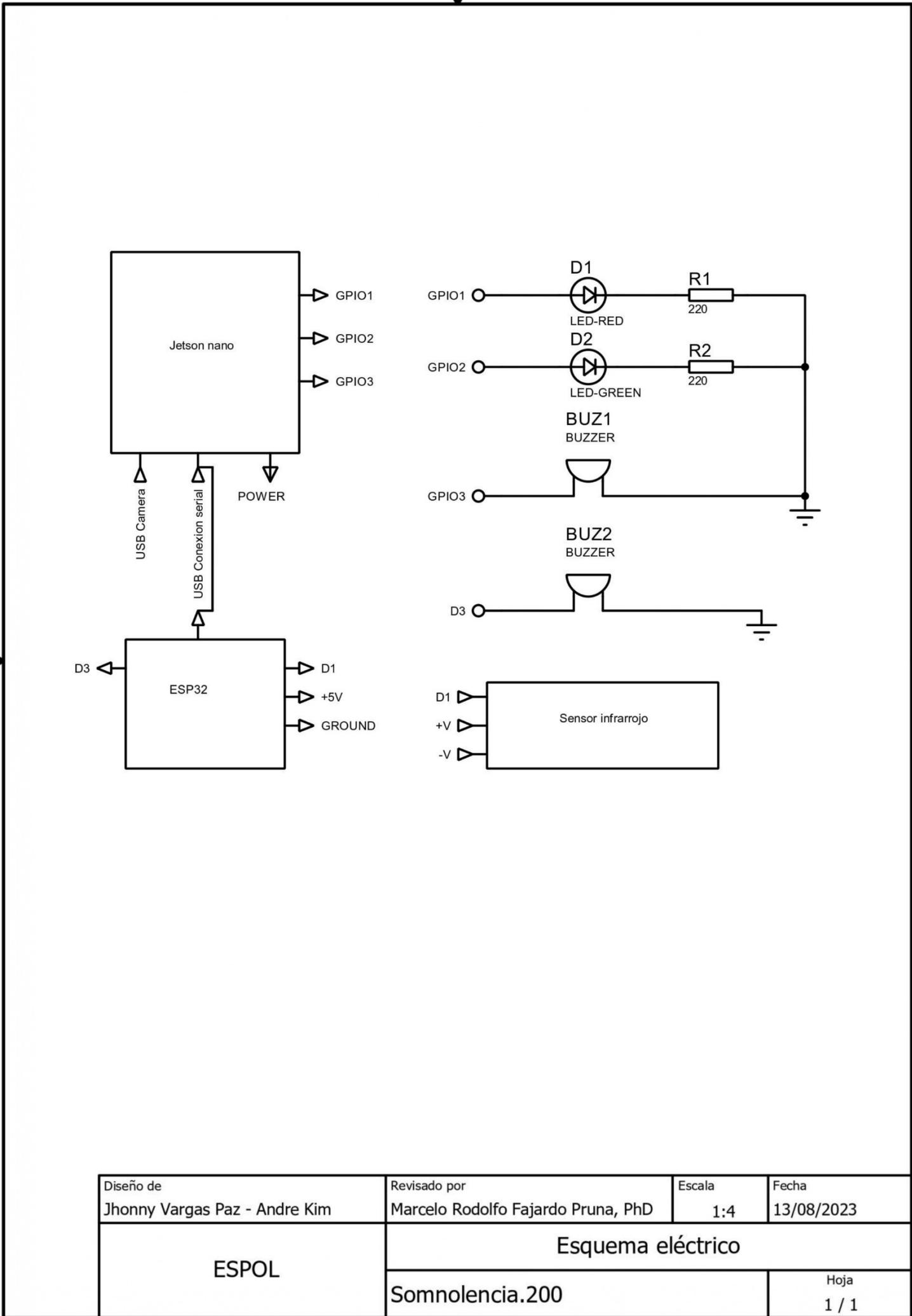
Diseño de Jhonny Vargas Paz - Andre Kim	Revisado por Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, PhD	Escala 1:3	Fecha 13/8/2023
ESPOL	Cara Frontal		
	Somnolencia.100		Hoja 2 / 4



Diseño de Jhonny Vargas Paz - Andre Kim	Revisado por Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, PhD	Escala 1:2	Fecha 13/8/2023
ESPOL	Cara Inferior		
	Somnolencia.101		Hoja 3 / 4



Diseño de Jhonny Vargas Paz - Andre Kim	Revisado por Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, PhD	Escala 1:2	Fecha 13/8/2023
ESPOL	Soporte		
	Somnolencia.102		Hoja 4 / 4



Diseño de Jhonny Vargas Paz - Andre Kim	Revisado por Marcelo Rodolfo Fajardo Pruna, PhD	Escala 1:4	Fecha 13/08/2023
ESPOL	Esquema eléctrico		
	Somnolencia.200		Hoja 1 / 1