

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Sistema Integrado de Monitoreo Forestal mediante Red de Sensores Inalámbricos

INGE-2780

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Carlos Andrés Bailón Llor

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Declaración Expresa

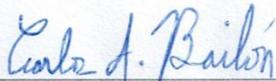
Yo Carlos Andrés Bailón Loor acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 11 de Octubre del 2024.



Carlos Andrés Bailón Loor

Evaluadores

Bryan Joao Puruncajas Maza, Ph.D.

Profesor de Materia

Miguel Andrés Realpe Robalino, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

Frente al peligro en las especies de aves debido a la pérdida de áreas forestales, se busca modificar partes de un sistema de sensores inalámbrico mediante la aplicación de conocimientos de ingeniería mecatrónica, que permitan la tarea de monitoreo a largo plazo de las condiciones ambientales en el Bosque Protector “La Prosperina”, y de sus aves a través de grabaciones de audio. Las funciones requeridas incluyen autonomía energética mediante un cargador solar, y autonomía de recolección y procesamiento de datos. El diseño se separó en el dimensionamiento del sistema de energía, el planteamiento del seguimiento solar con dos ejes, el diseño de partes que faciliten la recolección de datos con un dron, y un programa para el procesamiento y clasificación de señales mediante una red neuronal convolucional. El diseño eléctrico determinó que un panel solar de 5 watts con superficie superior a 450 centímetros cuadrados cubriría la necesidad energética anual incluso con mal clima. Adicionalmente, la evaluación de modelos de clasificación permitió ubicar el mejor intervalo de entrenamiento con las muestras procesadas. El trabajo concluyó con varios diseños en la etapa conceptual, pues tienen una fuerte dependencia del lugar de instalación y componentes para un modelado completo.

Palabras Clave: Energía solar, sistemas de energía, monitoreo de aves, procesamiento de audio, clasificación de audio.

Abstract

Faced with the danger to bird species due to the loss of forest areas, we seek to modify parts of a wireless sensor system by applying knowledge of mechatronic engineering, which will allow the task of long-term monitoring of environmental conditions in the Protected Forest “La Prosperina”, and its birds through audio recordings. The required functions include energy autonomy through a solar charger, and autonomy of data collection and processing. The design was separated into the sizing of the energy system, the approach to solar tracking with two axes, the design of parts that facilitate data collection with a drone, and a program for signal processing and classification through a convolutional neural network. The electrical design determined that a solar panel of 5 watts with a surface area greater than 450 square centimeters would cover the annual energy needs even in bad weather. Additionally, the evaluation of classification models allowed locating the best training interval with the processed samples. The work concluded with several designs in the conceptual stage, as they have a strong dependence on the installation site and components for a complete modeling.

Keywords: Solar energy, power systems, bird monitoring, audio processing, audio classification.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas.....	IX
Índice de planos.....	X
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1 Antecedentes	5
1.4.2 Sistemas de monitoreo forestal	7
1.4.3 Sistemas de energía	12
1.4.4 Procesamiento de audio.....	15
Capítulo 2	18
2. Metodología	19
2.1 Alternativas de solución	19
2.1.1 Criterios de solución.....	19
2.1.2 Evaluación de alternativas.....	20
2.1.3 Selección de alternativa.....	22

2.1.4	Diseño conceptual	23
2.2	Diseño eléctrico y electrónico	24
2.2.1	Requerimientos.....	24
2.2.2	Elementos del sistema	24
2.2.3	Dimensionamiento del panel solar	25
2.3	Diseño de control.....	27
2.3.1	Seguimiento solar.....	27
2.3.2	Algoritmo de control	28
2.4	Diseño mecánico.....	29
2.4.1	Seguidor solar.....	29
2.4.2	Accesorios para el dron	30
2.5	Diseño computacional	33
2.5.1	Programación del microcontrolador.....	33
2.5.2	Procesamiento de audio.....	34
Capítulo 3		37
3.	Resultados y análisis	38
3.1	Dimensionamiento del sistema eléctrico	38
3.2	Propuesta de diseño del seguidor solar.....	39
3.3	Propuesta de diseño de accesorios	42
3.4	Programación.....	45
3.4.1	Algoritmo de seguimiento solar	45
3.4.2	Entrenamiento del modelo de clasificación por IA	48
3.4.3	Procesamiento de datos	51
3.5	Análisis de costos	52
Capítulo 4.....		54
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	55
4.1	Conclusiones.....	55

4.2	Recomendaciones	56
	Referencias	57
	Apéndices	66

Abreviaturas

CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
CIDIS	Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas Computacionales
CNN	Red Neuronal Convolutacional
DNI	Irradiación normal directa
DHI	Irradiación normal difusa
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GHI	Irradiación global horizontal
GPS	Sistema de posicionamiento global
I2C	Circuito Inter-Integrado
IA	Inteligencia Artificial
ISO	Organización Internacional de Normalización
LiPo	Polímero de litio
LoRa	Long Range
MPPT	Seguidor de punto de máxima potencia
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
RNN	Red Neuronal Recurrente
RTC	Reloj de tiempo real
SEO	Sociedad Española de Ornitología
UART	Receptor/Transmisor Asíncrono Universal
WCS	Sociedad de Conservación de la Vida Silvestre
WSN	Red de Sensores Inalámbricos

Simbología

B	Coefficiente de fricción
°C	Grados centígrados
g	Gramo
η	Eficiencia
Hz	Hercio
J	Inercia rotacional
K	Constante del motor
kg	Kilogramo
kHz	Kilohercio
m	Metro
mm	Milímetro
N	Newton
σ	Resistencia a la flexión
s	Segundo
Σ	Sumatoria
V	Voltio

Índice de figuras

Figura 1.1 Mavic 2 Pro.....	6
Figura 1.2 Matrice 600 Pro	7
Figura 1.3 Song Meter SM4	9
Figura 1.4 Song Meter Mini Bat 2	10
Figura 1.5 Song Meter Micro 2.....	10
Figura 1.6 Echo Meter Touch 2	11
Figura 1.7 AudioMoth.....	11
Figura 1.8 Mapa Solar 2019.....	14
Figura 1.9 Sistema de alimentación mediante luz solar	13
Figura 1.10 Estructura de una red neuronal artificial.....	17
Figura 2.1 Diseño conceptual del proyecto	23
Figura 2.2 Programa principal del seguidor solar	29
Figura 2.3 Datos de peso del dron.....	31
Figura 2.4 Especificaciones del sistema de propulsión del dron.....	33
Figura 2.5 Pasos para el procesamiento de las grabaciones	34
Figura 2.6 Pasos para el entrenamiento de una CNN para clasificación de audio	35
Figura 3.1 Posición del motor para movimiento horizontal.....	40
Figura 3.2 Posición del motor para movimiento vertical	40
Figura 3.3 Propuesta de soporte para el seguidor solar.....	41
Figura 3.4 Fuerzas verticales sobre el dron.....	42
Figura 3.5 Volumen inicial del diseño	43
Figura 3.6 Configuración de la simulación	44
Figura 3.7 Resultado de la simulación	44
Figura 3.8 Trayectoria solar calculada en Guayaquil.....	46
Figura 3.9 Código para el ajuste del ángulo azimutal	47
Figura 3.10 Resultado del ajuste de la trayectoria solar.....	47
Figura 3.11 Modelo tipo 1	48
Figura 3.12 Modelo tipo 2.....	49

Índice de tablas

Tabla 2.1 Ponderación de los criterios de solución	20
Tabla 2.2 Evaluación de criterio: Autonomía	20
Tabla 2.3 Evaluación de criterio: Calidad de datos.....	21
Tabla 2.4 Evaluación de criterio: Modularidad.....	21
Tabla 2.5 Evaluación de criterio: Mantenimiento	21
Tabla 2.6 Evaluación de criterio: Tiempo de respuesta	22
Tabla 2.7 Matriz de decisión	22
Tabla 2.8 Herramientas utilizadas para aplicaciones de IA	34
Tabla 3.1 Resultados de los cálculos eléctricos	38
Tabla 3.2 Valores para el diseño de accesorios.....	42
Tabla 3.3 Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 1, 30 % del conjunto para validación	49
Tabla 3.4 Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 1, 20 % del conjunto para validación	50
Tabla 3.5 Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 2, 20 % del conjunto para validación	50
Tabla 3.6 Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 2, 30 % del conjunto para validación	51
Tabla 3.7 Costos de implementación del proyecto	53

Índice de planos

PLANO 1	INGE-2780-000: Renderizado
PLANO 2	INGE-2780-000: Vista isométrica explosionada
PLANO 3	INGE-2780-001: Plano conjunto
PLANO 4	INGE-2780-002: Contenedor
PLANO 5	INGE-2780-003: Tapa
PLANO 6	INGE-2780-004: Sujetador
PLANO 7	INGE-2780-005: Eje
PLANO 8	INGE-2780-006: Sistema de alimentación solar

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el área total de bosques equivale al 31% de la superficie del planeta (4060 millones de hectáreas), albergando el 80% de la biodiversidad terrestre [23]. Entre las especies que habitan estos ecosistemas se encuentran 60 mil especies arbóreas, 80% de las especies de anfibios, 75% de aves, 68% de mamíferos, además de comunidades humanas establecidas en estas regiones [24].

La importancia de los bosques recae en los servicios ecosistémicos que proveen a las comunidades humanas y animales [25], incluyendo:

- El ciclo del agua, que provee de agua dulce y precipitaciones.
- Los ciclos de nutrientes como nitrógeno y fósforo resultantes del consumo y descomposición de materia orgánica para su reutilización.
- Generación de materias primas y productos alimenticios.
- Captura y almacenamiento de gases de efecto invernadero.
- Regulación climática, generada por la humedad almacenada y liberada mediante la evapotranspiración.
- Actúan como barreras geológicas que previenen las inundaciones, la erosión y los deslizamientos.
- Servicios culturales, religiosos y recreacionales.

Incluso con todos los beneficios que proporcionan los bosques, 420 millones de hectáreas se han perdido desde 1990 a causa de la deforestación [26] realizada para la expansión urbana o para la agricultura y ganadería [24], impactando principalmente a las especies animales nativas de estos ecosistemas. Con el fin de conservar la biodiversidad y los ecosistemas terrestres de acuerdo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15: Vida de ecosistemas terrestres [27], múltiples programas e iniciativas para promover el monitoreo de bosques tomaron lugar con los que se puede

incrementar la cantidad de datos disponibles para la toma de decisiones que lleve a una gestión forestal sostenible [28].

Entre las categorías de animales afectadas por esta deforestación, las aves poseen unas 10 mil especies [30] de las cuales cerca de 1500 se encuentran amenazadas y 223 son consideradas en peligro crítico [29]. Estas especies juegan un papel importante en el equilibrio de los ecosistemas al participar en la polinización de plantas y dispersión de semillas, además de ser excelentes depredadores de plagas [31]. En reacción a las condiciones de las aves, iniciativas de monitoreo y conservación a nivel mundial han sido financiadas o ejecutadas por organizaciones como: TEVU en Costa Rica [31]; la fundación Charles Darwin en Ecuador [35]; BirdLife International [32] y la Sociedad de Conservación de Vida Silvestre [34], WCS, que trabajan con representantes a nivel mundial; la Sociedad Española de Ornitología, SEO, en España [33]; entre otros.

En este trabajo se describe el diseño de un sistema de monitoreo forestal para registrar datos ambientales locales, además de contribuir al estudio de aves en el bosque seco de la ciudad de Guayaquil mediante la grabación y procesamiento de audio de estas especies.

1.1 Descripción del problema

El cliente de este proyecto integrador es el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Servicios Computacionales de la ESPOL (CIDIS). CIDIS es un centro de I+D+i enfocado a desarrollar tecnologías inteligentes mediante el uso y aplicación de técnicas de visión por computador, robótica, aprendizaje de máquina y sistemas de energía; en beneficio de los sectores estratégicos productivos de la agricultura, acuicultura, transporte, industria y energías [5]. Con el objetivo de colaborar en el estudio del conjunto de 172 especies de aves [89] del Bosque Protector “La Prosperina”, el CIDIS se encuentra desarrollando un sistema de sensores conectados inalámbricamente a un dispositivo central que registra variables como temperatura y humedad del ambiente.

Sin embargo, además de la recolección de datos ambientales se busca extender la operación del sistema a 24 horas para realizar grabaciones de audio de manera continua dentro del bosque, para la identificación de especies en este territorio y principalmente la identificación y estudio de aves. La adición de una función de grabación de audio incrementa el consumo energético del dispositivo, y debido a su ubicación hace el uso de baterías ineficiente para los investigadores, creando la necesidad de una fuente energética alternativa para la correcta operación del sistema. Adicionalmente, otro inconveniente de la ubicación del sistema dentro del bosque es la tarea de recolectar y transportar la información hacia un almacenamiento externo, pues requeriría múltiples visitas humanas.

1.2 Justificación del problema

Con un área selvática del 50.1% para el 2021 [7], Ecuador es reconocido a nivel mundial por su abundancia de especies de flora y fauna [17], con aproximadamente 700 especies de anfibios, 1700 aves, 1150 peces, 450 mamíferos, 500 reptiles, y 18 mil especies vegetales. La gran variedad de especies a nivel nacional es consecuencia directa de su ubicación geográfica entre dos áreas [4] con una gran concentración de especies endémicas y amenazadas, los Andes tropicales en la Sierra y la región del Chocó en la Costa y Galápagos, siendo estas áreas denominadas como puntos calientes [3].

Con los objetivos de observar y conservar estos ecosistemas, iniciativas nacionales [14] e internacionales [12] han sido puestas en acción. Para contribuir a estas iniciativas, el desarrollo de equipos que faciliten la recolección de datos temporales, ambientales y acústicos se presenta como una necesidad que puede responder a tres categorías de uso: creación de conocimiento de la dinámica del ecosistema registrando variables como temperatura y humedad a través del tiempo; detección de cambios drásticos en la biodiversidad de los ecosistemas, provocado por cambios climáticos medibles o intervención animal y humana que se puede capturar mediante audio; y la

evaluación de acciones y medidas adoptadas para la conservación animal y vegetal, medible mediante la actividad animal y las variaciones climáticas y del carbono a nivel local [15].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar sistemas y componentes especializados a partir de la integración de hardware, software, diseño y simulación, para incrementar la autonomía de un sistema integrado de monitoreo de un área forestal experimental.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema de paneles con seguimiento solar para prolongar el tiempo de operación y autonomía del nodo central de un sistema de monitoreo forestal.
2. Diseñar partes y accesorios que habiliten la instalación y transporte de un dispositivo para la recolección periódica de datos de un nodo central.
3. Habilitar el análisis de datos de sensores y audio recolectados mediante el desarrollo de un programa para el procesamiento y clasificación de datos mediante técnicas de inteligencia artificial.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Antecedentes

El trabajo original del diseño de la red de sensores [36] describe el diseño de los nodos de sensores usando una topología de malla para la comunicación entre dispositivos usando la tecnología de comunicación a larga distancia LoRa. Este diseño utiliza Arduino Nano como procesador en cada nodo, una ESP32 configurada como punto de acceso actuando como el nodo central, y un Arduino Uno para la recepción, almacenamiento y transmisión final de los datos de humedad y temperatura ambiental.

Otro proyecto presentado como referencia por el cliente es una implementación de paneles solares [37] ubicado en el techo de las instalaciones del CIDIS. Este sistema contiene un seguidor

solar compuesto por un motor y un único eje que permite ajustar la posición del panel, y controlado por un Arduino Uno configurado para el cambio de ángulo del panel según cuatro fechas predeterminadas por los diseñadores.

Adicionalmente, las opciones de drones considerados para el proyecto en posesión del cliente son el Mavic 2 Pro (véase la figura 1.1) y el Matrice 600 Pro (véase la figura 1.2), drones comerciales con diferente tamaño y especificaciones. Presentando los datos más importantes de cada dron:

- Mavic 2 Pro: Dron pequeño con dimensiones de 322 milímetros de largo, 242 de ancho y 84 de alto al extender los brazos; peso de 907 gramos al despegar; batería LiPo con capacidad de 3850 miliamperios hora y peso de 297 gramos, permitiendo 25 minutos de vuelo en promedio bajo condiciones normales hasta un máximo de 31 minutos de vuelo con velocidad constante de 25 kilómetros por hora sin viento; altura máxima de operación de 6000 metros sobre el nivel del mar; velocidad máxima de 72 kilómetros por hora, con velocidades de ascenso y descenso de 5 y 3 metros por segundo, respectivamente [43].

Figura 1.1

Mavic 2 Pro



Nota. Figura tomada de una publicación en Amazon [45].

- Matrice 600 Pro: Dron con dimensiones de 1668 milímetros de largo, 1518 de ancho y 727 de alto con los brazos extendidos, hélices y tren de aterrizaje; peso de 9.5-10 kilogramos al despegar según el tipo de baterías montadas, con un máximo peso permitido de 15.5 kilogramos; utiliza seis baterías LiPo que pueden ser del modelo TB47S o TB48S, con capacidades de 4500 y 5700 miliamperios hora y pesos de 595 y 680 gramos, permitiendo un tiempo de sobrevuelo de 32 y 38 minutos, respectivamente; altura máxima de operación de 2500 metros sobre el nivel del mar; velocidad máxima de 65 kilómetros por hora, con velocidades de ascenso y descenso de 5 y 3 metros por segundo, respectivamente [44].

Figura 1.2

Matrice 600 Pro



Nota. Figura tomada de una publicación de Amazon [46].

1.4.2 Sistemas de monitoreo forestal

Con el fin de cumplir la misión de monitorear el estado de los bosques para detectar cambios climáticos o en la biodiversidad, o la detección temprana de amenazas externas e incendios forestales, varias técnicas e instrumentos se han implementado a lo largo del tiempo para registrar variables como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, cantidad de lluvia, radiación solar, entre otras.

El desarrollo de estos sistemas y técnicas empezaron con la medición manual de variables ambientales usando instrumentos individuales, siguiendo el uso de sensores y estaciones meteorológicas para mediciones continuas por largos períodos de tiempo, captura de datos aérea mediante drones, hasta sistemas de mayor tamaño y costo como los satélites usados por gobiernos y organizaciones para la captura de imágenes y mediciones de territorios mucho más amplios [47-51].

Un tipo de sistema para la medición ambiental que permite un compromiso entre costo, tamaño, son las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN) compuestas por una multitud de nodos distribuidos, capaces de obtener información desde el medio para procesarla y responder adecuadamente además de tener un bajo consumo energético y mantenimiento [53], [54]. Obstáculos comunes de estos sistemas son el alcance de las comunicaciones y la necesidad de una fuente de energía en la forma de baterías, cableado, u obteniendo la energía desde el medio. Entre aplicaciones registradas de estos sistemas se encuentran:

- Detección de incendios forestales:
 - Empleando una combinación de sensores de luz visible e infrarrojas y una red neuronal para la identificación de los incendios, además de alimentación mediante un batería solar [65].
 - Usando nodos con sensores de temperatura, humedad, intensidad lumínica y nivel de monóxido de carbono, utilizando una batería de ion-litio como alimentación [67].
 - Creando nodos de sensores para la detección de humo y radiación infrarroja, además de cámaras para una rápida localización del fuego por los guardabosques, con alimentación fotovoltaica [68].
- Detección de intrusos, mediante el despliegue de sensores infrarrojos, acústicos y magnéticos sobre una amplia región, con una alimentación de baterías AA [66].

- Estimación de parámetros del suelo, mediante el diseño de un nodo con sensores de humedad, temperatura y conductividad para la estimación del nivel de fósforo en el suelo usando una red neuronal. Este sistema fue diseñado para el uso de energía solar [69].
- Agricultura, con sensores de temperatura y humedad para la activación periódica de aspersores mediante una bomba [71].
- Detección de gases de efecto invernadero [72].

Por otra parte, para monitorear y estudiar a especies animales tecnologías como sensores, cámaras trampa, micrófonos y collares rastreadores [52] son empleadas. En el campo de la bioacústica, múltiples dispositivos con diferentes características, rangos de frecuencias y accesorios han sido lanzados comercialmente, siendo algunos:

- Song Meter SM4 (figura 1.3), grabador avanzado para uso puntual o por largos periodos, capaz de usarse en el medio marino. Puede llegar hasta 650 horas de operación usando cuatro baterías de celda D [40].

Figura 1.3

Song Meter SM4



Nota. Figura tomada de una publicación de Nautilus Oceanica [40].

- Song Meter Mini Bat 2 (figura 1.4), diseñado para captar vocalizaciones de quirópteros mediante un micrófono ultrasónico de bajo ruido, con un rango de frecuencias entre 192 y

500kHz, además de otros animales mediante un micrófono con frecuencias entre 8 y 96kHz [41].

Figura 1.4

Song Meter Mini Bat 2



Nota. Figura tomada de una publicación de Nautilus Oceanica [41].

- Song Meter Micro 2 (figura 1.5), de tamaño compacto y capaz de grabar hasta 280 horas a una frecuencia de 24kHz, con un rango de frecuencias entre 8 y 96kHz [39].

Figura 1.5

Song Meter Micro 2



Nota. Figura tomada de una publicación de Nautilus Oceanica [39].

- Echo Meter Touch 2 (figura 1.6), es un dispositivo aficionado que permite la grabación de murciélagos desde un dispositivo móvil con acceso a un puerto USB-C [42].

Figura 1.6

Echo Meter Touch 2



Nota. Figura tomada de una publicación de Nautilus Oceanica [42].

- AudioMoth (figura 1.7), es un dispositivo de grabación configurable y programable de bajo costo para frecuencias audibles y un espectro de las ultrasónicas, con un rango de frecuencias entre 8 y 384kHz [38]. Utilizado para la adquisición de datos en [19] y [20].

Figura 1.7

AudioMoth



Nota. Figura tomada de una publicación de Open Acoustic Devices [38].

1.4.3 Sistemas de energía

Para aprovechar adecuadamente la radiación solar en el diseño de sistemas de conversión de energía, es necesario un análisis del recurso solar disponible anualmente sobre un territorio. Debido a su posición geográfica sobre la línea ecuatorial, en Ecuador el recurso solar es casi constante a lo largo del año. Sin embargo, la diferencia en altitud de los diferentes territorios consecuencia de la presencia de la cordillera de los Andes provoca una distribución con mayores niveles de radiación en zonas de mayor altitud y menores niveles hacia la costa y el oriente ecuatoriano [61].

La radiación solar que atraviesa el planeta toma múltiples formas y direcciones debido a la presencia de los gases de la atmósfera. Es así, que se divide a la radiación en:

- Irradiación normal directa (DNI): radiación que atraviesa la atmósfera sin interactuar con ella [61].
- Irradiación horizontal difusa (DHI): radiación redireccionada por la atmósfera o reflejada por la superficie terrestre [61].
- Irradiación global horizontal (GHI): suma de las componentes de la radiación [61].

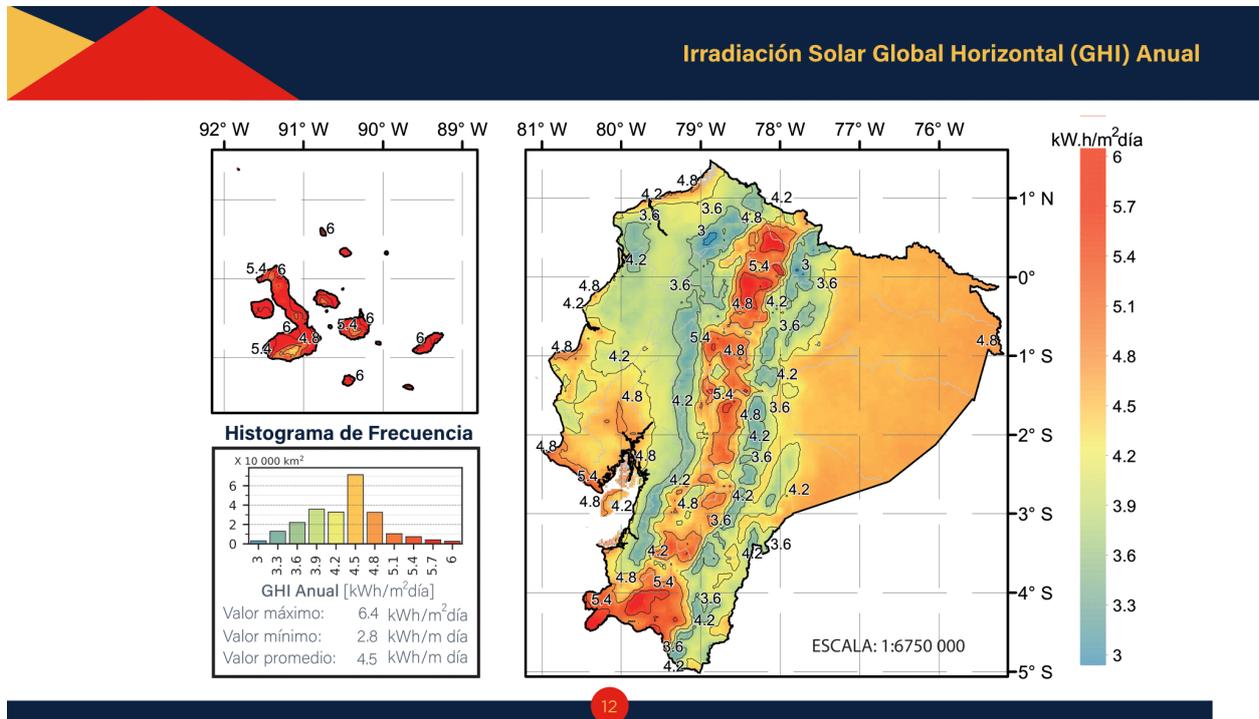
Responde a la ecuación:

$$GHI = DHI + DNI \cos \theta \quad (1.1)$$

El mapa solar en [61] (véase la figura 1.9) y elaborado sobre datos de la irradiación durante el año 2019 permite comprender la distribución de la radiación solar en el territorio ecuatoriano y contribuye una herramienta para estimar la generación eléctrica posible usando sistemas fotovoltaicos.

Figura 1.8

Mapa Solar 2019



Nota. La figura muestra la GHI promedio sobre el territorio ecuatoriano en el año 2019.

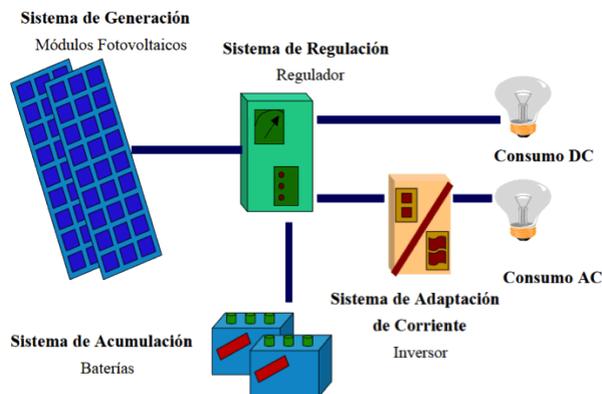
Figura tomada de la publicación de Vaca y Ordóñez [61].

Un sistema fotovoltaico es una combinación de elementos que permiten la transformación mediante paneles solares de la energía solar a energía eléctrica para su uso en aplicaciones residenciales, comerciales o industriales [56]. La energía directamente recolectada desde los paneles es de corriente continua, lo que significa que la carga se desplaza en un solo sentido o que la magnitud de la carga no cambia de signo, mientras que la mayoría de los equipos y electrodomésticos utilizan corriente alterna o aquella que fluye en varias direcciones cambiando de magnitud y signo. Esto quiere decir que según el propósito de un sistema fotovoltaico, elementos y configuraciones van a cambiar de acuerdo con la necesidad de corriente alterna o continua (figura 1.8). Los elementos que pueden aparecer, descritos en [56], [58], [60], son:

- Panel solar: encargado de la transformación de energía solar a energía eléctrica mediante las células fotovoltaicas en su superficie.
- Controlador de posición: permite el cambio de orientación del panel en un sistema con seguidor solar.
- Seguidor solar: estructura móvil que permite la rotación y traslación de una instalación de paneles solares para maximizar la producción de electricidad.
- Regulador o controlador de carga: informa el estado de la batería y la carga general del sistema además de proteger a la batería contra descargas y sobrecargas.
- Inversor: transforma corriente continua a corriente alterna.
- Batería: elemento para el almacenamiento del exceso de carga para períodos con poca producción o escasez como el horario nocturno.

Figura 1.9

Sistema de alimentación mediante luz solar



Nota. La figura presenta conexiones para corriente directa y corriente alterna. Figura tomada de una publicación de Sunfields [2].

La eficacia de los paneles fotovoltaicos depende de la llegada a su superficie de radiación emitida por el sol. Los paneles solares son normalmente diseñados para resistir muy altas

temperaturas, pero se pierde eficiencia en la conversión energética a partir de los 25 °C [1], llevando a los paneles a tener una eficiencia en general del 20% de conversión de la luz solar.

Con el objetivo de maximizar la producción energética a través del día, seguidores solares son implementados para obtener un ángulo de 90° entre la superficie de los paneles y los rayos solares [57]. Estos sistemas se presentan en dos tipos: sistemas de un eje que son de bajo costo y permiten movimiento de este a oeste, siguiendo la salida y la puesta del sol; y sistemas más costosos de dos ejes para maximizar la producción anual de energía con movimiento norte-sur y este-oeste. Estos desplazamientos son ejecutados activamente mediante el uso de motores eléctricos o hidráulicos, y pasivamente con sistemas que aprovechan el uso de líquidos con bajos puntos de ebullición para el cambio de posición con sus pesos [59].

El uso de controladores es necesario para el reposicionamiento automático de la orientación en sistemas activos, con dos esquemas de control usados comúnmente:

- Intensidad lumínica: utiliza uno o varios sensores de intensidad lumínica de manera que mediante un algoritmo se ubique al sistema en el punto de mayor luminosidad [55].
- Programación astronómica: utiliza una serie de ecuaciones para predecir la posición del sol a cada hora y ejecutar los movimientos, haciendo al sistema independiente de las condiciones climáticas [55].

1.4.4 Procesamiento de audio

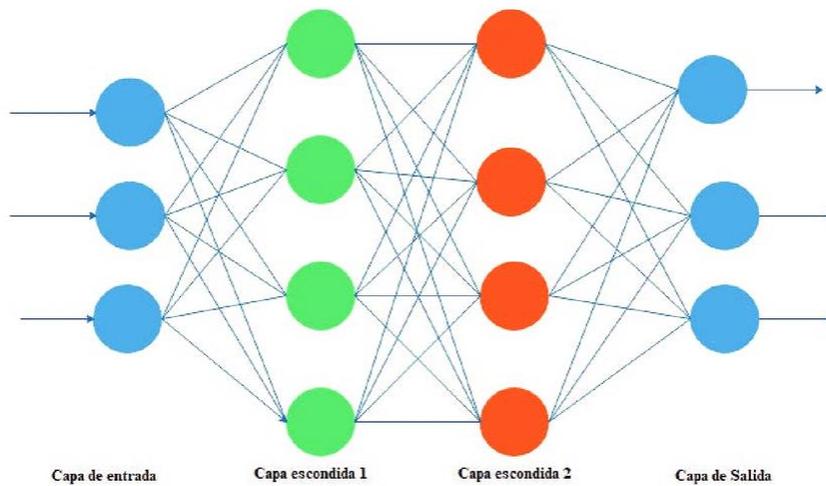
El procesamiento de archivos de audio varía según el formato, teniendo El flujo de procesamiento de estos datos para su uso en IA tiene las siguientes etapas descritas en [18]:

En un sistema con la capacidad de grabar audio, las operaciones de procesamiento pueden diferir en sus pasos intermedios o finales diferentes según la técnica de extracción de características, o del tipo de modelo y de su capa de entrada. En archivos de audio, que tienen características como frecuencia, tono, amplitud y duración, los pasos de procesamiento son:

- Normalización: en archivos de audio, la amplitud de las ondas son escaladas al mismo rango.
- Ajuste de duración: las muestras de audio pueden durar unos pocos segundos, pero la duración entre muestras debe ser la misma. Para esto se recortan las muestras con mayor duración o se agrega silencio para extender las muestras más cortas.
- Extracción de características: las muestras de audio son transformadas al dominio de la frecuencia para obtener características más compactas y significativas para el entrenamiento de IA. En [19], [20] y [21], donde se recolecta y procesa grabaciones de entornos naturales, se observa este paso.

Por otra parte, inteligencia artificial se describe en [64] como una tecnología que le permite a los ordenadores simular aspectos humanos como el aprendizaje, la comprensión, solución de problemas, toma de decisiones, creatividad y autonomía. Dentro del estudio de IA, términos como aprendizaje de máquina y aprendizaje profundo aparecieron con el desarrollo de la tecnología. Mientras el aprendizaje de máquina utiliza datos para crear algoritmos de predicción que no son programados, el aprendizaje profundo utiliza grandes conjuntos de datos para el entrenamiento de redes neuronales con la capacidad de aprendizaje autónomo [63], [64].

Una red neuronal artificial es un algoritmo de aprendizaje de máquina que pretende simular el cerebro humano, consistiendo en múltiples capas de nodos interconectadas (figura 1.10), con la capacidad de procesamiento y análisis para datos complejos y reconocimiento de patrones a partir de estos [64].

Figura 1.10*Estructura de una red neuronal artificial*

Nota. La figura presenta los nodos o neuronas interconectadas para formar capas en la red neuronal. Figura tomada de la publicación de Franco y Jucá [62].

Una de las tareas primarias de los modelos basados en redes neuronales es la clasificación de clases, tarea que se logra entrenando a estos modelos con grupos de datos etiquetados para el aprendizaje de patrones con el objetivo de clasificarlos. Entre los modelos de aprendizaje profundo utilizados están:

- Redes neuronales convolucionales (CNN): emplea una operación llamada convolución en los datos de entrada en capas para objetos 2D, permitiendo la extracción de características en objetos 2D como imágenes [63].
- Redes neuronales recurrentes (RNN): realiza predicciones sobre series temporales o secuencias, útil para el procesamiento y clasificación de señales, lenguaje natural y vídeos [63].
- Transformadores o Transformers: modelos diseñados para realizar un seguimiento de las relaciones entre los componentes de una secuencia, útil para el procesamiento del lenguaje natural [63].

Capítulo 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Alternativas de solución

A continuación, se exponen las alternativas de solución para enfrentar las necesidades energéticas y de procesamiento que experimenta el nodo central, bajo la tarea de grabación de audio y almacenamiento de datos

Alternativa 1: Instalación en la zona forestal de un banco de energía de gran capacidad para el procesamiento de datos en el mismo lugar. La recolección de energía es mediante el uso de paneles solares de tamaño residencial y un seguidor solar de un eje basado en la diferencia de luz entre los extremos del panel. El transporte de datos se hace físicamente mediante dispositivos de almacenamiento externo.

Alternativa 2: Instalación de una batería recargable en el nodo central del sistema, usando paneles solares de baja potencia para la alimentación de la electrónica durante periodos prolongados. El seguimiento del sol se realiza con dos ejes habilitados por el cálculo de la trayectoria del Sol en intervalos de tiempo. La recolección de datos es habilitada por un dron que visita la ubicación en diferentes ocasiones.

Alternativa 3: Expansión del sistema de alimentación solar de los sensores de la red para el abastecimiento de baterías para el consumo del nodo central.

2.1.1 Criterios de solución

- Autonomía: capacidad de funcionamiento por tiempos prolongados y con mínima intervención humana.
- Mantenimiento: Frecuencia de reparaciones mayores o menores al equipo completo o sus componentes individuales.
- Modularidad: Capacidad de mejora por componentes del equipo, incrementando la funcionalidad individual de cada uno de estos.

- Calidad de datos: nivel de utilidad de los datos obtenidos durante o después de su procesamiento.
- Tiempo de respuesta: Relacionado con los tiempos de procesamiento de datos, sondeo del terreno o filtrado de los mismos.

2.1.2 Evaluación de alternativas

Dados los criterios anteriores se determina la ponderación de cada uno de estos:

Tabla 2.1

Ponderación de los criterios de solución

Criterio	Autono.	Mant.	Modularidad	Calidad de datos	Tiempo de respuesta	$\sum +1$	Pond.
Autonomía		1	1	0.5	1	4.5	0.32
Mantenimiento	0		0.5	0	0.5	2	0.14
Modularidad	0	0.5		0.5	1	3	0.21
Calidad de datos	0.5	1	0.5		1	4	0.29
Tiempo de respuesta	0	0.5	0	0		1.5	0.04
Suma						15	1

Tabla 2.2

Evaluación de criterio: Autonomía

Autonomía	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 3		0	0	1	0.167
Alternativa 2	1		1	3	0.5
Alternativa 1	1	0		2	0.333
Suma				6	1

Tabla 2.3*Evaluación de criterio: Calidad de datos*

Calidad de datos	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0.5	1	2.5	0.417
Alternativa 2	0.5		1	2.5	0.417
Alternativa 3	0	0		1	0.166
Suma				6	1

Tabla 2.4*Evaluación de criterio: Modularidad*

Modularidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0.1.66
Alternativa 2	1		0.5	2.5	0.417
Alternativa 3	1	0.5		2.5	0.417
Suma				6	1

Tabla 2.5*Evaluación de criterio: Mantenimiento*

Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.500
Alternativa 2	0		0.5	1.5	0.250
Alternativa 3	0.5	0		1.5	0.250
Suma				6	1

Tabla 2.6*Evaluación de criterio: Tiempo de respuesta*

Tiempo de respuesta	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\sum +1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.500
Alternativa 2	0		1	2	0.333
Alternativa 3	0	0		1	0.167
Suma				6	1

El ranking de desempeño de cada solución se describe en la tabla 2.1 a la tabla 2.6 donde fueron ponderadas de forma cuantitativa para tener el valor del peso de cada uno de estos y tener un peso en cuanto a la selección de prioridad de cada uno de los criterios expuestos.

2.1.3 Selección de alternativa

A continuación, usando los valores anteriores expuesto, se realiza la matriz de decisión para destacar la solución más representativa en cuanto a los criterios descritos en el presente apartado:

Tabla 2.7*Matriz de decisión*

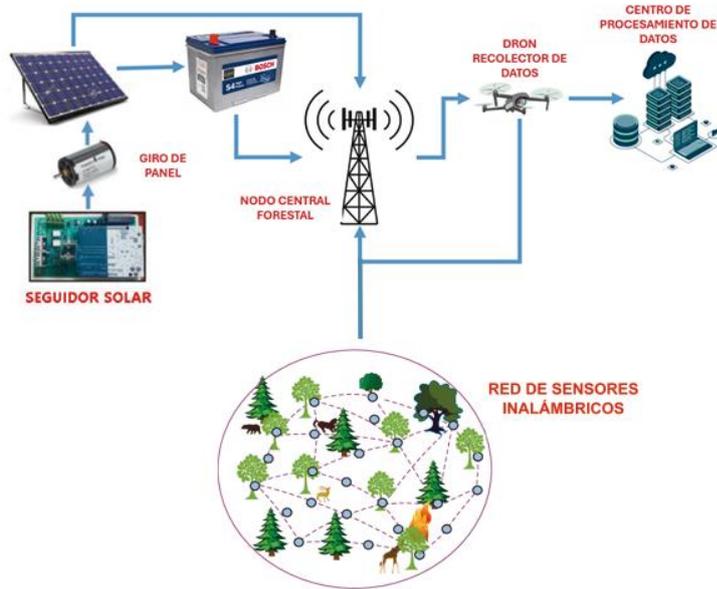
Criterios						Resultados	
Altern.	Autonomía	Calidad de datos	Modularidad	Mantenimiento	Tiempo de respuesta	\sum	Prioridad
1	0.107	0.121	0.034	0.07	0.02	0.352	2
2	0.16	0.121	0.088	0.035	0.013	0.417	1
3	0.053	0.048	0.088	0.035	0.006	0.230	3

La matriz de decisión realizada en la tabla 2.7 nos indica que la alternativa 2 de las soluciones propuestas es la que refleja más impacto que las demás, teniendo un orden de prioridad mayor.

2.1.4 Diseño conceptual

Figura 2.1

Diseño conceptual del proyecto



Nota. La figura representa el nodo central del sistema de monitoreo, con las funciones adicionales requeridas para el cumplimiento de los objetivos.

En la figura 2.1, se observa el diseño conceptual de las funciones adicionales para el sistema de monitoreo forestal discutido al inicio de la sección 1.4.1. El nodo central se encuentra alimentado mediante la energía solar recolectada por los paneles fotovoltaicos, almacenando el excedente hacia una batería. El seguidor solar se automatiza mediante un microcontrolador para cambiar su posición basado en la posición del sol según la hora del día para obtener el mayor beneficio energético. La recolección de datos es realizada de manera inalámbrica mediante un dispositivo, el cual es transportado entre el nodo central y la estación de estudio periódicamente, para finalmente procesar los datos usando Python como la plataforma habilitante del código a ejecutar.

2.2 Diseño eléctrico y electrónico

En este apartado se describe el procedimiento de dimensionamiento y selección de componentes para el sistema de alimentación y almacenamiento de energía solar, además de los actuadores y elementos necesarios para realizar el seguidor del movimiento del sol.

2.2.1 Requerimientos

Los requerimientos identificados para el diseño energético son:

- Voltaje de operación: 5V.
- Corriente consumida: 0.2 A.
- Tiempo de operación: 24 horas.

Para realizar un mejor dimensionamiento, se necesitan consideraciones adicionales, por ejemplo, la cantidad de horas de luz solar directa en el área del bosque. A continuación, se describen aquellos valores propuestos o recolectados:

- Irradiación solar anual diaria, 3600 watts hora por metro cuadrado, representa el récord más bajo en Guayaquil en el año registrado en el mapa solar en [61].
- 4 horas de luz solar directa.
- 12 horas de operación del sistema con la batería.
- Pérdidas del sistema: 20%.
- Máxima duración de un periodo de mal clima en Guayaquil: 14 días o 336 horas.

2.2.2 Elementos del sistema

Los componentes principales para el almacenamiento y uso de energía son elementos con una utilización y conexión estándar, siendo los siguientes:

- Panel solar.
- Controlador de carga.
- Batería.
- Regulador de voltaje.

- Opcional: Elementos de protección, pues algunos de los componentes anteriores los suelen llevar integrados.

Y los elementos para el seguidor solar son:

- Microcontrolador.
- Servomotor.
- Módulo GPS.
- Módulo RTC (Real-Time Clock).

El flujo esperado del sistema se describe a continuación:

1. Los paneles solares generan energía eléctrica en forma de corriente continua (CC).
2. El controlador de carga regula la tensión y la corriente de salida de los paneles solares y la distribuye entre la batería y una carga, siendo esta carga el nodo del sistema de monitoreo y el sistema del seguidor solar.
3. La energía solar se almacena como energía eléctrica en la batería.
4. El regulador de voltaje reduce el voltaje de salida del controlador hacia una magnitud soportada por los componentes electrónicos, 5 V en este caso.
5. El RTC y GPS obtienen datos constantemente gracias a su batería integrada.
6. El microcontrolador se mantiene en un modo de bajo consumo en intervalos de una hora, donde se despierta, calcula la posición del sol mediante el GPS y RTC, y acciona los servomotores para ajustar el ángulo.

2.2.3 Dimensionamiento del panel solar

Para la selección del panel solar, se utilizaron dos métodos. El primero fue para determinar la potencia mínima necesaria para el funcionamiento sólo del sistema de monitoreo, y el otro método para determinar la potencia necesaria para mantener el sistema operando durante 24 horas considerando adicionalmente factores como menores horas de exposición solar y la presencia de temporadas largas sin exposición al sol.

Las ecuaciones utilizadas en este apartado fueron:

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

$$P_{min} = \frac{P \times h_o}{h_s} \quad (2.2)$$

$$E_{min} = \frac{P_{min}}{\eta} \quad (2.3)$$

$$\frac{P_{prom}}{A} = \frac{U_{prom}}{24} \quad (2.4)$$

$$\frac{E}{A} = \eta \times \frac{P_{prom}}{A} \quad (2.5)$$

$$A = \frac{P}{E} \quad (2.6)$$

$$C_{bat} = I \times h \quad (2.7)$$

Donde:

- P es la potencia del dispositivo a alimentar.
- V es el voltaje de operación del dispositivo.
- I es la corriente consumida por el dispositivo.
- Pmin es la potencia mínima requerida por el dispositivo.
- ho son las horas de uso de la batería para alimentar al dispositivo.
- hs son las horas de luz solar directa.
- Emin es la energía solar mínima para alimentar el dispositivo.
- η es la eficiencia del dispositivo.
- $\frac{P_{prom}}{A}$ es la potencia eléctrica promedio generada sobre un área de panel expuesta al sol.
- U es la irradiación solar anual diaria sobre un área geográfica.
- A es el área del panel solar.
- Cbat es la capacidad de carga de la batería.

- E es la energía generada por un panel individual.

Con el empleo de las ecuaciones 2.1 a 2.7, se calculan valores como la potencia del nodo central de sensores, aplicando la ecuación 2.1 con los datos de voltaje de operación (5 V) y corriente consumida (0.2 A) descritos durante la sección 2.2.1, obteniendo un resultado de 1 W de potencia. Con la repetición de este proceso con las ecuaciones y datos restantes, se consigue llegar a unas dimensiones mínimas para el panel solar que se puede traducir hacia una potencia de diseño mínima, así como la capacidad de la batería necesaria para poder soportar el sistema por días consecutivos en condiciones ambientales adversas.

2.3 Diseño de control

2.3.1 Seguimiento solar

En esta sección se describe el algoritmo para el seguimiento de la posición del sol. Basado en [87], es posible describir la trayectoria solar con respecto a un punto en la superficie terrestre mediante las siguientes ecuaciones:

$$\sin(\alpha) = \sin(\delta) \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) \quad (2.8)$$

$$\omega = \frac{360^\circ}{24} \times (H - 12) \quad (2.9)$$

$$\delta = -23.45 \times \cos(0.986 \times (n + 10.5)) \quad (2.10)$$

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{\sin(\omega)}{\cos(\omega) \times \sin(\varphi) - \tan(\delta) \times \cos(\varphi)}\right) \quad (2.11)$$

Donde:

- H es la hora actual en formato de 24 horas.
- n es el número del día del año.
- α es la altitud solar.
- δ es la declinación solar, el ángulo entre la dirección de los rayos solares y el ecuador terrestre.

- φ es la latitud de la ubicación geográfica.
- ω es la hora solar.
- γ es el ángulo horizontal del sol medido desde el norte (azimut).

Para aplicar las ecuaciones 2.8 a 2.11 como algoritmo de control, se determinó que la latitud se maneja como una constante debido a la naturaleza estática del sistema, mientras que las principales variables a considerar eran la hora actual, y el número del día dentro del año.

2.3.2 Algoritmo de control

Para la ejecución del movimiento del panel solar, la programación de instrucciones en un microcontrolador fue necesaria. Este programa realiza el siguiente orden de acciones, que pueden ser descritas como pseudo código.

1. Configuración de puertos, periféricos y modo de ahorro de energía.
2. Posicionamiento neutral de los servomotores.
3. Lectura de valores de periféricos (hora del RTC, posición del GPS).
4. Almacenamiento de variables.
5. Cálculo de ángulos.
6. Movimiento de los servomotores.
7. Entrada a modo de bajo potencia.
8. Inspección periódica de hora actual.
9. Retorno al paso 3 cuando la hora actual sea diferente a la variable almacenada en memoria.

Retorno a la posición neutral a las 21:00 y retorno al paso 3 a las 05:00.

El programa principal en Arduino desarrollado para la ejecución de la secuencia descrita se puede observar en la figura 2.2.

Figura 2.2

Programa principal del seguidor solar

```

void loop() {
  getTime();
  latitude = getLatitude();
  currentDay = now.day();
  currentMonth = now.month();
  currentYear = now.year();
  dayOfYear = calculateDayOfYear(currentDay, currentMonth, currentYear);
  hour = now.hour();

  if (hour < 5 || hour > 21) {
    servo1.write(90);
    servo2.write(90);
    previousHour = hour;
  } else if (hour != previousHour) {
    float delta = declination(dayOfYear);
    float H = hourAngle(hour);
    float altitude = asin(sin(radians(latitude)) * sin(radians(delta)) + cos(radians(latitude)) * cos(radians(delta)) * cos(radians(H)));
    float azimuth = atan2(sin(radians(H)), sin(radians(latitude)) * cos(radians(H)) - cos(radians(latitude)) * tan(radians(delta)));
    if (azimuth > 180.0 || azimuth < -180.0) {
      if (H < 0.0 && azimuth < 0.0) {
        azimuth = -azimuth - 180.0;
      } else if (H < 0.0 && azimuth > 0.0) {
        azimuth -= 180.0;
      } else if (H > 0.0 && azimuth < 0.0) {
        azimuth += 180.0;
      } else if (H > 0.0 && azimuth > 0.0) {
        azimuth = 180.0 - azimuth;
      }
    }
    float x = 90.0 + azimuth;
    servo1.write(x);
    servo2.write(altitude);
    previousHour = hour;
  }
  LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_ON, BOD_ON);
}

```

Nota. La figura muestra un fragmento del programa de seguimiento solar.

2.4 Diseño mecánico

En este trabajo, el apartado de diseño mecánico consistió en las propuestas de diseños conceptuales para la construcción del seguidor solar, y para la fabricación de piezas con función de soporte durante el proceso de recolección de datos mediante uno de los drones disponibles.

En Ecuador, el dibujo y diseño de componentes mecánicos responde al Código de Dibujo Técnico-Mecánico impuesto por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, para la presentación de planos.

2.4.1 Seguidor solar

Debido a la posición dentro del bosque del sistema, el diseño de cualquier componente para el montaje de los paneles y demás elementos eléctricos y electrónicos será dependiente del terreno y de las decisiones tomadas en campo. Por esta razón, el diseño en esta sección se limita a una

prueba de concepto, con una instalación final del sistema que podría realizarse entre los árboles o por una construcción independiente demandada por las características del terreno.

Un seguidor solar requiere de un mecanismo que permita el desplazamiento angular de sus partes con precisión, siendo la velocidad del movimiento un factor despreciable en este caso por la frecuencia de accionamiento del sistema con intervalos de una hora. Estos aspectos llevaron a la decisión de usar servomotores como actuadores, que permiten el desplazamiento angular preciso por su sistema de control interno. El dimensionamiento y selección de estos motores estuvo fuertemente enlazado con el diseño del sistema eléctrico, denotado por los siguientes aspectos de diseño necesarios:

- Carga máxima que levantar.
- Voltaje disponible de alimentación.
- Corriente máxima.
- Peso del panel solar.

Debido al diseño de 2 ejes propuesto para el seguidor, una característica necesaria en la selección fue tener un giro de 180° como límite, esto para evitar el seguimiento del sol en el horario nocturno y el colapso de partes sobre el propio sistema.

2.4.2 Accesorios para el dron

Para lograr el montaje de componentes externos en un dron comercial, la limitación principal fue el peso del dron seleccionado (figura 2.3), lo cual llevó a la selección del dron con mayor capacidad de carga disponible, Matrice 600 Pro en este trabajo. El diseño de componentes de drones para aplicaciones específicas no es una actividad que los fabricantes esperan gracias a los diferentes accesorios que ofrecen en sus catálogos, por lo que no se dispone de una norma generalizada disponible para este tipo de diseños.

Figura 2.3*Datos de peso del dron*

Weight (with six TB47S batteries)	9.5 kg
Weight (with six TB48S batteries)	10 kg
Max Takeoff Weight	15.5 kg

Nota. Figura tomada del manual del fabricante del dron Matrice 600 Pro [46].

Basado en estas limitaciones primarias, se propuso un proceso como prueba de concepto para llegar a la fabricación de las piezas requeridas. Otros requisitos considerados en esta sección incluyen:

- Peso del dispositivo a transportar, 5.2 kg.
- Material resistente a temperaturas superiores a 40°C.
- Volumen del dispositivo a transportar: 50 mm de alto, 120 mm de largo y 60 mm de ancho.
- Espacio disponible entre el tren de aterrizaje del dron: 149 mm de ancho, 258 mm de largo, y 400 mm de alto.

La propuesta comenzó con un análisis de las fuerzas inerciales totales ejercidas sobre el conjunto completo del dron. Este análisis se basó en la primera ley del movimiento de Newton, donde para mantener una velocidad constante sobre un cuerpo la sumatoria de las fuerzas y momentos resulta en cero (ecuaciones 2.12 y 2.13). Este estudio fue diseñado en condiciones ideales de equilibrio, sin incluir el análisis aerodinámico correspondiente y sus efectos sobre las partes del dron.

$$\sum F = 0 \quad (2.13)$$

$$\sum M = 0 \quad (2.14)$$

Donde $\sum M$ es la sumatoria de todos los momentos sobre un cuerpo alrededor de un punto, y $\sum F$ es la sumatoria de todas las fuerzas horizontales y verticales.

El procedimiento completo realizado fue el descrito a continuación:

- Selección de material y método de fabricación, donde se designó a la impresión 3D de un material plástico por sus ventajas para desarrollar prototipos.
- Determinación de las fuerzas y momentos que actúan sobre el conjunto del dron. Valores como pesos se discutieron en párrafos anteriores, pero para determinar el valor de las fuerzas de empuje que mantienen el dron a flote y los momentos generados por los motores, se utilizó las ecuaciones 2.15 y 2.16 para hacer los cálculos utilizando los datos del sistema de propulsión del fabricante (figura 2.4).

$$F_{empuje} = \frac{\sum W}{n} \quad (2.15)$$

$$F_{empuje} = \frac{T}{r} \quad (2.16)$$

Donde: F_{empuje} es la fuerza de empuje generada por cada hélice para la propulsión del dron; T es el torque generado por cada motor; r corresponde al radio de las hélices; n es el número de brazos con propulsión; $\sum W$ es la sumatoria de pesos de los componentes.

- El diseño de piezas, que partió del cálculo del peso del conjunto para determinar su límite de volumen con los datos del material. Este proceso comenzó con un bloque rectangular hueco que cumplía con las dimensiones límites, y se continúa reduciendo dimensiones y removiendo material para cumplir con el volumen. Además, se complementó con el diseño de soportes usando dimensiones y formas a las del dron.
- Análisis estático de cargas sobre el conjunto, para determinar los puntos susceptibles a fallas debido al efecto de fuerzas de tensión, compresión o cortantes sobre volúmenes infinitesimales del conjunto.

Figura 2.4

Especificaciones del sistema de propulsión del dron

SPECIFICATIONS

Max Thrust	5100 g/rotor (50 V, Sea Level)
Recommended Battery	12S LiPo
Recommended Takeoff Weight	1800 - 2500 g/rotor (Sea Level)
Powertrain Cable Length	750 mm
Compatible Arm Tube Outer Diameter	28 mm
Powertrain Weight (Single)	430 g
Operating Temperature	-10° to 50° C

Nota. Imagen tomada del sitio de información de DJI [75].

2.5 Diseño computacional

El diseño del componente computacional del proyecto incluye la programación del seguidor solar, junto al programa para el procesamiento de los archivos de audio obtenidos desde el nodo central.

2.5.1 Programación del microcontrolador

El proceso de selección y programación del microcontrolador presenta limitaciones debido a las características de cada microcontrolador, como:

- Voltaje de operación.
- Cantidad de memoria RAM, que determina el máximo número y tipo de variables que un programa puede manejar sin colapsar.
- Cantidad de memoria flash, que determina el límite de almacenamiento del programa y librerías compiladas para su uso.

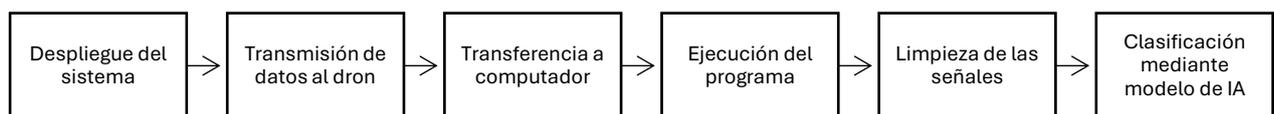
El funcionamiento del programa fue explicado en la sección 2.3.2.

2.5.2 Procesamiento de audio

En la figura 2.5 se observan los pasos necesarios para procesar las grabaciones desde el momento que el sistema se encuentra desplegado sobre un área de bosque hasta la recolección de estos. Sin embargo, este procesamiento requiere de un modelo previamente entrenado que realice la clasificación. El entrenamiento fue realizado siguiendo los pasos descritos en la figura 2.6, utilizando las herramientas y aplicaciones de libre acceso señaladas en la tabla 2.8.

Figura 2.5

Pasos para el procesamiento de las grabaciones



Nota. El despliegue del sistema es realizado una única vez, siendo el resto del proceso cíclico.

Tabla 2.8

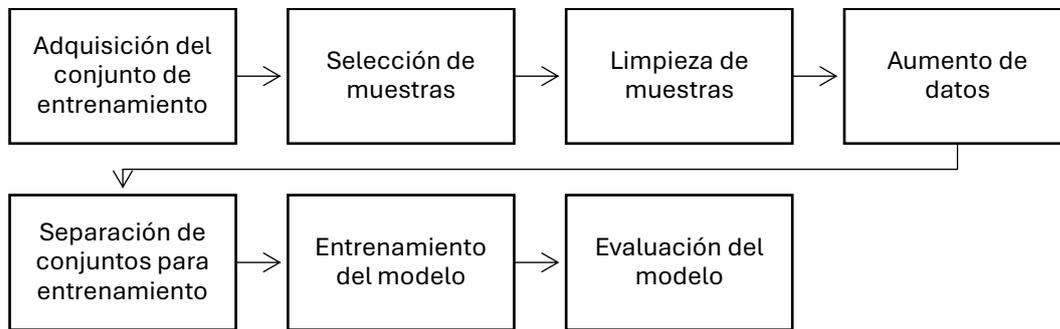
Herramientas utilizadas para aplicaciones de IA

Nombre	Versión	Aplicación
Python	3.10.12	Lenguaje de programación
Google Colab	2024-11-11	Entorno de programación y servidor de ejecución
Tensorflow	2.17.1	Paquete de Python para inteligencia artificial
Librosa	0.10.2.post1	Paquete de Python para manipulación de audio
FFmpeg	6.1.1	Paquete para manipulación de archivos multimedia
Numpy	1.26.4	Paquete de Python para manipulación matemática multidimensional
Scikit-learn	1.5.2	Paquete de Python para herramientas de aprendizaje de máquina
Scipy	1.13.1	Paquete de Python para computación científica
Noisereducer	3.0.3	Paquete de Python para reducción de ruido en audio

Nota. La versión de los paquetes de Python refleja el entorno de Google Colab.

Figura 2.6

Pasos para el entrenamiento de una CNN para clasificación de audio



Nota. El despliegue del sistema es realizado una única vez, siendo el resto del proceso cíclico.

- **Adquisición del conjunto de entrenamiento:** Un conjunto de datos para entrenamiento fue necesario, para lo cual se empleó muestras a una frecuencia de 44100 Hz del conjunto de *Xeno-canto* [73] disponible en *Kaggle.com* [74], conteniendo especies de aves pertenecientes al Reino Unido.
- **Selección de muestras:** Mediante revisión manual de cada archivo de audio se descartaron aquellos con altos niveles de ruido, largas porciones en silencio, o una duración muy corta. Las muestras consideradas relevantes se recortaron usando *FFmpeg* a 2 segundos para tener una duración homogénea entre el conjunto.
- **Limpieza de muestras:** Usando paquete como *Scipy* y *Reducenoise*, se reduce el ruido de los archivos y se remueve frecuencias elevadas mediante un filtro.
- **Aumento de datos:** Usando *Librosa*, se realizan modificaciones como desplazamiento y cambio de velocidad a las muestras para generar y aumentar el número de muestras usadas para el entrenamiento.
- **Separación de conjuntos de entrenamiento:** Usando *Scikit-learn*, se separó a las muestras en conjuntos para entrenamiento, validación y prueba.
- **Entrenamiento del modelo:** Para la fase de entrenamiento, los archivos de audio fueron cargados como imágenes en forma de espectrogramas que los representan. Durante el

entrenamiento se ajustan parámetros como número de épocas, número de muestras y función de error para repetir el procedimiento múltiples veces hasta obtener el mejor resultado.

- Evaluación del modelo: En cada ciclo de entrenamiento, se realizan predicciones con el nuevo modelo de clasificación sobre el conjunto de prueba para obtener las métricas de evaluación.

Capítulo 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Dimensionamiento del sistema eléctrico

Los resultados más relevantes de la aplicación de las fórmulas revisadas en la sección 2.2.3 y que se pueden observar siendo aplicadas en el Apéndice A se resumieron en la tabla 3.1. El área de panel calculada permite obtener las dimensiones 25 cm x 25 cm como un aproximado por encima de aquel valor, pero también se pueden determinar otras dimensiones válidas a través de paneles comercialmente disponibles para la selección.

Tabla 3.1

Resultados de los cálculos eléctricos

Variable	Valor	Unidad
Potencia del nodo central	1	W
Potencia mínima del panel	3.75	W
Potencia eléctrica diaria promedio	22.5	W/m ²
Área mínima panel	444.44	cm ²
Capacidad mínima batería	67.2	Ah

Basado en los resultados teóricos obtenidos y las propiedades de los dispositivos discutidas en el capítulo 2, se propone la siguiente selección de componentes eléctricos y electrónicos basado en elementos disponibles en el mercado:

- Controlador de carga solar 12/24V. Estos dispositivos se encuentran con estos valores con cambios en la corriente máxima que permiten.
- Batería de litio de 12 V, 100 Ah. La selección se realiza por la extendida vida útil de las baterías de litio frente a ciclos de carga y descarga.
- Paneles solares 6/12 V, 5 W. Para cumplir los requisitos de dimensiones, se puede conectar múltiples paneles mediante una conexión en paralelo en el caso de paneles de 12V, y en una combinación serie y paralelo para alcanzar el requisito de entrada del controlador solar.

- Elementos de protección como diodos para garantizar la circulación en una dirección de la corriente en las líneas de entrada y de la carga del controlador.
- Regulador de voltaje 5V (LM7805), para garantizar un voltaje de alimentación para la parte electrónica.
- Capacitores y resistencias, para reducir el contenido de corriente alterna que pueda existir en las líneas del sistema, y regular la corriente dentro del circuito de salida.
- Microcontrolador Arduino Uno, u otros microcontroladores que trabajen con 5 V o menos, y tengan compatibilidad con los módulos y librerías empleados.
- Módulo GPS NEO-6M, componente de bajo costo y compatible con Arduino, compatible con el protocolo de comunicación UART (Receptor/Transmisor Asíncrono Universal).
- Módulo RTC DS3231, compatible con Arduino y disponible ampliamente, utiliza el protocolo I2C (Circuito Inter-Integrado) para su comunicación con el microcontrolador.

Cabe mencionar que el regulador de voltaje de 5 V puede ser opcional en la instalación final del sistema eléctrico, pues existe la posibilidad de que el controlador de carga posea puertos USB de salida, permitiendo la alimentación directa de los dispositivos como el nodo central y el microcontrolador. El esquemático que permite visualizar la conexión precisa de los elementos se puede encontrar en el Apéndice C.

3.2 Propuesta de diseño del seguidor solar

El primer resultado necesario para el diseño del mecanismo fue derivado de las dimensiones propuestas para el panel solar, permitiendo obtener valores de peso desde elementos en venta. Así, con un peso límite de 5kg de los paneles solares, se seleccionó un modelo de servomotor como actuador:

- TD8120MG 20kg 180°, motor con masa aproximada de 56 g, dimensiones 40.0 x 20.5 x 40.5 mm. Requiere un voltaje de operación de 5 V y una corriente máxima de 2.7 A, los cuales se pueden suministrar desde el controlador de carga.

Además, para el seguidor de 2 ejes se realizó la propuesta de un mecanismo basado en un brazo robótico con 2 grados de libertad, permitiendo el giro horizontal mediante un motor instalado en la base (volumen blanco en la figura 3.1), y el giro vertical con un motor instalado en el codo (volumen blanco en la figura 3.2). Para la transmisión del movimiento angular desde los motores se planteó el uso de los accesorios del servomotor sobre el componente de soporte, con tal de que permita un ajuste suficiente del tornillo en el eje del servomotor para realizar un giro.

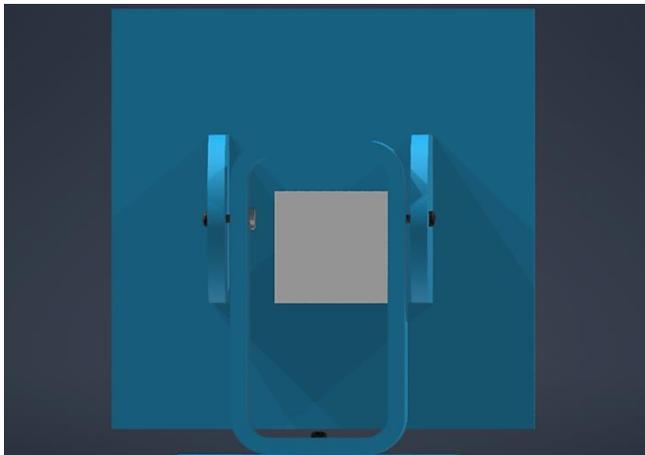
Figura 3.1

Posición del motor para movimiento horizontal



Figura 3.2

Posición del motor para movimiento vertical



El modelo de ejemplo demostrado en la figura 3.3 contiene eslabones abiertos que permiten la instalación de los motores, con la intención de ser sellado después instalación para proteger los elementos internos. Medidas específicas de este modelo en el producto final resultan dependientes de los valores de peso de los paneles solares, controlador, y otros componentes adquiridos, además de sus posiciones con respecto al mecanismo y los elementos de fijación utilizados.

Adicionalmente, se pudo definir una característica del material de fabricación, que fue una resistencia a temperaturas superiores a 40°, debido a su prolongada exposición al sol. Así, se definió al plástico PLA como una opción debido a su potencial para la fabricación de prototipos rápidos por impresión 3D y su resistencia térmica de temperaturas hasta 50°C.

Figura 3.3

Propuesta de soporte para el seguidor solar



3.3 Propuesta de diseño de accesorios

Mediante la selección de plástico PLA como material debido a su resistencia térmica de temperaturas hasta 50°C y baja densidad de 1.24 g/cm^3 , y siguiendo el procedimiento descrito en la sección 2.4.2, se identificó las fuerzas verticales experimentadas por el dron (figura 3.4), lo que permitió realizar las operaciones para determinar las fuerzas y momentos necesarios para la simulación estática, con los cálculos detallados ubicados en la tabla 3.2 y en el apéndice A.

Figura 3.4

Fuerzas verticales sobre el dron

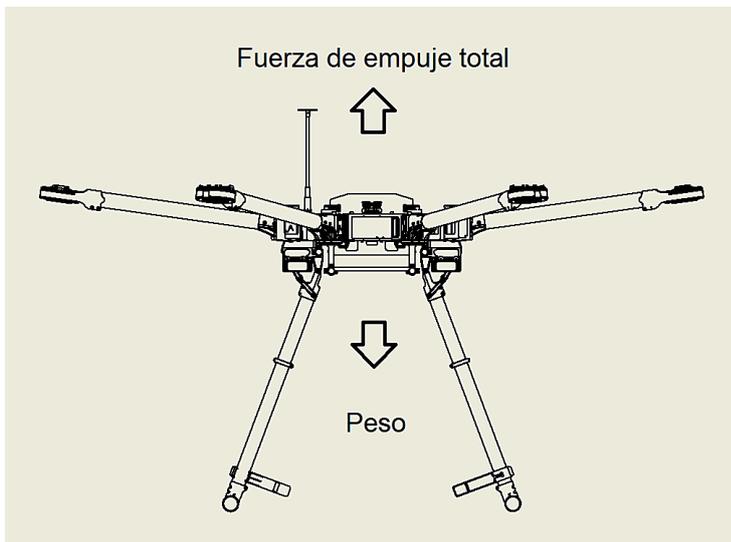


Tabla 3.2

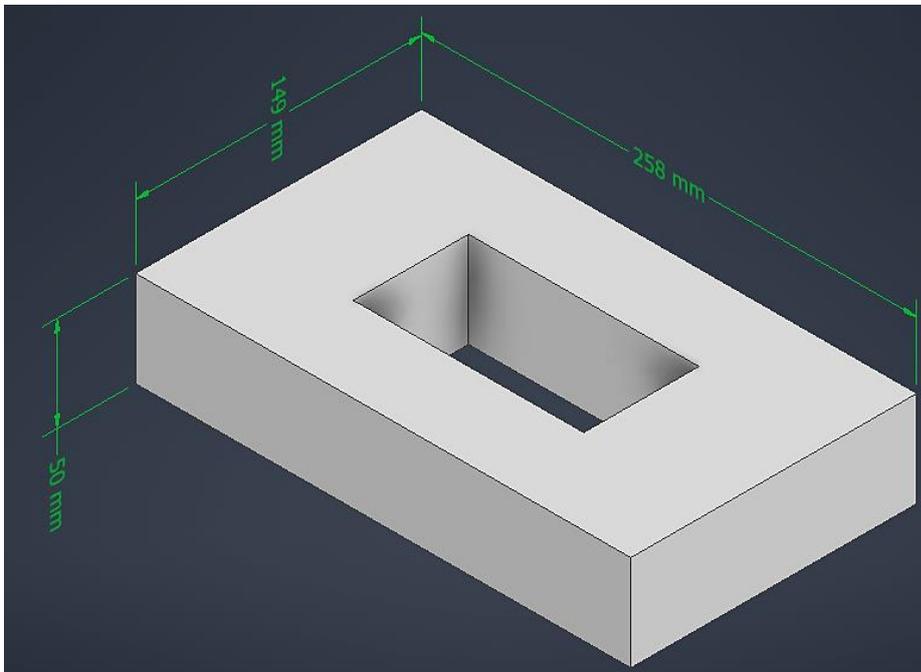
Valores para el diseño de accesorios

Variable	Valor	Unidad
Fuerza de empuje por motor	2.583	N
Momento generado por motor	6.759	N m
Masa máxima del diseño	0.8	kg
Masa mínima del diseño	0.3	kg
Masa del ensamble	0.48	kg

Además de calcular las fuerzas, se determinó el intervalo límite de masas del conjunto de accesorios, con lo que se realizó un diseño base para poder empezar a trabajar en el entorno de simulación. El diseño inicial (figura 3.5) partió con las medidas límites dadas por los volúmenes descritos en la sección 2.4.2, desde el cual se redujo dimensiones y eliminó secciones hasta llegar a una propuesta final. Las medidas detalladas del diseño final pueden encontrarse descritas en los planos en el apéndice C.

Figura 3.5

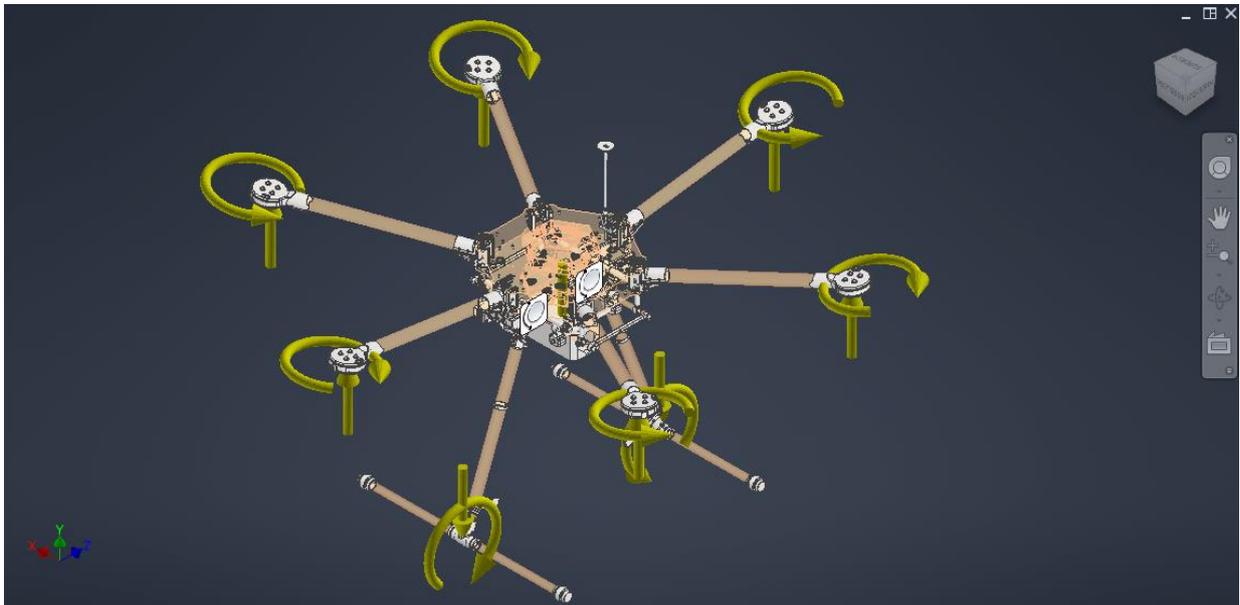
Volumen inicial del diseño



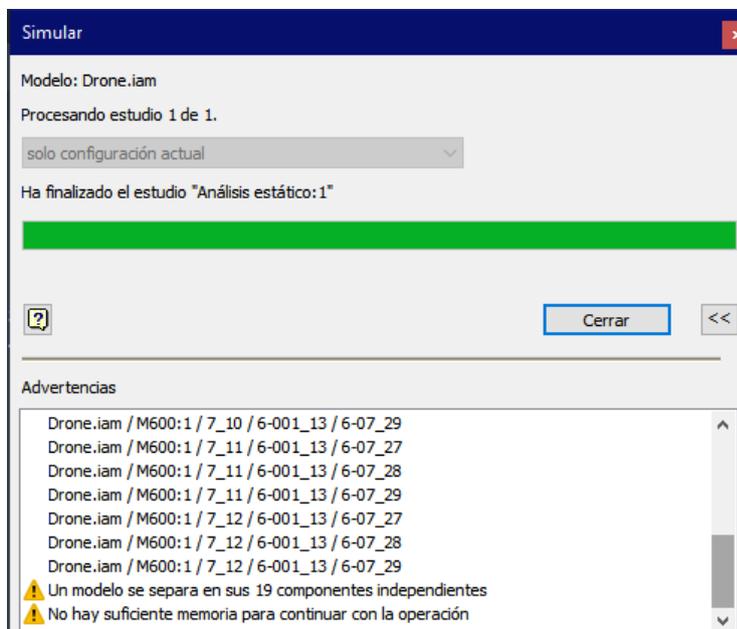
Con las cargas y momentos ubicados sobre el modelo del conjunto completo (figura 3.6), la simulación fue configurada y ejecutada, sólo para no poder calcular todos los resultados por límites del hardware del dispositivo usado para el estudio (figura 3.7).

Figura 3.6

Configuración de la simulación

**Figura 3.7**

Resultado de la simulación

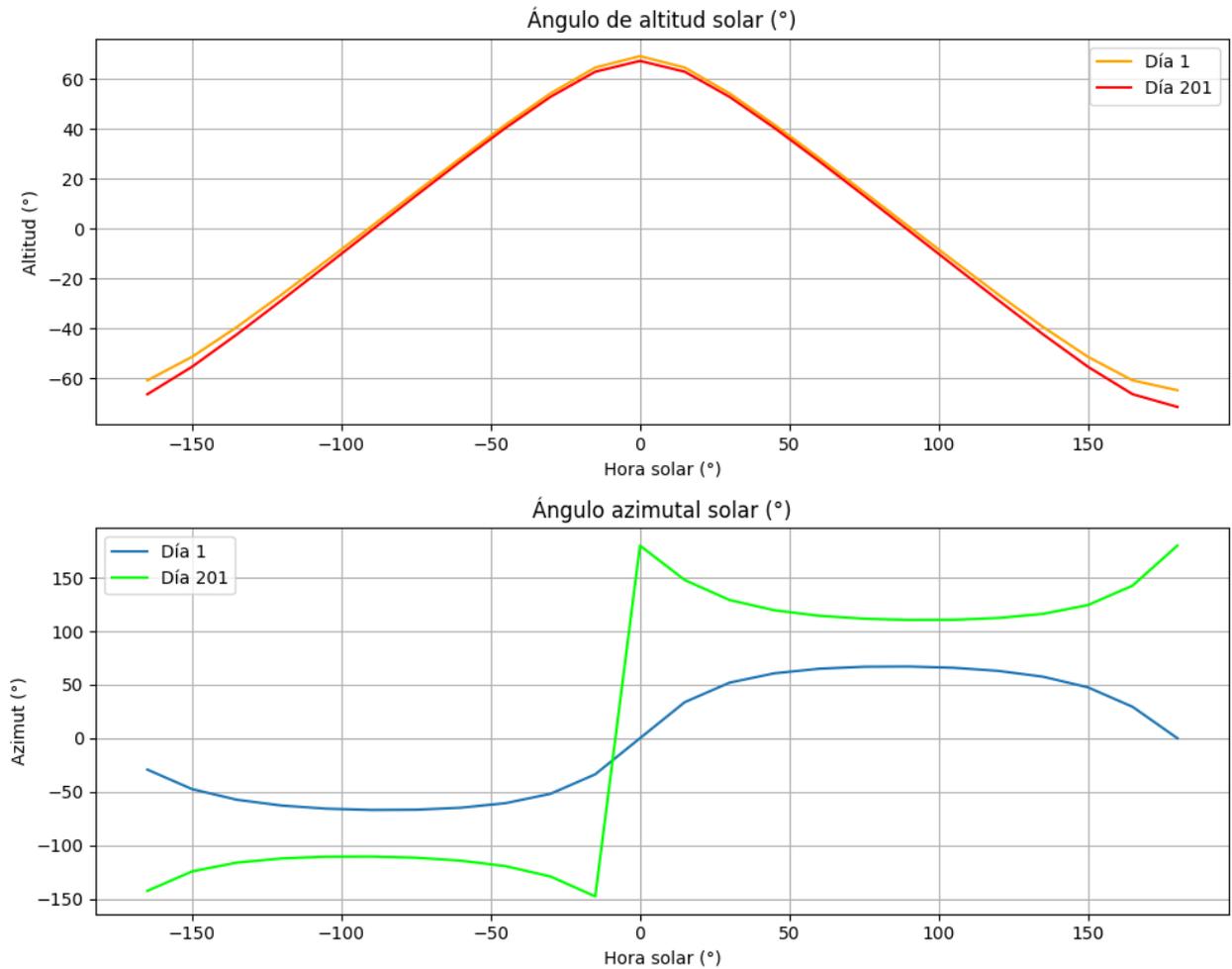


3.4 Programación

3.4.1 Algoritmo de seguimiento solar

Para el análisis del algoritmo, se realizaron los cálculos de los ángulos aplicando las ecuaciones 2.8 hasta 2.11 y considerando la latitud -2.152724 en la ciudad de Guayaquil. Los resultados mostrados en la figura 3.8 reflejan los valores de los ángulos de altitud y azimutal en un período de 24 horas para los días 1 y 201 de un año cualquiera.

Mientras que se pudo observar una similitud en los valores de altitud en dos días diferentes, los valores de azimut en el día 1 pertenecían a un rango entre -90° y 90° que refleja el movimiento solar de este a oeste, en el día 201 los valores saltaron a un rango entre -180° y 180° , con un claro salto en el valor correspondiente a la hora solar de 0° . Resultados en estos rangos se atribuyeron al uso de funciones trigonométricas para la ejecución de los cálculos.

Figura 3.8*Trayectoria solar calculada en Guayaquil*

Nota. El eje horizontal representa cada hora del día como un incremento de 15° , con 0° correspondiente al mediodía.

Dadas las características del algoritmo para controlar servomotores en posiciones angulares entre -90° y 90° , el programa requirió de modificaciones para lograr este ajuste, realizadas también para obtener una curva apropiada para el movimiento este a oeste. Aplicando las líneas de código de la figura 3.9, los resultados de altitud y azimut obtenidos fueron los descritos en la figura 3.10.

Figura 3.9

Código para el ajuste del ángulo azimutal

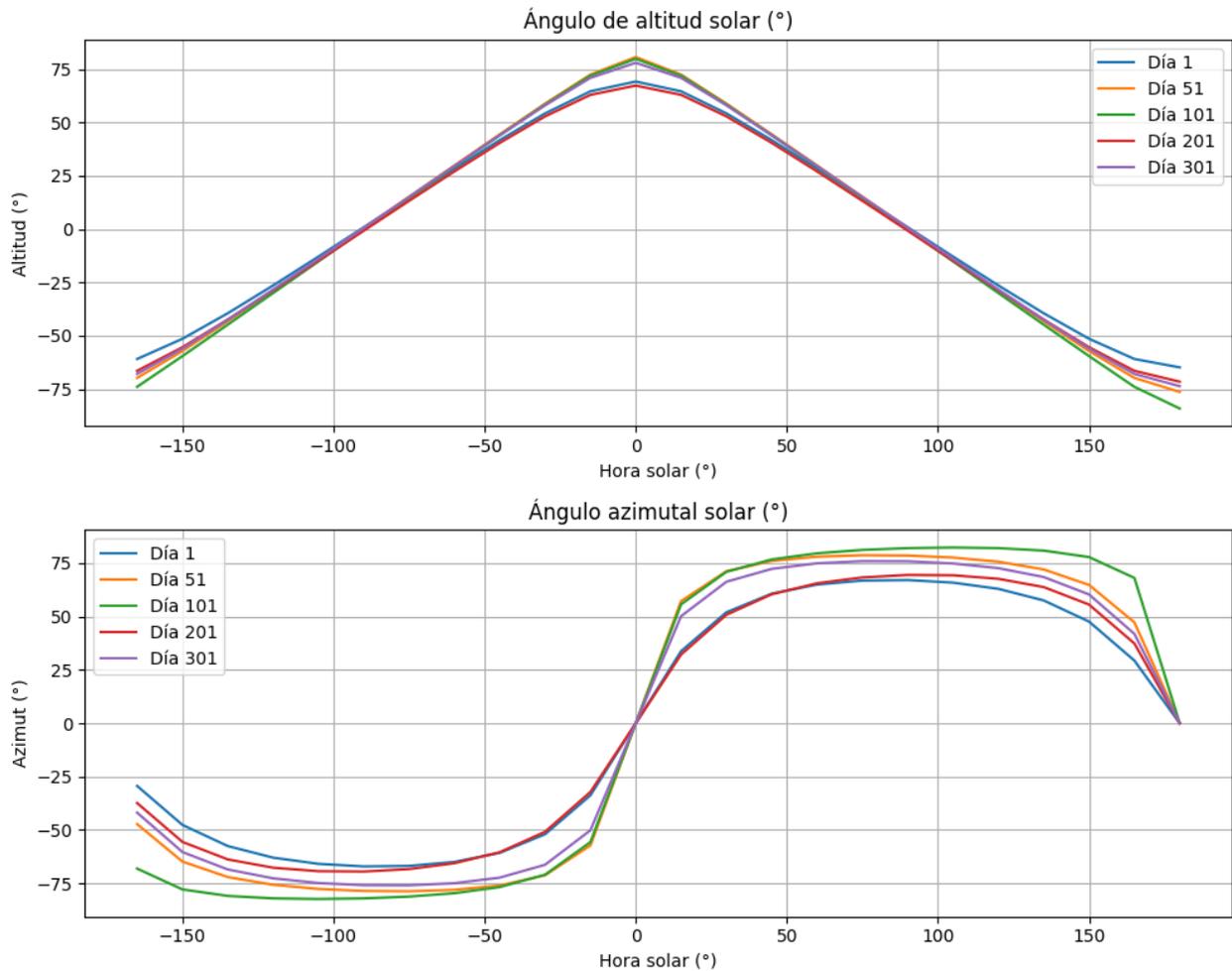
```

if (azimuth > 180.0 || azimuth < -180.0) {
  if (H < 0.0 && azimuth < 0.0) {
    azimuth = -azimuth - 180.0;
  } else if (H < 0.0 && azimuth > 0.0) {
    azimuth -= 180.0;
  } else if (H > 0.0 && azimuth < 0.0) {
    azimuth += 180.0;
  } else if (H > 0.0 && azimuth > 0.0) {
    azimuth = 180.0 - azimuth;
  }
}

```

Figura 3.10

Resultado del ajuste de la trayectoria solar



Nota. La transición de valores del ángulo azimutal corresponde a una mejor representación de la transición este a oeste.

3.4.2 Entrenamiento del modelo de clasificación por IA

Durante el entrenamiento se realizaron múltiples iteraciones con diferentes lotes y número de épocas de entrenamiento, además de realizar modificaciones en el número de capas convolucionales y densas que componen la red neuronal, además de sus características internas. Los resultados expuestos en las tablas 3.3 hasta la 3.6 demuestran los valores de precisión obtenidos durante la última época de entrenamiento de los modelos tipo 1 (figura 3.11) y tipo 2 (figura 3.12).

Figura 3.11

Modelo tipo 1

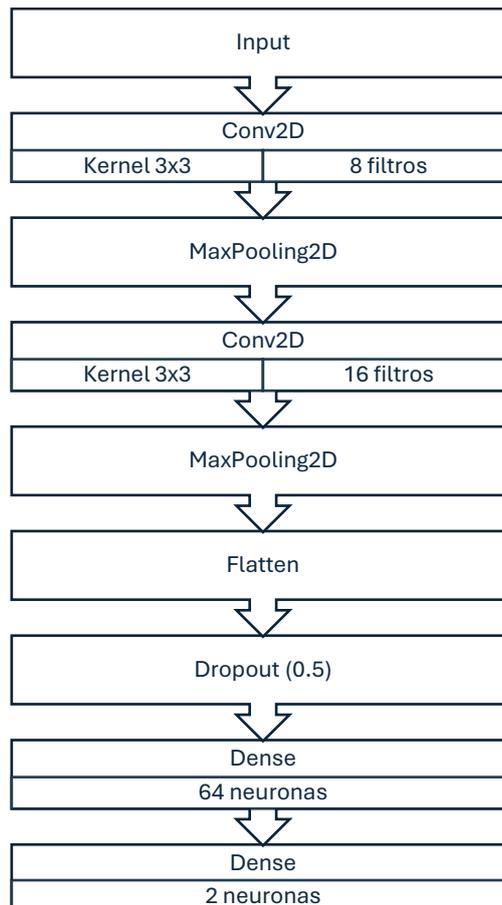
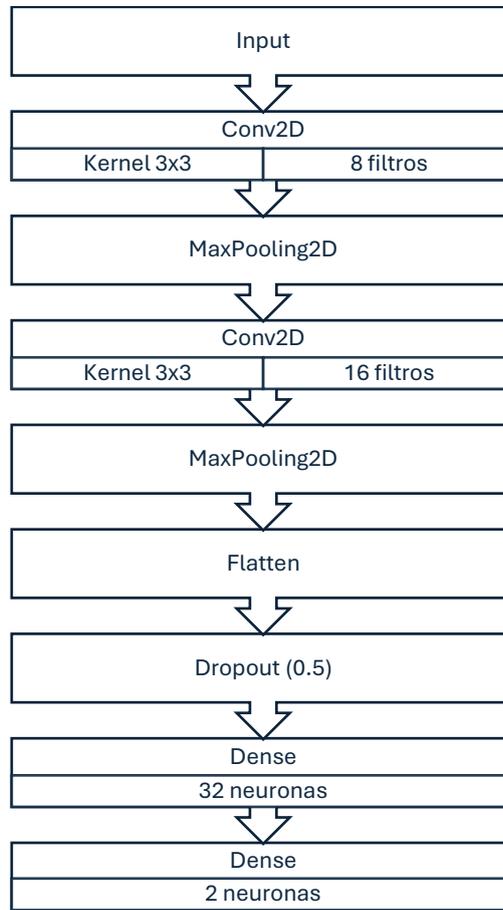


Figura 3.12*Modelo tipo 2***Tabla 3.3***Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 1, 30 % del conjunto para validación*

Tamaño del lote	Número de épocas					
	Precisión durante el entrenamiento/validación					
	5	10	15	20	25	30
8	0.9714	0.5048	0.9905	0.9986	0.9810	0.9932
	0.9587	0.4476	0.9619	0.9587	0.9492	0.9619
16	0.9946	0.9878	0.5048	0.9973	0.9905	0.9891
	0.9714	0.9714	0.4476	0.9714	0.9683	0.9524
32	0.9184	0.9918	0.9973	0.9986	0.9891	1.000
	0.9238	0.9746	0.9683	0.9683	0.9556	0.9841
64	0.4952	0.5048	0.9782	0.4952	0.9986	0.5048
	0.5524	0.4476	0.9524	0.5524	0.9714	0.4476

Tabla 3.4*Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 1, 20 % del conjunto para validación*

Tamaño del lote	Número de épocas					
	Precisión durante el entrenamiento/validación					
	5	10	15	20	25	30
8	0.9385	0.9990	0.9958	0.9937	0.9906	0.9625
	0.9083	0.9542	0.9375	0.9625	0.9833	0.9250
16	0.9115	0.9833	0.9906	1.0000	0.9958	0.5010
	0.9208	0.9667	0.9708	0.9708	0.9750	0.5375
32	0.4990	0.9646	0.4781	0.9844	1.0000	0.5010
	0.4625	0.9417	0.5375	0.9417	0.9875	0.5375
64	0.5010	0.5010	0.4990	0.5010	0.4740	0.9927
	0.5375	0.5375	0.4625	0.5375	0.4625	0.9750

Tabla 3.5*Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 2, 20 % del conjunto para validación*

Tamaño del lote	Número de épocas					
	Precisión durante el entrenamiento/validación					
	5	10	15	20	25	30
8	0.9802	0.9677	0.5010	0.4844	0.5010	0.5010
	0.9500	0.9167	0.5375	0.5375	0.5375	0.5375
16	0.9458	0.4969	0.4802	0.9990	1.0000	0.9979
	0.9042	0.5375	0.5375	0.9208	0.9500	0.9625
32	0.4906	0.9594	0.9979	0.9979	0.9979	0.9990
	0.5375	0.9458	0.9583	0.9542	0.9500	0.9583
64	0.5010	0.4990	0.5010	0.5010	0.5010	0.5010
	0.5375	0.4625	0.5375	0.5375	0.5375	0.5375

Tabla 3.6*Precisión del entrenamiento iterativo del modelo tipo 2, 30 % del conjunto para validación*

Tamaño del lote	Número de épocas					
	Precisión durante el entrenamiento/validación					
	5	10	15	20	25	30
8	0.9701	0.5048	0.5048	1.0000	0.9769	0.5048
	0.9302	0.4476	0.4476	0.9333	0.9492	0.4476
16	0.5048	0.9973	0.9878	1.0000	0.5048	0.9918
	0.4476	0.8889	0.9397	0.9524	0.4476	0.9429
32	0.5048	0.9823	1.0000	0.9973	0.5048	0.9932
	0.4476	0.9492	0.9365	0.9524	0.4476	0.9556
64	0.9170	0.5048	0.5048	0.5048	0.5048	0.5048
	0.8825	0.4476	0.4476	0.4476	0.4476	0.4476

Observaciones notables sobre el comportamiento de los modelos durante el entrenamiento fueron precisiones muy bajas o altas a medida que el número de épocas y de muestras en el lote incrementan, mostrando una tendencia menos pronunciada en los valores centrales de la tabla. Los rangos óptimos para el entrenamiento extraídos desde las tablas 3.3 a 3.6 fueron épocas de entrenamiento entre 15 y 20, acompañado de tamaños de lote entre 16 y 32.

Adicionalmente, factores como la cantidad y calidad en la representación de las muestras y las características del modelo pueden ser culpables también de valores extremos que perjudican la capacidad de generalización de los modelos de clasificación. Los modelos fueron además evaluados mediante matrices de confusión sobre grupos separados de datos de prueba, cuyos resultados se encuentran en el Apéndice B.

3.4.3 Procesamiento de datos

Utilizando Python como herramienta de programación, se desarrolló un conjunto de funciones destinadas para procesar y clasificar los datos. Las funciones son descritas a continuación:

- `Organize_files`: La función se encarga de buscar los archivos de texto y audio extraídos del dispositivo recolector hacia una carpeta determinada, y clasifica los archivos en carpetas de audio y datos textuales.
- `Copy_measurements`: Crea una copia de los datos de texto dentro de su carpeta, para mantener el estado de los archivos originales y realizar operaciones sobre este conjunto copiado.
- `Predict_audio`: Realiza predicciones sobre la carpeta de audios, cargando los archivos en segmentos de 2 segundos para predecir su clase, y registrar los cambios de predicciones en archivos de texto junto al tiempo de esta predicción.
- `Remove_outliers`: Elimina los datos extremos de una tabla de datos mediante el cálculo del rango intercuartílico del grupo de datos.
- `Imput_data`: Genera datos para reemplazar los datos vacíos en una tabla de datos, mediante predicción de K-vecinos cercanos.
- `Create_dataframe`: Abre los contenidos de la carpeta de copias de archivos de texto para procesar los datos de las mediciones al aplicar las funciones `remove_outliers` e `imput_data`, sobrescribiendo los datos procesados en cada archivo.

3.5 Análisis de costos

Para el desarrollo del análisis de costos, se tomaron en consideración los componentes y materiales necesarios para la implementación y manufactura de los elementos desarrollados en el proyecto, además de costos de mano de obra para un individuo, y se incluyen los costos de equipos necesarios para la repetición de la simulación en un entorno con mayor capacidad de procesamiento. Los costos se detallan a continuación en la tabla 3.6:

Tabla 3.7*Costos de implementación del proyecto*

Elemento	Precio (\$)	Cantidad	Subtotal (\$)
Panel solar 5 W	35	2	70
Batería 12 V	160	1	230
Controlador de carga	30	1	260
Arduino Uno	16	1	276
Servomotor	25	2	326
Módulo GPS	12	1	338
Módulo RTC	7	1	345
Regulador de voltaje	2	1	347
Electrónica miscelánea	30	1	377
Computador 16 GB RAM	620	1	997
Licencia 1 año software de diseño	2500	1	3497
Impresora 3D	800	1	4297
1 kg resina PLA	27	6	4459
Mano de obra	500	1	4959

Capítulo 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se logró la conceptualización y el dimensionamiento de sistemas y componentes, usando: herramientas de software para el sistema computacional de procesamiento, clasificación de audio y de las mediciones ambientales obtenidas por los sensores; herramientas de diseño para el proceso de dibujo en dos y tres dimensiones de piezas y ensambles para la generación de planos para su producción; y la aplicación de teoría para el dimensionamiento de componentes para un sistema eléctrico.
- Mediante el uso de ecuaciones teóricas, requerimientos y limitaciones, se desarrolló una propuesta de un sistema de almacenamiento de energía solar que puede suplir las necesidades energéticas de una tarjeta Raspberry Pi que actúa como nodo central para el monitoreo de un área de bosque. Los cálculos fueron sobredimensionados desde las necesidades iniciales del nodo para garantizar su operación continua incluso en períodos con baja producción de energía solar, proponiendo elementos disponibles en el mercado que satisfacen estos escenarios. Además, se realizó la propuesta de un mecanismo para la construcción de un seguidor solar de dos ejes, explicando el algoritmo y la programación de un Arduino Uno para obtener resultados dentro de los límites de desplazamiento de los componentes.
- Se propuso una serie de pasos para el diseño de accesorios para el dron Matrice 600 Pro, demostrando el procedimiento para el dimensionamiento de las partes, encontrando inconvenientes para producir resultados durante el análisis de elementos finitos de la simulación de esfuerzos debido a limitaciones de hardware. Así, no es posible concluir sobre las potenciales fallas sobre el diseño, sin embargo, se determinó que el conocimiento de los límites de vuelo y las propiedades físicas del material seleccionado son suficientes para realizar bocetos de piezas.

- Mediante la iteración sobre el plan de diseño de la red neuronal, se determinó un rango óptimo de hiperparámetros para el entrenamiento de modelos sobre el conjunto seleccionado, con la intención de mejorar la generalización de estos. Así, se entrenó múltiples redes neuronales para la clasificación de muestras de ruido ambiental y actividad en un bosque, listas para ser evaluadas con datos frescos provenientes de la recolección.

4.2 Recomendaciones

- Uno de los principales factores en el vuelo de un dron es el comportamiento de las corrientes y otras condiciones atmosféricas que provocan un mayor requerimiento de trabajo para el desplazamiento hacia el objetivo. Durante el análisis conceptual de fuerzas realizado para el diseño de los componentes del dron, se propusieron condiciones ideales debido a limitaciones conceptuales y de software. Sin embargo, el análisis aerodinámico sobre las partes generadas y sus efectos sobre el proceso de diseño es un campo que se podría abarcar en el futuro.
- El tiempo del vuelo del dron es dependiente de la capacidad de las baterías y del peso levantado, haciendo necesario el estudio y desarrollo de un modelo que permita describir el tiempo de vuelo relacionando estas variables para mejorar las características de los diseños según las condiciones estimadas.
- Bajo el conocimiento que las redes neuronales convolucionales en este trabajo fueron entrenadas con especies de aves foráneas de un conjunto de datos público, se recomienda el entrenamiento y evaluación de nuevos modelos de clasificación basados en las muestras capturadas después de la instalación del sistema, para comparación y evaluación de los resultados.

REFERENCIAS

- [1] “¿Qué es la eficiencia energética de los paneles solares?”, *Enel X*. [En línea]. Disponible en: <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/are-solar-panels-energy-efficient> . [Consultado: 03-nov-2024].
- [2] “SunFields”, SunFields | Expertos en Energía Fotovoltaica para Ahorro Energético en España, 03-dic-2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/> . [Consultado: 03-nov-2024].
- [3] Conservation International. “Biodiversity Hotspots.” Conservation International. <https://www.conservation.org/priorities/biodiversity-hotspots> (accessed Oct. 28, 2024).
- [4] Conservation International. “Explore the Biodiversity Hotspots.” Critical Ecosystem Partnership Fund. <https://www.cepf.net/our-work/biodiversity-hotspots> (accessed Oct. 28, 2024).
- [5] Escuela Superior Politécnica del Litoral. “Acerca del CIDIS.” CIDIS. <https://www.cidis.espol.edu.ec/es/acerca-del-cidis> (accessed Oct. 28, 2024).
- [6] F. R. Riccio Anastacio, “Seguidor solar a dos ejes cuya posición se calcula utilizando los ángulos de elevación y Azimut del sol en Guayaquil”, *Anál. comport. las líneas crédito través corp. financ. nac. su aporte al desarro. las PYMES Guayaquil 2011-2015*, vol. 6, núm. 1, pp. 225–231, 2022.
- [7] Grupo Banco Mundial. “Ecuador.” Grupo Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/pais/ecuador?view=chart> (accessed Oct. 28, 2024).
- [8] H. V. Abeywickrama, B. A. Jayawickrama, Y. He and E. Dutkiewicz, "Comprehensive Energy Consumption Model for Unmanned Aerial Vehicles, Based on Empirical Studies of Battery Performance," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 58383-58394, 2018. Accessed: Oct. 28, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2875040. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8486942>
- [9] H. V. Abeywickrama, B. A. Jayawickrama, Y. He and E. Dutkiewicz, "Empirical Power Consumption Model for UAVs," *2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, Chicago, IL, USA, 2018, pp. 1-5. Accessed: Oct. 28, 2024, doi: 10.1109/VTCFall.2018.8690666. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8690666>
- [10] J. O. M. Fuertes y V. T. mi Perfil, “SISTEMA FOTOVOLTAICO”, Blogspot.com. [En línea]. Disponible en: <https://alternativarenovable.blogspot.com/2015/02/sistema-fotovoltaico.html>. [Consultado: 03-nov-2024].

- [11] M. Carbonell, “¿Cuál es el rendimiento de las placas solares fotovoltaicas?”, Hogarsense.es, 02-feb-2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.hogarsense.es/placas-solares/rendimiento-panel-solar> . [Consultado: 03-nov-2024].
- [12] Naciones Unidas en Ecuador. “Objetivos de Desarrollo Sostenible.” Naciones Unidas en Ecuador. <https://ecuador.un.org/es/sdgs> (accessed Oct. 28, 2024).
- [13] Netusta. “Increíble métodos de comunicación para Raspberry Pi y Arduino.” Netusta. <https://www.netusta.net/comunicacion-para-raspberry-pi-y-arduino/> (accessed Feb. 22, 2024).
- [14] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. “Acuerdo N° 52 – Directrices institucionales para el funcionamiento del Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques del Ecuador (SNMB).” FAO. <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC197189/> (accessed Oct. 28, 2024).
- [15] P. Constantino and A. Cruz, “Introducción,” in *Monitoreo de la biodiversidad en América Latina: Panorama y recomendaciones para estructurar una iniciativa*, 1st ed. Brasília, DF, Brasil: GKNORONHA, 2016, pp. 36-37. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299799057_Monitoreo_de_la_biodiversidad_en_America_Lativa_Panorama_y_recomendaciones_para_estructurar_una_iniciativa
- [16] P. Reis. “Situação global das energias renováveis e a transformação do setor elétrico.” Portal Energia. *Portal Energia*, 04-jun-2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.portal-energia.com/energias-renovaveis-transformacao-setor-eletrico/> . [Consultado: 03-nov-2024].
- [17] R. Butler. “Countries with the most species.” World Rainforests. https://worldrainforests.com/03highest_biodiversity.htm (accessed Oct. 28, 2024).
- [18] R. Krishnamurthi, “An Overview of IoT Sensor Data Processing, Fusion and Analysis Techniques,” *Sensors*, vol. 20, no. 21, 2020, Art. no. 6076. Accessed: Oct. 28, 2024, doi: 10.3390/s20216076. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/21/6076>
- [19] R. Vargas-Masís, D. Segura-Sequeira, D. Alfaro-Rojas and D. R. Díaz, "Automated bird acoustic detection at Las Arrieras Nature Reserve in Sarapiquí, Costa Rica," *2022 IEEE 4th International Conference on BioInspired Processing (BIP)*, Cartago, Costa Rica, 2022, pp. 1-8. Accessed: Oct. 28, 2024, doi: 10.1109/BIP56202.2022.10032472. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10032472>

- [20] R. Vargas-Masís, D. Segura-Sequeira, E. Mendoza-Garro and D. Vargas-López, “Acoustic detection of Red-capped Manakin (*Ceratopipra mentalis*) in Sarapiquí, Costa Rica,” *2021 IEEE 3rd International Conference on BioInspired Processing (BIP)*, Cartago, Costa Rica, 2021, pp. 1-5. Accessed: Oct. 28, 2024, doi: 10.1109/BIP53678.2021.9613055. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9613055>
- [21] S. -h. Zhang, Z. Zhao, Z. -y. Xu, K. Bellisario and B. C. Pijanowski, “Automatic Bird Vocalization Identification Based on Fusion of Spectral Pattern and Texture Features,” *2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Calgary, AB, Canada, 2018, pp. 271-275. Accessed: Oct. 28, 2024, doi: 10.1109/ICASSP.2018.8462156. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8462156>
- [22] V. R. R. Jesús, “Análisis del comportamiento de la precipitación y su relación con la temperatura en la ciudad de Quito, entre los años 2009-2019”, UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, Guayaquil, Ecuador, 2021].
- [23] FAO, *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados*. Roma, Italia: FAO, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca8753es>
- [24] FAO and UNEP, *El estado de los bosques del mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Rome, Italy: FAO and UNEP, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca8642es>
- [25] A. McMurray, F. Casarim, B. Bernal, T. Pearson, and G. Sidman, “Los servicios ecosistémicos de los bosques tropicales y un marco propuesto para evaluarlos,” Winrock International, Germany, 2017. Accessed: Nov. 19, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://winrock.org/wp-content/uploads/2018/02/Marco-servicios-ecosistemicos-28122917.pdf>
- [26] FAO. “Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020.” FAO. <https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/es/> (accessed Nov. 19, 2024).
- [27] Naciones Unidas. “Bosques, desertificación y diversidad biológica – Desarrollo Sostenible.” Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/biodiversity/> (accessed Nov. 19, 2024).

- [28] FAO. “Monitorear los bosques del mundo.” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/monitoring-world-forests/es/> (accessed Nov. 19, 2024).
- [29] A. Paz. ““1481 aves en el mundo están en peligro de extinción” | Entrevista a Stuart Butchart.” Mongabay. <https://es.mongabay.com/2021/03/conservacion-de-aves-colombia-latinoamerica/> (accessed Nov. 19, 2024).
- [30] Avibase. “Avibase – La base de datos de aves del mundo.” Avibase. <https://avibase.bsc-eoc.org/avibase.jsp?lang=ES> (accessed Nov. 19, 2024).
- [31] J. Calvo. “Monitoreo participativo de aves: una herramienta para la gestión de territorios y de servicios ecosistémicos urbanos.” TEVU – Transición hacia una economía verde urbana. <https://www.tevucr.org/node/53> (accessed Nov. 19, 2024).
- [32] BirdLife International. “Who We Are.” BirdLife International. <https://www.birdlife.org/who-we-are/> (accessed: Nov. 19, 2024).
- [33] SEO/BirdLife. “Quiénes somos.” SEO/BirdLife. <https://seo.org/quienes-somos/> (accessed: Nov. 19, 2024).
- [34] Wildlife Conservation Society. “About Us.” WCS.org. <https://www.wcs.org/about-us> (accessed: Nov. 19, 2024).
- [35] Fundación Charles Darwin. “Conservación de Aves Terrestres.” Charles Darwin Foundation. <https://www.darwinfoundation.org/es/nuestro-trabajo/tierra/conservacion-de-aves-terrestres/> (accessed: Nov. 19, 2024).
- [36] L. Arreaga and A. Larreátegui, “Optimización de Redes de Sensores Agrícolas con Topología de Malla,” B.S. thesis, Dept. Telem. Eng., ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2024.
- [37] H. García and P. Molina, “Diseño de un sistema fotovoltaico a través de la gestión activa de la demanda energética,” B.S. thesis, Dept. Elect. Eng., ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2017.
- [38] Open Acoustic Devices. “AudioMoth.” Open Acoustic Devices. <https://www.openacousticdevices.info/audiomoth> (accessed: Nov. 22, 2024).
- [39] Nautilus Oceanica. “Song Meter Micro 2.” Nautilus Oceanica. <https://www.nautilusoceanica.com/producto/song-meter-micro-2/> (accessed: Nov. 22, 2024).
- [40] Nautilus Oceanica. “Song Meter SM4.” Nautilus Oceanica. <https://www.nautilusoceanica.com/producto/song-meter-sm4-wildlife-acoustics-grabadora-sonidos-aves-ranas/> (accessed: Nov. 22, 2024).

- [41] Nautilus Oceanica. “Song Meter Mini Bat 2.” Nautilus Oceanica. <https://www.nautilusoceanica.com/producto/song-meter-mini-bat-2/> (accessed: Nov. 22, 2024).
- [42] Nautilus Oceanica. “Echo Meter Touch 2.” Nautilus Oceanica. <https://www.nautilusoceanica.com/producto/echo-meter-touch-2-wildlife-acoustics/> (accessed: Nov. 22, 2024).
- [43] DJI, Shenzhen, China. *Mavic 2 Pro/Zoom User Manual v1.4*. (2018). Accessed: Oct. 17, 2024. [En línea]. Disponible en: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf
- [44] DJI, Shenzhen, China. *Matrice 600 Pro User Manual v1.0*. (2018). Accessed: Oct. 17, 2024. [En línea]. Disponible en: https://dl.djicdn.com/downloads/m600%20pro/20180417/Matrice_600_Pro_User_Manual_v1.0_EN.pdf
- [45] DJI. “dji Mavic 2 PRO Drone Quadcopter with Fly More Kit Combo Bundle.” Amazon.com. <https://www.amazon.com/Mavic-Drone-Quadcopter-Combo-Bundle/dp/B07GPHGVZD> (accessed: Nov. 25, 2024).
- [46] DJI. “DJI Matrice 600 Pro Hexacopter Kit CP.SB.000308.” Amazon.com. <https://www.amazon.com/DJI-matrice-600-Pro-Hexacopter-000308/dp/B073JWYCFH> (accessed: Nov. 25, 2024).
- [47] A. Flores. “Herramientas tecnológicas para monitoreo de ecosistemas: tipos y uso.” Ecosistemas. https://ecosistemas.win/cuales-son-las-herramientas-tecnologicas-utilizadas-para-monitorear-los-ecosistemas/?expand_article=1&expand_article=1 (accessed: Nov. 22, 2024).
- [48] EOS Data Analytics, Inc. “Silvicultura: Manejo Y Monitoreo Forestal Efectivo.” EOS Data Analytics, Inc. <https://eos.com/es/industries/forestry/> (accessed: Nov. 20, 2024).
- [49] Scentroid. “Detección y monitoreo de humo de incendios forestales.” Scentroid. <https://scentroid.com/es/servicios-scentroid/deteccion-y-monitoreo-de-humo-de-incendios-forestales/> (accessed: Nov. 20, 2024).
- [50] Rural Bridge. “Tecnologías innovadoras para el monitoreo y protección de los bosques.” Rural Bridge. <https://ruralbridge.es/2023/07/31/tecnologias-innovadoras-proteccion-bosques/> (accessed: Nov. 20, 2024).
- [51] K. Evans. “Drones: una opción de bajo costo para el monitoreo forestal.” CIFOR-ICRAF Forest News. <https://forestsnews.cifor.org/32154/drones-una-opcion-de-bajo-costos-para-el-monitoreo-forestal> (accessed: Nov. 20, 2024).

- [52] Oryx. “Wildlife Acoustics 2024.” Oryx. La tienda del amante de la naturaleza. <https://www.weboryx.com/es/blog/wildlife-acoustics-2024-dg-68719> (accessed: Nov. 22, 2024).
- [53] E. Tatayo and R. Llusi, “Implementación de una mini-red de sensores inalámbricos para detección temprana de incendios forestales,” *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información*, vol. 10, no. 21, pp. 88-99, Sep. 2022. Accessed: Nov. 22, 2024, doi: 10.36825/RITI.10.21.008. [En línea]. Disponible en: https://portal.amelica.org/ameli/journal/368/3683473008/html/#redalyc_3683473008_ref4
- [54] C. Herrera, T. D. Tran, C. Egas, V. Pereira, and J. Sá Silva, “Reliability in Wireless Sensor Networks for Environment Monitoring,” *Rev. Politéc.*, vol. 37, no. 1, p. 9, Mar. 2016. Accessed: Nov. 22, 2024. [En línea]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/621/pdf
- [55] N. Machado, A. Lussón, L. Oro, J. Bonzon, and O. Escalona, “Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar,” *Ingeniería Energética*, vol. 36, no. 2, pp. 190-199, Aug., 2015. Accessed: Nov. 28, 2024. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012015000200008
- [56] Solarama. “Conoce qué son los sistemas fotovoltaicos y su función.” Solarama. <https://solarama.mx/blog/que-son-los-sistemas-fotovoltaicos/> (accessed: Nov. 26, 2024).
- [57] SotySolar. “Seguidores solares: todo lo que necesitas saber.” SotySolar. <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares> (accessed: Nov. 26, 2024).
- [58] SunFields Europe. “Sistemas fotovoltaicos: que son, componentes, dimensiones, tipos e instalación.” SunFields. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/sistema-fotovoltaico-funciona-aplicaciones/> (accessed: Nov. 26, 2024).
- [59] Solarama. “¿Qué es un seguidor solar y cuál es su función?” Solarama. <https://solarama.mx/blog/que-es-un-seguidor-solar/> (accessed: Nov. 26, 2024).
- [60] Renovaenergia S.A. “Información General de los Sistemas Solares Fotovoltaicos Aislados o Tipo Isla.” *Energía Solar Fotovoltaica Autónoma – Renovaenergía S.A.* <https://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica/> (accessed: Nov. 26, 2024).
- [61] D. Vaca and F. Ordóñez, *Mapa Solar del Ecuador 2019*, Ecuador, 2020. [En línea]. Disponible en:

- https://www.researchgate.net/publication/338843581_Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.
Accessed: Nov. 28, 2024.
- [62] E. Franco and R. Jucá, “Aprendizaje de máquina y aprendizaje profundo en biotecnología: aplicaciones, impactos y desafíos,” *Ciencia, Ambiente y Clima*, vol. 2, no. 2, pp. 7-26, Dec. 2019. Accessed: Dec. 2, 2024, doi: 10.22206/cac.2019.v2i2.pp7-26. [En línea]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/338026011_Aprendizaje_de_maquina_y_aprendizaje_profundo_en_biotecnologia_aplicaciones_impactos_y_desafios
- [63] The MathWorks, Inc. “Introducción a Deep Learning.” Deep Learning – MATLAB & Simulink. <https://la.mathworks.com/discovery/deep-learning.html> (accessed: Dec. 2, 2024).
- [64] IBM. “What Is Artificial Intelligence (AI)?” IBM. <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence> (accessed: Dec. 2, 2024).
- [65] Y. Liu, Y. Gu, G. Chen, Y. Ji and J. Li, “A Novel Accurate Forest Fire Detection System Using Wireless Sensor Networks,” *2011 Seventh International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, Beijing, China, 2011, pp. 52-59, doi: 10.1109/MSN.2011.8.
- [66] S. Kumar, A. Arora and T. H. Lai, “On the lifetime analysis of always-on wireless sensor network applications,” *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, 2005.*, Washington, DC, USA, 2005, pp. 3-188, doi: 10.1109/MAHSS.2005.1542797.
- [67] U. Dampage, L. Bandaranayake, R. Wanasinghe, K. Kottahachchi and B. Jayasanka, “Forest fire detection system using wireless sensor networks and machine learning,” *Scientific Reports*, vol. 12, no. 46, 2022, doi: 10.1038/s41598-021-03882-9
- [68] J. Lloret, M. Garcia, D. Bri, and S. Sendra, “A Wireless Sensor Network Deployment for Rural and Forest Fire Detection and Verification,” *Sensors* 2009, vol. 9, no. 11, pp. 8722-8747, Oct. 2009, doi: 10.3390/s91108722.
- [69] J. J. Estrada-López, A. A. Castillo-Atoche, J. Vázquez-Castillo and E. Sánchez-Sinencio, “Smart Soil Parameters Estimation System Using an Autonomous Wireless Sensor Network With Dynamic Power Management Strategy,” in *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 21, pp. 8913-8923, 1 Nov.1, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2867432.
- [70] K. Bayne, S. Damesin and M. Evans, “The internet of things – wireless sensor networks and their application to forestry,” *New Zealand Journal of Forestry*, vol. 61, no. 4, pp. 37-41, Feb. 2017. Accessed: Oct. 17, 2024. [En línea]. Disponible en:

- https://www.researchgate.net/publication/314115194_The_internet_of_things_-_wireless_sensor_networks_and_their_application_to_forestry
- [71] H. Sharma, A. Haque, and Z. Abdin, "Maximization of wireless sensor network lifetime using solar energy harvesting for smart agriculture monitoring," *Ad Hoc Networks*, vol. 94, p. 101966, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.adhoc.2019.101966.
- [72] A. Malaver, N. Motta, P. Corke, and F. Gonzales, "Development and Integration of a Solar Powered Unmanned Aerial Vehicle and a Wireless Sensor Network to Monitor Greenhouse Gases," *Sensors* 2015, vol. 15, no. 2, pp. 4072-4096, Feb. 2015, doi: 10.3390/s150204072.
- [73] *Xeno-canto – Bird sounds from around the world*, Xeno-canto Foundation for Nature Sounds, Nov. 2024, doi: 10.15468/qv0ksn
- [74] R. Tatman. "British Birdsong Dataset." Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/rtatman/british-birdsong-dataset> (accessed: Aug. 5, 2024).
- [75] DJI. "E2000 – Product Information." DJI. <https://www.dji.com/global/e2000/info> (accessed: Dec. 2, 2024).
- [76] K. Johnson, "Análisis de ejes y rodamientos", Editorial McGraw-Hill, 2017.
- [77] T. Harris, "Selección de rodamientos para aplicaciones industriales", Editorial ASME, 2018.
- [78] SKF, "Catálogo de rodamientos", 2020. Disponible en: (<https://productselect.skf.com/#/bearing-selection-start>).
- [79] "ISO 15243:2017", ISO, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/59619.html> [Consultado: 15-dic-2024].
- [80] J. Shigley, "Diseño de máquinas", Editorial McGraw-Hill, 2016.
- [81] Bruel & Kjaer, "Software de análisis de vibraciones", 2020. Disponible en: (<https://www.bksv.com/es/analysis-software>).
- [82] S. K. Kim et al., "A Study on the Energy Storage System for the Grid-Connected Photovoltaic System," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 10, pp. 4442-4451, 2013.
- [83] J. Liu et al., "A Review of Energy Storage Systems for Wind Power Integration," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 5, pp. 3229-3244, 2012.
- [84] A. M. P. Santos et al., "A New Approach to Solar Tracking System," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 11, pp. 6326-6335, 2014.

- [85] Y. T. Tan et al., "A Review of Solar Tracking Systems for Photovoltaic Power Generation," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 5, pp. 2515-2525, 2011.
- [86] J. M. Carrasco et al., "Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1002-1016, 2006.
- [87] A. M. P. Santos et al., "A New Approach to Solar Tracking System," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 11, pp. 6326-6335, 2014.
- [88] A. K. Ghosh, *Dynamic Systems: Modeling and Analysis*. New York, NY: Springer, 2019.
- [89] DescubrEcuador. "Bosque Protector La Prosperina." DescubrEcuador.
<https://www.descubrecuador.com/item/bosque-protector-la-prosperina/>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Cálculos de diseño

Este apéndice documenta los valores correspondientes al dron y al dispositivo recolector para establecer los límites del diseño en condiciones ideales de equilibrio y determinar los valores de la fuerza de empuje y el torque de los motores necesario para mantener estable el vuelo del dron con todas las piezas agregadas. Además, se incluyen los valores determinados de la aplicación de las ecuaciones 2.1 a 2.7 para el dimensionamiento de los paneles solares y la batería a implementar.

Figura A.1

Hoja de Excel con los datos teóricos para el diseño de componentes

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Variable	Valor	Unidad	Valor	Unidad SI	Variable	Valor	Unidad SI
2	Peso máximo (dron + baterías)	10	Kg	98.1	N	Consumo de corriente	0.2	A
3	Peso mínimo (dron + baterías)	9.5	Kg	93.195	N	Voltaje de alimentación	5	V
4	Peso dispositivo recolector	5.2	Kg	51.012	N	Potencia nodo	1	W
5	Peso máximo conjunto	15.2	Kg	149.112	N	Horas de operación	12	h
6	Peso mínimo conjunto	14.7	Kg	144.207	N	Carga nodo	12	Wh
7	Peso límite para el vuelo	15.5	Kg	152.055	N	Horas de luz solar directa	4	h
8	Peso mínimo diseño	0.3	Kg	2.943	N	Potencia mínima panel	3	W
9	Peso máximo diseño	0.8	Kg	7.848	N	Eficiencia de carga	0.8	
10	Fuerza máxima necesaria por hélice	2.5833	Kg	25.3425	N	Potencia redimensionada	3.75	W
11	Radio hélice	10.5	in	0.2667	m	Menor insulación mensual Guayas	3600	Wh/m ²
12	Torque			6.75884	Nm	Potencia promedio	150	W/m ²
13						Eficiencia panel	0.15	
14						Potencia eléctrica generada	22.5	W/m ²
15							0.04444444	m ²
16						Tamaño del panel	444.444444	cm ²
17							25x25	cm ²
18						Días consecutivos sin luz	14	días
19						Horas sin luz	336	h
20						Capacidad batería	67.2	Ah

APÉNDICE B

Matrices de confusión

En este apéndice se documentan los resultados de las evaluaciones de uno de los modelos entrenados sobre el conjunto de prueba separado durante la fase de preparación de datos. Estos resultados son ilustrados mediante matrices de confusión que permiten obtener información visual del número de muestras con predicciones correctas e incorrectas para cada clase.

Modelos tipo 1 entrenados con 30% de los datos para el conjunto de prueba

Figura B.1

Matriz de confusión, 5 épocas

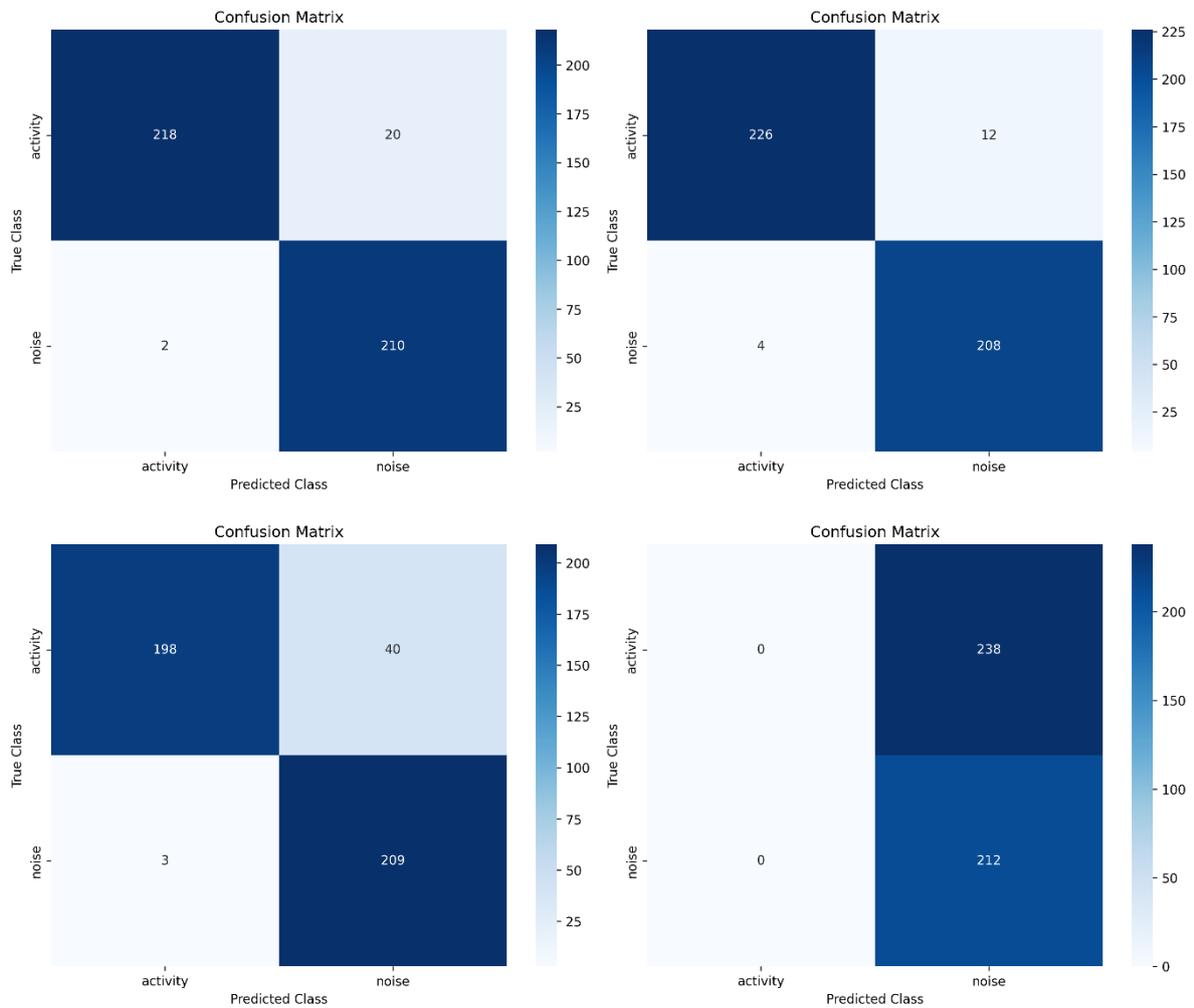


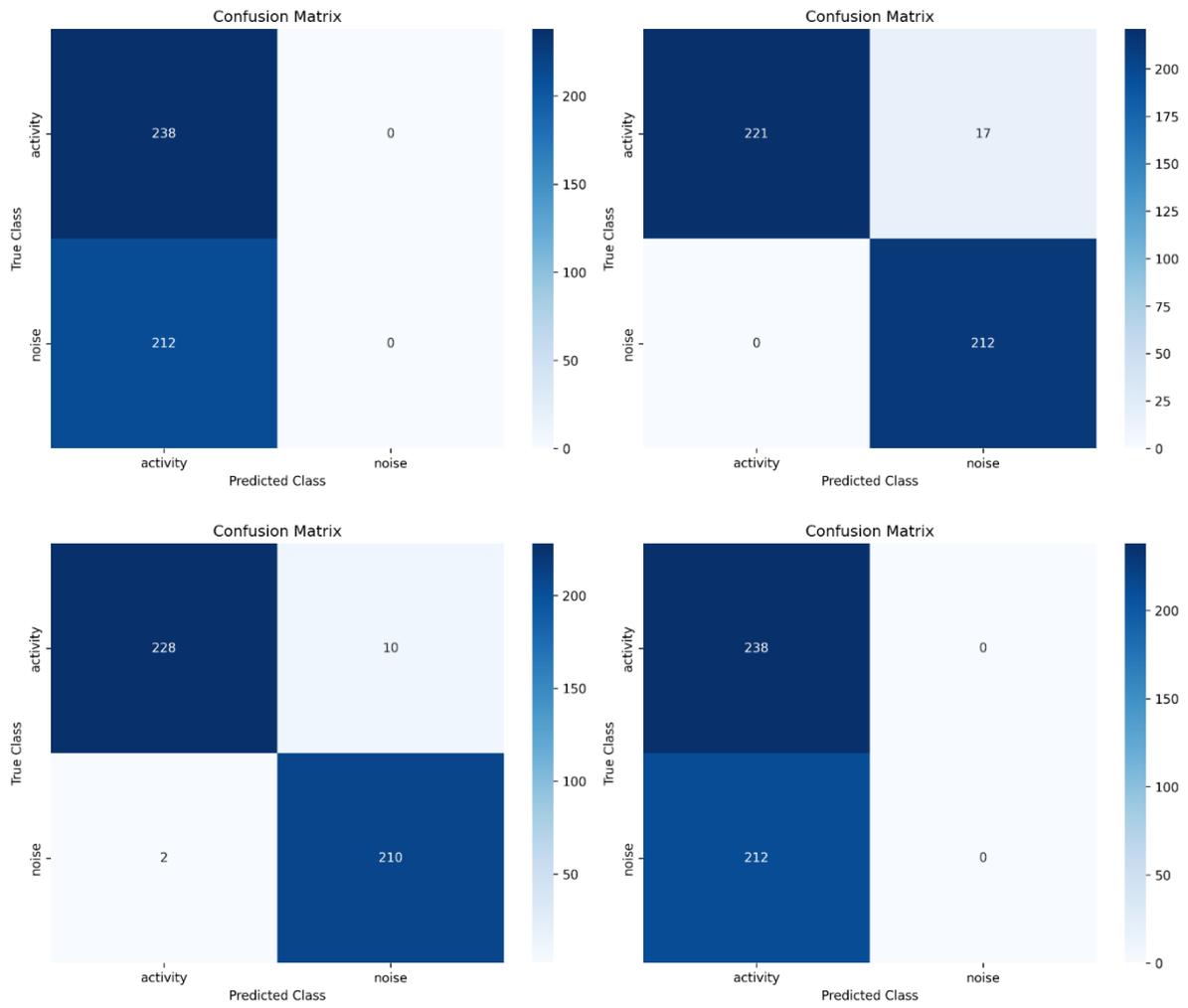
Figura B.2*Matriz de confusión, 10 épocas*

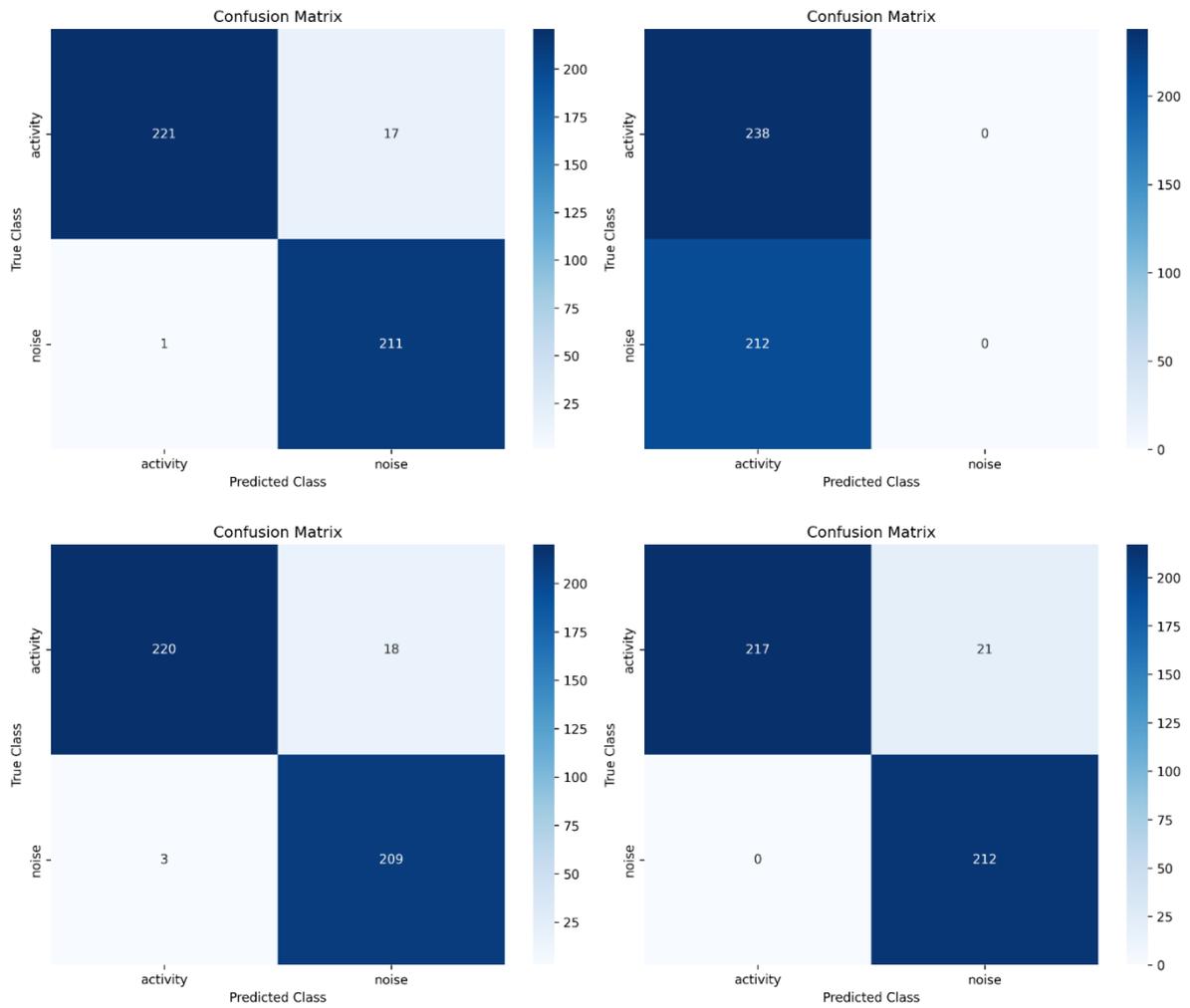
Figura B.3*Matriz de confusión, 15 épocas*

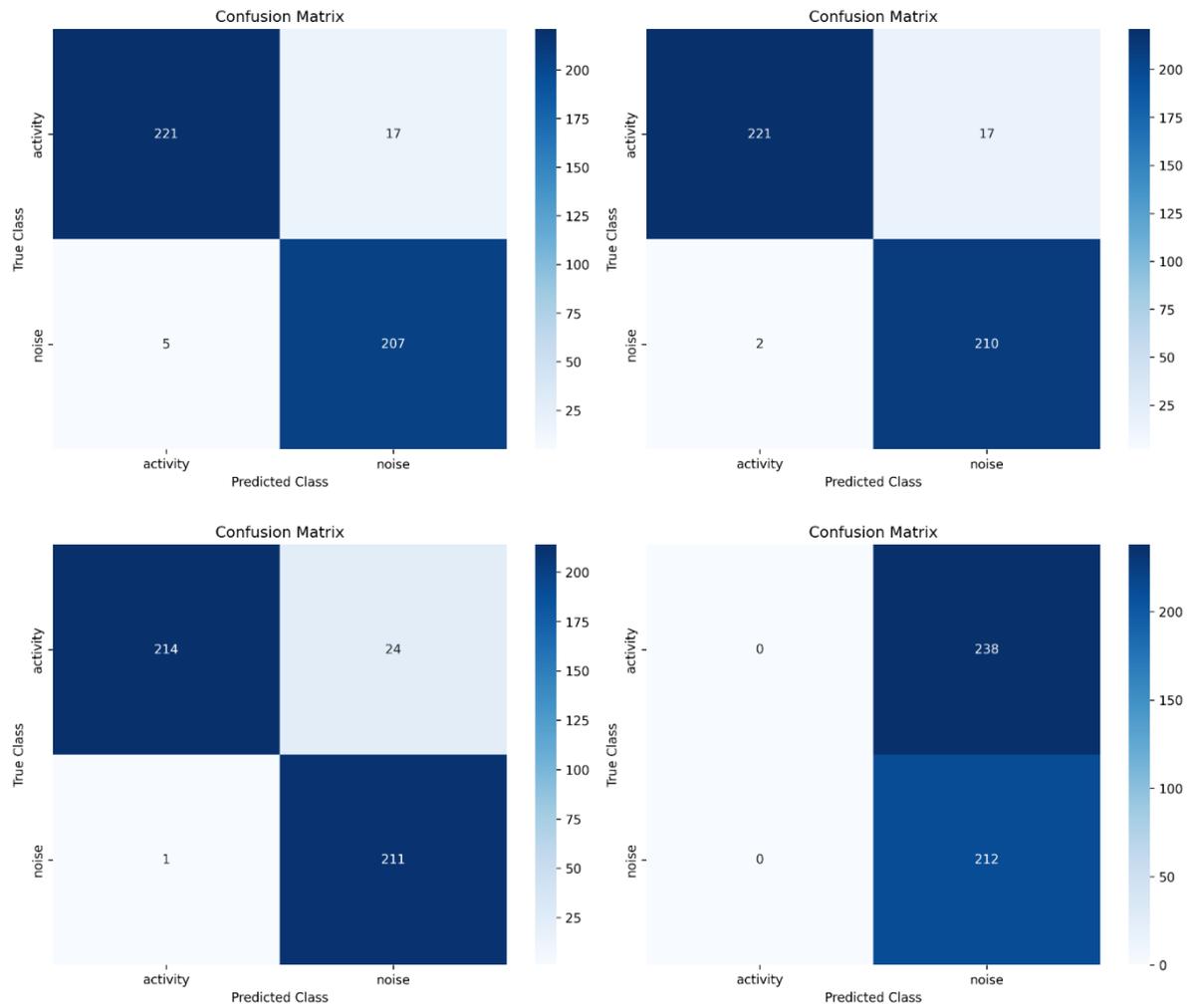
Figura B.4*Matriz de confusión, 20 épocas*

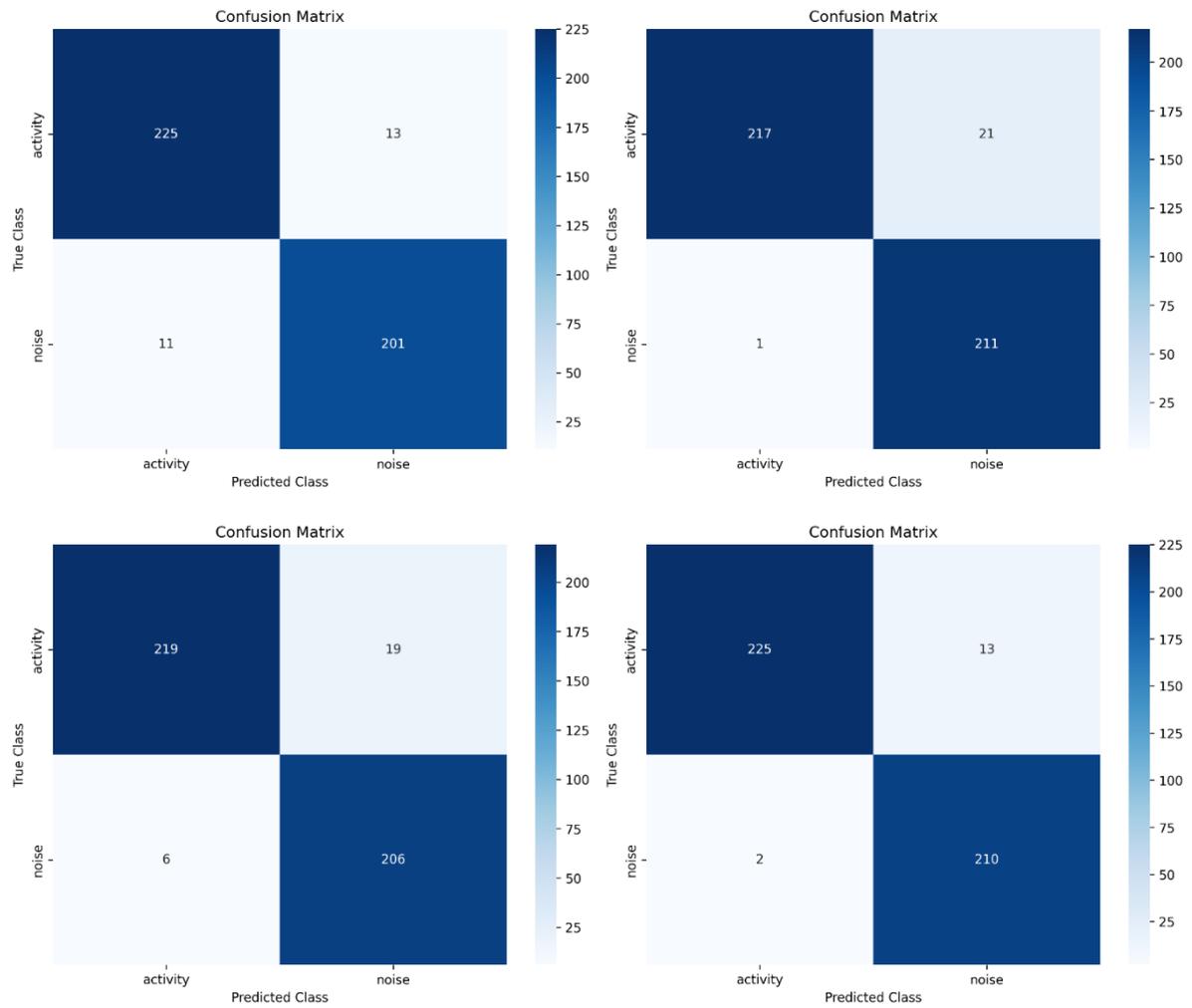
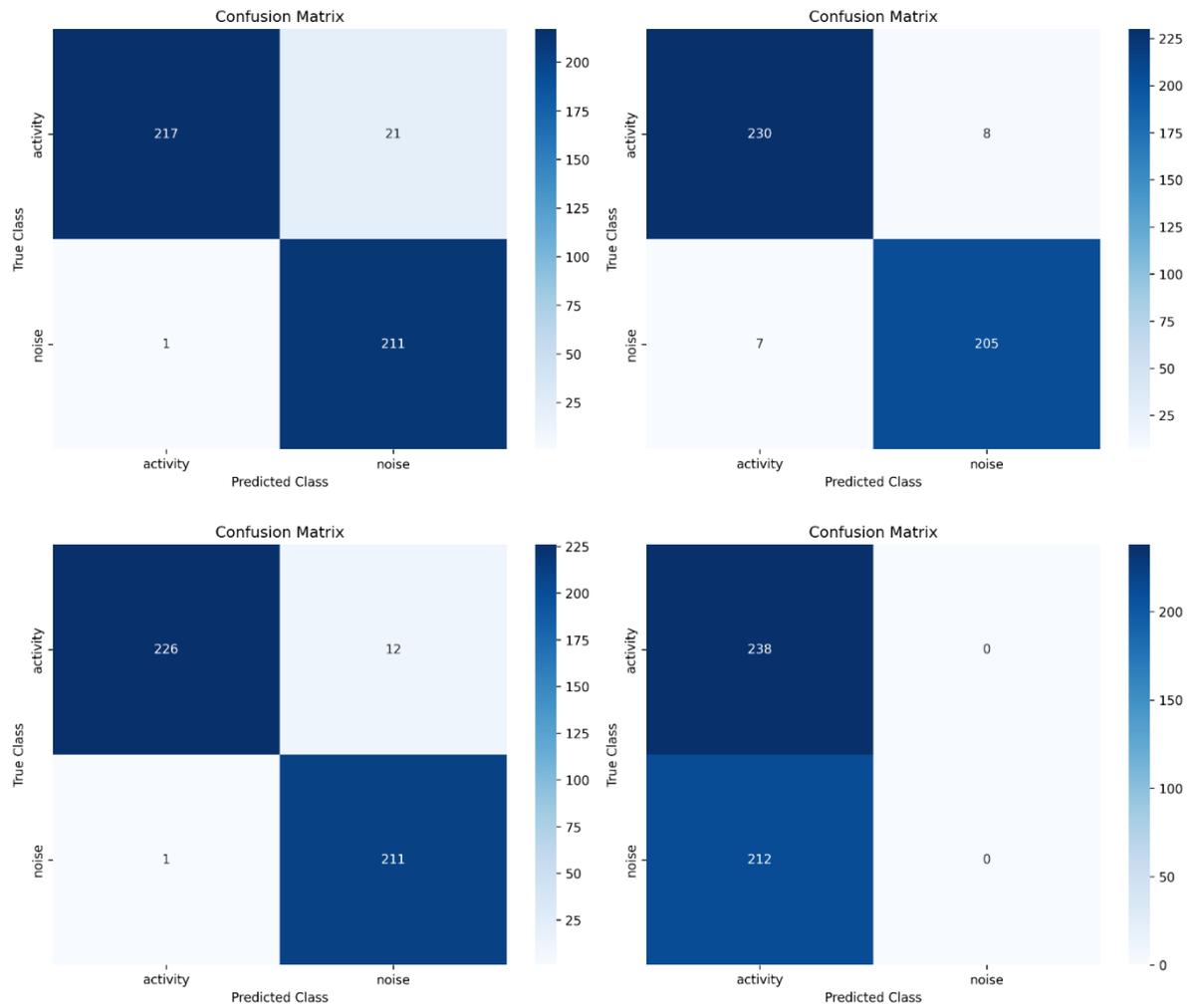
Figura B.5*Matriz de confusión, 25 épocas*

Figura B.6*Matriz de confusión, 30 épocas*

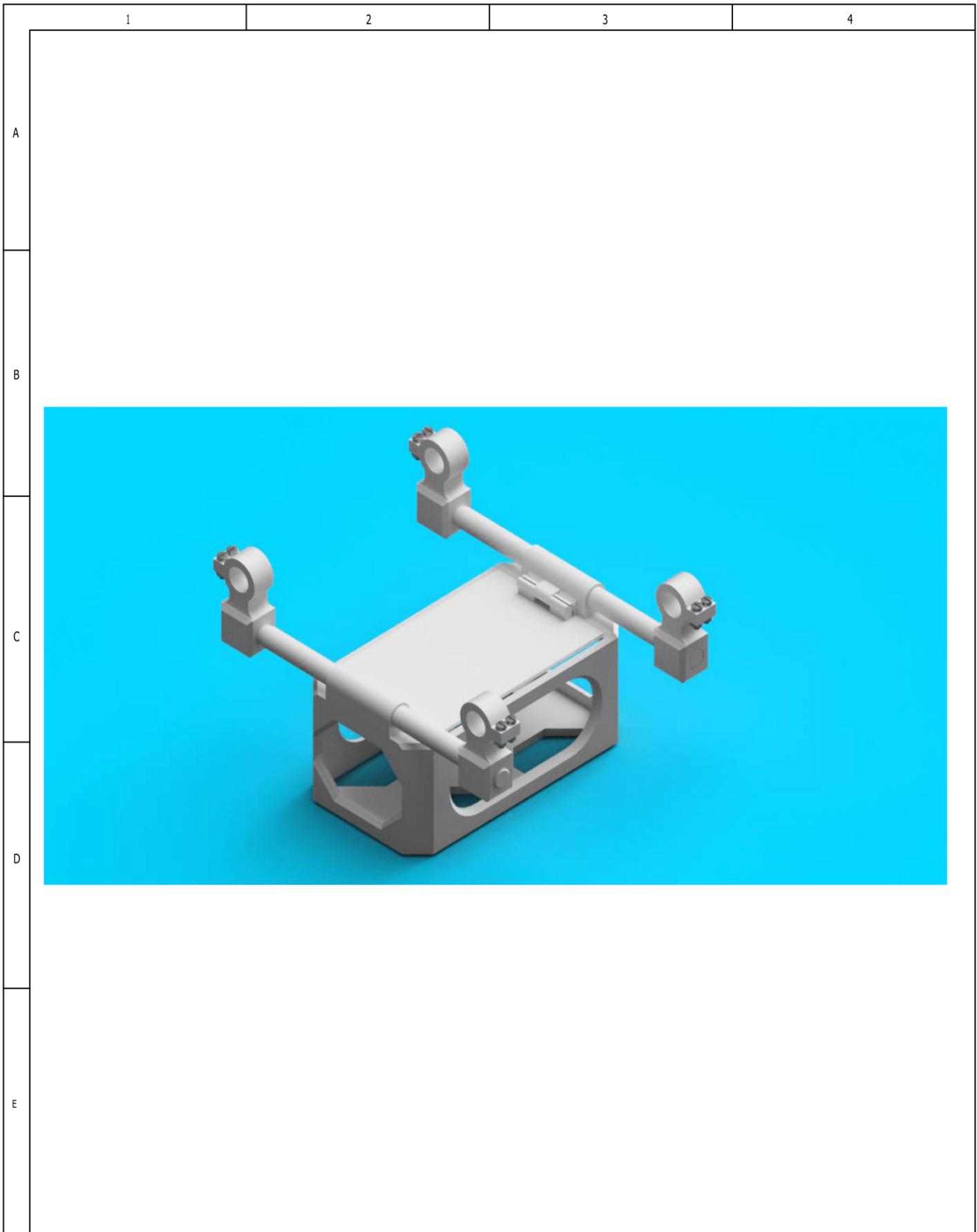
APÉNDICE C

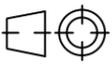
Planos eléctricos y mecánicos

En este apéndice se encuentran los planos detallados de los componentes y ensamblajes mecánicos desarrollados, así como el esquema de conexión del sistema eléctrico de alimentación solar.

INGE-2780-00

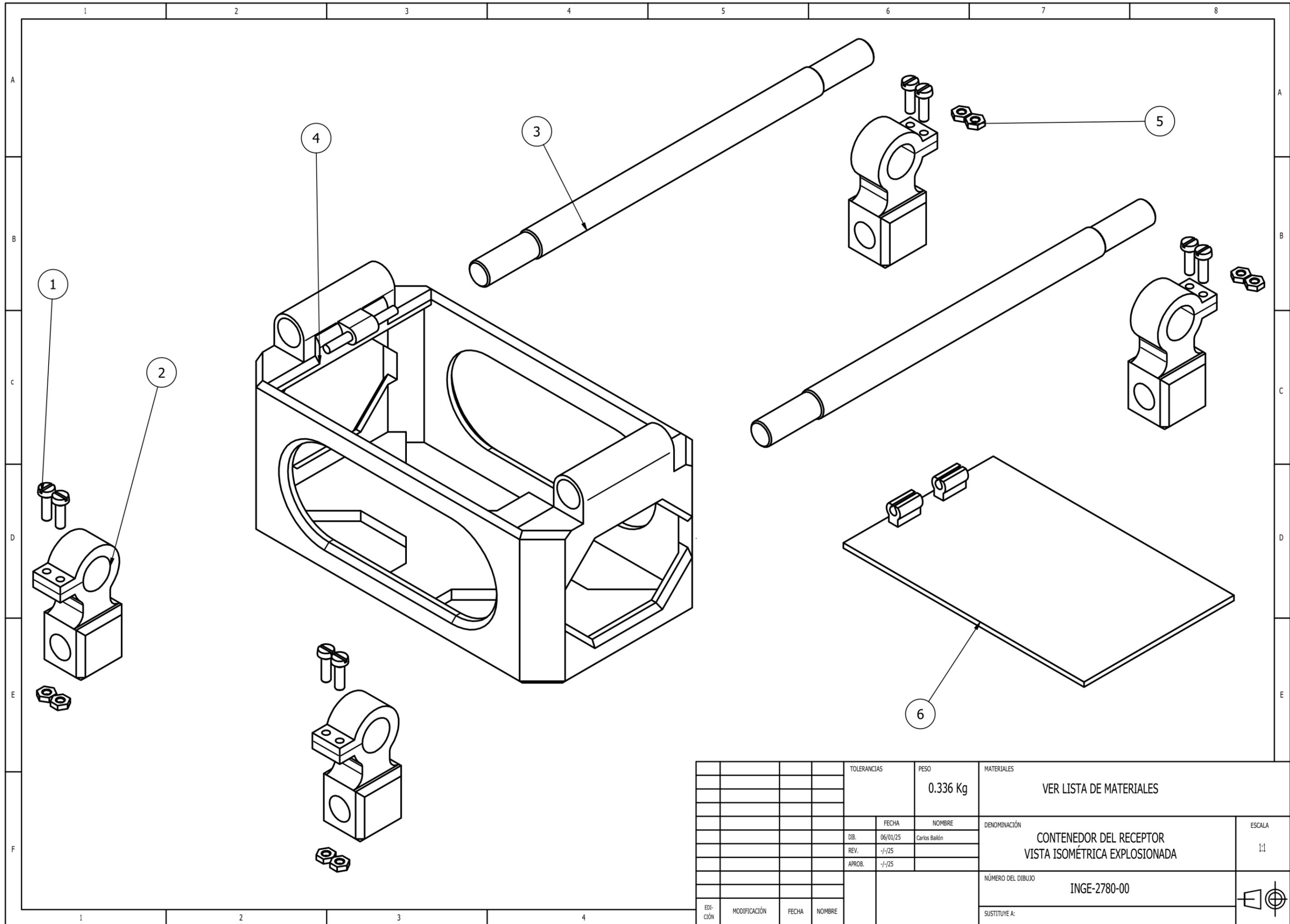
Renderizado



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
					0.336 Kg	VER LISTA DE MATERIALES		
						DENOMINACIÓN RENDERIZADO CONTENEDOR DEL RECEPTOR	ESCALA	
					FECHA			NOMBRE
				DIB.	06/01/25			Carlos Bailón
				REV.	-/-/24			
				APROB.	-/-/24			
						NÚMERO DEL DIBUJO		
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			INGE-2780-00		
						SUSTITUYE A:		

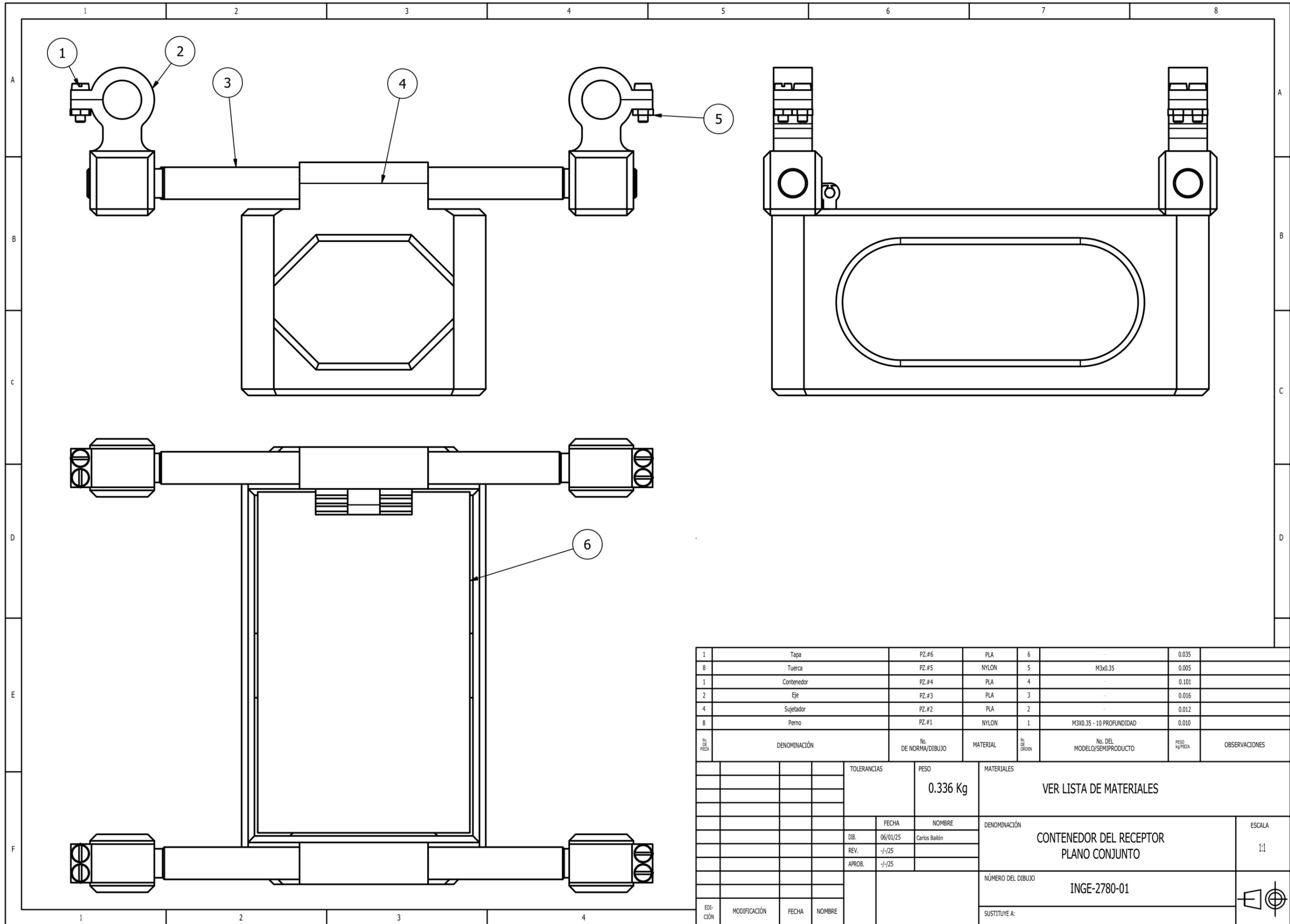
INGE-2780-00

Vista isométrica explosionada



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
					0.336 Kg	VER LISTA DE MATERIALES		
					FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
				DIB.	06/01/25	Carlos Ballón	CONTENEDOR DEL RECEPTOR	1:1
				REV.	-/-/25		VISTA ISOMÉTRICA EXPLOSIONADA	
				APROB.	-/-/25			
							NÚMERO DEL DIBUJO	
							INGE-2780-00	
							SUSTITUYE A:	
EDI- CIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE					

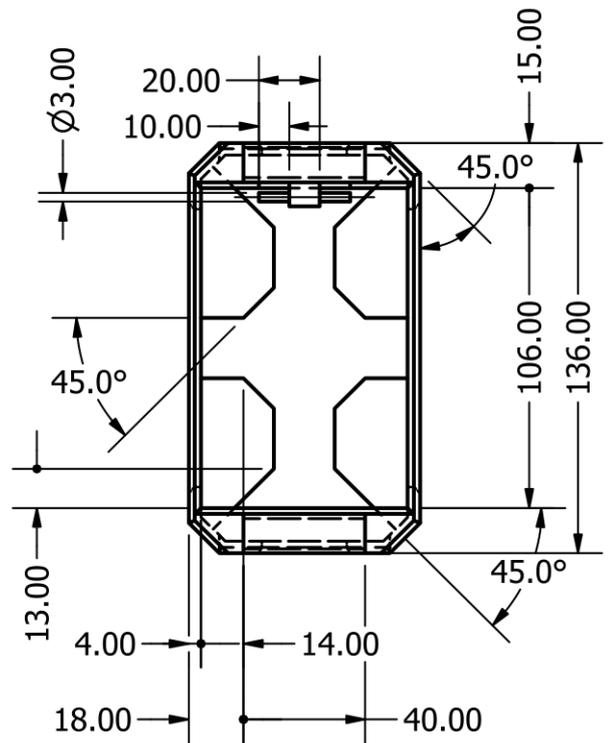
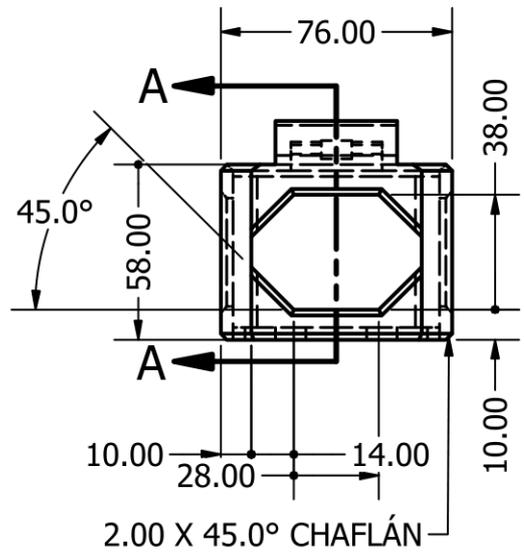
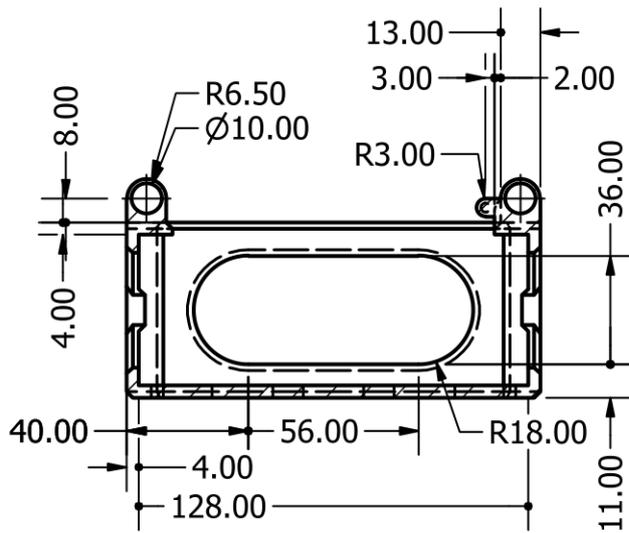
INGE-2780-01



Nº DE PIEZA	DENOMINACIÓN	No. DE NORMA/DIBUJO	MATERIAL	Nº DE ORDEN	No. DEL MODELO/SEMPRODUCTO	PESO kg/PIEZA	OBSERVACIONES
1	Tapa	PZ.#6	PLA	6	-	0.035	
8	Tuerca	PZ.#5	NYLON	5	M3x0.35	0.005	
1	Contenedor	PZ.#4	PLA	4	-	0.101	
2	Eje	PZ.#3	PLA	3	-	0.016	
4	Sujetador	PZ.#2	PLA	2	-	0.012	
8	Perno	PZ.#1	NYLON	1	M3X0.35 - 10 PROFUNDIDAD	0.010	
		TOLERANCIAS		PESO		MATERIALES	
				0.336 Kg		VER LISTA DE MATERIALES	
		FECHA		NOMBRE		DENOMINACIÓN	
		DIB. 06/01/25		Carlos Ballón		CONTENEDOR DEL RECEPTOR PLANO CONJUNTO	
		REV. -/-/25				ESCALA	
		APROB. -/-/25				1:1	
				NÚMERO DEL DIBUJO			
				INGE-2780-01			
EDICIÓN		MODIFICACIÓN		FECHA		NOMBRE	
						SUSTITUYE A:	

INGE-2780-02

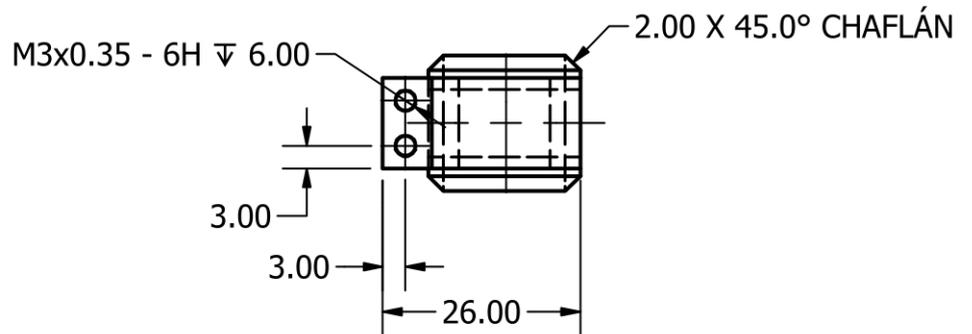
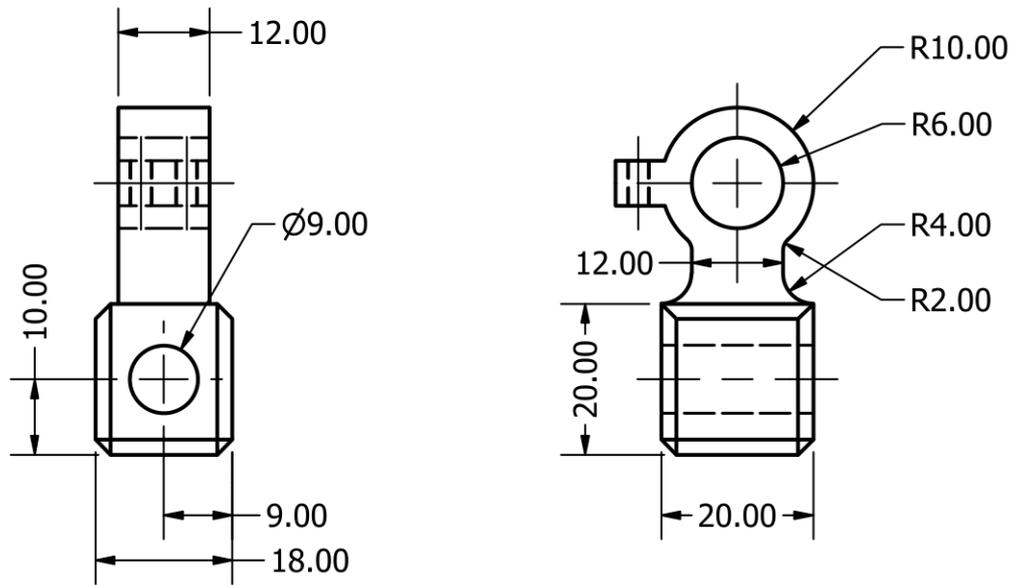
SECCIÓN A-A



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES	
					0.101 Kg	PLA	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
			DIB.	10/12/24	Carlos Bailón		
			REV.	-/-/24			
				APROB.	-/-/24		
2	Dimensiones	06/01/25	CB			NÚMERO DEL DIBUJO	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			INGE-2780-02	
						SUSTITUYE A:	

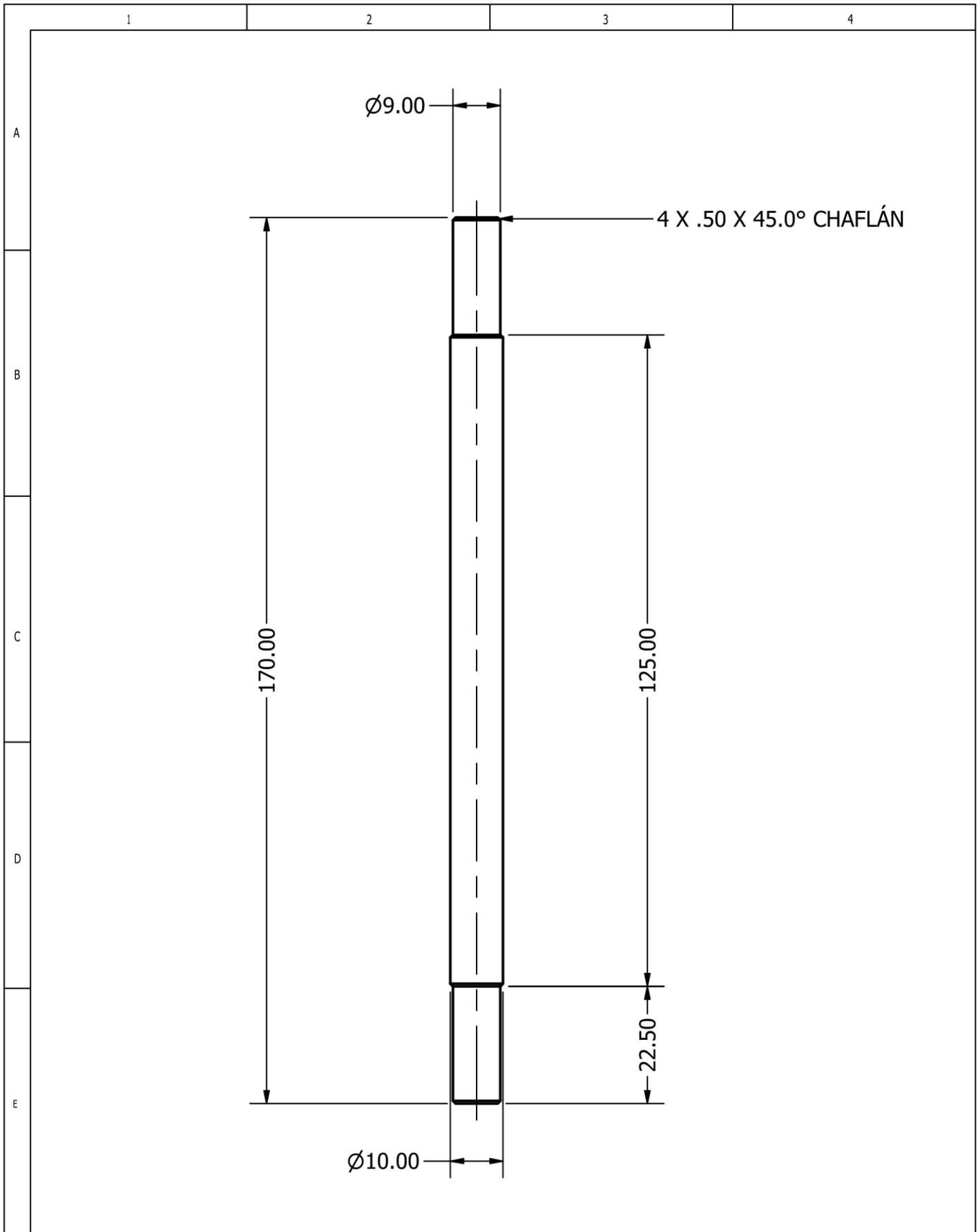
INGE-2780-03

INGE-2780-04



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
					0.012 Kg	PLA		
						DENOMINACIÓN	ESCALA	
				FECHA	NOMBRE			
				DIB.	12/12/24			Carlos Bailón
				REV.	-/-/24			
				APROB.	-/-/24			
2	Dimensiones	06/01/25	CB			NÚMERO DEL DIBUJO		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			INGE-2780-04		
						SUSTITUYE A:		

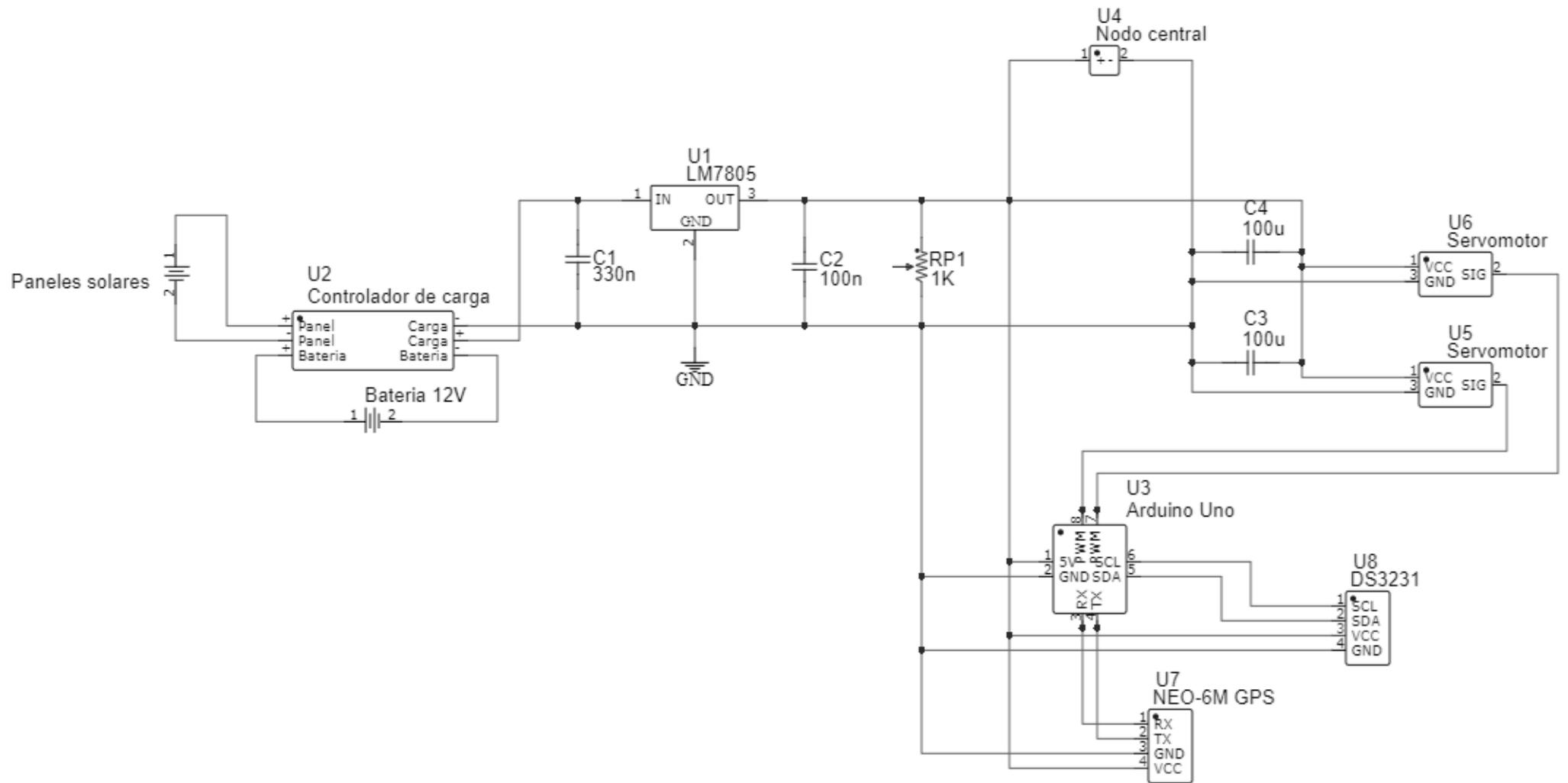
INGE-2780-05



				TOLERANCIAS	PESO	MATERIALES		
					0.016 Kg	PLA		
						DENOMINACIÓN	ESCALA	
				FECHA	NOMBRE			
				DIB.	12/12/24			Carlos Ballón
				REV.	-/-/24			
				APROB.	-/-/24			
						NÚMERO DEL DIBUJO		
						INGE-2780-05		
2	Longitud	6/01/25	CB					
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:		



INGE-2780-06



TITLE: INGE-2780-06 Sistema de alimentacion solar		REV: 1.0
	Company: ESPOL	Sheet: 1/1
	Date: 2025-01-24	Drawn By: Carlos Bailon