



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA HELICE-VIGA DE ALA
ROTATORIA**

**Autor:
Jaime Cortes Farfán**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Villavicencio, Colombia
2021

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA HELICE-VIGA DE ALA ROTATORIA

Jaime Cortes Farfán

Trabajo integral de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Director:
Ing. Luis Fernando Castañeda Melo, Ph.D.

Línea de Investigación:
Control, automatización y robótica
Grupo y Centro de Investigación:
Semillero de Investigación en Tecnología Analógica y Digitales (SITAAD)

Universidad Antonio Nariño
Facultad de ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Villavicencio, Colombia
2021

Nota de aceptación

El trabajo de grado titulado Diseño y Construcción de un Sistema Hélice-Viga de Ala Rotatoria, Cumple con los requisitos para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Firma de presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Villavicencio, 2, noviembre, 2021

CONTENIDO

Pág.

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	12
1 JUSTIFICACIÓN	14
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	15
2.2 OBEJTIVOS ESPECIFICOS.....	15
3 ANTECEDENTES	16
4 MARCO TEORICO	17
4.1 MOTOR BRUSHLESS.....	17
4.2 CONTROLADOR DE MOTOR BLCD	17
4.3 VARIADOR ELECTRÓNICO (ESC):.....	18
4.4 HELICE.....	19
4.5 IMU	20
4.6 POTENCIÓMETRO	22
4.7 ARDUINO	23
4.8 UNIDAD DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	24
4.9 TEOREMA DEL MOMENTO CINÉTICO	25
4.10 SERIES DE TAYLOR	27
5 DISEÑO METODOLÓGICO	28
5.1 FASE 1	28
5.2 ACTIVIDADES.....	28
5.2.1 Diseño del sistema.....	28
5.2.2 Selección de materiales adecuados.....	28
5.2.3 Realización del plano de cada pieza del sistema.....	28
5.3 DESARROLLO DE LA FASE 1.....	29
5.3.1 Diseño del sistema.....	29
5.3.2 Selección de materiales adecuados.....	29
5.3.3 Realización del plano de cada pieza del sistema.....	31
5.4 FASE 2	37
5.5 ACTIVIDADES.....	37
5.5.1 Obtener características rotacionales de la planta.	37
5.5.2 Modelo matemático, usando la teoría y las ecuaciones del momento angular.....	37
5.5.3 Realización de la simulación del sistema hélice-viga en software de entorno de desarrollo.	37

5.6	DESARROLLO FASE 2	37
5.6.1	Obtener características rotacionales de la planta.	37
5.6.2	Modelo matemático, usando la teoría y las ecuaciones del momento angular.....	39
5.6.3	Realización de la simulación del sistema hélice-viga en software de entorno de desarrollo.	45
5.7	FASE 3	45
5.8	ACTIVIDADES.....	45
5.8.1	Ubicación de partes para el ensamble de estructura base vertical fija y brazo móvil.....	45
5.8.2	Ensamblar motor a estructura fija.....	45
5.8.3	Adaptación variador ESC a la estructura fija.....	45
5.8.4	Ubicación sensor IMU a estructura fija.....	45
5.8.5	Adecuación de componentes electrónicos al ensamble de la estructura.	46
5.9	DESARROLLO FASE 3.....	46
5.9.1	Ubicación de partes para el ensamble de estructura base vertical fija y brazo móvil.....	46
5.9.2	Ensamblar motor a estructura fija.....	51
5.9.3	Adaptación variador ESC a la estructura fija.....	51
5.9.4	Ubicación sensor IMU a estructura fija.....	51
5.9.5	Adecuación de componentes electrónicos al ensamble de la estructura.	52
5.10	FASE 4.....	54
5.11	ACTIVIDADES.....	54
5.11.1	Definición de los procesos, los cuales conforman el conjunto de operaciones que realizara el sistema.	54
5.11.2	Recolección de datos.....	55
5.11.3	Correlación de la información.	55
5.11.4	Análisis de datos.....	55
5.11.5	Interpretación de datos.	55
5.12	DESARROLLO FASE 4.....	55
5.12.1	Definición de los procesos, los cuales conforman el conjunto de operaciones que realizara el sistema.	55
5.12.2	Recolección de datos.....	56
5.12.3	Correlación estadística de la información.	57
5.12.4	Análisis de datos.....	59
5.12.5	Interpretación de datos.	60
5.13	FASE 5.....	61
5.14	ACTIVIDADES.....	61

5.14.1	Buscar, organizar y analizar información acerca de las técnicas de control aplicados a sistemas Hélice-viga para genera documentación apara el trabajo futuro.	61
5.14.2	Elaboración de manual de usuario.....	61
5.14.3	Elaboración de manual técnico.	61
5.15	DESARROLLO FASE 5.....	61
5.15.1	Buscar, organizar y analizar información acerca de las técnicas de control aplicados a sistemas Hélice-viga para genera documentación apara el trabajo futuro.	61
5.15.2	Elaboración de manual de usuario.....	63
5.15.3	Elaboración de manual técnico.	64
6	RESULTADOS	66
7	CONCLUSIONES	68
8	ANEXOS	69
8.1	ANEXO 1: MANUAL DE ENSMABLE DEL SISTEMA HELICE-VIGA DE ALA ROTATORIA.....	69
8.2	ANEXO 2: MANUAL DE USUARIO DEL SITEMA HELICE-VIGA DE ALA ROTATORIA.....	121
8.3	ANEXO 3: TABLA DE CUENTA DE POTEONIOMETRO E IMU CON RELACION AL ANGULO.....	147
9	REFERENCIAS	156

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Motor Brushless A2212.....	17
Figura 2. Controlador ESC HW30A.	17
Figura 3. YGE 30I	19
Figura 4. Hélice 1045.....	20
Figura 5. MPU-6050.....	21
Figura 6. Potenciómetro.....	22
Figura 7. Arduino Uno.....	23
Figura 8. ATmega328P.....	24
Figura 9. Diagrama de fuente.	25
Figura 10. El par de la fuerza o torque.....	26
Figura 11. Representación de la estructura para la planta	29
Figura 12. Fuerzas que actúan sobre la estructura móvil en equilibrio.	38
Figura 13. Plano final de la base del sistema.	46
Figura 14. Plano de ensamble de los componentes de la base del sistema.....	46
Figura 15. Plano final de los pares del sistema.....	47
Figura 16. Plano de ensamble de los componentes de los pares del sistema.	48
Figura 17. Plano final del eje rotor del sistema.	49
Figura 18. Plano de ensamble del eje rotor del sistema.	49
Figura 19. Plano final del brazo, motor-hélice.....	50
Figura 20. Plano de ensamble del brazo, motor-hélice.....	50
Figura 21. Plano final del motor en la estructura.....	51
Figura 22. Ubicación del control ESC en la estructura de componentes electrónicos.	51
Figura 23. Ubicación del sensor MPU 650 (IMU) en la estructura fija.....	51
Figura 24. Ubicación del sensor MPU 650 (IMU) en la estructura del motor-Hélice.	52
Figura 25. Esquemático de tarjeta de desarrollo.....	52
Figura 26. Enrutado y ubicación de los componentes electrónicos.	53
Figura 27. Tarjeta de desarrollo en 3D	54
Figura 28. Tarjeta de componentes electrónicos.	54
Figura 29. Diagrama de bloques del sistema hélice-viga de ala rotatoria.....	55
Figura 30. Grafica de Potenciómetro e IMU.....	59
Figura 31. Plano de vectores para PMU 6050.	60
Figura 32. Diagrama de conexión para potenciómetro a Arduino uno	60
Figura 33. Presentación de manual de ensamble.....	64
Figura 34. Presentación de manuela de usuario.....	65
Figura 35. Sistema a escala de hélice-viga de ala rotatoria.....	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del motor BLDC A2212/13T.	17
Tabla 2. Características de controlador ESC HW30A.....	18
Tabla 3. Características Hélice 1045.	20
Tabla 4. Nombre y planos de cada pieza.....	31
Tabla 5. Incógnitas de la función de transferencia.....	44
Tabla 6. Componentes de la base del sistema.	47
Tabla 7. Componentes de los parales del sistema.	48
Tabla 8. Componentes del eje rotor del sistema.....	49
Tabla 9. Componentes del brazo, motor-hélice.	50
Tabla 10. Características de la tarjeta de desarrollo.....	53
Tabla 11. Registro de datos de medición y ángulo de inclinación.....	56
Tabla 12. Registro de datos de la variación de PWM del motor respecto al indicador visual de ángulo 0°.....	56
Tabla 13. Tabla de datos para el potenciómetro.....	57
Tabla 14. Tabla de datos para el potenciómetro.....	58
Tabla 15. Tabla de datos para el IMU.....	58
Tabla 16. Análisis de sistemas de control.....	62

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolos con letras latinas.

Símbolo	Término	Unidad SI
A	Área	m
C_L	Coeficiente de sustentación	-
\vec{F}	Fuerza	N
l	Longitud de la viga	m

Símbolos con letras griegas.

Símbolo	Término	Unidad SI
θ	Ángulo de inclinación	rad
$\ddot{\theta}$	Aceleración angular en el eje y	m.s ⁻²
τ	Torque	N.m

Superíndices.

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas.

Abreviatura	Término
<i>BLDC</i>	Brushless DC Motor
<i>IMU</i>	Inertial Measurement Unit
<i>CLK</i>	<i>Clock signal</i>
<i>EEPROM</i>	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
<i>IC</i>	<i>Inter Integrated Circuit</i>
<i>PID</i>	Proporcional Integral Derivativo
<i>SAC</i>	Sociedad Agrícola colombiana
<i>SPI</i>	<i>Serial Peripheral Interface</i>
<i>UAV</i>	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
<i>USB</i>	<i>Universal Serial Bus</i>

RESUMEN

La universidad Antonio Nariño sede Villavicencio cuenta con laboratorio de detectores como parte de Semillero de Investigación en Tecnologías Analógicas y Digitales (SITAD), en el cual se trabaja teoría de control, donde se quieren aplicar dichas técnicas que permiten su adecuado funcionamiento.

En el presente proyecto se expone el desarrollo del diseño de un modelo a escala de Sistema Hélice-Viga de Ala Rotatoria (SHAR), lo que incluye la elección de sus respectivos componentes y unificación de estos.

El sistema Hélice-Viga consiste en una barra que presenta un grado de libertad de giro alrededor de un eje horizontal, anclada por su extremo a una barra vertical fija a modo balancín. El movimiento será provocado por una fuerza de empuje que origina el ala rotatoria sujeta al motor situada en uno de sus extremos de la barra, al realizar una variación al giro de la hélice permite dar control a la fuerza de empuje, dándole una ubicación deseada, la posición se determinará al medir el ángulo que se forma respecto el eje vertical, se adecuarán dos sensores para la toma de medidas del ángulo o posición, uno es un potenciómetro y la Unidad de Medida Inerciales (IMU, Inertial Measurement Unit).

La construcción del sistema Hélice-Viga se dispondrá para el aprendizaje y experimentación de la teoría control del sistema de elevación, para posteriormente, continuar con la creación de un espacio completo para la I+D+i en aplicaciones de drones.

Palabras Clave: Hélice-viga, Motor Brushless, IMU, Ala rotatoria.

ABSTRACT

The Antonio Nariño University, Villavicencio headquarters, has a detector laboratory as part of the Research Center for Analog and Digital Technologies (SITAD), in which control theory is worked on, where these techniques are applied that allow their proper operation.

In this project, the development of the design of a scale model of the Rotating Wing Propeller-Beam System (SHAR) is exposed, which includes the choice of their respective components and their unification.

The Helix-Beam system consists of a bar that has a degree of freedom of rotation around a horizontal axis, anchored at its ends to a vertical bar fixed as a rocker. The movement will be caused by a thrust force that originates the rotating wing attached to the motor located at one of its ends of the bar, by making a variation to the rotation of the propeller it allows to control the thrust force, giving it a desired location, The position will be determined by measuring the angle formed with respect to the vertical axis, two sensors will be adapted to take measurements of the angle or position, one is a potentiometer and the Inertial Measurement Unit (IMU).

The construction of the Helix-Beam system will be available for learning and experimenting with the elevation system control theory, to later continue with the creation of a complete space for R & D & I in drone applications.

Keywords: Propeller-beam, Brushless Motor, IMU, Rotary wing.

INTRODUCCIÓN

El control de posición de una hélice se puede asemejar al de un helicóptero que cuentan con una mecánica inestable, estos sistemas se han popularizado en años recientes para investigadores en diferentes campos como; la electrónica, electromecánica y robótica, ante la necesidad de controlar una hélice se hace necesario explorar las diversas posibilidades para la implementación de sistemas de control para así mantener el equilibrio a un ángulo deseado.

La producción agrícola en la altillanura colombiana, por sus grandes extensiones genera dificultades a la hora de vigilar los terrenos, aplicar agroquímicos, fertilizantes y generar programas para el desarrollo de cultivos, creando así la necesidad de incluir alternativas tecnológicas como drones. Según la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) los drones proyectan ser útiles en las diferentes tareas agrícolas como el monitoreamiento, control de plagas e incendios (SAC 2018). [1]

Como punto de partida para el estudio del funcionamiento de los drones es necesario abordar el comportamiento físico, matemático y mecánico de un sistema de balance hélice-viga. El sistema de balance hélice-viga propone un problema de control debido a su naturaleza inestable. El control de posición de un balancín con una hélice y motor consigue su sustentación gracias al giro de su rotor principal, impulsando el aire desde la parte superior a la inferior de su rotor.

El sistema consta de una barra con cierto grado de libertad de giro alrededor de un eje horizontal, anclada por sus extremos a una barra vertical fija a modo balancín. Este movimiento es provocado por una fuerza de empuje que se originada por el ala rotatoria sujeta al motor situada a uno de los extremos de la barra. Al realizar una variación al giro de la hélice permite dar control a la fuerza de empuje, asignando una ubicación deseada por medio de técnicas de control.

Desde sus inicios la teoría de control ha tenido un gran impacto para la ciencia y tecnología, el control PID, como su nombre lo indica consta de tres parámetros; Proporcional, Integral y Derivativo, este controlador es ampliamente utilizado en la industria, ya que se caracteriza por su simplicidad y robustez (Shen 2002). [2] El control PID es el algoritmo de control más común, siendo utilizado en el 95% de los lazos de control que existen en la industria.

El presente trabajo expone el diseño y construcción de un sistema Hélice-Viga de ala Rotatoria. Mediante herramientas de simulación y control fueron exploradas las diversas posibilidades para la elección de los materiales, diseño, construcción y control del ángulo de inclinación de la viga a través de la fuerza de empuje generada por la hélice. Para ejercer control sobre el ángulo de inclinación se realizó la identificación del movimiento del sistema y las fuerzas que actúan sobre este. Con el objetivo de obtener el modelo matemático y consecuentemente la función de transferencia.

En el trabajo se expone cada uno de los 7 capítulos que lo conforman resaltando los capítulos 5, 6 y 7, donde corresponde a la realización de las fases metodológicas en el que se lleva a cabo las actividades para el cumplimiento del desarrollo de este, en el cual se abarca desde la selección de materiales, la realización de planos, modelación matemática, proceso de ensamble hasta la creación de manuales técnicos; resultados logrados y por ultimo las conclusiones obtenidas al finalizar este proyecto, respectivamente. Teniendo al final del documento información complementaria como son los anexos.

1 JUSTIFICACIÓN

Esta idea nace desde el semillero de investigación SITAD (Semillero de Investigación en Tecnologías Analógicas y Digitales), en el cual se busca construir un laboratorio desde lo fundamental para el desarrollo de trabajos en sistema de control de navegación de drones; hasta la misma navegación, con el objetivo de crear masa crítica para el desarrollo de aplicaciones de drones en el agro llanero. Es importante incursionar creando un espacio con las herramientas necesarias para el desarrollo y la innovación en aplicaciones de drones dirigidas hacia la ganadería y la agricultura. El desarrollo agrícola es importante para la mejora de la seguridad alimentaria y la nutrición a través del incremento de la cantidad de alimentos y su diversidad, el impulso de la transformación económica y mayores ingresos para buena parte de las personas más pobres del mundo. En muchos estudios empíricos realizados en numerosos países a lo largo de muchos años se demuestra que el desarrollo agrícola y el crecimiento de toda la economía son necesarios para mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición, y que el primero puede reforzar el segundo. [3]. Actividad que redundan en la sostenibilidad alimentaria de la región.

Tal espacio no existe en ninguna universidad de Villavicencio y nadie está investigando, desarrollando o innovando en el área, por lo que es una importante oportunidad para la UAN y en dar el primer paso que es la construcción del sistema Hélice-Viga para la experimentación y el aprendizaje de control del sistema de elevación de un dron, para posteriormente, continuar con la creación de un espacio completo para la I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) en aplicaciones de drones.

La aplicación de estos sistemas y de un espacio de experimentación desde los laboratorios de la Universidad Antonio Nariño generaría conocimientos precisos en esta área para los estudiantes en un entorno adecuado que fomentaría la creación de empresas de base tecnológica

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES

Diseñar e implementar un sistema mecánico de elevación de Hélice-Viga para experimentación en teoría de control en condiciones controladas con fines académicos.

2.2 OBEJTIVOS ESPECIFICOS

Diseñar la estructura mecánica y definir elementos físicos idóneos para el sistema Hélice-Viga de ala rotatoria.

Modelizar el sistema matemático y simular el sistema Hélice-Viga, utilizando software de entorno de desarrollo.

Ensamblar la estructura del sistema Hélice-Viga.

Elabión del manual de usuario, manual técnico, presentación de resultados

3 ANTECEDENTES

El control de posición de un balancín con una hélice y motor consigue su sustentación gracias al giro de su rotor principal, impulsando el aire desde la parte superior a la inferior de su rotor generando un potente flujo de aire debido al principio o teorema de Bernoulli y tercera ley de Newton, como fue implementado por en el prototipo Motor-Hélice-Balancín en el cual el modelamiento fue obtenido mediante experimentación de la fuerza de empuje ejercida por el motor sobre la viga (Cordero and Ortega 2016). [4]



Alvarado et al. (2020) documentaron el diseño de un controlador PID para un sistema de balance de un grado de libertad, evaluando el mejor desempeño del controlador por medio de diferentes métodos: Aströn Hägglund (AH), Kaiser Chiara (KC) y Kaiser Rjka (KR), obteniendo mejor tiempo de establecimiento sobre-impulso con el método KC (Alvarado Moreno et al. 2020). [5]

Para un sistema de helicóptero de un solo rotor, similar al comportamiento de hélice-viga, fue desarrollado con base en la mecánica newtoniana, usando el enfoque de caja negra para representar las dinámicas del sistema mediante las herramientas de simulación y control de MATLAB. Parte del hardware implementado para la ejecución de las tareas de control fue un microcontrolador multinúcleo que mejoró el rendimiento y funcionalidad del sistema reduciendo el tiempo y costo de implementación (Moness et al. 2015). [6]

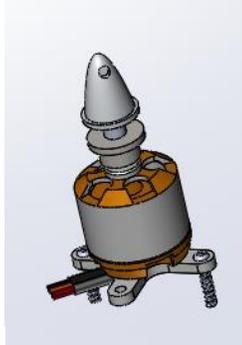
Boneto Gonçalves et al. (2019) propusieron un método de control PID para un sistema Viga-Hélice, utilizando técnicas de modelamiento caja gris. Mediante diagrama de bloques en SIMULINK-MATLAB se realizó el control del sistema en malla abierta, a través de la convolución entre la señal de control y la respuesta al escalón. Los parámetros de control PID obtenidos garantizaron el buen comportamiento del sistema (Boneto Gonçalves et al. 2019). [7]

En el artículo presentado por Uyar et al. (2012) como punto de partida realizaron el diseño mecánico usando SolidWorks para simular todas las partes de la viga apoyada en un balancín con movimiento angular generado por una hélice al extremo de la viga. Al sistema fueron aplicados algoritmos de control clásico P, PI, PD y PID al modelo simulado para compararlos con el modelo real implementado, demostrando datos muy similares entre el modelo simulado y el real (Uyar et al. 2012). [8]

4 MARCO TEORICO

4.1 MOTOR BRUSHLESS

Figura 1. Motor Brushless A2212.



Fuente: Elaboración propia.

El motor de referencia A2212 BRUSHLESS DC MOTOR (BLDC) implementado fue un motor sin escobillas de alta velocidad diseñado específicamente para cuadricopteros, drones o aviones eléctricos remotamente controlados (outrunner). El motor es del tipo outrunner donde la carcasa exterior gira mientras que la interior permanece fija. Es uno de los modelos más populares en el mercado porque es de bajo costo. El modelo escogido para la construcción del sistema mecánico fue el presentado en la figura 1. Algunas de las características principales del BLDC A2212/13T son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del motor BLDC A2212/13T.

Característica	Descripción
Índice KV	1000 rpm por voltio
Eficacia máxima	80%
Eficiencia máxima Actual:	4-10A (> 75%)
Capacidad actual	13A/60 s
Corriente de Carga de 10 V	0.5A
Número de Células	2-3 Li-poly
Dimensiones del motor	F27. 5*30mm
Diámetro del eje	F3. 17mm

Fuente: Elaboración propia.

4.2 CONTROLADOR DE MOTOR BLCD

Figura 2. Controlador ESC HW30A.



Fuente: Elaboración propia.

La tarjeta de control utilizada para el motor BLDC A2212/13T fue el modelo HW30A programable que se puede observar en la Figura 2. Puede accionar el motor con una corriente de carga continua de 30 amperios con 5V, 3A en la Base Emisor Colector (BEC). Tiene una construcción robusta con 2 tarjetas PCB separadas para controlador y Mosfet de potencia. Tiene un regulador de voltaje separado para el microcontrolador para proporcionar una buena capacidad anti-interferencias. Es más adecuado para vehículos aéreos no tripulados (UAV), aviones y helicópteros. Las características más relevantes son presentadas a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de controlador ESC HW30A.

Características	Descripción
Corriente de salida	30A Continuo, explosión 40A hasta 10seg.
Voltaje de entrada	2-4 células de batería de litio o 5-12 células de NiCd/NIMh.
BEC	2A/5 V (modo Lineal).
Velocidad máxima	210000 rpm durante 2 polos, 70000 rpm durante 6 polos, 35,000 rpm durante 12 polos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 VARIADOR ELECTRÓNICO (ESC):

Un control electrónico de velocidad (ESC) es un circuito electrónico que controla y regula la velocidad de un motor eléctrico. También puede proporcionar inversión del motor y frenado dinámico. Los controles de velocidad electrónicos en miniatura se utilizan en modelos controlados por radio eléctricos.

Se requieren diferentes tipos de controles de velocidad para motores de CC con escobillas y motores de CC sin escobillas. Se puede controlar la velocidad de un motor con escobillas variando el voltaje en su armadura. (Industrialmente, los motores con bobinados de campo electromagnético en lugar de imanes permanentes también pueden tener su velocidad controlada ajustando la fuerza de la corriente de campo del motor). Un motor sin escobillas requiere un principio de funcionamiento diferente. La velocidad del motor se varía ajustando la sincronización de los pulsos de corriente entregados a los varios devanados del motor.

Un módulo ESC genérico de 30A con un circuito eliminador integrado los sistemas ESC sin escobillas básicamente crean energía de CA trifásica, como un variador de frecuencia, para hacer funcionar motores sin escobillas. Los motores sin escobillas son populares entre los aficionados a los aviones controlados por radio debido a su eficiencia, potencia, longevidad y peso ligero en comparación con los motores tradicionales con escobillas. Los controladores de motores de CC sin escobillas son mucho más complicados que los controladores de motores con escobillas. [9]

La fase correcta de la corriente alimentada al motor varía con la rotación del motor, lo cual debe ser tenido en cuenta por el ESC: Por lo general, se usa la fuerza contraelectromotriz de los devanados del motor para detectar esta rotación, pero existen variaciones que usan magnéticos separados (Efecto Hall) sensores o detectores ópticos. Los controles de velocidad programables por computadora generalmente tienen opciones especificadas por el usuario que permiten establecer límites de corte de bajo voltaje, tiempo, aceleración, frenado y dirección de rotación. También se puede invertir la dirección del motor cambiando dos de los tres cables del ESC al motor.

ESC YGE 30I

Figura 3. YGE 30I



Fuente: Tomado de YGE 18 and 30A electronic speed controller (ESC).

Descripción:

La corriente especificada es la corriente máxima continua a plena potencia con refrigeración adecuada.

- LiPo de 2 a 4 s, con protección de subtensión por reducción de potencia.
- 6 a 12 celdas NiMH, con protección de subtensión por reducción de potencia.
- Detección de subtensión desconectable.
- conmutación BEC: 5,5V, 2A continuo, 4A pico.
- Regulación de velocidad (modo gobernador).
- Arranque suave.
- Rueda libre activa, que permite un funcionamiento ilimitado con carga parcial.
- Sincronización automática o ajustable en 6 pasos.
- Freno trasero regular EMF regulable en 5 pasos.
- Tasa de conmutación: 8 a 16 kHz
- Límite de velocidad: 240.000 RPM (motores de 2 polos)
- Advertencia de temperatura y sobrecarga
- Dimensiones totales: 42 x 24 x 6 mm
- Peso sin alambres 11g, con alambres 21g.
- Programación con ProgCard II. [10]

4.4 HELICE

El mecanismo utilizado como elemento propulsor en el eje del motor BLDC fue una hélice de dos palas ladeadas. Las seleccionadas para trazar el momento rotativo fueran las 1045 que permiten ser usadas con los rangos de velocidad del motor de

1000rpm. Su material de fabricación es de fibra de carbono y nylon que permiten menor fricción sobre el eje de rotación. En la Figura 4 se muestran un par de hélices 1045.

Figura 4. Hélice 1045.



Fuente: Elaboración propia.

Las características de la hélice fueron registradas en la Tabla 3, en donde se visualizan las dimensiones de las hélices para el soporte y anclaje del motor y la capacidad de rotación.

Tabla 3. Características Hélice 1045.

Características	Descripción
Material	ABS más fibra de carbono nylon
Rotación	En dirección opuesta del giro del reloj (Counter clockwise CCW) y dirección del giro del reloj (Clockwise CW).
Cojines propulsores	2 mm / 3 mm / 4 mm / 5 mm / 6 mm / 7.8 mm
Espesor de centro	9.7 mm
Diámetro hélice	254 mm
Diámetro del eje	6mm
Distancia entre ejes recomendado	550 mm-700 mm
Motor recomendado	
Dimensiones	800 KV – 1100 KV
Color	Negro

Fuente: Elaboración propia.

4.5 IMU

Una unidad de medición inercial o IMU (del inglés Inertial Measurement Unit) es un dispositivo electrónico cuyo objetivo es obtener mediciones de velocidad, rotación y fuerzas gravitacionales de un aparato de forma autónoma, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos. Se utilizan como componentes fundamentales en los sistemas de navegación de barcos, aviones, helicópteros, transbordadores, satélites o cualquier móvil en que sean precisos estos datos sin posibilidad alguna de obtenerlos de forma externa. Los últimos estudios han permitido, junto a la inclusión de una IMU, producir dispositivos GPS que no se ven afectados por la interferencia electromagnética. [11] Una unidad de medición inercial funciona detectando la aceleración lineal usando uno o más acelerómetros y la velocidad de rotación usando uno o más giroscopios. [12]

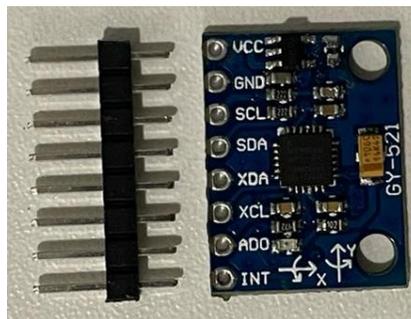
Las IMU a menudo se incorporan en los sistemas de navegación inercial que utilizan las mediciones de IMU sin procesar para calcular la altitud, las velocidades

angulares, la velocidad lineal y la posición en relación con un marco de referencia global. El INS equipado con IMU forma la columna vertebral para la navegación y el control de muchos vehículos comerciales y militares, como aviones tripulados, misiles, barcos, submarinos y satélites. Las IMU también son componentes esenciales en la guía y el control de sistemas no tripulados como UAV, UGV y UUV. Las versiones más simples de los INS denominados sistemas de referencia de actitud y rumbo utilizan IMU para calcular la actitud del vehículo con rumbo relativo al norte magnético. Los datos recopilados de los sensores de la IMU permiten que una computadora rastree la posición de una nave, utilizando un método conocido como navegación a estima.

El MPU-6050

El MPU-6050 es el primer y único dispositivo de seguimiento de movimiento de 6 ejes del mundo diseñado para los requisitos de bajo consumo, bajo costo y alto rendimiento de los teléfonos inteligentes, tabletas y sensores portátiles.

Figura 5. MPU-6050.



Fuente: Elaboración propia.

La familia MPU-6000™ proporciona la primera solución Motion Processing™ de 6 ejes integrada del mundo que elimina la desalineación del eje transversal de giro / aceleración a nivel de paquete asociada con soluciones discretas. Los dispositivos combinan un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes en el mismo troquel de silicio junto con un Digital Motion Processor™ (DMP™) integrado capaz de procesar complejos algoritmos MotionFusion de 9 ejes. Los algoritmos Motion Fusion integrados de 9 ejes de las piezas acceden a magnetómetros externos u otros sensores a través de un bus I2C maestro auxiliar, lo que permite que los dispositivos recopilen un conjunto completo de datos de sensores sin la intervención del procesador del sistema. Para un seguimiento preciso de movimientos rápidos y lentos, las piezas cuentan con un rango de escala completa de giroscopio programable por el usuario de ± 250 , ± 500 , ± 1000 y ± 2000 ° / seg (dps) y un acelerómetro de escala completa programable por el usuario rango de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ y $\pm 16g$. El MPU-6050 admite comunicaciones I2C de hasta 400 kHz y tiene un pin VLOGIC que define los niveles de voltaje de su interfaz; Las características adicionales incluyen un sensor de temperatura integrado y un oscilador en chip con una variación de $\pm 1\%$ sobre el rango de temperatura de funcionamiento.

Especificaciones:

- I2C Salida digital de datos MotionFusion de 6 o 9 ejes en matriz de rotación, cuaternión, ángulo de Euler o formato de datos sin procesar.
- Voltaje de entrada: 3-5 V.
- Puentes de soldadura seleccionables en CLK, FSYNC y AD0.
- Sensor de velocidad angular de tres ejes (giroscopio) con una sensibilidad de hasta 131 LSB / dps y un rango de escala completa de ± 250 , ± 500 , ± 1000 y ± 2000 dps.
- Acelerómetro Tri-Axis con un rango de escala completa programable de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ y $\pm 16g$.
- El motor Digital Motion Processing [™] (DMP [™]) descarga el complejo MotionFusion, la sincronización del tiempo del sensor y la detección de gestos.
- Algoritmos integrados para el sesgo en tiempo de ejecución y la calibración de la brújula. No se requiere la intervención del usuario.
- Sensor de temperatura de salida digital.
- Dimensiones: 20 * 15 * 1,6 mm. [13]

4.6 POTENCIÓMETRO

Un potenciómetro es una resistencia variable ajustable manualmente con 3 terminales. Dos de los terminales están conectados a los extremos opuestos de un elemento resistivo, y el tercer terminal se conecta a un contacto deslizante, llamado limpiador, que se mueve sobre el elemento resistivo. El potenciómetro funciona esencialmente como un divisor de resistencia variable. El elemento resistivo puede verse como dos resistencias en serie (la resistencia total del potenciómetro), donde la posición del limpiaparabrisas determina la relación de resistencia de la primera resistencia a la segunda resistencia. Si se aplica un voltaje de referencia a través de los terminales finales, la posición del limpiaparabrisas determina el voltaje de salida del potenciómetro.

La forma más común de potenciómetro es el potenciómetro giratorio de una sola vuelta. Este tipo de potenciómetro se utiliza a menudo en el control de volumen de audio (conicidad logarítmica), así como en muchas otras aplicaciones. Se utilizan diferentes materiales para construir potenciómetros, incluida la composición de carbono, cermet, bobinado, plástico conductor o película metálica. [14]

Figura 6. Potenciómetro.



Fuente: Elaboración propia.

4.7 ARDUINO

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida, activando un motor, encendiendo un LED, publicando algo en línea. Puede decirle a su tablero qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en el tablero. Para hacerlo, utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino (IDE) , basado en Processing. [15]

ARDUINO UNO

Arduino uno es una placa microcontroladora basada en ATmega328, muy utilizada en proyectos de tecnología electrónica, cuenta con 32 KB de memoria flash para almacenar código, de los cuales 0,5 KB se utilizan para bootloader. Tiene 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM, tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un dispositivo de reinicio.

El Uno se diferencia de todas las placas anteriores en que no utiliza el chip controlador FTDI USB a serie.

Las características adicionales que vienen con la versión R3 son:

- ATmega16U2 en lugar de 8U2 como convertidor de USB a serie.
- Pin out: se agregaron pines SDA y SCL para comunicación TWI colocados cerca del pin AREF y otros dos nuevos pines colocados cerca del pin RESET, el IOREF que permite que los escudos se adapten al voltaje provisto desde la placa y el segundo es un pin no conectado, que está reservado para fines futuros.
- circuito de RESET más fuerte. [16]

Figura 7. Arduino Uno



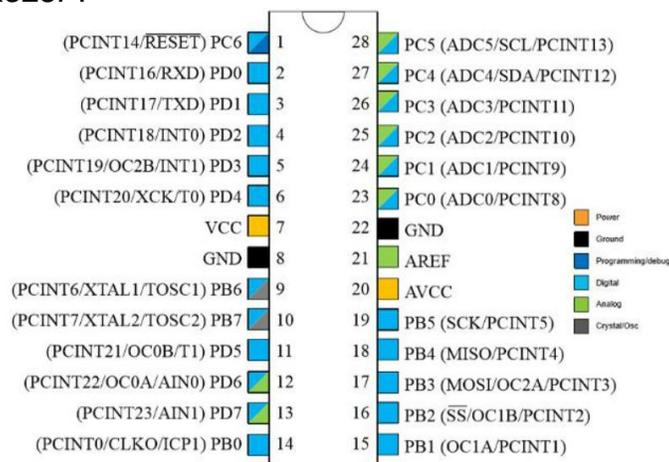
Fuente: tomado de institute NCB.

MICROCONTROLADOR

ATmega328P es el microcontrolador AVR de arquitectura RISC avanzada de Atmel con alto rendimiento, bajo consumo de energía y optimizado para el compilador C.

- 131 Instrucciones potentes, la mayoría ejecutada en un solo ciclo de reloj.
- Un banco de 32x8 registros de propósito general.
- Hasta 20 MIPS (Millones de instrucciones por segundo) a 20 MHz.
- Un multiplicador hardware on-chip de 2 ciclos.
- Memoria de programa FLASH de 32 KBytes, programable dentro del sistema.
- Memoria SRAM interna de 2 KBytes.
- Memoria EEPROM de 1 KByte.
- 2 Timers/Contadores de 8 bits.
- 1 Timer/Contador de 16 bits.
- 6 Canales PWM.
- 6 Canales analógicos para el ADC.
- 1 Puerto serial USART.
- 1 Interface serial SPI.
- 1 Interface serial 2-Wire, compatible con I2C.
- 1 Timer watchdog.
- 1 Un comparador analógico on-chip.
- Interrupciones.
- Varios modos de bajo consumo. [17]

Figura 8. ATmega328P.

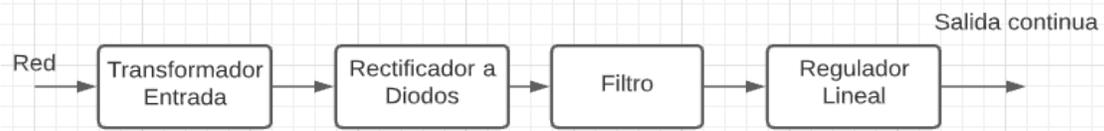


Fuente: Tomado de institute NCB.

4.8 UNIDAD DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible, para ello se usan los siguientes componentes: 1.- Transformador de entrada; 2.- Rectificador a diodos; 3.- Filtro para el rizado; 4.- Regulador (o estabilizador) lineal. este último no es imprescindible. [18]

Figura 9. Diagrama de fuente.



Fuente: Tomado de institute NCB.

Características eléctricas de una fuente de 12V

- Tamaño: 220x120x55mm
- Temperatura de operación: -22°F a 140°F
- El diseño en aluminio proporciona protección básica a prueba de lluvia cuando es montada en forma vertical.

Características eléctricas:

- Eficiencia: 82%
- Factor de potencia: 0.9
- Refrigeración activa (ventilador)
- Protección contra cortocircuitos y sobre corriente

Características eléctricas de entrada:

- Terminales de entrada: 3 (Ground, N, L)
- Voltaje de entrada: 110/120VAC
- Corriente entrada: 3.8A Max.

Características eléctricas de salida:

- Terminales de salida: 6 (+,+,+,-,-,-)
- Voltaje de salida: 12VDC.
- Corriente de salida: 42A Max.
- Potencia de salida: 500W, 12V/42A. [19]

Características eléctricas de una fuente de 5V

- Tamaño: 85x33x58mm
- Temperatura de operación: -22°F a 140°F

Características eléctricas:

- Eficiencia: 85%
- Factor de potencia: 0.9
- Refrigeración pasiva(disipador)

Características eléctricas de entrada:

- Terminales de entrada: 3 (Ground, N, L)
- Voltaje de entrada: 110/120VAC
- Corriente entrada: 0.2A Max.

Características eléctricas de salida:

- Terminales de salida: 2 (+,-)
- Voltaje de salida: 5VDC Max.
- Corriente de salida: 5A Max.
- Potencia de salida: 25W, 5V/5A Max. [20]

4.9 TEOREMA DEL MOMENTO CINÉTICO

El momento angular o momento cinético se define como una magnitud física que representa la cantidad de movimiento rotacional de un objeto. Se define el momento

cinético (o momento angular) de una partícula respecto a un punto fijo O como (LAPLACE, 2016):

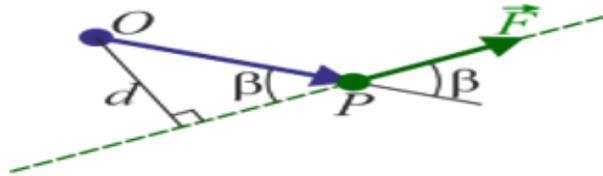
$$\vec{L}_O = \vec{r} \times \vec{p} = m\vec{r} \times \vec{v}$$

Donde $\vec{r} = \vec{OP}$, el vector de posición del punto P relativa al punto O. Se define el momento respecto a un punto *fijo* O de una fuerza aplicada en un punto P como el producto vectorial

$$\vec{M}_O = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{OP} \times \vec{F}$$

Al momento de una fuerza también se lo denomina “el par de la fuerza” también conocido como torque.

Figura 10. El par de la fuerza o torque.



Fuente: Momento cinético (CMR) (LAPLACE, 2016).

El módulo del momento de una fuerza es igual a:

$$|\vec{M}_O| = |\vec{F}| |\vec{OP} \text{sen} \beta|$$

Pero:

$$d = |\vec{OP} \text{sen} \beta|$$

Es la distancia a la llamada *recta soporte*, que es aquella que pasa por P y tiene la dirección de la fuerza. Por tanto, el módulo del momento de la fuerza se puede escribir

$$|\vec{M}_O| = |\vec{F}| d$$

A la distancia d se la denomina “brazo del momento” o “brazo del par”. De aquí resulta que el valor del momento de una fuerza no depende de la posición exacta del punto P, sino solo de la recta soporte donde se halla.

La dirección del momento de la fuerza es perpendicular al plano definido por \vec{OP} y la fuerza (es decir, el que contiene a O y a la recta soporte). Su sentido lo da la regla de la mano derecha. Si O está a un lado de la recta soporte, el sentido del momento es hacia afuera del plano; si está al otro es hacia adentro. Cuando el propio punto O se encuentra en la recta soporte

$$\vec{OP} \parallel \vec{F} \rightarrow \vec{M}_O = 0$$

Si tenemos varias fuerzas actuando sobre la misma partícula, la resultante de los momentos es igual al momento de la resultante. [21]

$$\begin{aligned}\vec{M}_O &= \sum_i \vec{M}_{iO} = \sum_i \vec{r} \times \vec{F}_i = \vec{r} \times \sum_i \vec{F}_i \\ \vec{M}_O &= \vec{r} \times \vec{F}\end{aligned}$$

4.10 SERIES DE TAYLOR

Es un método para la solución de ecuaciones diferenciales usando series, un método alternativo para hallar soluciones con series de potencias de la ecuación diferencial:

$$p(x)y'' + q(x)y' + r(x)y = 0$$

Alrededor de un punto ordinario $X = 0$ está disponible y se conoce como el método de la serie de Taylor. Este método usa los valores de las derivadas evaluadas en el punto ordinario, los cuales se obtienen de la ecuación diferencial por diferenciación sucesiva. El método de Euler se basa en que la recta tangente proporciona una buena aproximación local de la función. ¿Pero por qué restringirnos a aproximaciones lineales cuando disponemos de aproximaciones mediante polinomios de orden superior? Por ejemplo, podemos usar el polinomio de Taylor de grado n entorno de $x = y_0$ definido por:

$$P_n(x) = y(x_0) + y'(x_0)(x - x_0) + \frac{y''(x_0)(x - x_0)^2}{2!} + \frac{y'''(x_0)(x - x_0)^3}{3!} + \dots + \frac{y^{(n)}(x_0)(x - x_0)^n}{n!}$$

Este polinomio es la n -ésima suma parcial de la representación en serie de Taylor. [22]

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{y^{(k)}(x_0)}{k!} (x - x_0)^k$$

5 DISEÑO METODOLÓGICO

En esta sección nos centraremos en los elementos que constituyen el sistema hélice-viga de ala rotatoria, tanto los dispositivos de la estructura su hardware y software. Se describe detalladamente la planta y su funcionamiento, de manera seguida describir las peculiaridades y su puesta en marcha, así como el modelo específico que ha sido utilizado para este proyecto.

5.1 FASE 1

Diseñar los elementos mecánicos y seleccionar elementos necesarios para la elaboración del sistema Hélice-Viga.

En esta primera fase se realizará el diseño de las piezas referentes al sistema hélice-viga, por medio de la utilización de software de entorno de desarrollo para diseñar, y se hará la selección de los elementos adecuados para este sistema.

5.2 ACTIVIDADES

5.2.1 Diseño del sistema

Un sistema de Hélice-viga de ala rotatoria, compuesto por una barra, que posee un grado de libertad en torno a de un eje horizontal y el movimiento está contenido en un plano vertical. Este movimiento se produce por el empuje que influye a la hélice a girar, la cual está conectada a un motor ubicado en el extremo de la barra. El cambio en la velocidad de la hélice permite controlar su empuje, intentando así mover la barra a una determinada posición. La posición se determina midiendo el ángulo formado por la barra con respecto a la vertical. Se recomienda utilizar dos sensores y un indicador para medir el ángulo o la posición: unidad de medida inercial (IMU, unidad de medida inercial), potenciómetro y transportador.

5.2.2 Selección de materiales adecuados.

Para la realización de esta actividad es necesario establecer la selección de los materiales idóneos para la construcción del sistema Hélice-viga, estos materiales serán seleccionados por sus capacidades funcionales para este tipo de sistema, estos son elegidos dado a su fácil obtención, y manejo de estos también serán seleccionados los componentes estructurales, como software y hardware. La forma en la que se seleccionaran los componentes hace que sea posible reutilizar los equipos disponibles en el medio. Por lo tanto, se intentará utilizar como sea posible componentes comerciales, de fácil acceso, uso y bajo precio.

5.2.3 Realización del plano de cada pieza del sistema.

Una vez seleccionados los materiales para el ensamble del sistema ya mencionado, se llevará a cabo la realización de los planos de cada uno de ellos, los cuales serán realizado por medio de un software de entorno de desarrollo, donde se podrá ver

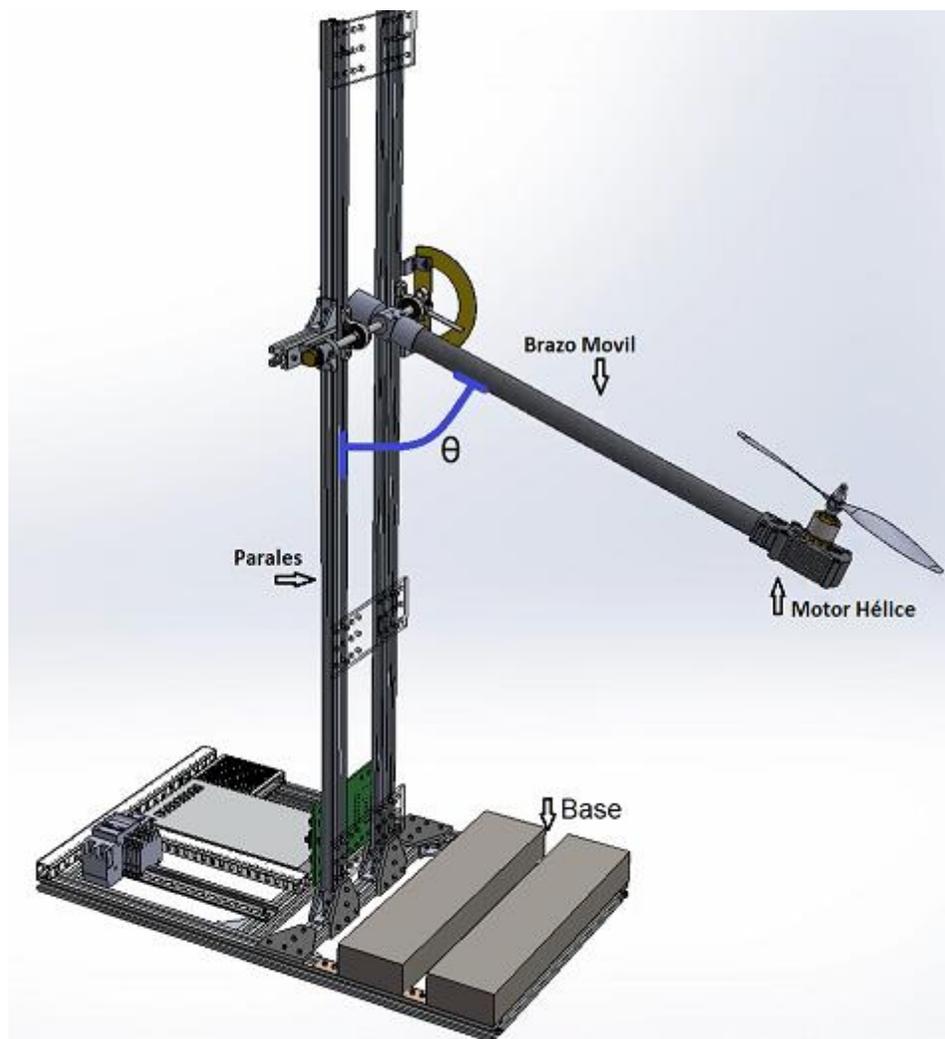
calidades como lo es su forma y tamaño, para organizarlos se realizará una tabla en Word donde se evidencie el nombre y su respectivo plano los cuales se dará uso en la fase 3.

5.3 DESARROLLO DE LA FASE 1

5.3.1 Diseño del sistema

Gracias a la figura 1 se puede evidenciar el diseño establecido para el sistema Hélice-viga

Figura 11. Representación de la estructura para la planta



Fuente: Elaboración propia.

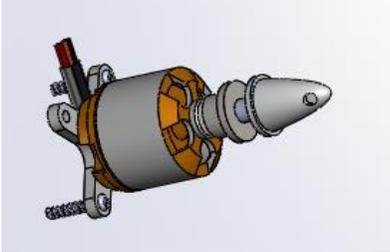
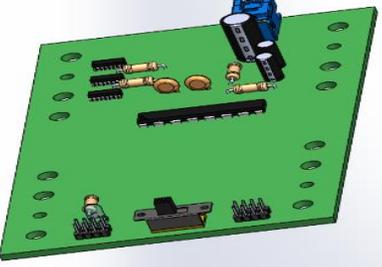
5.3.2 Selección de materiales adecuados.

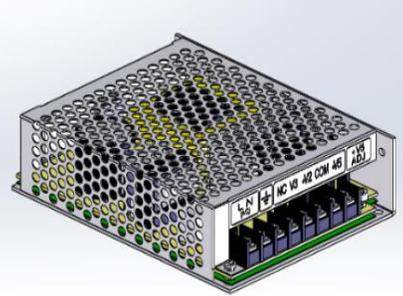
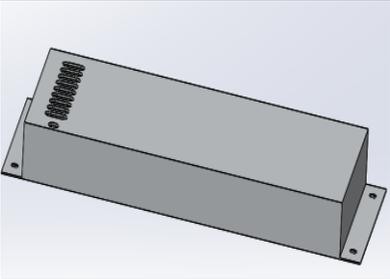
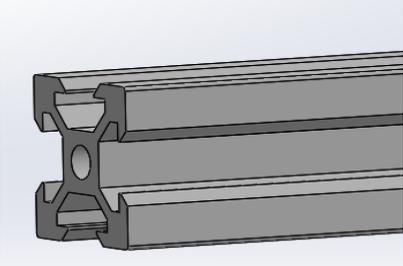
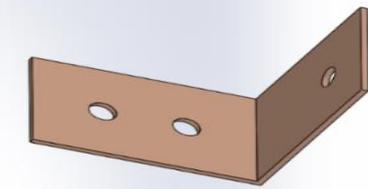
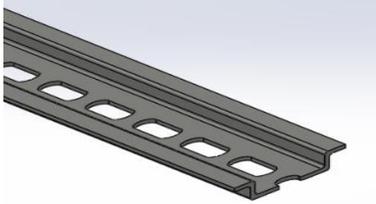
- Se evidencia la lista de materiales seleccionados.

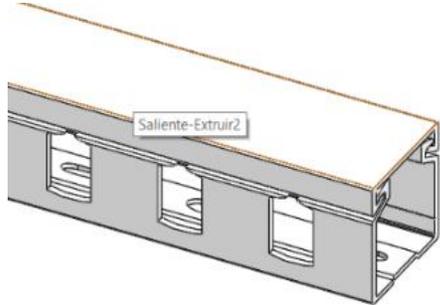
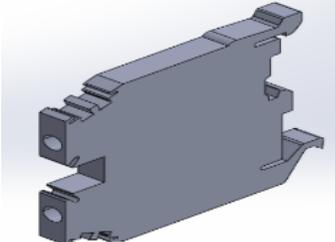
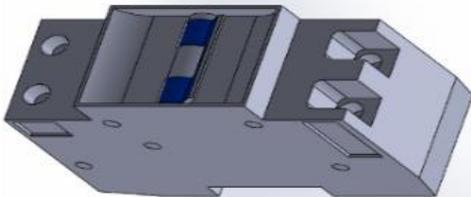
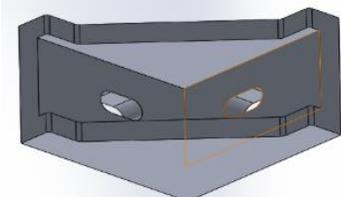
- Perfiles V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud.
- Unión tipo T de 5 agujeros de aluminio.
- Láminas unión tipo L 3x3cm.
- Riel DIN de 24cm.
- Canaletas PVC ranurada 25x25mm de 25.5cm de largo.
- Bornes eléctricos.
- Freno de bornera.
- Disyuntor magnético bipolar (Breaker).
- Fuente de alimentación 5V DC, 5A MAX.
- Fuente de alimentación 12V DC, 42A MAX.
- Soporte plástico, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020.
- Uniones tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020.
- Tornillo M5 de acero inoxidable.
- Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020.
- Perfil metálico 4x8 con 34cm de longitud.
- Unión rectangular de 24 orificios en acrílico de 7mm.
- Transportador.
- Angulo de sujeción Unión tipo L.
- Placa electrónica.
- Angulo de sujeción para potenciómetro.
- Acople para potenciómetro-eje D25L30 con conectores a 6.35mm y 8mm.
- Potenciómetro.
- Varilla lisa de 8mm.
- Chumaceras (KP08), soporte con rodamiento 608RS, ID 8mm.
- Acople de aluminio tipo T de 20mm a 25mm.
- Varilla roscada de 1/4in x 12cm de longitud.
- Contrapeso con rosca.
- Tuercas 1/4in.
- Soporte para varilla lisa (SHF8).
- 1 motor brushless BLDC A2212 / 13T 1000KV.
- Acople base para RC plana UAV Drones especificación.
- Acople base para RC plana UAV Drones especificación.
- Hélice de carbono 1045.
- Tubo de fibra de carbono con OD de 25mm.
- ESC, 30A BLDC con 5V.
- MPU-6050
- Cableado

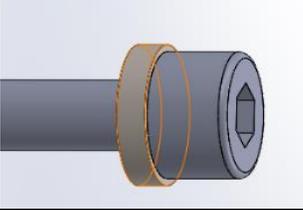
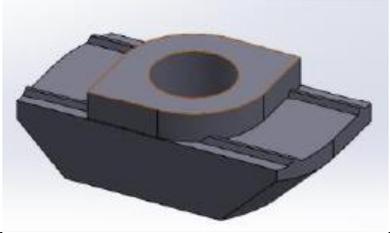
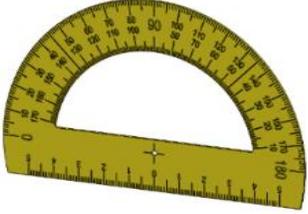
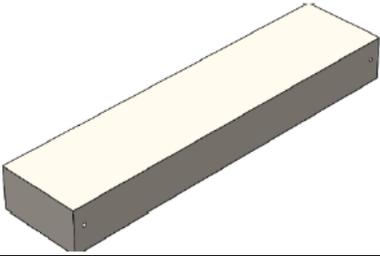
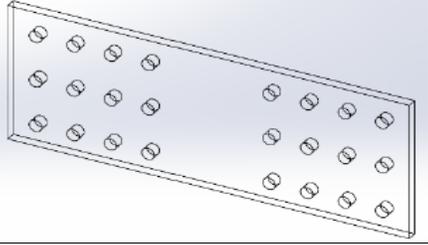
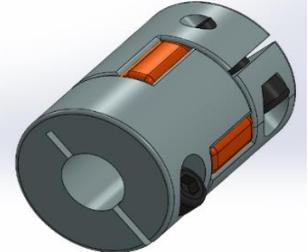
5.3.3 Realización del plano de cada pieza del sistema.

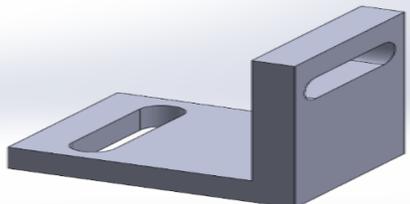
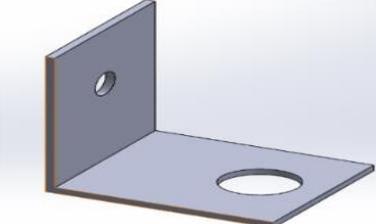
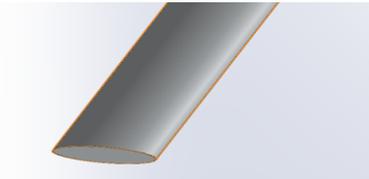
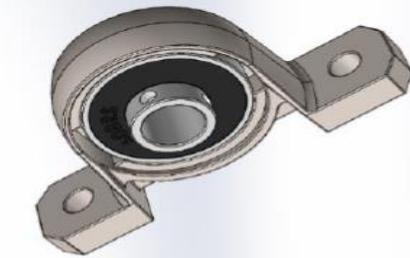
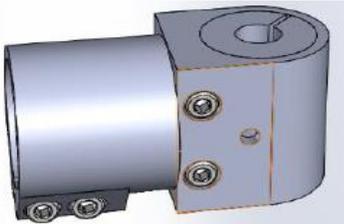
Tabla 4. Nombre y planos de cada pieza.

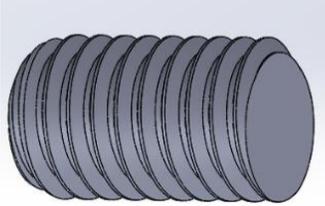
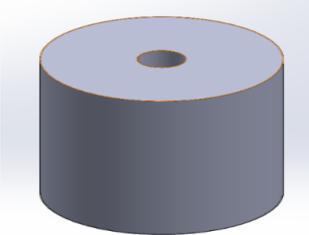
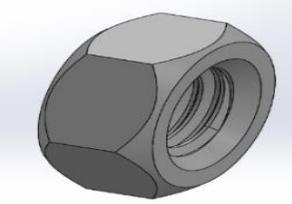
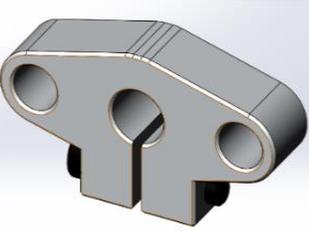
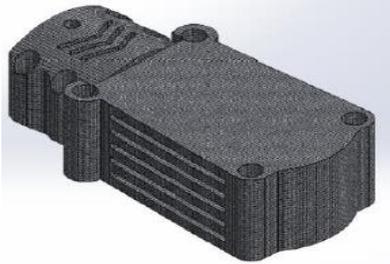
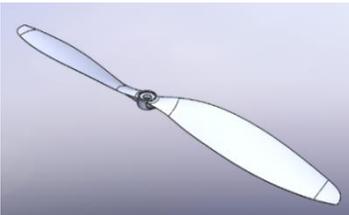
Descripción material	Grafico
Motor brushless BLDC A2212 / 13T 1000KV	
Potenciómetro	
ESC, 30ª BLDC con 5V	
MPU-6050 (IMU)	
Placa electrónica	

<p>Fuente de alimentación 5V DC, 5ª MAX</p>	
<p>Fuente de alimentación 12V DC, 42ª MAX</p>	
<p>Perfiles V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud</p>	
<p>Unión tipo T de 5 agujeros de aluminio</p>	
<p>Láminas unión tipo L 3x3cm</p>	
<p>Riel DIN de 24cm</p>	

<p>Canaletas PVC ranurada 25x25mm de 25.5cm de largo</p>	
<p>Bornes eléctricos</p>	
<p>Freno de bornera</p>	
<p>Disyuntor magnético bipolar (Breaker)</p>	
<p>Soporte plástico, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020</p>	
<p>Uniones tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020</p>	

<p>Tornillo M5 de acero inoxidable</p>	
<p>Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020</p>	
<p>Transportador</p>	
<p>Perfil metálico 4x8 con 34cm de longitud</p>	
<p>Unión rectangular de 24 orificios en acrílico de 7mm</p>	
<p>Acople para potenciómetro-eje D25L30 con conectores a 6.35mm y 8mm</p>	

<p>Tubo de fibra de carbono con OD de 25mm</p>	
<p>Angulo de sujeción Unión tipo L</p>	
<p>Angulo de sujeción para potenciómetro</p>	
<p>Varilla lisa de 8mm</p>	
<p>Chumaceras (KP08), soporte con rodamiento 608RS, ID 8mm</p>	
<p>Acople de aluminio tipo T de 20mm a 25mm</p>	

<p>Varilla roscada de 1/4in x 12cm de longitud</p>	
<p>Contrapeso con rosca</p>	
<p>Tuercas 1/4in</p>	
<p>Soporte para varilla lisa (SHF8)</p>	
<p>Acople base para RC plana UAV Drones especificación</p>	
<p>Hélice de carbono 1045</p>	

Fuente: Elaboración propia.

5.4 FASE 2

Modelización matemática y simulación del sistema hélice–viga de ala rotatoria en software de entorno de desarrollo. En esta segunda fase se realizará la modelización que es el esquema matemático teniendo en cuenta las variables que gobiernan al sistema, como es su ángulo de inclinación, torque, estabilidad y su respectiva simulación por medio de software de entorno de desarrollo.

5.5 ACTIVIDADES

5.5.1 Obtener características rotacionales de la planta.

Para la obtención de estas, es preciso identificar las características físicas de sistema como lo es el brazo que tiene una hélice en un extremo, paralelos para la sujeción del brazo y una base donde esto encontrara incorporado, es necesario analizar las fuerzas que gobiernan la estructura establecer los tipos de movimiento de la estructura, como lo es el movimiento de brazo, donde intervienen ciertos rasgos tales como la posición angular que se presenta entre el brazo y la estructura fija, también las fuerzas que intervienen: fuerza de empuje de la hélice, fuerza del peso debido a la gravedad, fuerza de reacción entre otros, también se encuentra necesario determinar las zonas de inestabilidad del sistema para así proceder a realizar el modelamiento matemático.

5.5.2 Modelo matemático, usando la teoría y las ecuaciones del momento angular.

Una vez establecidas las características rotacionales de la planta, se procederá a realizar el modelado matemático, estableciendo las ecuaciones para la estructura, donde se tendrán en cuenta las fuerzas que intervienen en el momento cinético a la estructura en su estado inicial, para concluir con linealización de la ecuación y su función de transferencia la cual permitirá a futuro realizar control.

5.5.3 Realización de la simulación del sistema hélice-viga en software de entorno de desarrollo.

Para la realización de esta actividad se realizará un video donde se demuestre la simulación del sistema.

5.6 DESARROLLO FASE 2

5.6.1 Obtener características rotacionales de la planta.

Identificación de fuerzas del sistema.

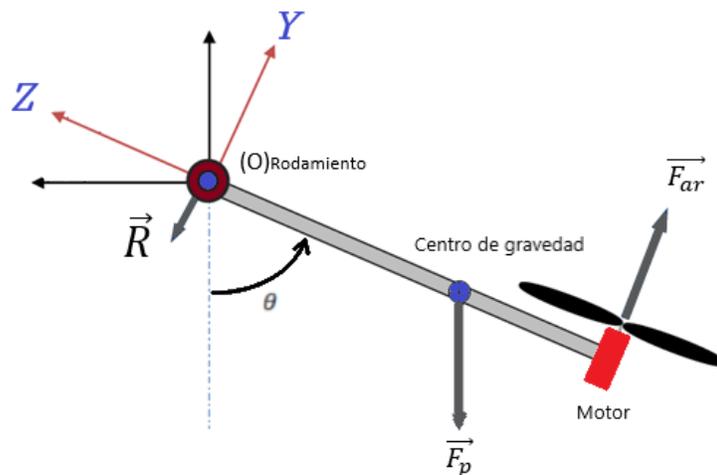
Para la realización del modelo matemático de la planta, se debe establecer que el movimiento de la viga ocurre debido al efecto de las fuerzas que se ejercen a lo largo de la viga y que son perpendiculares a su longitud. Estas fuerzas son opuestas

entre sí y una puede ser mayor o igual a la otra, generando variaciones o estabilización en el valor del ángulo que aparece entre la viga y el soporte vertical respectivamente. Debe entenderse que la viga está sujeta al soporte vertical por uno de sus extremos, de hecho, el extremo opuesto al lugar de ubicación del ala rotatoria y esto genera un movimiento rotacional en la viga respecto al punto de sujeción en su extremo. Este punto de sujeción se denomina el punto O y allí se encuentra instalado un rodamiento y un potenciómetro, el cual es opcional.

Las fuerzas implicadas en el movimiento de la viga son:

1. la fuerza de empuje del ala rotatoria (\vec{F}_{ar})
2. la fuerza del peso del conjunto (viga-ala rotatoria) debido a la gravedad (\vec{F}_p) aplicada en su centro de gravedad,
3. y la fuerza de reacción que aparece en el rodamiento (\vec{R}) que impide el desplazamiento en ese punto y que tendrá la dirección y valor que le corresponda.

Figura 12. Fuerzas que actúan sobre la estructura móvil en equilibrio.



Fuente: Elaboración propia.

Se define entonces el sistema de referencia mostrado en la figura, tal que su eje Y coincide con la viga, y podría decirse, que es la viga; esto implica que el eje Z es siempre perpendicular a la viga, además, la viga y el eje Z hacen parte del plano YZ . Este marco de referencia se denomina OYZ y se considera dinámico, es decir, que se mueve con la viga.

Como el sistema de referencia está ligado a la estructura móvil, de tal forma que el eje OY coincide con el eje longitudinal de la barra, el giro del ala rotatoria genera una fuerza perpendicular al eje OY con magnitud dependiente de su velocidad de rotación y dirección a su eje de giro, es decir, con dirección al eje Z .

El peso del conjunto viga-ala rotatoria es la magnitud de la fuerza de peso aplicada en su centro de gravedad con dirección de la gravedad. Esta fuerza de peso tiene componentes en los ejes OY y OZ del marco de referencia.

El conjunto viga-ala rotatoria gira respecto al punto O , de ahora en adelante llamado eje de rotación, pero no se desplaza gracias a la fuerza de reacción que aparece en el eje de rotación. Esta fuerza de reacción tiene sentido opuesto al que ejerce la resultante de las demás fuerzas sobre el conjunto viga-ala rotatoria y su magnitud es la misma de esta resultante (suma de \vec{F}_{ar} y \vec{F}_p , recordando que estas dos son opuestas).

Las fuerzas \vec{F}_{ar} y \vec{F}_p se pueden expresar como sigue:

$$\vec{F}_{ar} = F_{ar} \vec{k} \quad (1)$$

$$\vec{F}_p = F_p (\cos \theta \vec{j} - \sin \theta \vec{k}) \quad (2)$$

$$\vec{R} = R_y \vec{j} + R_z \vec{k} \quad (3)$$

En este punto cabe recordar que la magnitud de F_p es $m * g$, donde m es la masa del conjunto viga-ala rotatoria y g es la aceleración gravitacional en la superficie de la Tierra. Además, \vec{R} se puede entender como la fuerza que genera puntos de equilibrio, sobre todo en el eje Y .

Por otro lado, y ya habiendo establecido expresiones para las fuerzas sobre el conjunto viga-ala rotatoria, se debe aclarar con base en la figura 5, que el sistema solo tendrá un grado de libertad restringido al semieje derecho del plano YZ , y que dicho semieje, contiene posiciones estables del conjunto viga-ala rotatoria en el cuadrante IV de dicho plano y, por el contrario, contiene posiciones inestables en el cuadrante I del mismo plano. Esto se puede apreciar realizando un análisis de la distribución de las componentes de \vec{F}_p y cómo éstas podrían contrarrestarse con la \vec{F}_{ar} . En la posición más extrema del cuadrante I, estas fuerzas pueden llegar a ser totalmente perpendiculares y la estabilidad de esta posición ser nula.

5.6.2 Modelo matemático, usando la teoría y las ecuaciones del momento angular.

Dinámica del sistema.

Una vez identificadas las fuerzas y definido el marco de referencia, procedemos a relacionar las fuerzas con el movimiento del sistema con el fin de hallar una ecuación que describa la evolución del ángulo θ en función de la única fuerza controlable. La única fuerza controlable es la generada a partir del ala rotatoria y esta fuerza será dependiente del giro de la hélice del sistema, es decir, de las revoluciones del motor brushless.

Aplicando la ley de conservación del momento cinético, que permite obtener una ecuación de movimiento relacionando el ángulo θ con las fuerzas que intervienen en el sistema, y recordando que el momento de inercia en una barra está dado por:

$$I = \int_m r^2 dm \quad (4)$$

Donde I es el momento de inercia del conjunto respecto del punto O; este se trata de una constante del sistema ya que la masa de la barra (de ahora en adelante viga) no varía. Además, en nuestro caso, la viga es de longitud b y está en rotación respecto a un extremo, por lo que se tiene que su momento angular es:

$$l = \int (r \times v) dm \quad (5)$$

Dividimos entonces la viga en porciones de longitud diferencial dx siendo su masa: $dm = \left(\frac{M}{b}\right) dx$, resolvemos el producto cruz y reemplazamos en la integral obteniendo lo siguiente:

$$l = \int_0^b (xi) \times (\omega xj) \left(\frac{M}{b}\right) dx \quad (6)$$

$$l = \frac{M}{b} \omega k \int_0^b x^2 dx \quad (7)$$

$$l = \frac{Mb^2}{3} \omega k = I\vec{\omega} \quad (8)$$

Esto significa que el *momento de inercia* de la viga que gira respecto a un eje que pasa por el extremo opuesto donde se ubica el ala rotatoria es igual a:

$$I = \frac{Mb^2}{3} \quad (9)$$

A partir de aquí y usando el Teorema del Momento Cinético, podemos obtener la expresión que relaciona a θ con \vec{F}_{ar} y \vec{F}_p . Según la Teoría de Mecánica, en el caso de un sistema indeformable como éste, el momento cinético en un punto cualquiera es:

$$\vec{L}_0 = I\vec{\omega} + M_T \vec{OG} \times \vec{V}^0 \quad (10)$$

Donde:

$\vec{\omega}$ es la velocidad angular alrededor del eje de giro O

M_T es la masa total del sistema.

\vec{OG} es el vector de posición del centro de gravedad

\vec{V}^0 la velocidad del punto O respecto de un sistema de referencia estático.

Revisando la ecuación del momento cinético, y resaltando que el eje de rotación de la viga es fijo, se concluye que $\vec{V}^0 = 0$. Además, la velocidad angular solo tiene componente en x, debido a que el plano de rotación es **OYZ**, y se debe escribir

como $\vec{\omega} = \frac{d\theta}{d(t)} \vec{x}$. De acuerdo con esto, se dice que el momento cinético queda igual a:

$$\vec{L}_0 = I\vec{\omega} = I \frac{d\theta}{d(t)} \vec{x} \quad (11)$$

Si derivamos el momento cinético, obtenemos una expresión que incluye a la aceleración angular por definición:

$$\frac{d\vec{L}_0}{d(t)} = I \frac{d\vec{\omega}}{d(t)} \quad (12)$$

$$\frac{d\vec{L}_0}{dt} = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \vec{x} \quad (13)$$

Se sabe que la derivada del momento cinético es igual a la sumatoria de las fuerzas, por lo que podemos decir que:

$$\frac{d\vec{L}_0}{d(t)} = \sum_{n=1}^N \vec{r}_n \times \vec{F}_n + \vec{C} \times \vec{V}_0 \quad (14)$$

Donde:

- N es el número de fuerzas que intervienen en el sistema
- \vec{r}_n es el vector que une el punto O con el punto donde se aplica la fuerza n
- \vec{F}_n las n fuerzas de sistema
- \vec{V}_0 la velocidad del sistema

Por similitud con el momento cinético para nuestro sistema, $\vec{V}_0 = 0$, y entonces:

$$\frac{d\vec{L}_0}{d(t)} = \sum_{n=1}^N \vec{r}_n \times \vec{F}_n \quad (15)$$

Lo que nos lleva a decir que la sumatoria de las fuerzas es igual a la derivada del momento angular, obteniendo:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} \vec{x} = \sum_{n=1}^N \vec{r}_n \times \vec{F}_n \quad (16)$$

A la ecuación anterior se añade un término más que representa la fuerza de rozamiento existente en el eje de rotación, ya que el giro lo permite un rodamiento con un rozamiento finito. Dicho término se representa como el producto entre la velocidad angular y una constante B, conocida como constante de rozamiento en el eje de rotación.

$$I \frac{\partial^2\theta}{\partial t^2} = \sum \vec{r}_n \times \vec{F}_n - B \frac{\partial\theta}{\partial t} \quad (17)$$

O, su representación cuando se iguala a cero como:

$$I \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + B \frac{\partial \theta}{\partial t} - \sum \vec{r}_n \times \vec{F}_n = 0 \quad (18)$$

Recordando que las fuerzas del sistema son \vec{F}_{ar} , \vec{F}_p y \vec{R} , pero solo las dos primeras son las que generan movimiento rotacional, entonces podemos reescribir la ecuación (18) utilizando las siguientes definiciones:

$$\vec{F}_{ar} = F_{ar} \vec{k} \quad (19)$$

$$\vec{F}_p = mg(\cos \theta \vec{j} - \sin \theta \vec{k}) \quad (20)$$

Se debe entender que las posiciones o ubicaciones de aplicación de las fuerzas en la viga son específicas y tienen una medida desde el eje de rotación y se pueden generalizar como: d_c a la distancia desde el eje de rotación al centro de gravedad del conjunto viga-ala rotatoria, y d_{ar} a la distancia desde el eje de rotación al ala rotatoria.

Esto define entonces a los vectores

$$r_{ar} = 0i + d_{ar}j + 0k \quad \text{y} \quad r_c = 0i + d_cj + 0k \quad (21)$$

que dejan clara la única componente de estos vectores a lo largo de la viga. Entonces, el producto cruz entre las fuerzas y sus respectivas posiciones, dan por resultado lo siguiente:

$$\vec{F}_{ar} \times r_{ar} = -d_{ar}F_{ar} \quad (22)$$

$$\vec{F}_c \times r_c = mgd_c \sin \theta \quad (23)$$

Por último, reemplazando estos resultados en (18), se llega a

$$I \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + B \frac{\partial \theta}{\partial t} - mgd_c \sin \theta + d_{ar}F_{ar}(t) = 0 \quad (24)$$

La ecuación (2) relaciona la fuerza de empuje que ejerce el ala rotatoria con el ángulo que forma la viga respecto al soporte vertical permitiendo conocer su posición en todo instante de tiempo. Sin embargo, es una ecuación diferencial de segundo orden no lineal debido a la función sinusoidal que compromete a θ . Para obtener la función de transferencia del sistema a partir de (24) habrá que linealizarla en torno a un punto de equilibrio, de tal forma que $\sin \theta$ se pueda considerar una constante.

Con el fin de linealizar la ecuación (24) se considera la función $f(\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar})$ de forma tal que:

$$f(\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar}) = I\ddot{\theta} + B\dot{\theta} - mgd_c \sin \theta + d_{ar}F_{ar}(t) \quad (25)$$

Además, se define el punto de equilibrio conocido, por ejemplo:

$$a = (\ddot{\theta} = 0, \dot{\theta} = 0, \theta = \theta_0, F_{ar} = F_{ar0}) \quad (26)$$

Reemplazando a en la ecuación (25) tal que:

$$f(a) = f(0,0, \theta_0, F_{ar}) = -mgd_c \sin \theta_0 + d_{ar}F_{ar0} \quad (27)$$

Se definen las variables incrementales $\alpha(t)$ y $\beta(t)$, que dependen del punto de equilibrio:

$$\begin{aligned}\alpha(t) &= \theta(t) - \theta_0 \\ \dot{\alpha}(t) &= \dot{\theta}(t) \\ \ddot{\alpha}(t) &= \ddot{\theta}(t) \\ \beta(t) &= F_{ar}(t) - F_{ar0}\end{aligned}$$

Para realizar el desarrollo en series de Taylor de la función f en torno al punto de equilibrio conocido, se debe decir que un punto cualquiera para f es $(x - a) = ((\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar}(t)) - (0, 0, \theta_0, F_{ar0}))$, lo que se resume en $(x - a) = (\ddot{\alpha}, \dot{\alpha}, \alpha, \beta)$, es decir, un punto cualquiera para f está definido por las variables incrementales.

Como f es una función de varias variables, su expansión en series de Taylor debe contener las derivadas parciales que correspondan, para nuestra función de cuatro variables, la serie de Taylor se define como:

$$\begin{aligned}f(\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar}(t)) & \\ \cong f(0, 0, \theta_0, F_{ar0}) &+ \left. \frac{\partial f}{\partial \ddot{\theta}} \right|_{\ddot{\theta}=0} \ddot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \dot{\theta}} \right|_{\dot{\theta}=0} \dot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0} \alpha \\ + \left. \frac{\partial f}{\partial F_{ar}} \right|_{F_{ar}=F_{ar0}} \beta &+ \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f^{n+1}(z_n)}{(n-1)!} (x-a)^{n+1} = 0\end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned}f(\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar}(t)) & \\ \cong f(0, 0, \theta_0, F_{ar0}) &+ \left. \frac{\partial f}{\partial \ddot{\theta}} \right|_{\ddot{\theta}=0} \ddot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \dot{\theta}} \right|_{\dot{\theta}=0} \dot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0} \alpha \\ + \left. \frac{\partial f}{\partial F_{ar}} \right|_{F_{ar}=F_{ar0}} \beta &+ \sigma(x-a)^{n+1} = 0\end{aligned} \quad (29)$$

Como $(x - a) = (\ddot{\alpha}, \dot{\alpha}, \alpha, \beta)$ y solo se hace una derivación de f , entonces:

$$\begin{aligned}f(\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar}(t)) & \\ \cong f(0, 0, \theta_0, F_{ar0}) &+ \left. \frac{\partial f}{\partial \ddot{\theta}} \right|_{\ddot{\theta}=0} \ddot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \dot{\theta}} \right|_{\dot{\theta}=0} \dot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0} \alpha \\ + \left. \frac{\partial f}{\partial F_{ar}} \right|_{F_{ar}=F_{ar0}} \beta &+ \sigma(\ddot{\alpha}, \dot{\alpha}, \alpha, \beta)^2 = 0\end{aligned} \quad (30)$$

Debido a que $f(0, 0, \theta_0, F_{ar0})$ es el punto de equilibrio y se considera como el punto de referencia de todo movimiento y $\sigma(\ddot{\alpha}, \dot{\alpha}, \alpha, \beta)^2$ es el residuo de la serie de Taylor alrededor del punto de equilibrio, estos se pueden considerar nulos bajo las condiciones conceptuales que los determinan, obteniendo una ecuación del sistema como sigue:

$$f(\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar}(t)) \cong \left. \frac{\partial f}{\partial \ddot{\theta}} \right|_{\dot{\theta}=0} \ddot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \dot{\theta}} \right|_{\dot{\theta}=0} \dot{\alpha} + \left. \frac{\partial f}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0} \alpha + \left. \frac{\partial f}{\partial F_{ar}} \right|_{F_{ar}=F_{ar0}} \beta = 0 \quad (31)$$

Realizando las derivadas correspondientes a la ecuación (25) se obtiene la ecuación linealizada de la siguiente forma:

$$f(\ddot{\theta}, \dot{\theta}, \theta, F_{ar}) \cong I\ddot{\alpha}(t) + B\dot{\alpha}(t) - mgd_c \cos \theta_0 \alpha(t) + d_{ar}F_{ar0}\beta(t) = 0 \quad (32)$$

Aplicando la *Transformada de Laplace* a la ecuación linealizada se tiene:

$$Is^2\alpha(s) + Bs\alpha(s) - mgd_c \cos \theta_0 \alpha(s) + d_{ar}F_{ar0}\beta(s) = 0 \quad (33)$$

En este punto se recuerda que el momento de inercia de la viga está dado por $\frac{mb^2}{3}$, donde b es la longitud de la viga y coincide con la distancia del ala rotatoria al eje de rotación, por lo que se cambia por d_{ar} , se reemplaza la expresión en la ecuación (33), y se obtiene la función de transferencia del sistema como:

$$G(s) = \frac{\alpha(s)}{\beta(s)} = \frac{-3d_{ar}F_{ar0}}{md_{ar}^2s^2 + Bs - mgd_c \cos \theta_0} \quad (34)$$

En la ecuación (34) se pueden obtener los valores de la distancia del ala rotatoria al eje de rotación, la masa del conjunto viga-ala rotatoria, la fuerza que genera giro del ala rotatoria, la aceleración gravitatoria y el ángulo de posición de forma directa desde el sistema. Sin embargo, tanto la posición del centro de gravedad como el coeficiente de rozamiento son incógnitas del problema difíciles de calcular teóricamente:

$$G(s) = \frac{-3d_{ar}F_{ar0}}{md_{ar}^2s^2 + Bs - mgd_c \cos \theta_0}$$

Tabla 5. Incógnitas de la función de transferencia.

Incógnitas	
Conocidas	$m, g, \cos \theta_0, d_{ar}, F_{ar0}$
Desconocidas	B, d_c

Fuente: Elaboración propia.

Aunque el momento de inercia se puede calcular expeditamente por la forma de la viga, también se puede intentar obtener a partir de diferentes ensayos prácticos que permiten una aproximación al valor que se puede corroborar con el calculado. Lo mismo sucede con el coeficiente de rozamiento. No es una medida fácil de obtener o calcular, por lo que se obtendría una aproximación a través de pruebas prácticas. La posición del centro de gravedad se obtiene claramente de la ecuación (27) en un

punto de equilibrio conocido, aunque para ello se ha de conocer antes los valores de la fuerza de empuje.

5.6.3 Realización de la simulación del sistema hélice-viga en software de entorno de desarrollo.

El diseño que se obtuvo de la planta, donde se ensamble los diferentes componentes del sistema Hélice-viga, notando la ubicación de cada de estas y también pudiéndose notar el movimiento de la parte móvil de este sistema.

Para ver esta simulación anexa el link del video <https://youtu.be/q9A1Fyqcf3A>

5.7 FASE 3

Ensamblaje estructura para el sistema Hélice-viga de ala rotatoria.

En esta fase se realizará el debido ensamble de cada pieza para la construcción de la estructura para el sistema, mediante la utilización de los planos ya hechos de manera previa.

5.8 ACTIVIDADES

5.8.1 Ubicación de partes para el ensamble de estructura base vertical fija y brazo móvil.

En esta actividad se dispone a ensamblar cada una de las partes de la estructura apoyándose de los planos dispuesto de manera previa en la fase 1 donde se evidencia la ubicación de cada una de partes de esta.

5.8.2 Ensamblar motor a estructura fija.

Se dispone un motor con las características ya mencionadas en la fase 1, para ser acoplado al brazo de la estructura, esto siendo guiado por los planos expuesto en la fase inicial del proyecto.

5.8.3 Adaptación variador ESC a la estructura fija.

Se dispone de un variador ESC con las características ya mencionadas en la fase 1, para ser acoplado a junto a los componentes electrónicos de la estructura de manera tal que no afecte el movimiento del brazo.

5.8.4 Ubicación sensor IMU a estructura fija.

Se dispone de un sensor IMU con las características ya mencionadas en la primera fase, que se acoplaran a la parte inferior de motor.

5.8.5 Adecuación de componentes electrónicos al ensamble de la estructura.

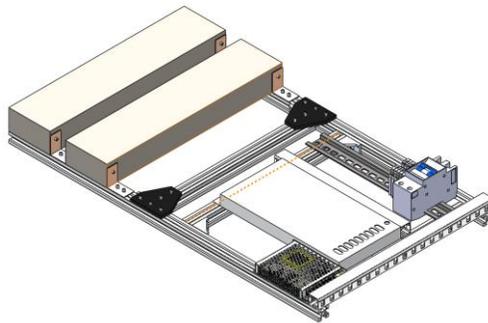
En esta actividad la conexión de equipos electrónicos en el banco didáctico es necesaria para el diseño de la tarjeta de desarrollo, lo que permitirá la conexión y fácil acceso a los equipos mencionados anteriormente, esta tarjeta dispone de entradas de 5V DC para energizar la misma y sensores y 12V DC para energizar el controlador ESC y motor cada uno de estos dispuestos con un suich respectivamente, también con un conector periférico USB, se ubicara al dorso de los parales de sujeción del brazo.

5.9 DESARROLLO FASE 3

5.9.1 Ubicación de partes para el ensamble de estructura base vertical fija y brazo móvil.

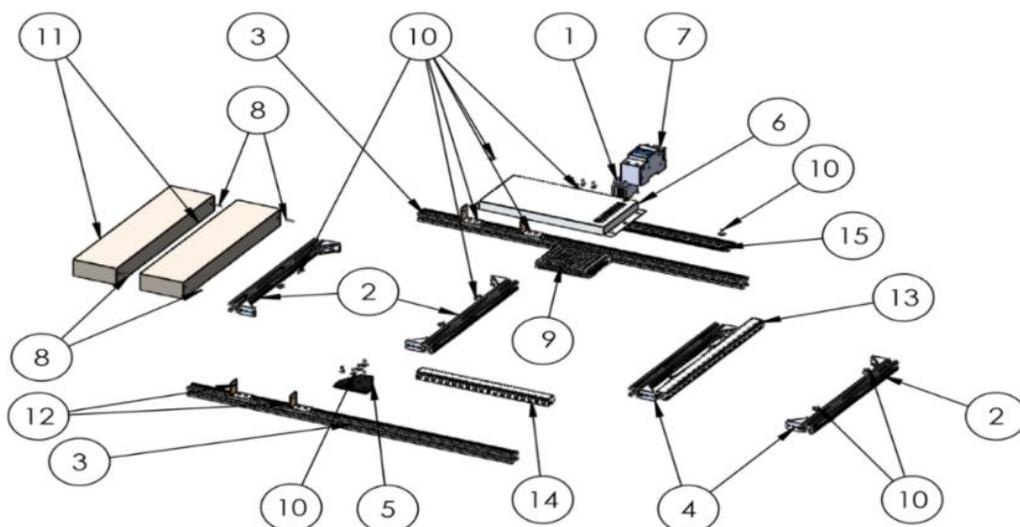
Ensamble de la Base.

Figura 13. Plano final de la base del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Plano de ensamble de los componentes de la base del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

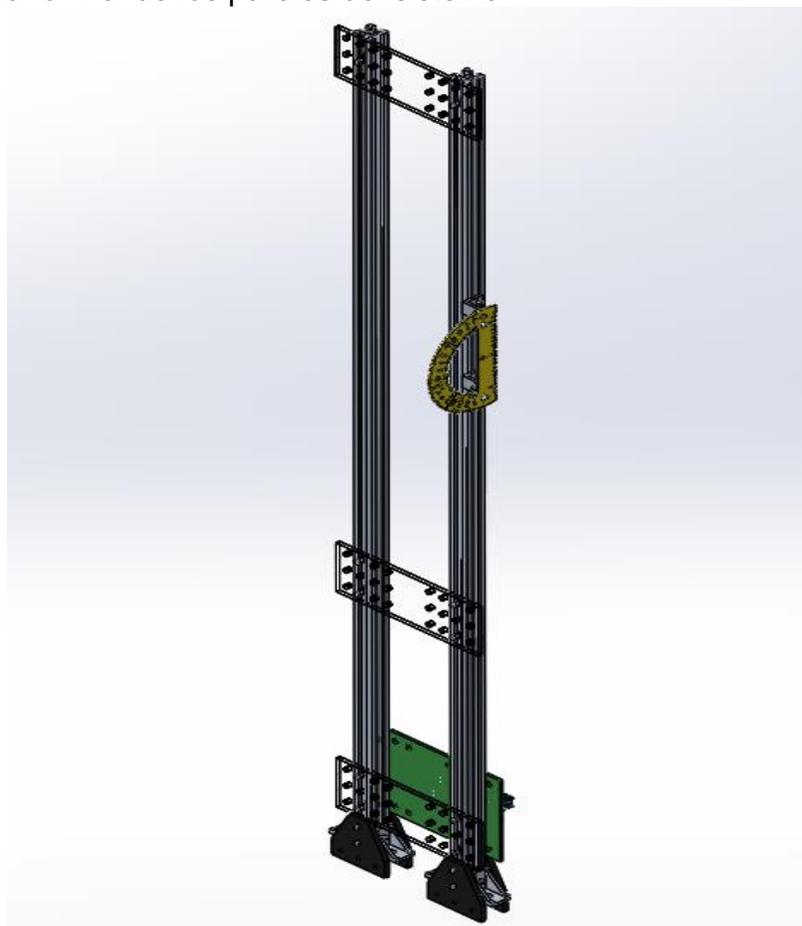
Tabla 6. Componentes de la base del sistema.

Números	Descripción	Cantidad
1	Bornera	5
2	Perfiles V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud	4
3	Perfiles V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud	2
4	Unión tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	8
5	Unión tipo T de 5 agujeros de aluminio	2
6	Fuente de alimentación 12V DC, 42A MAX	1
7	Disyuntor magnético bipolar (Breaker) (BR1)	1
8	Tornillo M5 de acero inoxidable	6
9	Fuente de alimentación 5V DC, 5A MAX	1
10	Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	36
11	Perfil 4x8 con 34cm de longitud	2
12	Láminas unión tipo L 3x3cm	4
13	Canaletas PVC ranurada 25x25mm de 25.5cm de largo	1
14	Canaletas PVC ranurada 25x25mm de 34cm de largo	1
15	Riel DIN de 24cm	1

Fuente: Elaboración propia.

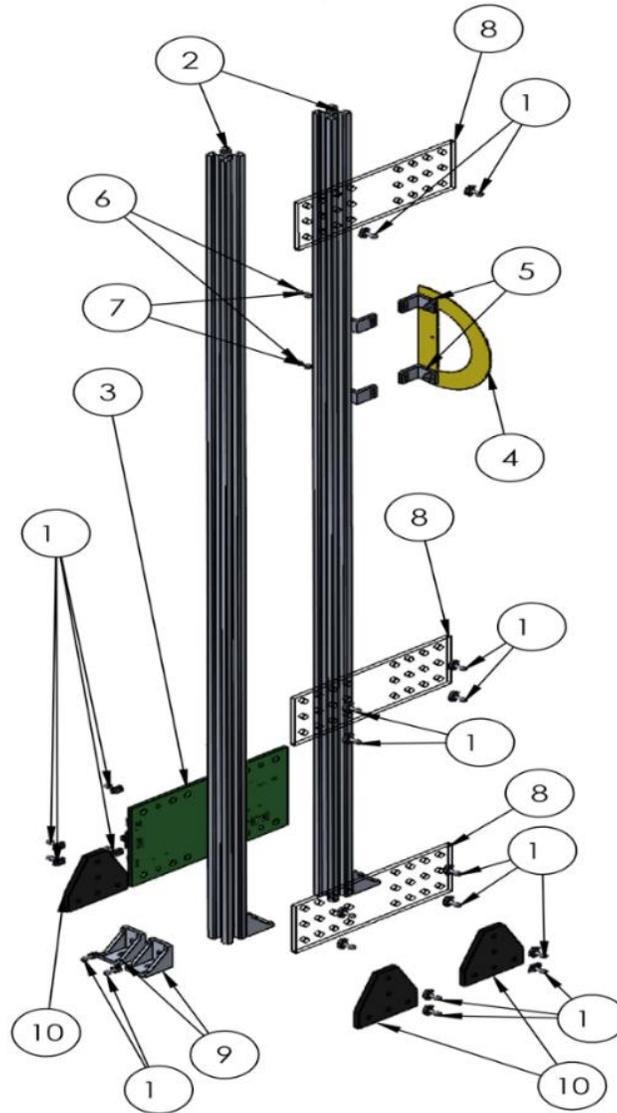
Ensamble Parales.

Figura 15. Plano final de los paredes del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Plano de ensamble de los componentes de los pares del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

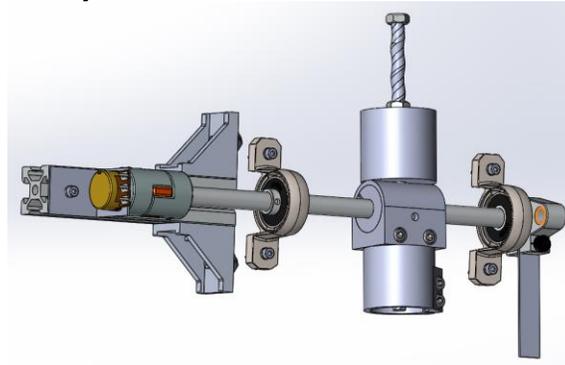
Tabla 7. Componentes de los pares del sistema.

Números	Descripción	Cantidad
1	Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	26
2	Perfiles V-slot 2020 de aluminio de 100cm de longitud	2
3	Placa electrónica	1
4	Transportador	1
5	Ángulos de sujeción Unión tipo L	4
6	Tornillo M5 de acero inoxidable	6
7	Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	6
8	Uniones rectangulares de 24 orificios en acrílico de 7mm	3
9	Unión tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	4
10	Unión de aluminio tipo T de 5 orificios	4

Fuente: Elaboración propia.

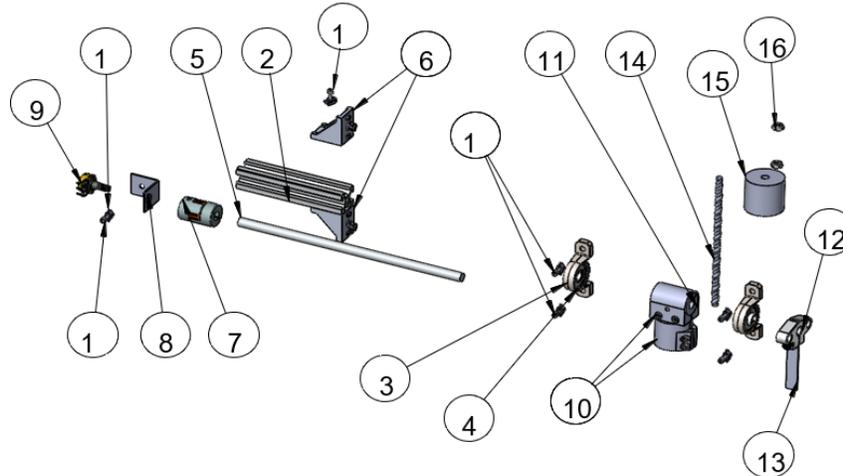
Ensamble del Eje Rotor.

Figura 17. Plano final del eje rotor del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Plano de ensamble del eje rotor del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

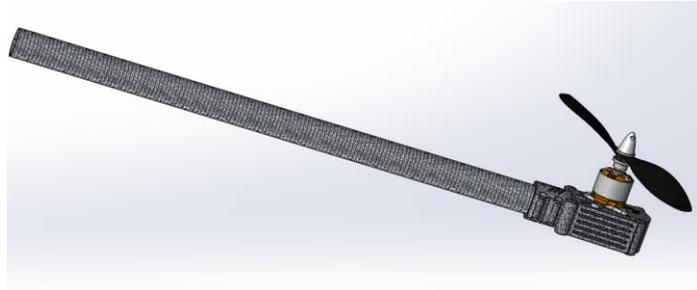
Tabla 8. Componentes del eje rotor del sistema.

Números	Descripción	Cantidad
1	Tornillo M5 de acero inoxidable	9
2	Perfil V-slot 2020 de aluminio de 9.5cm de longitud	1
3	Rodamiento 608RS ID 8mm	2
4	Chumaceras (KP08), soporte con rodamiento 608RS	2
5	Varilla lisa de 8mm	1
6	Unión tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	2
7	Acople para potenciómetro-eje D25L30 con conectores a 6.35mm y 8mm	1
8	ángulos de sujeción para potenciómetro	1
9	Potenciómetro	1
10	Acople de aluminio tipo T de 20mm a 25mm	1
11	Buje OD 25mm	1
12	Soporte para varilla lisa (SHF8)	1
13	Indicador de ángulo	1
14	Varilla roscada de 1/4in x 12cm de longitud	1
15	Contrapeso con rosca	1
16	Tuerca contrapeso 1/4in	2

Fuente: Elaboración propia.

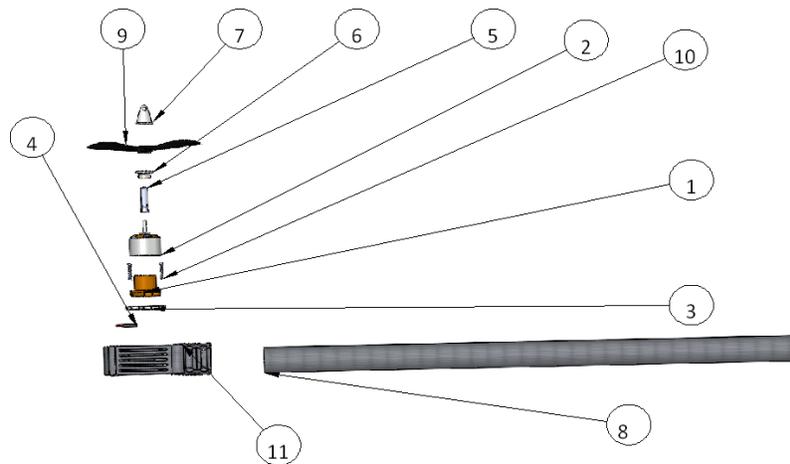
Ensamble Brazo, Motor-Hélice.

Figura 19. Plano final del brazo, motor-hélice.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Plano de ensamble del brazo, motor-hélice.



Fuente: Elaboración propia.

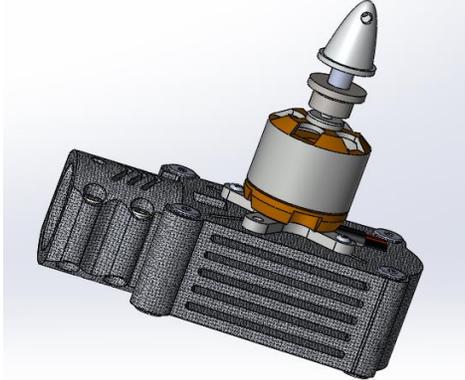
Tabla 9. Componentes del brazo, motor-hélice.

Números	Descripción	Cantidad
1	Motor estator brushless BLDC A2212	1
2	Motor rotor brushless BLDC A2212	1
3	Soporte base motor	1
4	Cables motor brushless BLDC A2212	1
5	Rop-bolt-m6-for-3mm-shaft	1
6	Prop-shaiba	1
7	Prop-cone	1
8	Tubo de fibra de carbono con OD de 25mm x 50cm de longitud	1
9	Hélice de carbono 1045	1
10	Tornillo soporte base	2
11	Acople base para RC plana UAV Drones especificación	1

Fuente: Elaboración propia.

5.9.2 Ensamblar motor a estructura fija.

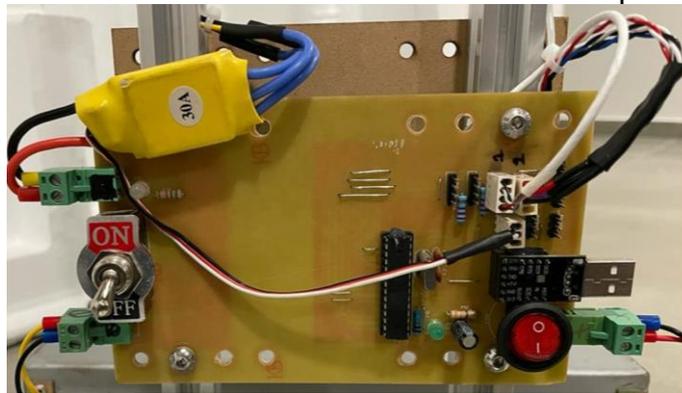
Figura 21. Plano final del motor en la estructura.



Fuente: Elaboración propia.

5.9.3 Adaptación variador ESC a la estructura fija.

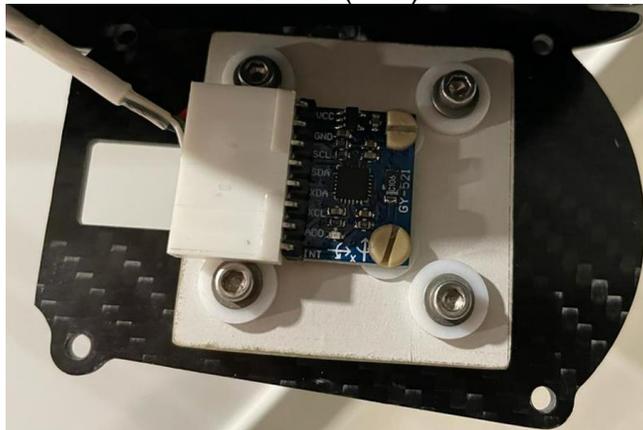
Figura 22. Ubicación del control ESC en la estructura de componentes electrónicos.



Fuente: Elaboración propia.

5.9.4 Ubicación sensor IMU a estructura fija.

Figura 23. Ubicación del sensor MPU 650 (IMU) en la estructura fija.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Ubicación del sensor MPU 650 (IMU) en la estructura del motor-Hélice.



Fuente: Elaboración propia.

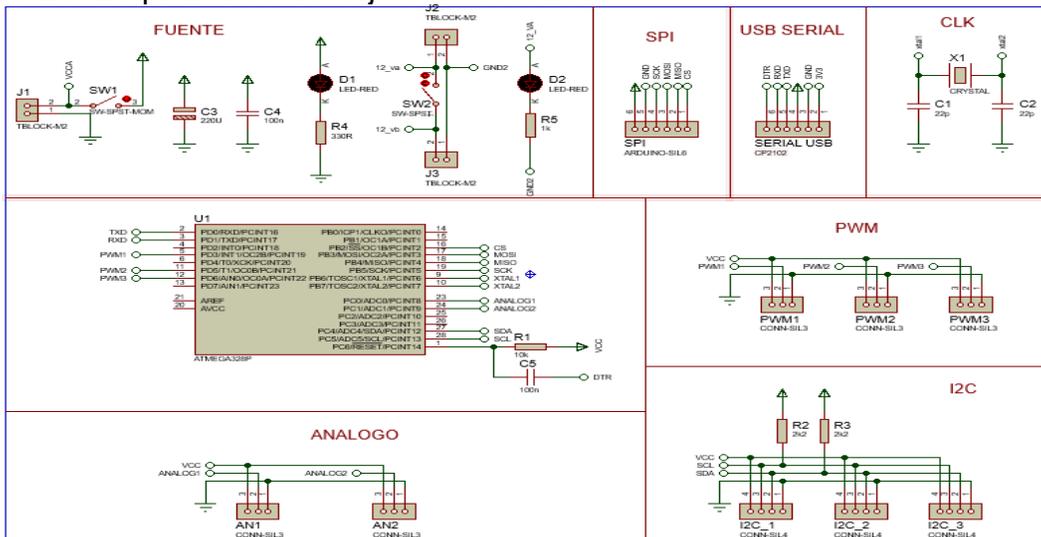
5.9.5 Adecuación de componentes electrónicos al ensamble de la estructura.

Los dispositivos electrónicos implementados para el desarrollo de la tarjeta se dividen en 8 etapas, una para la fuente de alimentación, 3 para comunicación SPI/USB/I²C, una para el reloj CLK, un microcontrolador y finalmente los puertos de entrada 2 análogos y 3 PWM.

El microcontrolador utilizado fue el ATmega328P para el procesamiento de las señales, en la etapa de alimentación un voltaje de trabajo de 5V con una corriente DC por PIN de 20mA. Una memoria flash de almacenamiento de 32KB, una memoria estática de acceso aleatorio de SRAM 2KB y una memoria eléctricamente borrrable y reprogramable.

EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) de 1KB. Cada una de las etapas fue diseñada mediante el programa ISIS del software Proteus Design Sing como herramienta de simulación y desarrollo, en la Figura 5 se puede ver el plano eléctrico de la tarjeta.

Figura 25. Esquemático de tarjeta de desarrollo



Fuente: Elaboración propia.

Las características tarjeta diseñada para la lectura y control de los sensores y actuadores del sistema son presentadas en la Tabla 6.

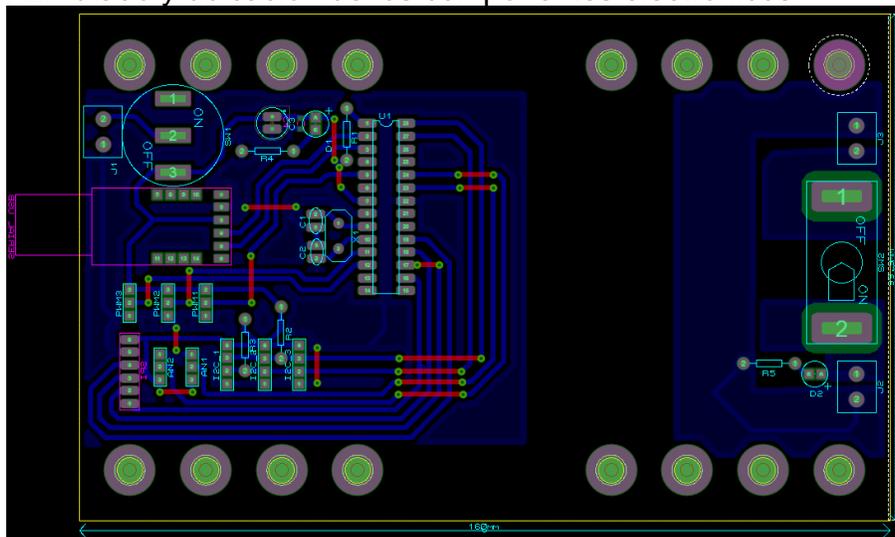
Tabla 10. Características de la tarjeta de desarrollo.

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega328P
Voltaje de trabajo	5V
Corriente DC	20mA por PIN
Memorias	1 Flash 32KB 1 SRAM 2KB 1 EEPROM 1KB
Velocidad de reloj	16MHz
No puerto SPI	1 puerto
Conexión USB	1 conector
No puertos PWM	3 puertos
No puertos I2C	3 puertos
Entradas Análogas	2 puertos
Dimensiones	Alto 100 mm Ancho 160 mm

Fuente: Elaboración propia.

Para la fabricación de la tarjeta fue utilizado el programa ARES del software Proteus Design Suit para realizar el enrutado y la ubicación de componentes como se puede ver en la Figura 22.

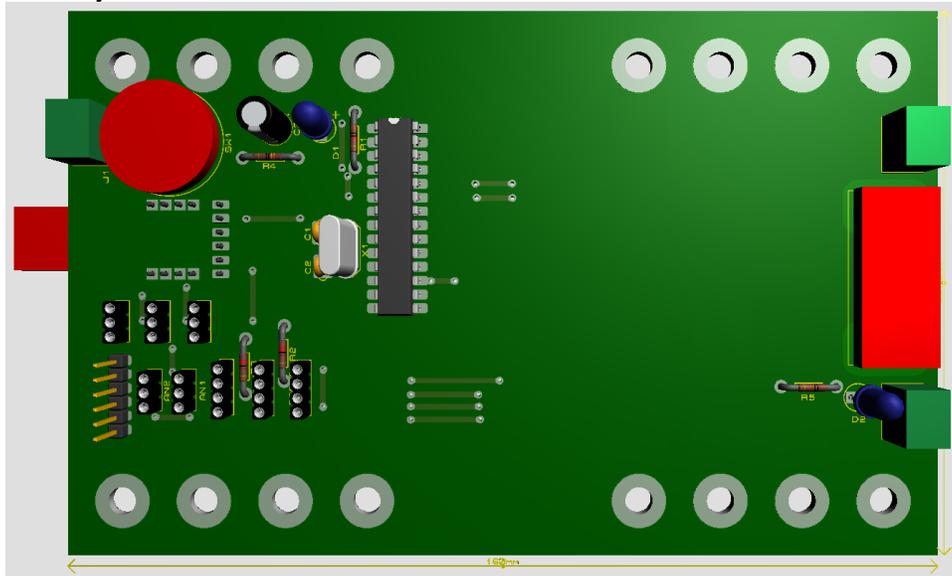
Figura 26. Enrutado y ubicación de los componentes electrónicos.



Fuente: Elaboración propia.

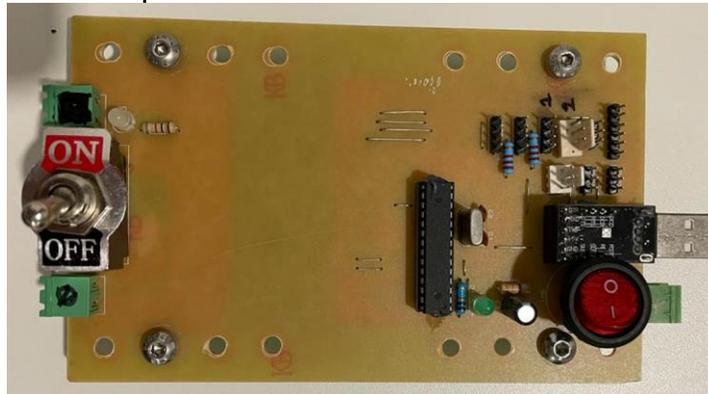
Finalmente, el diseño de la tarjeta se puede ver en la Figura 23 que presenta una estructura en 3D de la tarjeta de desarrolla en conjunto con los componentes electrónicos.

Figura 27. Tarjeta de desarrollo en 3D



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Tarjeta de componentes electrónicos.



Fuente: Elaboración propia.

5.10 FASE 4

Guía para puesta en marcha de Hélice-Viga; recolección, análisis e interpretación de datos. En esta fase se realizará la puesta en funcionamiento de la Hélice-Viga, igualmente la recolección, análisis e interpretación de datos.

5.11 ACTIVIDADES

5.11.1 Definición de los procesos, los cuales conforman el conjunto de operaciones que realizara el sistema.

Para la realización de esta actividad se plasmará un diagrama de bloques donde se observa la integración donde se observa el flujo de los diferentes componentes que intervienen para su funcionamiento.

5.11.2 Recolección de datos.

En esta actividad se procederá a realizar una tabla con los de datos adquiridos del IMU y potenciómetro al realizas variaciones de posición de del brazo en los cuadrantes uno y cuatro de nuestro plano cartesiano

5.11.3 Correlación de la información.

Se elaborará el análisis estadístico de las dos actividades anteriormente mencionadas, obteniendo un gráfico de variación de ángulo en un recorrido completo.

5.11.4 Análisis de datos.

En esta actividad se hará comparación entre la precisión del ángulo del IMU y la precisión del potenciómetro.

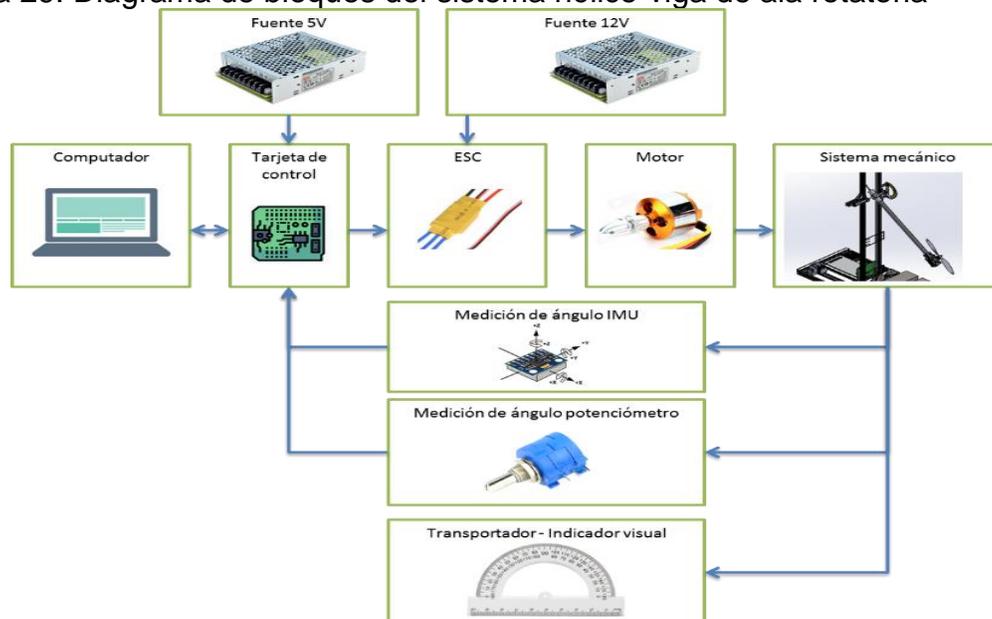
5.11.5 Interpretación de datos.

Se realizará la descripción teórica de la forma para calcular los ángulos, por medio la información que se obtendrá del IMU y potenciómetro teniendo en cuenta lo que se realizará en la primera actividad de la fase presente.

5.12 DESARROLLO FASE 4

5.12.1 Definición de los procesos, los cuales conforman el conjunto de operaciones que realizara el sistema.

Figura 29. Diagrama de bloques del sistema hélice-viga de ala rotatoria



Fuente: Elaboración propia.

5.12.2 Recolección de datos.

En la recolección del sistema se observó la adquisición de cuentas del potenciómetro y del IMU, respecto al cambio de Angulo de connotación de 10° en 10°, en el anexo 3 se puede evidenciar el conteo completo de esta adquisición de información.

Tabla 11. Registro de datos de medición y ángulo de inclinación.

Conteo	Angulo visual	Potenciómetro		IMU (MPU 6050)				
		Cuentas	Angulo	Cuentas	Cuentas-X	Cuentas-Y	Cuentas-Z	AnguloX+90
1	0° Grados	761	0.40	-16432	-480	-76	-88.35	0.60
2		760	-2.10	-16328	-268	148	-88.97	-0.03
3		761	0.40	-16332	-804	640	-86.44	2.54
4		761	0.40	-16408	-240	-32	-89.20	-0.26
5		760	-2.10	-16508	-396	-4	-88.67	0.27
6		761	0.40	-16368	-408	52	-88.61	0.34
7		761	0.40	-16340	-276	-72	-89.05	-0.11
8		762	2.90	-16396	-204	-12	-89.33	-0.40
9		761	0.40	-16364	-260	-112	-89.05	-0.12
10		761	0.40	-16352	-356	72	-88.77	0.17
11		761	0.40	-16324	-288	-76	-89.00	-0.06
12		762	2.90	-16360	-232	8	-89.23	-0.30
13		762	2.90	-16328	-336	-20	-88.86	0.08
14		761	0.40	-16316	-408	-76	-88.59	0.36
15		760	-2.10	-16364	-332	-60	-88.86	0.08
16		760	-2.10	-16528	-72	-28	-89.78	-0.85
17		761	0.40	-16456	-364	268	-88.47	0.48
18		761	0.40	-16264	-416	84	-88.55	0.40
19		761	0.40	-16144	-76	-348	-88.78	0.16
20		761	0.40	-16384	-252	424	-88.32	0.63

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Registro de datos de la variación de PWM del motor respecto al indicador visual de ángulo 0°.

Numero PWM Numero adimensional	Angulo visual ° Grados
1030	0
1035	0
1040	0
1045	3
1050	5
1055	6
1060	9
1065	10

1070	13
1075	15
1080	16
1085	20
1090	21
1095	24
1100	25
1105	27
1110	28
1115	30
1120	35
1125	38
1130	40
1135	42
1140	45
1145	48
1150	52
1155	56
1160	60
1165	65
1170	70
1175	77
1180	90

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Tabla de datos para el potenciómetro

Angulo Transportador	Resistencia	Voltaje (VDC)	Valor ADC Arduino
q (°)	R (W)	V(voltios)	VADC (#)
0	5210	3,67	752
45	5338	3,76	770
90	5462	3,85	788
135	5587	3,94	807
180	5711	4,03	825

Fuente: Elaboración propia.

5.12.3 Correlación estadística de la información.

Se realizó la comparación entre las medidas estadísticas para el potenciómetro e IMU que se obtuvieron gracias a la variación angular del brazo del sistema. Donde se obtiene el valor promedio, desviación estándar y el error promedio de la variación de dicho brazo.

Tabla 14. Tabla de datos para el potenciómetro.

Angulo Potenciómetro (°)			
Angulo leído transportador (°)	Valor promedio	Desviación estándar	Error promedio
0	0,05	2,6	0,0
10	9,21	1,5	0,8
20	17,30	1,7	2,7
30	30,25	2,2	0,3
40	35,63	2,1	4,4
50	49,50	2,2	0,5
60	60,71	1,0	0,7
70	68,42	1,7	1,6
80	80,05	1,6	0,0
90	86,46	1,9	3,5
100	96,92	1,4	3,1
110	107,63	1,4	2,4
120	117,42	2,0	2,6
130	129,67	3,1	0,3
140	137,80	2,4	2,2
150	150,09	2,5	0,1
160	157,88	2,0	2,1
170	166,42	1,6	3,6
180	177,96	2,3	2,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Tabla de datos para el IMU.

Angulo IMU (°)			
Angulo leído transportador (°)	Valor promedio	Desviación estándar	Error promedio
0	0,21	0,6	0,2
10	9,18	0,6	0,8
20	18,92	0,3	1,1
30	29,13	0,5	0,9
40	39,12	0,5	0,9
50	49,20	0,4	0,8
60	60,25	0,4	0,2
70	69,36	0,3	0,6
80	79,40	0,3	0,6
90	89,75	0,4	0,3
100	99,34	0,2	0,7
110	109,22	0,2	0,8
120	119,47	0,5	0,5

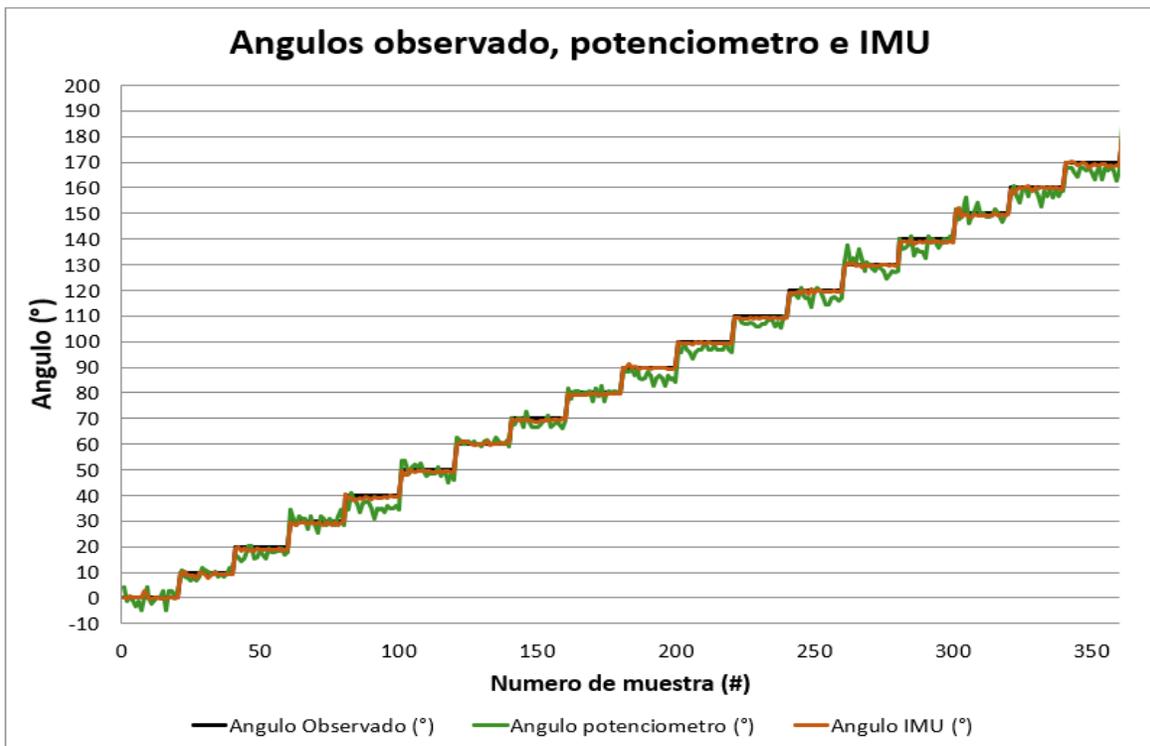
130	129,81	0,4	0,2
140	138,82	0,3	1,2
150	149,55	0,8	0,4
160	159,77	0,6	0,2
170	169,09	0,6	0,9
180	179,61	0,5	0,4

Fuente: Elaboración propia.

5.12.4 Análisis de datos.

En la gráfica se nos ilustra la escala de ángulo a la que se expone el potenciómetro representado por una línea de color verde y el IMU representado por una línea de color café, donde se evidencia la emisión de la onda y sus cambio respecto a la variación angular de 10° en 10° a la que fue expuesta el brazo, se analiza que el IMU presenta una variación acorde a la connotación de cambio del ángulo esperado, con conteos más constantes a comparación del potenciómetro donde este presenta una fluctuación mayor ante el menor cambio posible entre los ángulos del brazo. Dándonos a conocer que para la aplicación de un control a futuro se recomienda dar uso como referencia el uso del IMU ya que con este se presentara menor cambio en las variaciones.

Figura 30. Grafica de Potenciómetro e IMU.



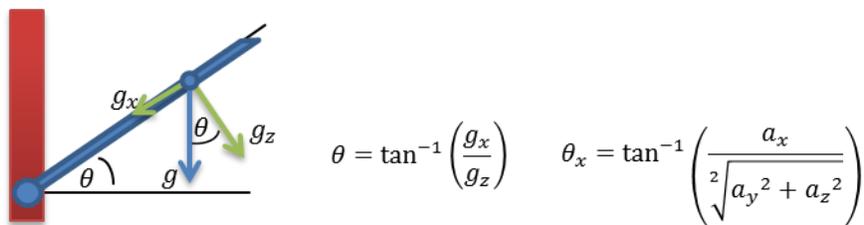
Fuente: Elaboración propia.

5.12.5 Interpretación de datos.

Sacar las aceleraciones y calcular el ángulo a partir de las aceleraciones.

Determinación del ángulo de inclinación usando el acelerómetro MPU6050. Teniendo en cuenta que la única fuerza que actúa sobre el acelerómetro es la gravedad, y suponiendo que un plano X-Z e inclinamos el MPU6050 el ángulo se calcula como se muestra en la figura 31, esta fórmula funciona para un espacio 2D, extendiendo la aplicación del acelerómetro a un espacio 3D se puede calcular el ángulo θ_x como se muestra en la ecuación.

Figura 31. Plano de vectores para PMU 6050.

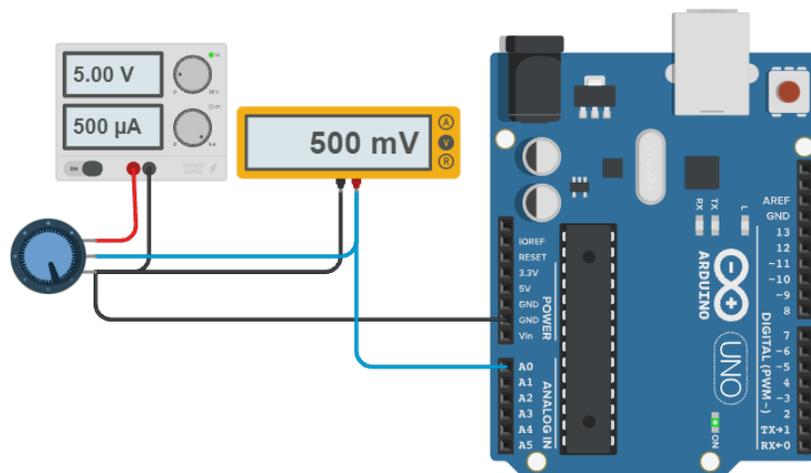


Fuente: Elaboración propia.

Determinación del ángulo de inclinación usando el potenciómetro.

Para determinar el ángulo de inclinación se usa un potenciómetro lineal de 10K Ω acoplado al eje de rotación de la viga y el siguiente circuito, los valores de resistencia, voltaje y valor del convertor análogo digital del Arduino VADC para diferentes inclinaciones son los siguientes:

Figura 32. Diagrama de conexión para potenciómetro a Arduino uno.



Fuente: Elaboración propia.

5.13 FASE 5

Elaboración de manual de usuario, manual técnico, presentación de resultados.

En esta fase se realizará el manual de usuario donde se especificará como es el ensamble de este, cuáles son los pasos por seguir para realizar el encendido, operaciones intermedias, hasta el apagado del sistema y así mismo la presentación de resultados.

5.14 ACTIVIDADES

5.14.1 Buscar, organizar y analizar información acerca de las técnicas de control aplicados a sistemas Hélice-viga para genera documentación para el trabajo futuro.

En este apartado de se realizará la búsqueda de los artículos sobre el análisis de sistemas de control para la elección de esto se basó en tres aspectos a seguir; primero que los artículos no tuvieran más de 10 años de publicación, segundo que el contenido fuera validado ante la comunidad científica en eventos o revistas de divulgación y como tercer aspecto que el contenido se relacionara en el control de sistemas de balance hélice-viga por 1 ó 2 rotores como límite.

5.14.2 Elaboración de manual de usuario.

En esta actividad se procede a elaborar el manual de usuario para el uso del sistema Hélice-viga, el cual será una guía sobre cómo usar las funciones principales del sistema.

5.14.3 Elaboración de manual técnico.

En esta actividad se procede a la elaboración del manual técnico del sistema Hélice-viga, donde se dará información sobre las partes que lo componen, materiales, y el proceso de ensamble del sistema, ubicando precauciones de seguridad medioambientales, el uso y cuidado como también las reglas de seguridad de uso de este.

5.15 DESARROLLO FASE 5

5.15.1 Buscar, organizar y analizar información acerca de las técnicas de control aplicados a sistemas Hélice-viga para genera documentación para el trabajo futuro.

El criterio de búsqueda de los artículos presentados a continuación fue basado en tres aspectos a seguir; primero que los artículos no tuvieran más de 10 años de publicación, segundo que el contenido fuera validado ante la comunidad científica en eventos o revistas de divulgación y como tercer aspecto que el contenido se

relacionara en el control de sistemas de balance hélice-viga por 1 ó 2 rotores como límite.

Tabla 16. Análisis de sistemas de control

Institución	Descripción	Tipo de controlador	Velocidad del motor [RPM]	País	Año	Aplicación
Universidad Nacional Oceánica de Taiwán	Sistema de múltiples entradas y múltiples salidas de rotor gemelo (TRMS), no lineal de alto orden con acoplamientos significativos, modelado mediante redes de función de base radial y técnicas de identificación caja negra. El objetivo del controlador es estabilizar el sistema de manera rápida y precisa para rastrear una trayectoria y alcanzar posiciones específicas en 2 DOF, empleando un Algoritmo de Genético de tipo Real (RGA) modificado (Juang, et al, 2008).	PID con acoplamiento o cruzado, con RGA modificado, para la optimización de las ganancias adecuadas.	N. A	Taiwán	2008	Sistema TMRS diseñada para experimentos de control, su comportamiento asemeja a el de un helicóptero.
Universidad Nacional Oceánica de Taiwán	Sistema MIMO de rotor gemelo (TRMS) desacoplado en rotor principal y rotor de cola. Simulado en condición desacoplada y de acoplamiento cruzado implementando control inteligente PID con una sola neurona (Liu, T. and Juang, J-G 2009)	PID y una sola neurona para el ajuste de los parámetros.	N. A	Taiwán	2009	Sistema TMRS diseñada para experimentos de control, su comportamiento asemeja a el de un helicóptero.
Universidad Dokuz Eylul	Fue realizado el diseño y control de la posición de una viga apoyada a un sistema de balance rotativo, el sistema fue simulado mediante herramientas virtuales y después comparado sus resultados con el prototipo real. Fueron aplicados al sistema algoritmos de control clásico (Uyar, et al, 2012).	P, PI, PD y PID	[0 - 2295]	Turquía	2012	Banco de pruebas a escala de laboratorio.
Facultad de Ingeniería de Thiagarajar, Madurai.	Modelado matemático y ajuste de control PID para un sistema MIMO de doble rotor (TMRS). La simulación y control de sistema MIMO fue realizado mediante herramientas MATLAB/Simulink para el	PID con acoplamiento o cruzado. Sistema de 4 PID con entradas independientes entre sí.	N. A	India	2012	Helicóptero de laboratorio MIMO de doble rotor.

	control de los grados de libertad 2 DOF tanto en la dirección horizontal como vertical (Ramalakshmi, A. and Manohoran, P. 2012).					
Universidad Católica de Santa María, Arequipa.	Sistema de equilibrio bi-hélice de 1 grado de libertad, diseñada como herramienta educativa, por medio de la implementación de código abierto. Se realizó una interfaz gráfica intuitiva para ajustar el ángulo de referencia deseado (Alarcón, G. and Lajo D. 2013)	PID con parámetros sintonizados usando el segundo método de Ziegler-Nichols.	Sin detalles de la velocidad aplicada a los motores.	Perú	2013	Herramienta educativa para cursos de control clásico, realizado con herramientas de software y hardware libre.
Universidad Minia	Implementación de un microcontrolador multinúcleo Parallax Propeller para la ejecución de tareas de lectura de sensores, accionamiento de actuadores, configuración de los parámetros de control PID, filtro de las señales y registro de datos. Variable objeto de control ángulo de inclinación, variable controlada RPM del motor (Monsess, et al. 2015)	PID	[0 - 1000]	Egipto	2015	Sistema de Helicóptero de un solo rotor a escala de laboratorio.
Universidad del Estado Paulista	El trabajo presentado propone un método de control a través de un sistema de caja gris, en el que se conoce la respuesta del sistema a la entrada paso en malla abierta. Con la información realimentada fue controlado el sistema sin conocer el modelo matemático (Gonçaves, et al, 2019).	PID	N. A	Brazil	2019	Sintonía óptima de controladores PID, utilizando técnicas de modelado caja gris, como objeto de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

5.15.2 Elaboración de manual de usuario.

Con la realización de este manual de usuario se brinda un paso a paso para poner en funcionamiento en sistema hélice-viga de ala rotatoria, como se puede evidenciar en el anexo 1.

Figura 33. Presentación de manual de ensamble.



**MANUAL DE ENSAMBLE PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA
DE ALA ROTATORIA**

|

**Autor:
Jaime Cortes Farfán**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Villavicencio, Colombia
2021

Fuente: Elaboración propia.

5.15.3 Elaboración de manual técnico.

Con la realización del manual técnico se brinda información detallada de los materiales y con un paso a paso del ensamble de cada sección, para así obtener como resultado el montaje del sistema hélice-viga como se puede evidenciar en el anexo 2.

Figura 34. Presentación de manuela de usuario.



**MANUAL DE USUARIO PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA DE
ALA ROTATORIA**

**Autor:
Jaime Cortes Farfán**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Villavicencio, Colombia

2021

Fuente: Elaboración propia.

6 RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos para el sistema hélice-viga de ala rotatoria dispuesto en la metodología llevada a cabo durante el desarrollo del proyecto.

Durante el desarrollo del trabajo presente se obtuvieron resultados importantes como lo fueron: la realización del modelo matemático mostrado en la fase 2 del trabajo presente, donde se realizó análisis del sistema identificando las fuerzas que se relaciona con el movimiento, también se alcanzó la ecuación de la función de transferencia, para el sistema hélice-viga existen diversos parámetros que afecta en comportamiento, como lo es B (coeficiente de rozamiento) el cual se opone al desplazamiento y permite el movimiento en vertical, la función de transferencia permitirá en un futuro realizar un control sobre el brazo de la estructura.

$$G(s) = \frac{-3d_{ar}F_{ar0}}{md_{ar}^2s^2 + Bs - mgd_c \cos \theta_0}$$

Entre otro resultado importante se vio la realización de los planos de los materiales empleados para el montaje del sistema, lo cual se consiguió durante la ejecución de la primera fase, permitiendo obtener una representación gráfica, en correspondencia del plano que se realiza con la realidad, dimensionando las medidas y distribución de los espacios dentro del sistema.

Se encuentra la simulación del sistema dando uso de un software de entorno de desarrollo, donde permitió distinguir las capacidades y comportamiento del sistema para apoyar durante el montaje final de la estructura.

Luego de la ejecución de las fases expuestas se obtuvo una estructura a escala para operación en ambiente controlado, como también documentos técnicos donde se realiza la ilustración del proceso de montaje de dicha estructura y conexión de cableado eléctrico, como lo es también un documento para una secuencia de puesta en marcha y operación, lo que garantiza que el usuario logre de manera sencilla y clara la manipulación del sistema hélice-viga.

Con la realización del desarrollo del proyecto expuesto se llega a la creación de una estructura a escala del sistema Hélice-viga de ala rotatoria, que su principal es era de crear un modelo de experimentación bajo condiciones controladas de elevación que permitirá la experimentación y aprendizaje de diferentes técnicas de control de dicho sistema.

Figura 35. Sistema a escala de hélice-viga de ala rotatoria.



Fuente: Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES

En la elaboración que se realizó para la plataforma el cual fue satisfactorio, donde se acoplaron las diferentes partes y componentes seleccionados, en sus etapas para la base, los parales, el rotor, el brazo con el motor-hélice y sus sensores, lo cual conformaron una estructura sólida y funcional para la experimentación.

En su análisis matemático se llegó a un resultado satisfactorio donde se relacionan las fuerzas que intervienen con el sistema dinámico de una barra con centro de masa en su extremo con la obtención de la ecuación de transferencia.

En la elaboración de los documentos técnicos como lo son el manual técnico de ensamble del sistema Hélice-viga de ala rotatoria, el cual es indispensables para el proceso de montaje y puesta en marcha de sistema ya mencionando; se centra en el funcionamiento y uso de este, y se encarga de proporcionar la información de cómo se procederá a realizar el manejo del sistema, con el fin de ayudar a los nuevos usuarios.

8 ANEXOS

8.1 ANEXO 1: MANUAL DE ENSAMBLE DEL SISTEMA HELICE-VIGA DE ALA ROTATORIA



MANUAL DE ENSAMBLE DEL SISTEMA HELICE-VIGA DE ALA ROTATORIA

Autor:
Jaime Cortes Farfan

Universidad Antonio Nariño
Facultad de ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Villavicencio, Colombia
2021

CONTENIDO

1	PROPÓSITO.....	74
2	ALCANCE.....	74
3	EQUIPOS / MATERIALES.....	74
4	DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	74
5	PRECAUCIONES DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTALES.....	74
5.1	DEFINICIONES GENERALES PARA NORMAS DE SEGURIDAD.....	74
5.2	SEGURIDAD EN EL PUESTO DE TRABAJO.....	75
5.3	SEGURIDAD PERSONAL.....	75
5.4	SEGURIDAD ELÉCTRICA.....	76
6	PROCESO DE ENSAMBLE DE LA BASE.....	78
6.1	MATERIALES.....	78
6.2	PASOS PARA ENSAMBLE DE LA BASE.....	80
7	PROCESO DE ENSAMBLE PARALES.....	88
7.1	MATERIALES.....	88
7.2	PASOS PARA ENSAMBLE DE LOS PARALES.....	89
8	PROCESO DE ENSAMBLE DEL EJE ROTOR.....	95
8.1	MATERIALES.....	95
8.2	PASOS PARA ENSAMBLE DEL EJE Y ROTOR.....	97
9	PROCESO DE ENSAMBLE BRAZO, MOTOR-HÉLICE.....	104
9.1	MATERIALES.....	104
9.2	PASOS PARA ENSAMBLE DE LA MOTOR-HÉLICE, BRAZO.....	105
9.2.1	Proceso de ensamble de los cuatro subensambles.....	110
9.3	MATERIALES.....	110
9.4	PASOS PARA ENSAMBLE DEL SISTEMA HÉLICE-VIGA DE ALA ROTATORIA.....	111
10	REGLAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE LA PLATAFORMA.....	115
11	USO Y CUIDADO DEL SISTEMA HÉLICE-VIG.....	115
12	SERVICIO.....	116
13	VERIFICACIONES DE SEGURIDAD MECÁNICAS.....	116
14	SECUENCIA DE INICIO PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA DE ALA ROTATORIA.....	118
14.1	VERIFICACIONES DE VOLTAJE.....	118

Lista de Figuras

Ilustración 1. Perfilaría y base.	80
Ilustración 2. Ensamble perfil base exterior.	81
Ilustración 3. Perfilaría externa a la base.	81
Ilustración 4. Ajuste perfil de 30 cm en el centro.	82
Ilustración 5. Instalación de uniones tipo T.	82
Ilustración 6. Fijación de ángulos 4x8.	83
Ilustración 7. Instalación de riel.	83
Ilustración 8. Montaje de canaletas PVC ranurada 25x25 al riel.	84
Ilustración 9. Bornes eléctricos.	84
Ilustración 10. Instalación del disyuntor magnético.	85
Ilustración 11. Instalación de la fuente de alimentación 5V DC.	85
Ilustración 12. Instalación de la fuente de alimentación 12V DC.	86
Ilustración 13. Ensamble Base.	86
Ilustración 14. Montaje final de la base del sistema Hélice-Viga.	87
Ilustración 15. Instalación superior de unión acrílico a perfiles de 100cm.	89
Ilustración 16. Instalación centro de unión acrílico a perfiles de 100cm.	90
Ilustración 17. Instalación inferior de unión acrílico a perfiles de 100cm.	90
Ilustración 18. Uniones tipo esquina de sujeción a perfil de 100cm.	91
Ilustración 19. Instalación del transportador.	91
Ilustración 20. Instalación placa electrónica.	92
Ilustración 21. Instalación uniones aluminio tipo T.	92
Ilustración 22. Platinas uniones tipo T junto a tarjeta.	93
Ilustración 23. Ensamble parales.	93
Ilustración 24. Instalación de los parales para el sistema Hélice-Viga.	94
Ilustración 25. Instalación de uniones tipo esquina.	97
Ilustración 26. Instalación de potenciómetro.	97
Ilustración 27. Instalación de potenciómetro al acople.	98
Ilustración 28. Instalación del potenciómetro al acople del eje.	98
Ilustración 29. Ángulo de fijación al perfil.	99
Ilustración 30. Instalación de chumacera.	99
Ilustración 31. Varilla roscada a conector tipo T.	100
Ilustración 32. Instalación de contra peso.	100
Ilustración 33. Fijación del contra peso.	101
Ilustración 34. Instalación de conector tipo T al eje.	101
Ilustración 35. Instalación de segunda chumacera.	102
Ilustración 36. Indicador del ángulo.	102
Ilustración 37. Ensamble del eje rotor.	103
Ilustración 38. Ensamble final del eje de rotación.	104
Ilustración 39. Instalación del motor BLDC.	105
Ilustración 40. Buje al eje del motor BLDC.	106
Ilustración 41. Buje al eje del motor BLDC.	106
Ilustración 42. Instalación de la hélice.	107
Ilustración 43. Piñón de ajuste al eje de motor.	107
Ilustración 44. Soporte del motor BLDC a tuvo de carbono.	108

Ilustración 45. Ensamble para motor-hélice, brazo	108
Ilustración 46. Ensamble final del motor-hélice, brazo.	109
Ilustración 47. Parales a la base.	111
Ilustración 48. Atornillar placas de aluminio a perfiles de la base central.....	112
Ilustración 49. Instalación de parales a la base.....	112
Ilustración 50. Chumaceras soporte de rotación a los parales.	113
Ilustración 51. Fijación de las esquinas los parales.....	113
Ilustración 52. Instalación de la hélice motor al eje de rotación.....	114
Ilustración 53. Montaje final del sistema de Hélice-Viga de ala rotatoria.....	114
Ilustración 54. Instalación de la hélice y viga al eje de rotación.	116
Ilustración 55. Soporte base, motor y hélice.	117
Ilustración 56. Ensamble del contrapeso al eje.	117
Ilustración 57. Instalación del potenciómetro al acople del eje.....	118
Ilustración 58. Instalación del disyuntor magnético.	118
Ilustración 59. Fuente de 12V DC y 5 V DC.	119
Ilustración 60. Esquema eléctrico para el sistema hélice -viga de ala giratoria...	119
Ilustración 61. Esquemático de tarjeta de desarrollo.....	120

Lista de tablas

Tabla 1. Seguridad	77
Tabla 2. Materiales para ensamble de la base	78
Tabla 3. Numero de descripción para ensamble base.	86
Tabla 4. Materiales para ensamble de los parales.	88
Tabla 5. Numero de descripción para ensamble parales.	94
Tabla 6. Material de ensamble del eje y rotor.....	95
Tabla 7. Numero de descripción para ensamble del eje rotor	103
Tabla 8. Materiales de ensamble de motor-hélice, brazo.....	104
Tabla 9. Numero de descripción de ensamble motor-hélice, brazo.....	108
Tabla 10. Materiales para ensamble del sistema Hélice-viga de ala rotatoria.....	110

1 PROPÓSITO

Este documento guía al estudiante a través de un proceso de montaje del Sistema Hélice-viga de Ala Rotatoria (SHAR). Los propósitos de este documento son mantener los requisitos de seguridad, mantener los procedimientos de ensamblaje consistentes, y lograr resultados de ensamblaje de alta calidad.

2 ALCANCE

Este documento define los requisitos mecánicos y eléctricos necesarios para el ensamble del sistema Hélice-viga de ala rotatoria (SHAR).

3 EQUIPOS / MATERIALES

Los materiales que se referencian a continuación son solo para referencia. Otros elementos similares que realicen las funciones requeridas pueden ser depuestos en este procedimiento.

Termo encogible 3/32.....	1
Medidor, Multímetro digital.....	1
Sistema de soldadura.....	1
Pelacables.....	1
Pistola de calor.....	1
Soldadura electrónica.....	1
Diversas herramientas de mano.....	A/R

4 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Sistema Hélice-Viga de Ala Rotatoria. Diagrama de Cableado

5 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTALES

5.1 DEFINICIONES GENERALES PARA NORMAS DE SEGURIDAD

Lea estas instrucciones antes de poner en funcionamiento el sistema Hélice-Viga. Esta información contenida le permitirá usar la plataforma de una forma segura y así mismo a proteger a las personas que estén cerca a usted.

Las siguientes aclaraciones narran el nivel de riesgo de cada aviso.

PELIGRO: Indica una situación de peligro inminente que, si no se evita, provocará la muerte o lesiones graves.

ADVERTENCIA: Indica una situación de peligro potencial que, si no se evita, podría provocar la muerte o lesiones graves.

ATENCIÓN: Indica una situación de peligro potencial que, si no se evita, puede provocar lesiones leves o moderadas.

AVISO: Se refiere a una práctica no relacionada a lesiones corporales que de no evitarse puede resultar en daños a la propiedad.

5.2 SEGURIDAD EN EL PUESTO DE TRABAJO

Mantenga limpio y bien iluminado el área de trabajo. El desorden o falta de iluminación en el área de trabajo pueden provocar accidentes.

No utilice la herramienta eléctrica en un entorno con
No manipule equipos eléctricos en un entorno de peligro de explosión, en el que se hallen combustibles líquidos, gases o material en polvo. Las herramientas eléctricas producen chispas que pueden llegar a inflamar los materiales en polvo o vapores presentes.

Mantenga apartados a los niños y otras personas de su lugar de trabajo al usar la herramienta eléctrica. Un entretenimiento le puede hacer perder el control sobre el sistema Hélice-Viga, lo cual se contempla como herramienta eléctrica.

5.3 SEGURIDAD PERSONAL

Permanezca alerta a lo que está realizando y utilice el sentido común cuando utilice el sistema Hélice-Viga. No utilice el sistema hélice-viga si está cansado o bajo el efecto de drogas, alcohol o medicamentos. Un instante de descuido mientras se opera el sistema puede provocar lesiones personales graves.

Utilice equipo de protección personal. Use protección ocular, como gafas para evitar lesiones en la vista, botas de seguridad para protección de caída de objetos en los pies, protección para los oídos, el uso de estos elementos en condiciones adecuadas será una barrera para las lesiones personales.

Evite colocar en marcha el sistema Hélice-Viga de manera involuntaria, asegúrese de que el interruptor está apagado primitivamente cuando se desee conectar la fuente de alimentación, de igual manera para ser transportada. Transportar la plataforma sin desenchufar de la red eléctrica puede ocasionar accidentes graves.

Retire las herramientas de mano usadas para el ajuste de tuercas de manera previa a encender la Hélice-Viga. Una herramienta de mano para ajuste puesta a una pieza giratoria de la plataforma puede provocar lesiones personales graves al salir proyectada.

Conserve la posición ergonómica adecuadamente en todo momento. Esto permite un mejor reacción y control de la plataforma Hélice-Viga en situaciones inesperadas.

Mantenga el cabello, la ropa suelta y los guantes alejados de los lugares con movimiento, al usar prendas sueltas, las joyas o el cabello suelto pueden ser alcanzados en las piezas con movimiento.

5.4 SEGURIDAD ELÉCTRICA

Los enchufes de la plataforma eléctrica Hélice-Viga, cuenta con adaptación a la toma de corriente. Nunca modifique el enchufe de ninguna manera. Los enchufes que no presentan modificaciones reducirán el riesgo de descarga eléctrica.

Evite el contacto de su cuerpo con superficies de puesta tierra como, por ejemplo, tuberías, radiadores y refrigeradores. Existe un mayor riesgo de descarga eléctrica si su organismo entra en contacto con el aterrizaje del equipo.

No exponga el sistema eléctrico de la Hélice-Viga a lluvia ni a escenarios de humedad. Si ingresa agua en sus componentes eléctricos, aumentará el riesgo que se presente una descarga eléctrica.

Nunca use el cable para cargar, tirar o desenchufar el sistema eléctrico. Mantener el cable retirado del calor, el aceite, los bordes cortantes o las parte en movimiento. Los cables en mal estado o enredados aumentan el riesgo de electrocución.

Al operar el sistema eléctrico de la Hélice-Viga en exteriores, utilice un cable adecuado para tal uso, a fin de reducir el riesgo de descargas.

Si por alguna situación no se puede evitar el uso de la plataforma Hélice-Viga en una zona húmeda, utilice un dispositivo de corriente residual (residual current device, RCD) para mitigar el riesgo de sufrir descargas.

Advertencias de peligro generales para el Sistema Hélice-Viga

Lea todas advertencias de peligro e instrucciones. En caso de no adoptar las advertencias de peligro e instrucciones dadas, ello puede ocasionar una descarga eléctrica, un incendio y/o lesiones graves.

El término “herramienta eléctrica” comprendido en todas las advertencias se reseña a su herramienta eléctrica acoplada a la red (cable eléctrico).

GUARDE LOS AVISOS E ILUSTRACIONES PARA PODER CONSULTARLAS MAS ADELANTE

Protección del Medio Ambiente

Tabla 17. Seguridad

No deseche este producto con la basura normal del hogar o sitio de trabajo.	
Este producto puede ser reciclado para prevenir la contaminación del medio ambiente y reducir la demanda de materias primas	
Revise las normativas locales para reciclaje de productos eléctricos tales como herramientas y electrodomésticos, allí podrá encontrar centros de reciclaje municipales.	

Fuente: Elaboración propia.

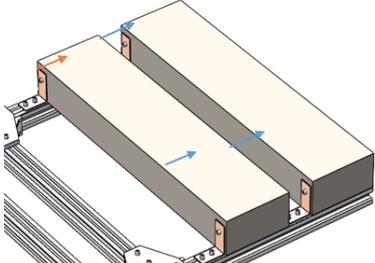
6 PROCESO DE ENSAMBLE DE LA BASE

6.1 MATERIALES

Tabla 18. Materiales para ensamble de la base

4 perfiles V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud	
2 perfiles V-slot 2020 de aluminio de 60cm de longitud	
2 uniones tipo T de 5 agujeros de aluminio	
4 láminas unión tipo L 3x3cm	
1 riel DIN de 24cm	
1 canaletas PVC ranurada 25x25mm de 25.5cm de largo	
1 canaletas PVC ranurada 25x25mm de 34cm de largo	

<p>5 bornes eléctricos</p>	
<p>2 frenos de borneras</p>	
<p>1 disyuntor magnético bipolar (Breaker)</p>	
<p>1 bornera de tierra</p>	
<p>1 fuente de alimentación 5V DC, 5A MAX</p>	
<p>1 fuente de alimentación 12V DC, 42A MAX</p>	
<p>4 soportes plásticos, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020</p>	

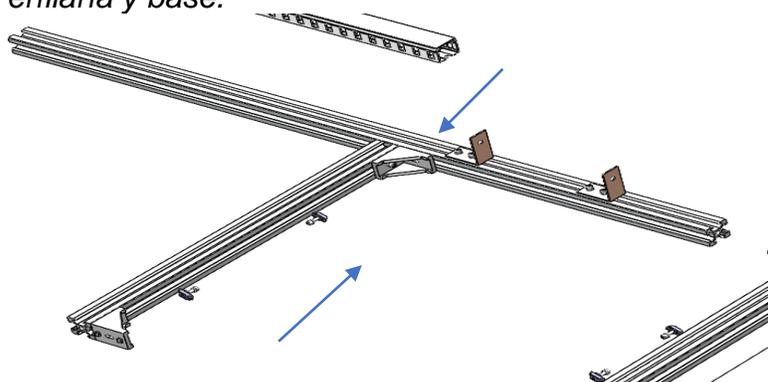
8 uniones tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	
Tornillo M5 de acero inoxidable	
Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	
2 perfil metálico 4x8 con 34cm de longitud	

Fuente: Elaboración propia.

6.2 PASOS PARA ENSAMBLE DE LA BASE

Paso 1: Instale el perfil V-slot de 30cm de longitud al perfil V-slot 2020 de 60cm de longitud, con la unión tipo esquina compatible con el perfil V-slot y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot, como se muestra en la ilustración 1.

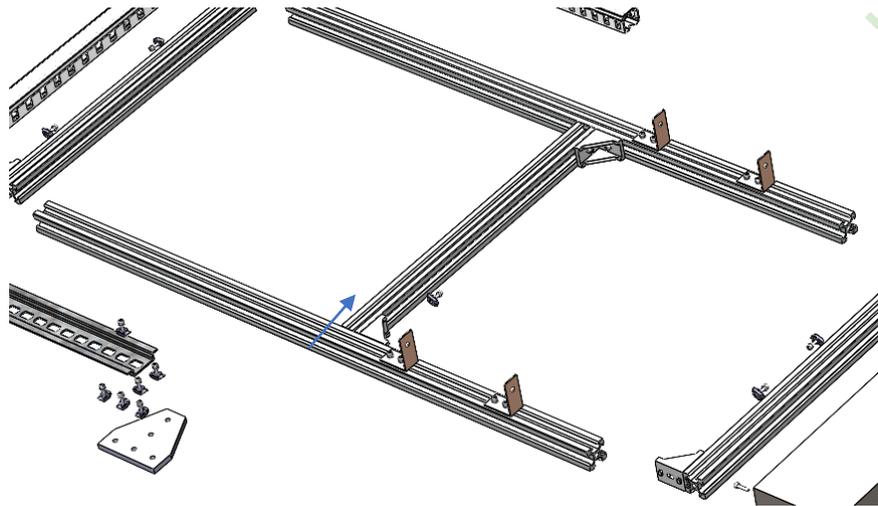
Ilustración 2. Perfilar y base.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Instale el 2º perfil V-slot 2020 de 60cm de longitud al perfil V-slot 2020 de 30cm de longitud con la unión tipo esquina compatible con el perfil V-slot y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot, como se muestra en la ilustración 2.

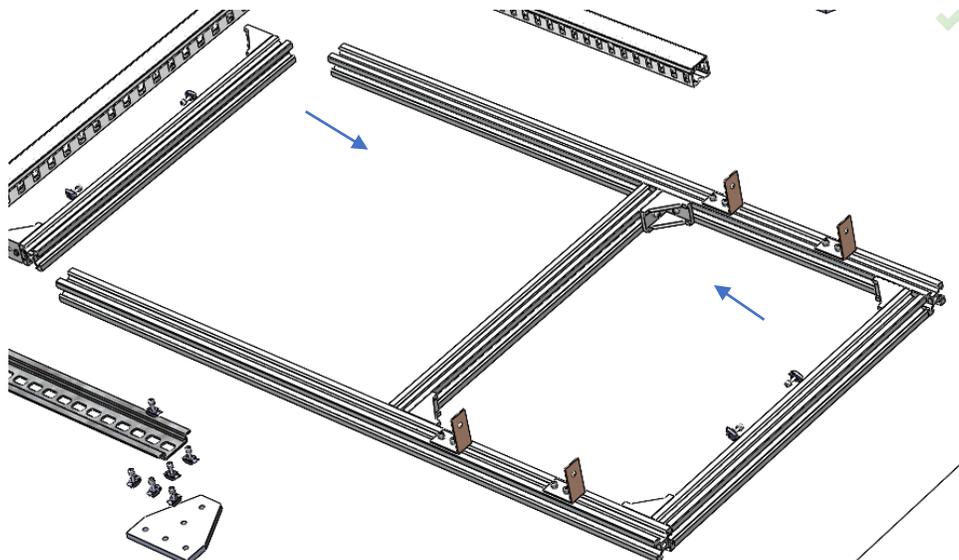
Ilustración 3. Ensamble perfil base exterior.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Instale el perfil V-slot 2020 de 30cm de longitud al exterior derecho e izquierdo de los perfiles V-slot 2020 de 60cm con la unión tipo esquina compatible con el perfil V-slot y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot, como se muestra en la ilustración 3.

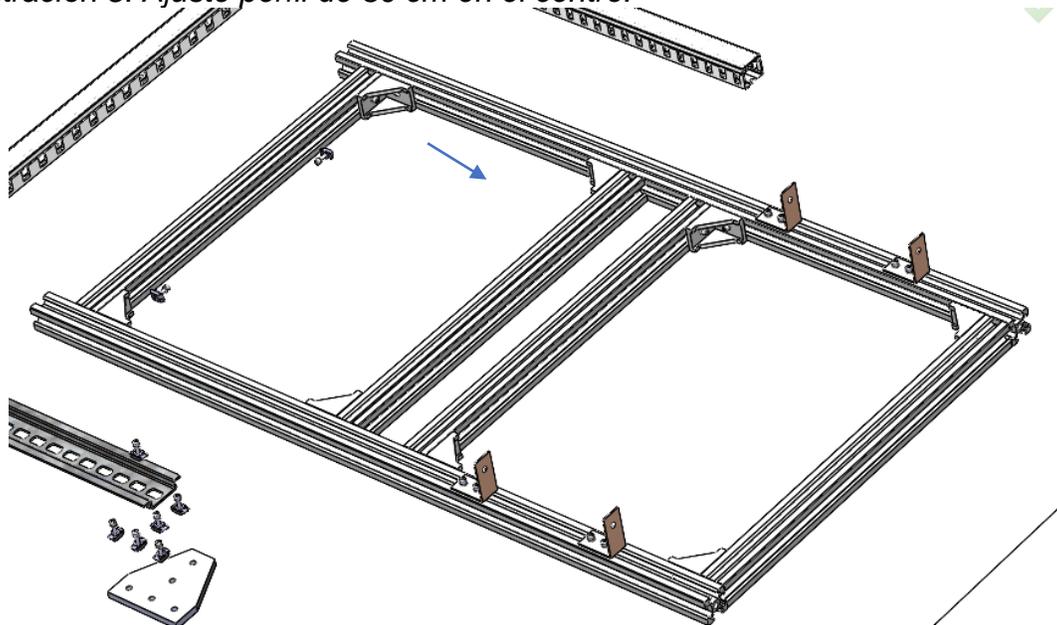
Ilustración 4. Perfilaría externa a la base.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Instale el perfil V-slot 2020 de 30cm de longitud al centro de los perfiles V-slot 2020 de 60cm con la unión tipo esquina compatible con el perfil V-slot y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot, como se muestra en la ilustración 4.

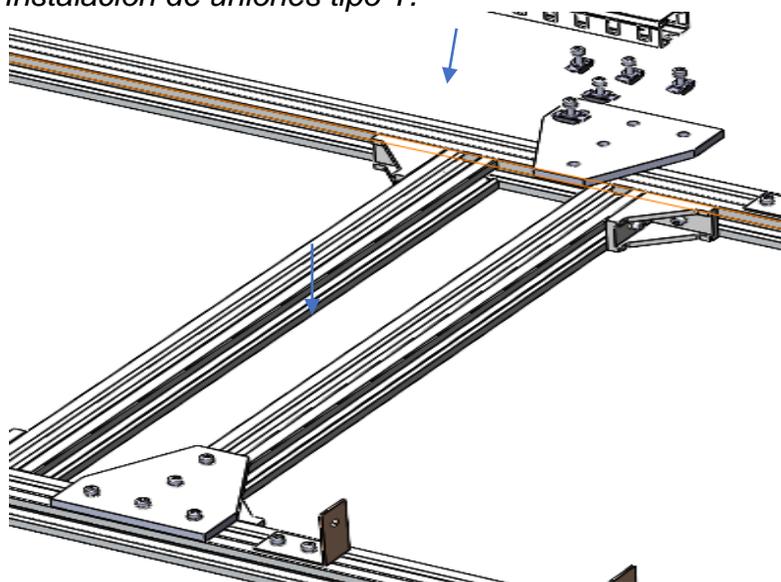
Ilustración 5. Ajuste perfil de 30 cm en el centro.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Instale 2 uniones tipo T de 5 agujeros de aluminio al perfil V-slot 2020 de 30cm de longitud centrado al perfil V-slot 2020 de 60cm y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot, como se muestra en la ilustración 5.

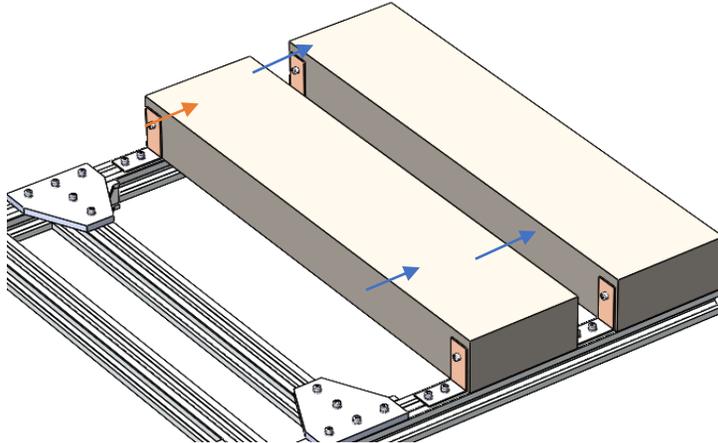
Ilustración 6. Instalación de uniones tipo T.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: Instale láminas 3x3cm en los perfiles 4x8 de 34cm su longitud de fijación para la plataforma, y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 de 60cm externos como se muestra en la ilustración 6.

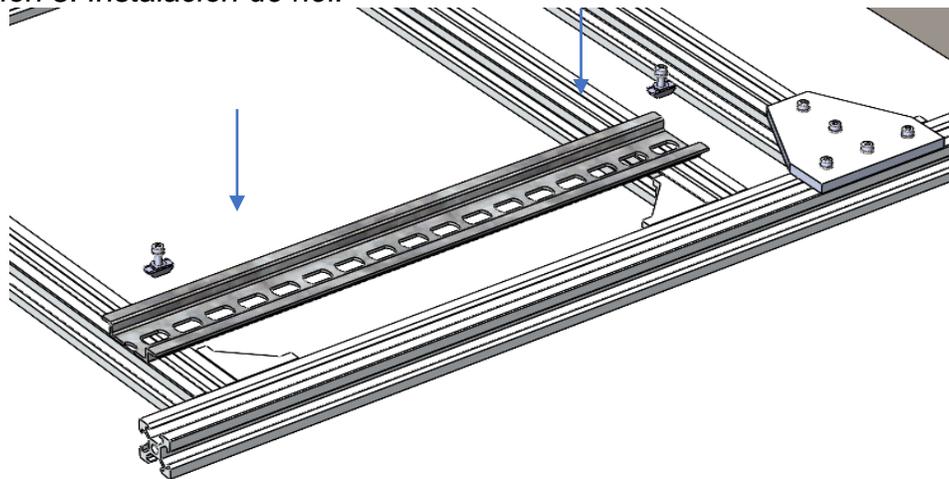
Ilustración 7. Fijación de ángulos 4x8.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 7: Instale el riel de 24cm de longitud al perfil V-Slot de 30cm sobre el costado izquierdo de la base y sobre el perfil V-Slot de 30cm ubicado en el centro de la base posteriormente ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 como se visualiza en la ilustración 7.

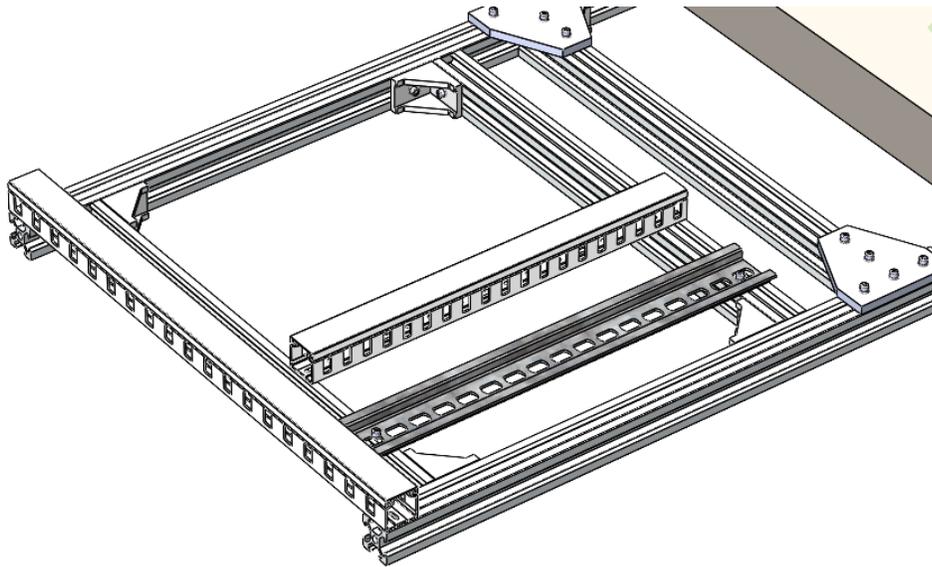
Ilustración 8. Instalación de riel.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 8: Instale las canaletas PVC ranuradas 25x25mm, de 25.5cm y 34cm de largo, la primera sobre los perfiles V-slot 2020 de 30cm ubicados sobre el costado izquierdo, centro de la base, la segunda canaleta sobre los perfiles V-slot de 60cm y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 como se visualiza en la ilustración 8.

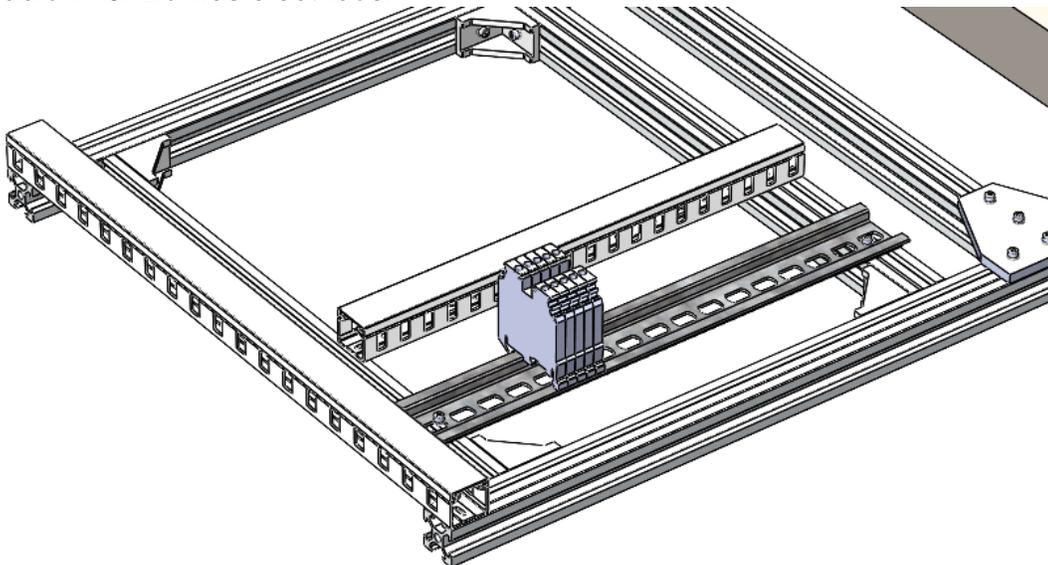
Ilustración 9. Montaje de canaletas PVC ranurada 25x25 al riel.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 9: Tome los 5 bornes eléctricos e instálelos sobre el riel de forma contigua para mantener el orden de la conexión de cableado, posteriormente colocar 2 frenos de borneras en los extremos del riel expuesto en el paso 7.

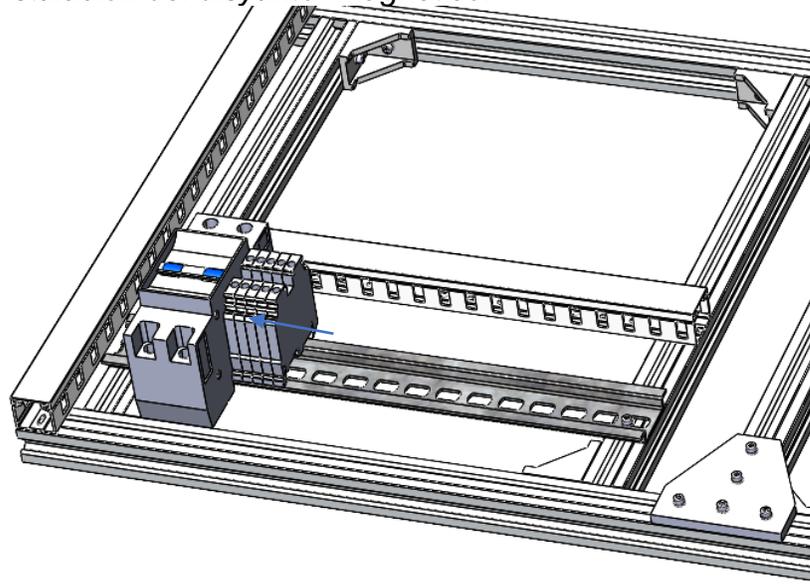
Ilustración 10. Bornes eléctricos.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 10: Instale el disyuntor magnético (Breaker) junto los bornes del riel, después de este paso colocar la bornera de tierra al costado izquierdo, como se presenta en la ilustración 10.

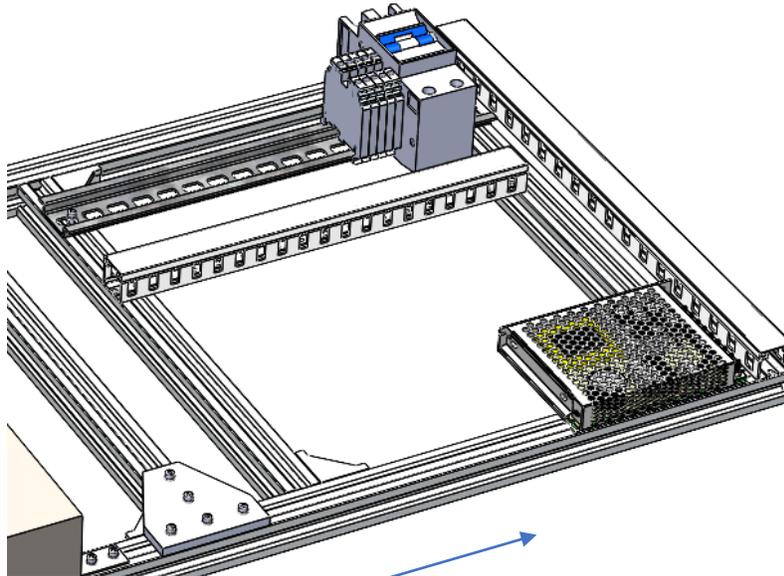
Ilustración 11. Instalación del disyuntor magnético.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 11: Tome e instale la fuente de alimentación de 5V DC y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas en el perfil V-Slot 2020 exterior izquierdo de 30cm contiguo a la canaleta PVC ranurada 25x25mm de 34cm sobre el perfil V-Slot 2020 de 60cm, como se visualiza en la ilustración 11.

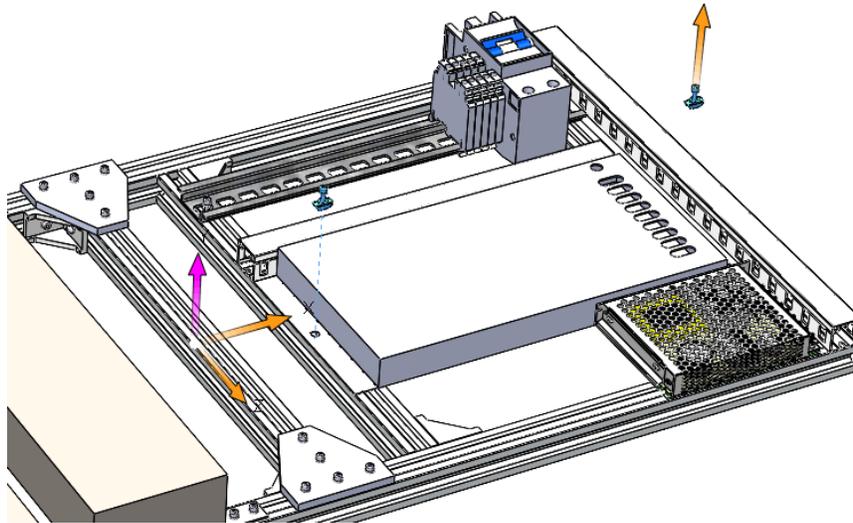
Ilustración 12. Instalación de la fuente de alimentación 5V DC.



Fuente: Elaboración propia.

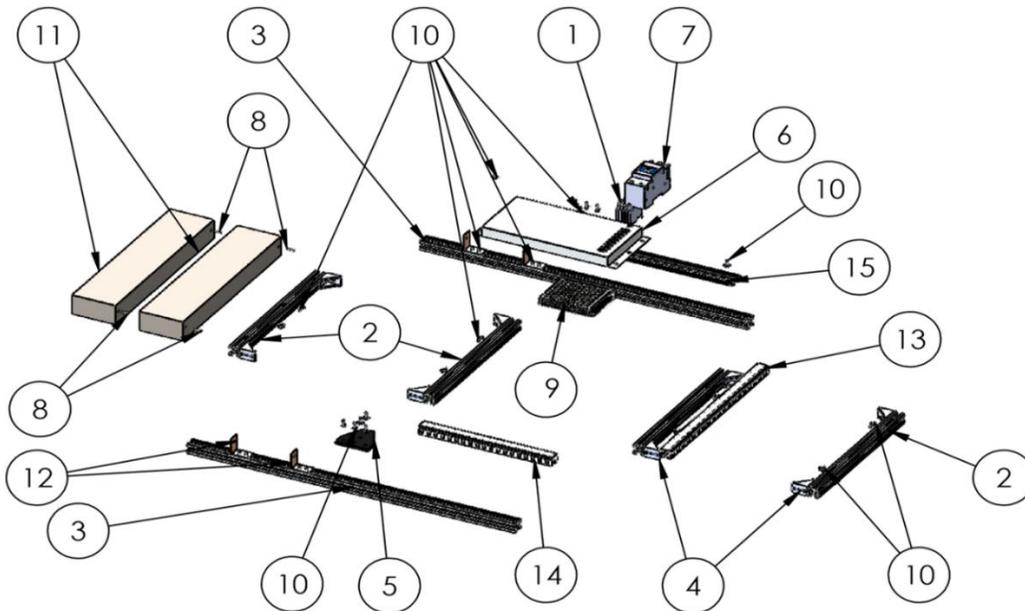
Paso 12: Tome e instale la fuente de alimentación de 12V DC y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 central de 30cm contiguo a la canaleta PVC ranurada 25x25mm de 34cm, como se visualiza en la ilustración 12.

Ilustración 13. Instalación de la fuente de alimentación 12V DC.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 14. Ensamble Base



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Numero de descripción para ensamble base.

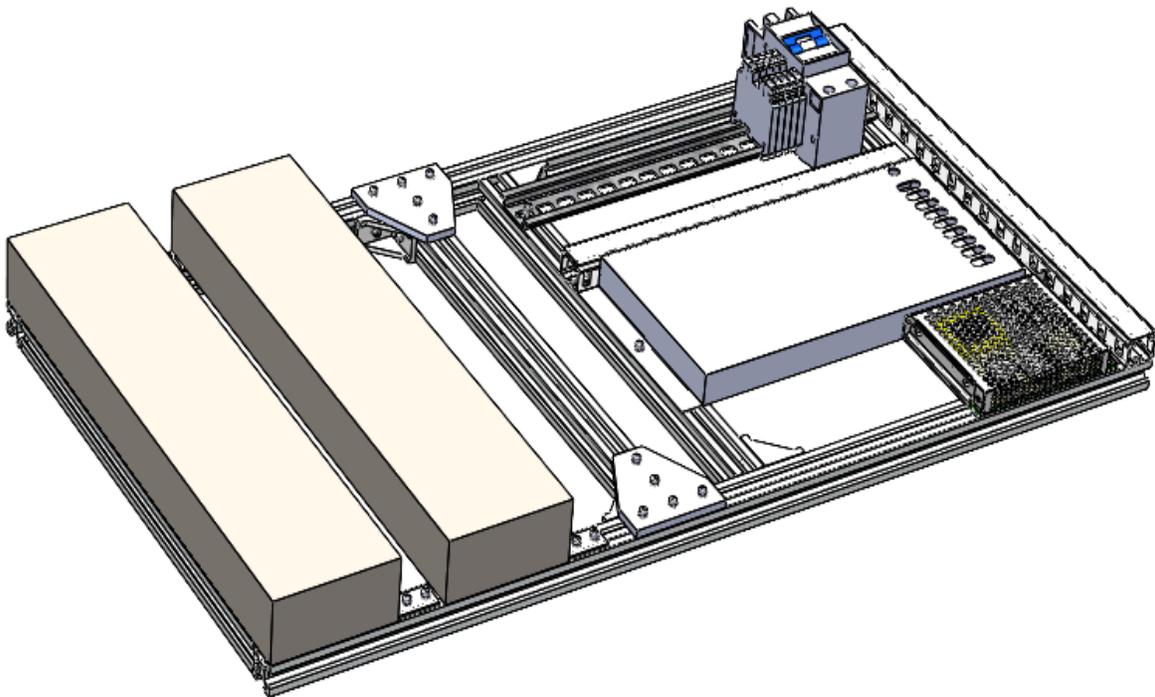
Números	Descripción	Cantidad
1	Bornera	5
2	Perfiles V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud	4
3	Perfiles V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud	2
4	Unión tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	8
5	Unión tipo T de 5 agujeros de aluminio	2
6	Fuente de alimentación 12V DC, 42A MAX	1
7	Disyuntor magnético bipolar (Breaker) (BR1)	1

8	Tornillo M5 de acero inoxidable	6
9	Fuente de alimentación 5V DC, 5A MAX	1
10	Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	36
11	Perfil 4x8 con 34cm de longitud	2
12	Láminas unión tipo L 3x3cm	4
13	Canaletas PVC ranurada 25x25mm de 25.5cm de largo	1
14	Canaletas PVC ranurada 25x25mm de 34cm de largo	1
15	Riel DIN de 24cm	1

Fuente: Elaboración propia.

Al terminar de ensamblar los componentes de la base se debe obtener un resultado como se presenta en la Ilustración 14, al no obtener el resultado esperado repita de manera detallada los pasos descritos anteriormente.

Ilustración 15. Montaje final de la base del sistema Hélice-Viga.

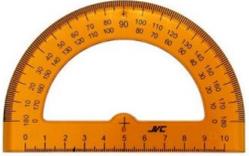


Fuente: Elaboración propia.

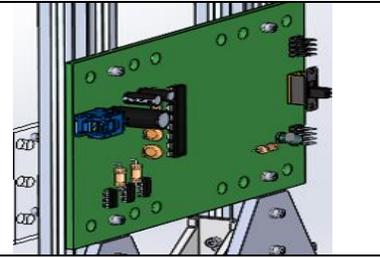
7 PROCESO DE ENSAMBLE PARALES

7.1 MATERIALES

Tabla 20. Materiales para ensamble de los parales.

2 perfiles V-slot 2020 de aluminio de 100cm de longitud	
2 uniones rectangulares de 24 orificios en acrílico de 7mm	
4 uniones tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	
4 uniones de aluminio tipo T de 5 orificios	
1 transportador	
4 ángulos de sujeción Unión tipo L	
Tornillo M5 de acero inoxidable	
Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	

1 placa electrónica

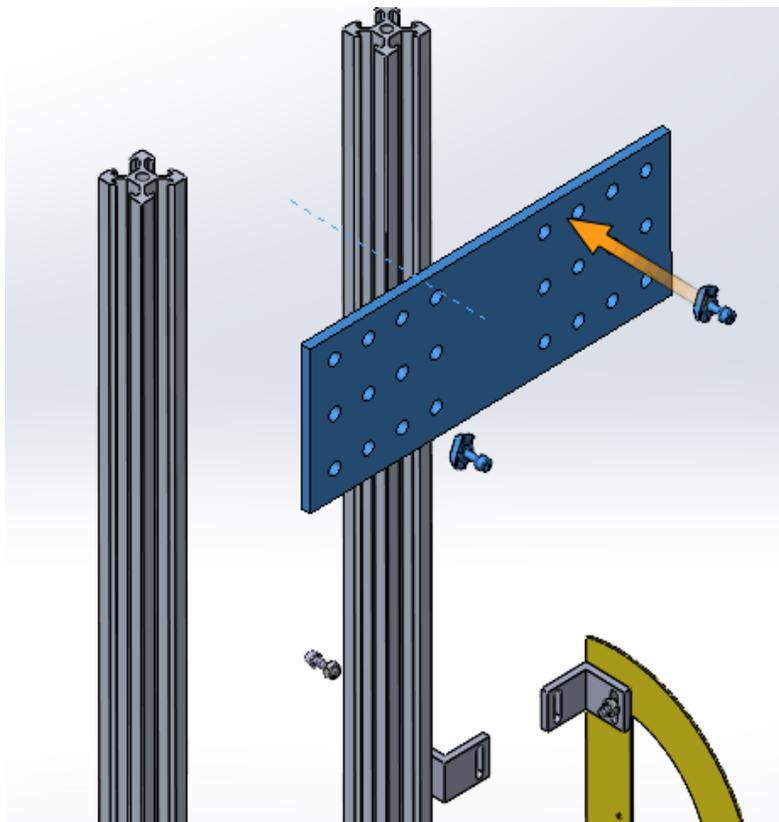


Fuente: *Elaboración propia.*

7.2 PASOS PARA ENSAMBLE DE LOS PAALES

PASO 1: Tome los dos perfiles V-slot 2020 de 100cm de longitud, e instale la unión rectangular de 24 orificios en acrílico y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 de manera simétrica, en el extremo superior del perfil, como se presenta en la ilustración 15.

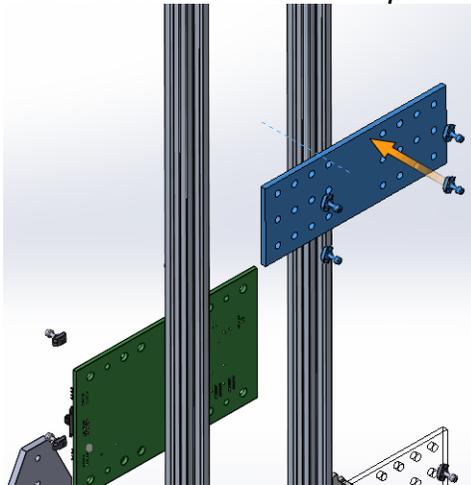
Ilustración 16. Instalación superior de unión acrílica a perfiles de 100cm.



Fuente: *Elaboración propia.*

PASO 2: Tome los dos perfiles V-slot 2020 de 100cm de longitud, e instale una segunda unión rectangular de 24 orificios en acrílico y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 de manera simétrica al anterior paso, al centro del perfil, como se presenta en la ilustración 16.

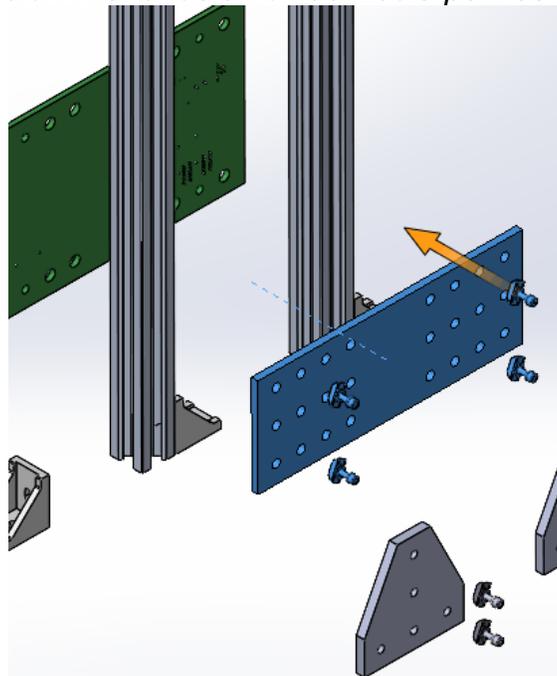
Ilustración 17. Instalación centro de unión acrílico a perfiles de 100cm.



Fuente: Elaboración propia.

PASO 3: Sobre los perfiles V-slot 2020 de 100cm de longitud instale una tercera unión rectangular de 24 orificios en acrílico y ajústela con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 de manera simétrica al anterior paso, en el extremo inferior del perfil, como se presenta en la ilustración 17.

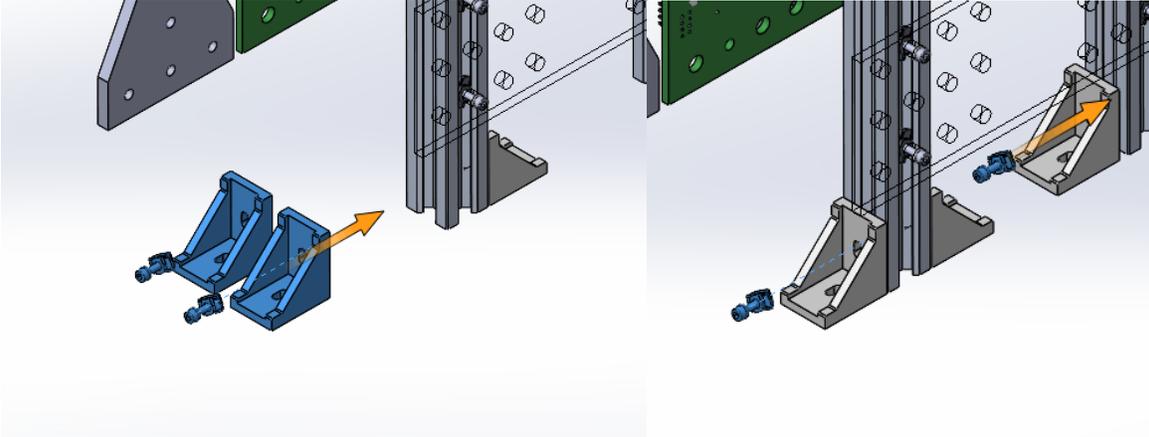
Ilustración 18. Instalación inferior de unión acrílico a perfiles de 100cm.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Instale sobre los costados inferiores de los perfiles V-slot 2020 de 100cm de longitud, cuatro uniones tipo esquina de sujeción ajustando con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 en forma simétrica, como se presenta en la ilustración 18.

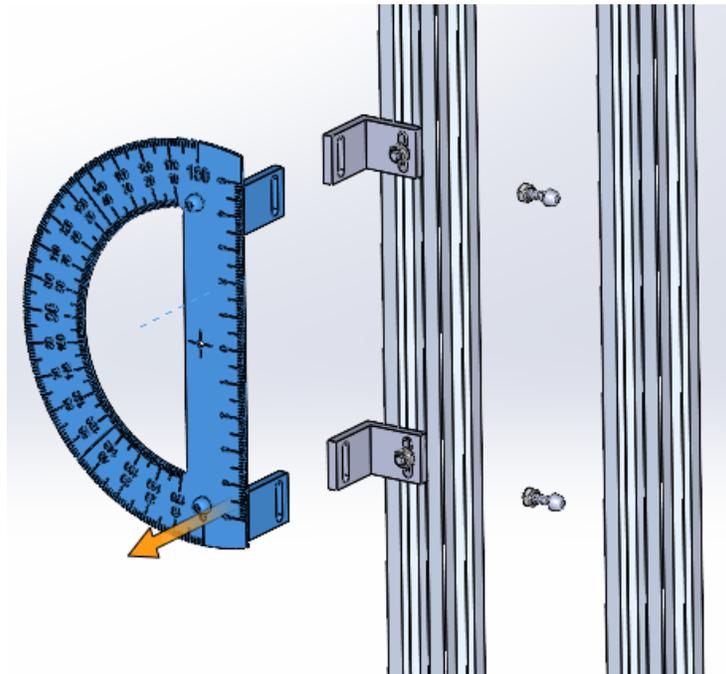
Ilustración 19. Uniones tipo esquina de sujeción a perfil de 100cm.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Instalar el transportador a los ángulos de sujeción y luego colocarlo al perfil V-slot 2020 de 100cm de longitud, ajustándolos con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020, como se presenta en la ilustración 19.

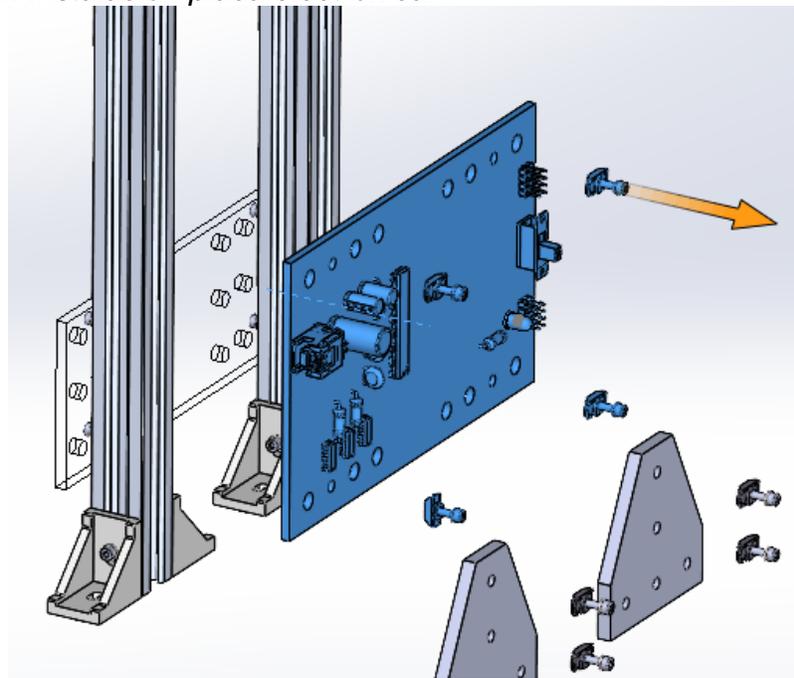
Ilustración 20. Instalación del transportador.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: Instalar la placa electrónica, en la parte inferior del perfil V-slot 2020 de 100cm de longitud, ajustando de manera suave con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020, como se presenta en la ilustración 20.

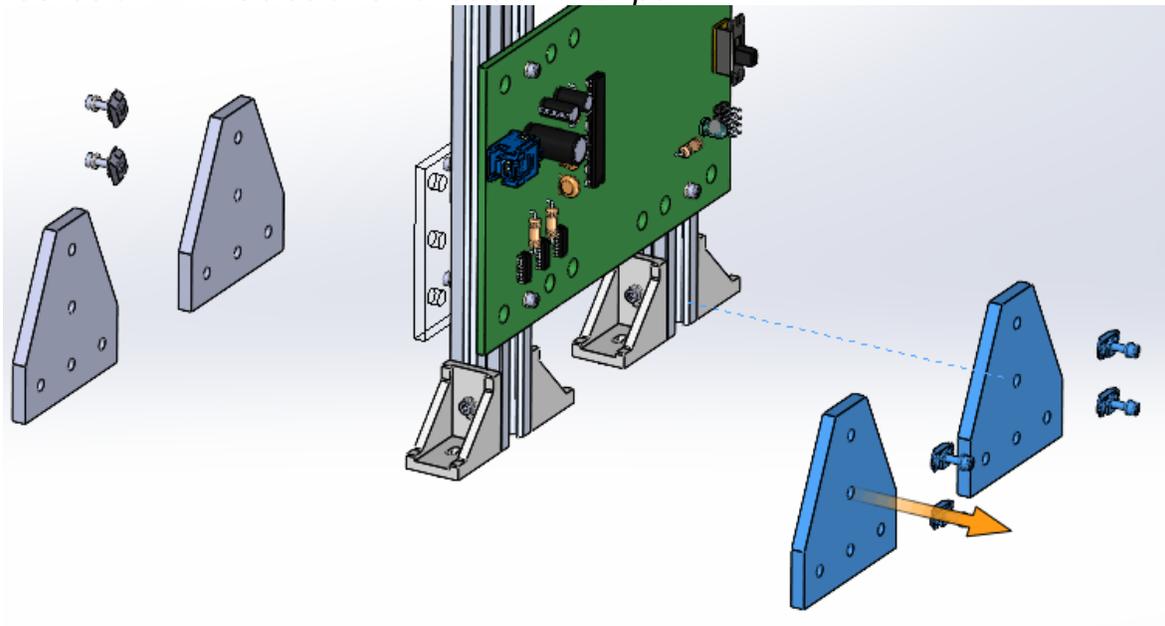
Ilustración 21. Instalación placa electrónica.



Fuente: Elaboración propia.

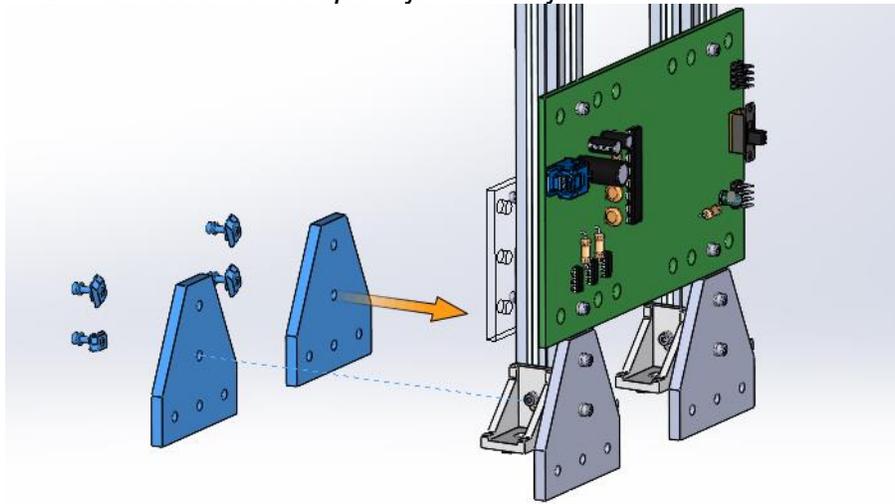
Paso 7: Instale uniones de aluminio tipo T de 5 orificios en la parte inferior de los perfiles V-slot 2020 de 100cm de longitud, ajustándolos con dos tornillos en cada unión, con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas en el perfil V-Slot 2020, como se presenta en la ilustración 22 e ilustración 22.

Ilustración 22. Instalación uniones aluminio tipo T.



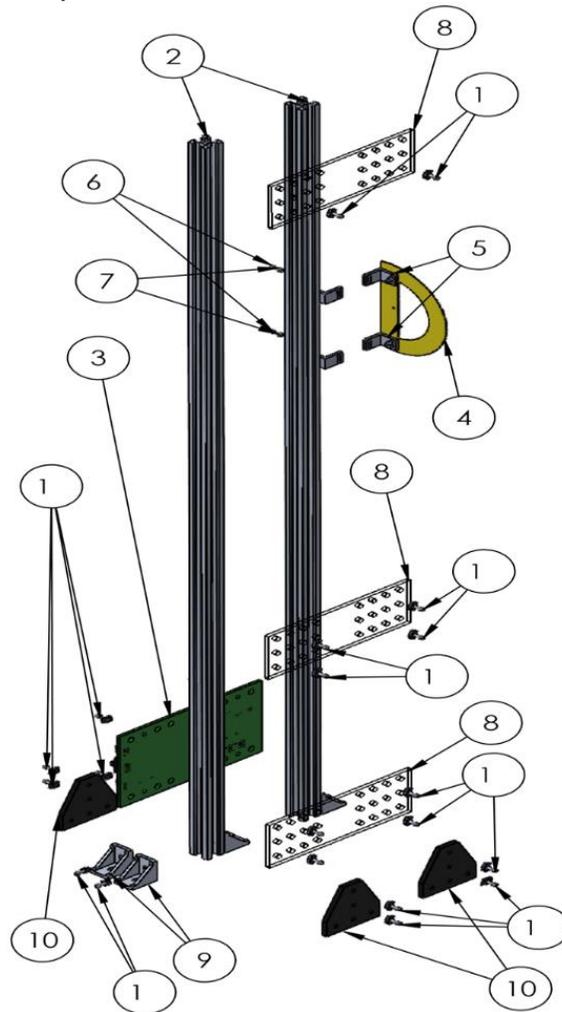
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 23. Platinas uniones tipo T junto a tarjeta.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 24. Ensamble parales.



Fuente: Elaboración propia.

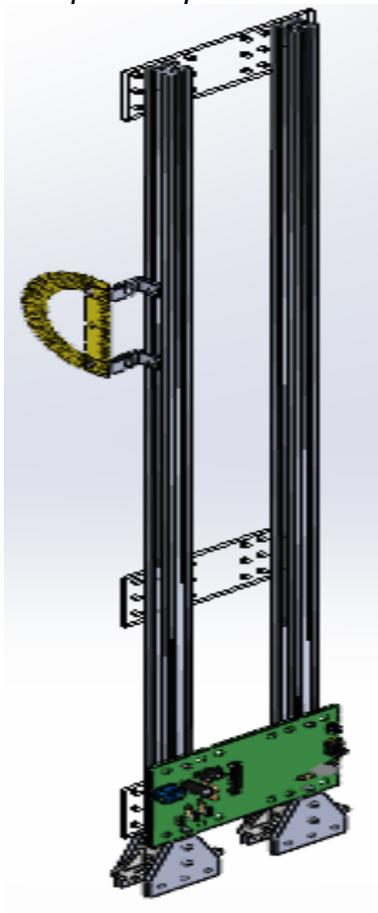
Tabla 21. Numero de descripción para ensamble parales.

Números	Descripción	Cantidad
1	Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	26
2	Perfiles V-slot 2020 de aluminio de 100cm de longitud	2
3	Placa electrónica	1
4	Transportador	1
5	Ángulos de sujeción Unión tipo L	4
6	Tornillo M5 de acero inoxidable	6
7	Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	6
8	Uniones rectangulares de 24 orificios en acrílico de 7mm	3
9	Unión tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	4
10	Unión de aluminio tipo T de 5 orificios	4

Fuente: Elaboración propia.

Al terminar de ensamblar los componentes para los parales de la plataforma se debe obtener un resultado como se presenta en la ilustración 24, al no obtener el resultado esperado repita de manera detallada los pasos descritos anteriormente.

Ilustración 25. Instalación de los parales para el sistema Hélice-Viga.



Fuente: Elaboración propia.

8 PROCESO DE ENSAMBLE DEL EJE ROTOR

8.1 MATERIALES

Tabla 22. Material de ensamble del eje y rotor.

1 perfil V-slot 2020 de aluminio de 9.5cm de longitud	
1 ángulos de sujeción para potenciómetro	
1 acople para potenciómetro-eje D25L30 con conectores a 6.35mm y 8mm	
1 potenciómetro	
2 uniones tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	
1 varilla lisa de 8mm	

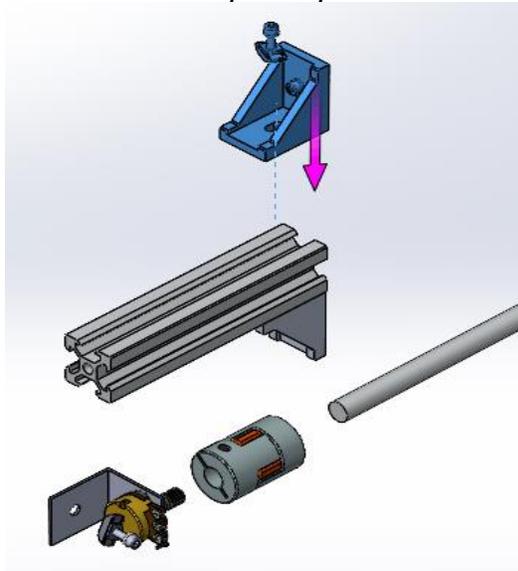
<p>2 chumaceras (KP08), soporte con rodamiento 608RS, ID 8mm</p>	
<p>1 acople de aluminio tipo T de 20mm a 25mm</p>	
<p>1 varilla roscada de 1/4in x 12cm de longitud</p>	
<p>1 contrapeso con rosca</p>	
<p>2 tuercas 1/4in</p>	
<p>1 soporte para varilla lisa (SHF8)</p>	
<p>Tornillo M5 de acero inoxidable</p>	
<p>Tuerca tipo T, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020</p>	

Fuente: Elaboración propia.

8.2 PASOS PARA ENSAMBLE DEL EJE Y ROTOR

Paso 1: Instale sobre los costados del perfil V-slot 2020 de 9.5cm de longitud, dos uniones tipo esquina de sujeción ajustando con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020 en forma simétrica, como se presenta en la ilustración 25.

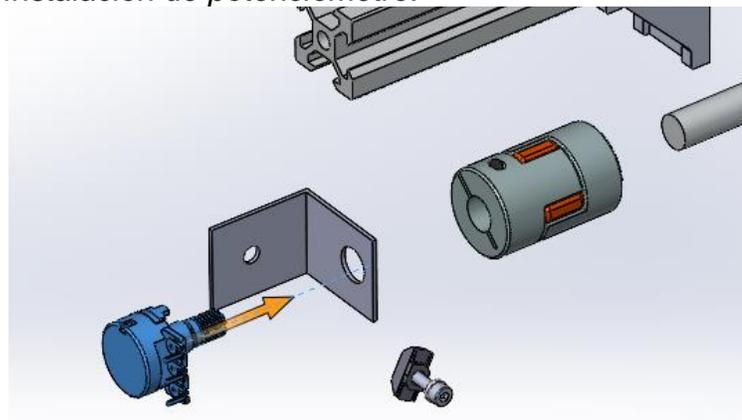
Ilustración 26. Instalación de uniones tipo esquina.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Instale al ángulo de sujeción el potenciómetro y ajuste con la tuerca, como se presenta en la ilustración 26.

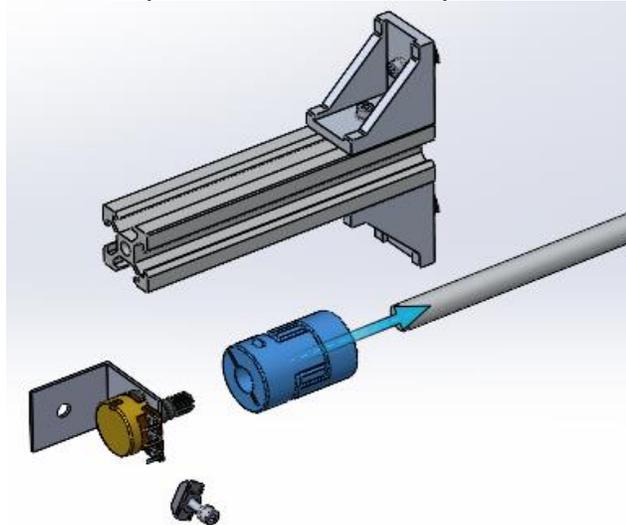
Ilustración 27. Instalación de potenciómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Instale el acople para potenciómetro-eje D25L30, al conector 8mm, a la varilla lisa de 8mm para el eje de sustentación y ajuste con los tornillos que lo componen, como se presenta en la ilustración 27.

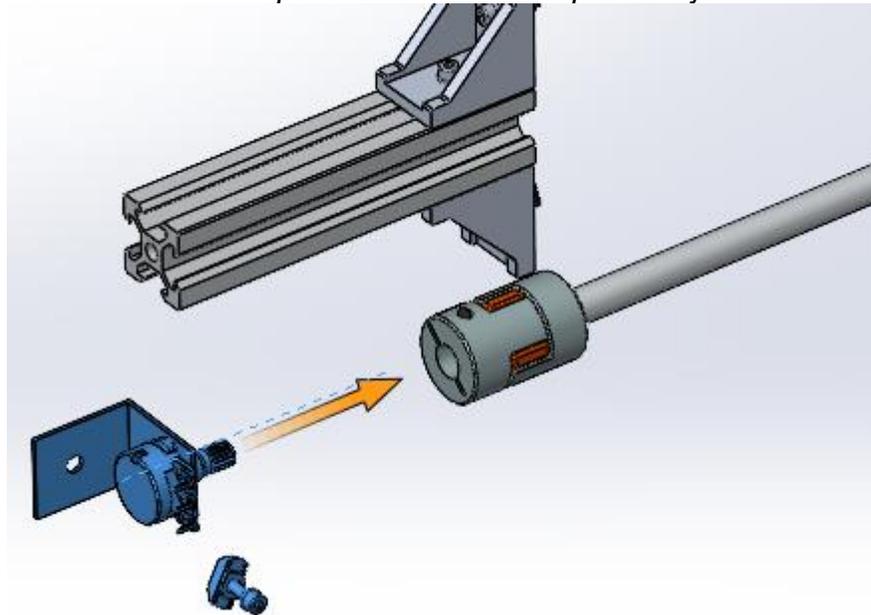
Ilustración 28. Instalación de potenciómetro al acople.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Instale el conjunto del paso 3, al acople para motor D25L30, al conector de 6.35mm, al potenciómetro, como se presente en la ilustración 28.

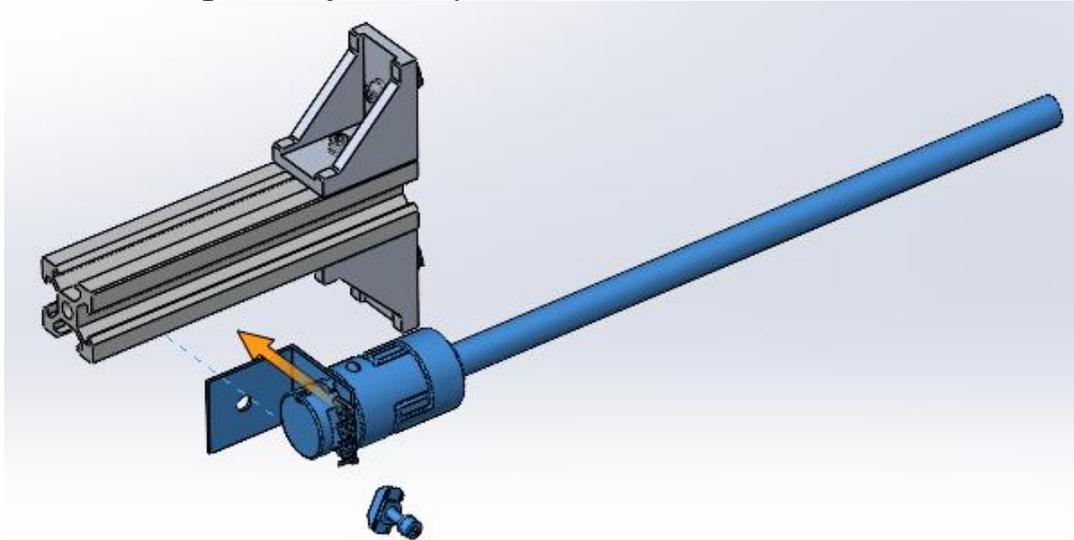
Ilustración 29. Instalación del potenciómetro al acople del eje.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Sobre un costado del perfil V-slot 2020 de 9.5cm de longitud, instale el ángulo de sujeción para potenciómetro con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot 2020, como se presenta en la ilustración 29.

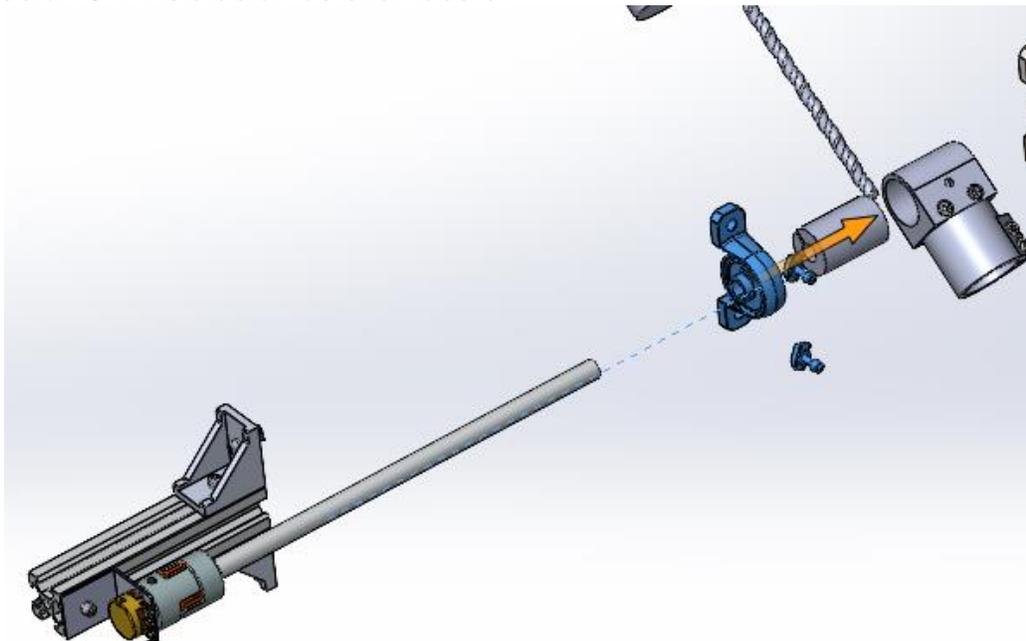
Ilustración 30. Ángulo de fijación al perfil.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: Deslice sobre la varilla lisa de 8mm la chumacera de soporte con rodamiento 8mm (KP08) como se puede observar en la Ilustración 30.

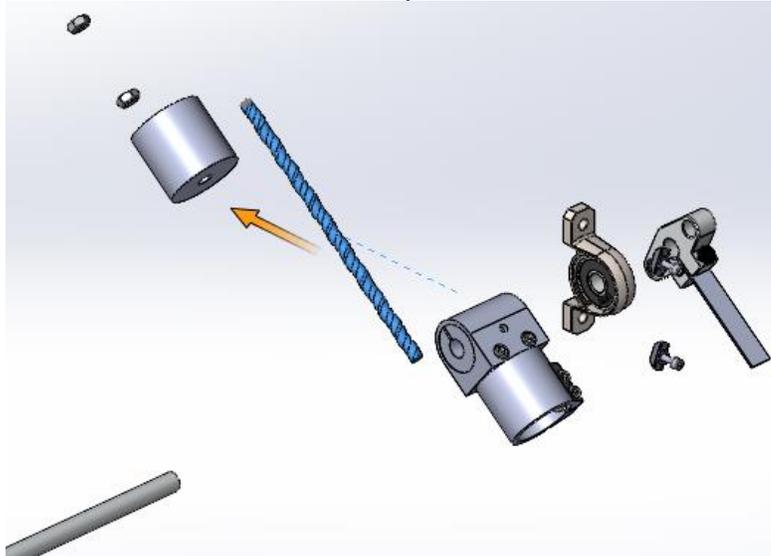
Ilustración 31. Instalación de chumacera.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 7: Instale la varilla roscada de 1/4in x 12cm de longitud, al conector de fibra de carbono tipo T, al extremo contrario donde se ubicará el eje para el motor, como se puede observar en la ilustración 31.

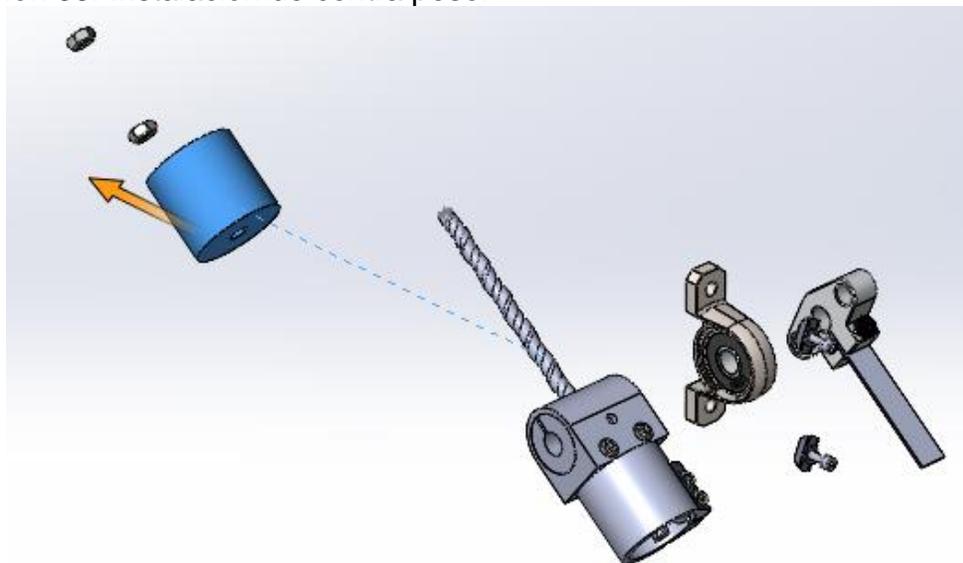
Ilustración 32. Varilla roscada a conector tipo T.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 8: Instale a la varilla roscada de 1/4in x 12cm de longitud, al contrapeso roscado que se encuentra sujeto al conector tipo T, como se puede observar en la ilustración 32.

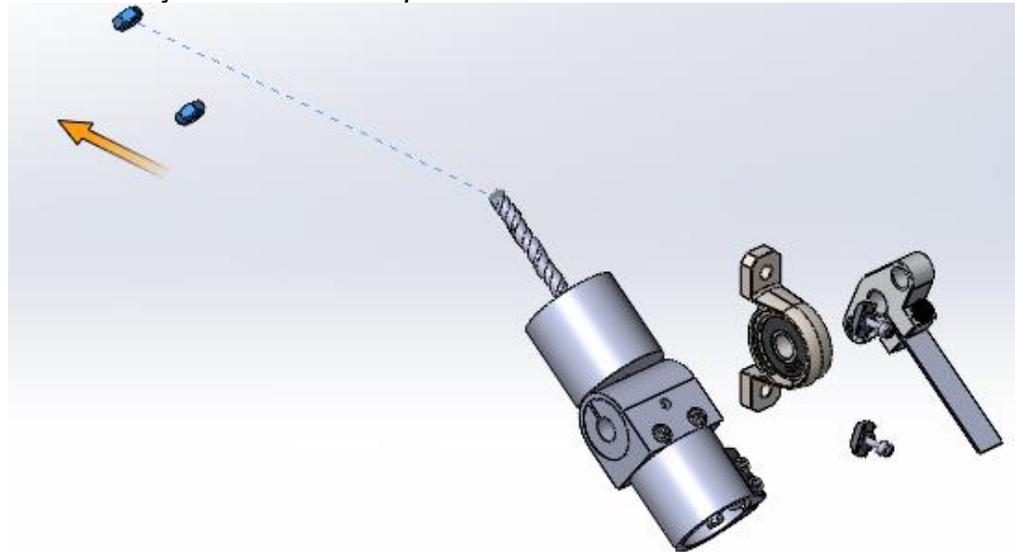
Ilustración 33. Instalación de contra peso.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 9: Enrosque las tuercas 1/4in y fije el contrapeso en la posición deseada sobre la varilla roscada, ubicada al conector tipo T, como se puede observar en la Ilustración 33.

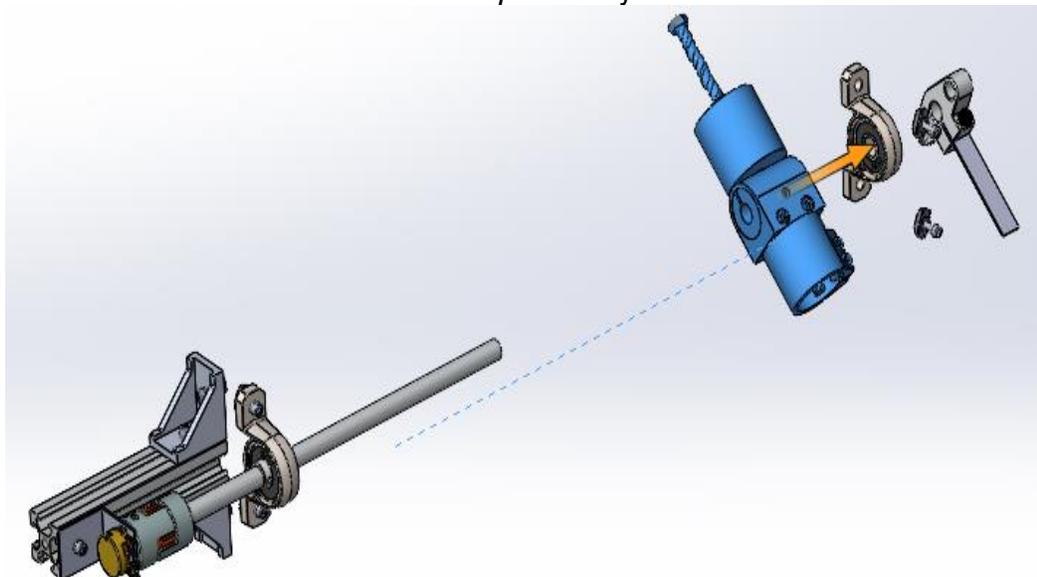
Ilustración 34. Fijación del contra peso.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 10: Deslice sobre la varilla lisa de 8mm el conector de fibra de carbono tipo T, con el ensamble presentado en el paso anterior hasta la zona media de la varilla lisa de 8mm, como se puede observar en la ilustración 34.

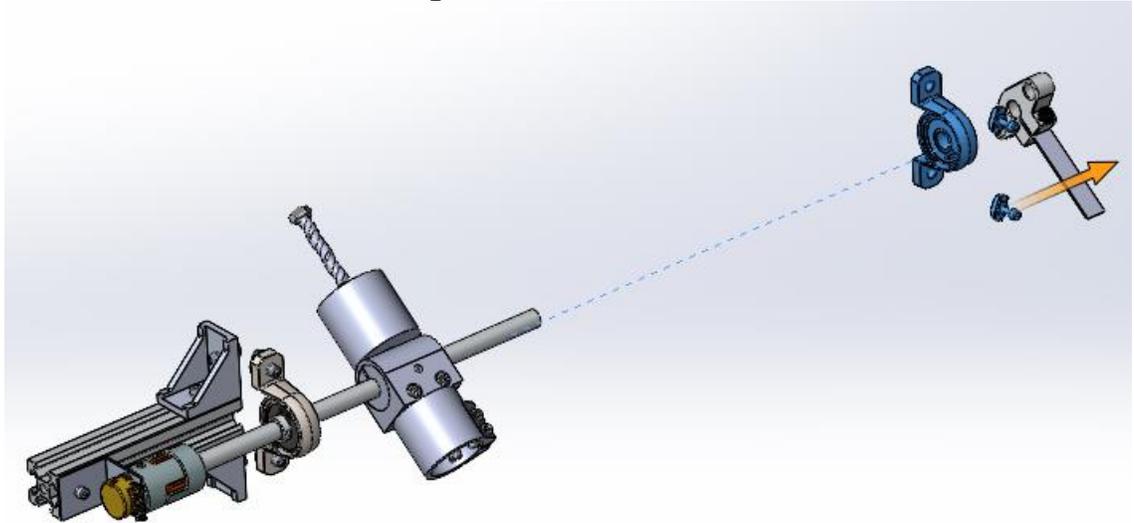
Ilustración 35. Instalación de conector tipo T al eje.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 11: Instale sobre la varilla lisa de 8mm la segunda chumacera de soporte con rodamiento 8mm (KP08), hasta coincidir con el perfil V-slot 2020 de 100cm de longitud, como se puede observar en la ilustración 35.

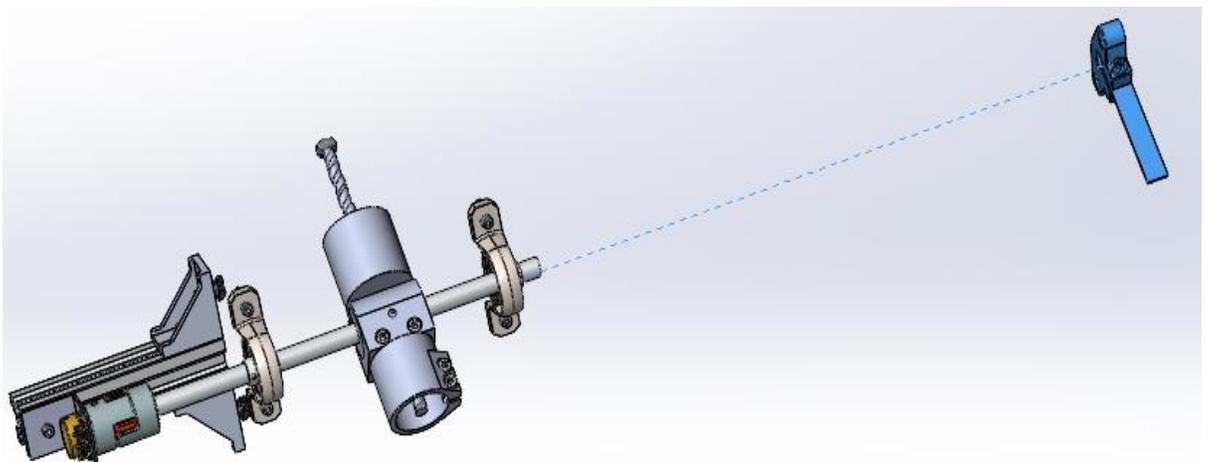
Ilustración 36. Instalación de segunda chumacera.



Fuente: Elaboración propia.

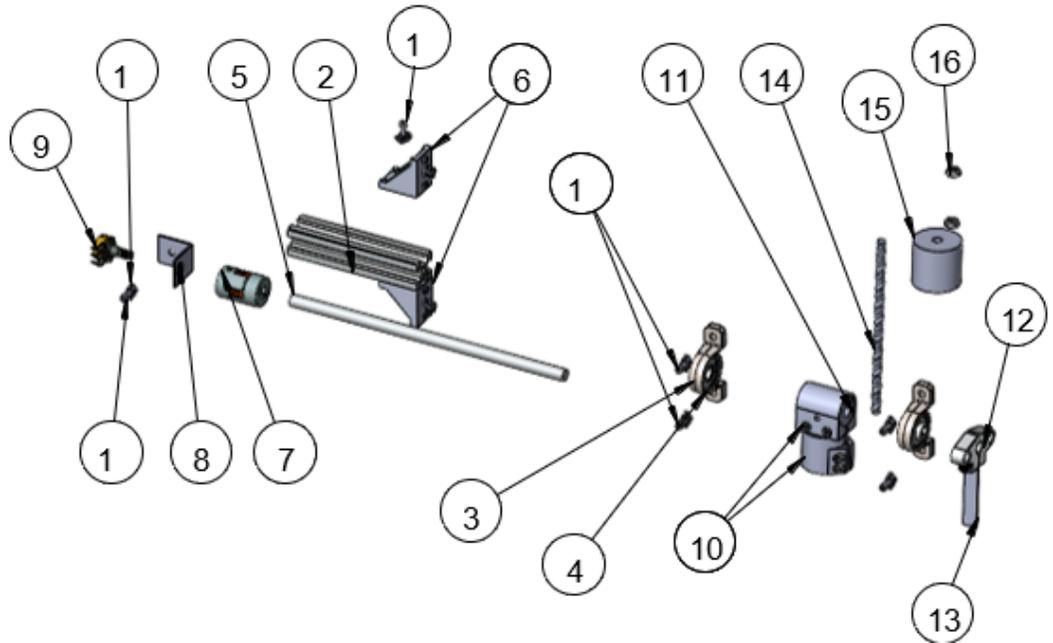
Paso 12: Instale sobre la varilla lisa de 8mm un soporte para varilla lisa (SHF8) con indicador para ángulo y ubíquelo de forma paralela al conector de fibra de carbono tipo T, ajuste al eje con los tornillos que lo componen, como se presenta en la ilustración 36.

Ilustración 37. Indicador del ángulo.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 38. Ensamble del eje rotor.



Fuente: Elaboración propia.

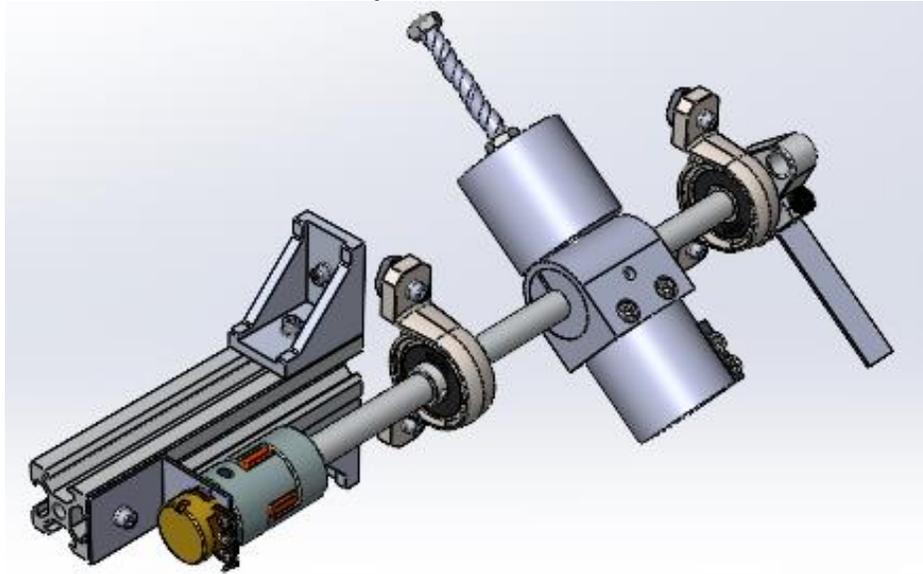
Tabla 23. Numero de descripción para ensamble del eje rotor

Números	Descripción	Cantidad
1	Tornillo M5 de acero inoxidable	9
2	Perfil V-slot 2020 de aluminio de 9.5cm de longitud	1
3	Rodamiento 608RS ID 8mm	2
4	Chumaceras (KP08), soporte con rodamiento 608RS	2
5	Varilla lisa de 8mm	1
6	Unión tipo esquina 20x28, compatible con perfil de aluminio V-slot 2020	2
7	Acople para potenciómetro-eje D25L30 con conectores a 6.35mm y 8mm	1
8	ángulos de sujeción para potenciómetro	1
9	Potenciómetro	1
10	Acople de aluminio tipo T de 20mm a 25mm	1
11	Buje OD 25mm	1
12	Soporte para varilla lisa (SHF8)	1
13	Indicador de ángulo	1
14	Varilla roscada de 1/4in x 12cm de longitud	1
15	Contrapeso con rosca	1
16	Tuerca contrapeso 1/4in	2

Fuente: Elaboración propia.

Al terminar de ensamblar los componentes para el eje rotación, se debe apreciar un resultado como se presenta en la ilustración 35, al no obtener el resultado esperado repita de manera detallada los pasos descritos anteriormente.

Ilustración 39. Ensamble final del eje de rotación.



Fuente: Elaboración propia.

9 PROCESO DE ENSAMBLE BRAZO, MOTOR-HÉLICE

9.1 MATERIALES

Tabla 24. Materiales de ensamble de motor-hélice, brazo.

<p>1 motor brushless BLDC A2212 / 13T 1000KV</p>	
<p>1 acople base para RC plana UAV Drones especificación</p>	

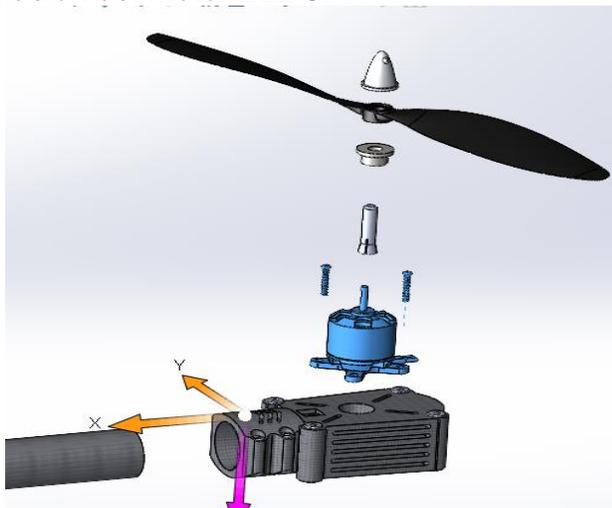
1 hélice de carbono 1045	
2 bujes para la hélice de carbono	
1 tubo de fibra de carbono con OD de 25mm x 50cm de longitud	

Fuente: Elaboración propia.

9.2 PASOS PARA ENSAMBLE DE LA MOTOR-HÉLICE, BRAZO

Paso 1: Instale el motor Brushless BLDC A2212 a la base para RC plana UAV Drone especificación y ajuste con los cuatro tornillos que lo componen como se muestra en la ilustración 39.

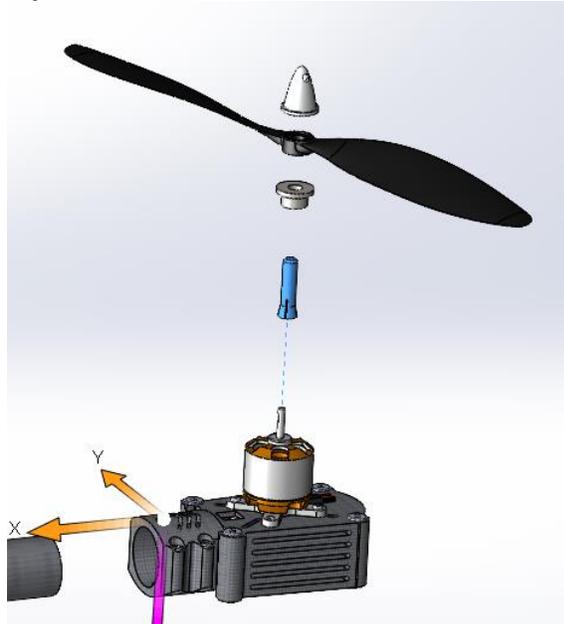
Ilustración 40. Instalación del motor BLDC.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Instale el buje de acople para al eje motor Brushless BLDC A2212 y ajuste como se muestra en la ilustración 40.

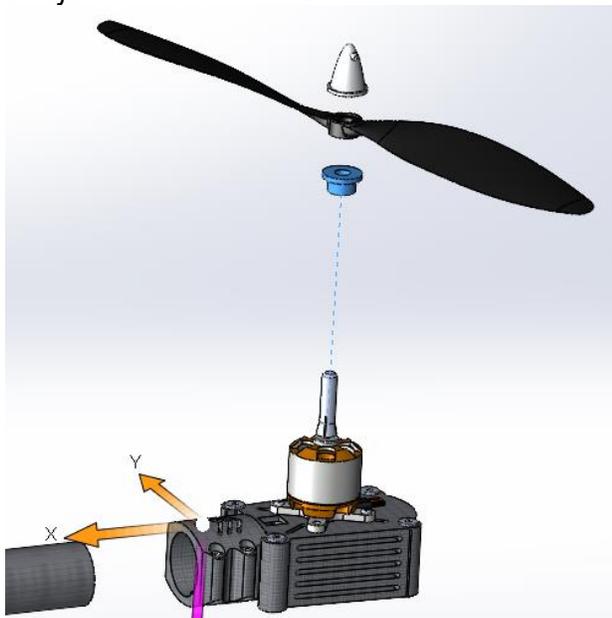
Ilustración 41. Buje al eje del motor BLDC.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Instale el siguiente buje sobre el eje del paso 2, para el eje motor Brushless BLDC A2212 y ajuste como se muestra en la ilustración 41.

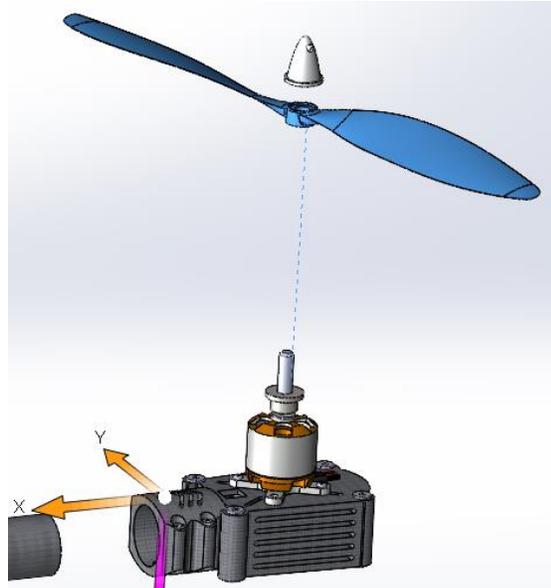
Ilustración 42. Buje al eje del motor BLDC.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Instale la hélice de carbono 1045 al buje que está en el eje del motor, como se muestra en la ilustración 42.

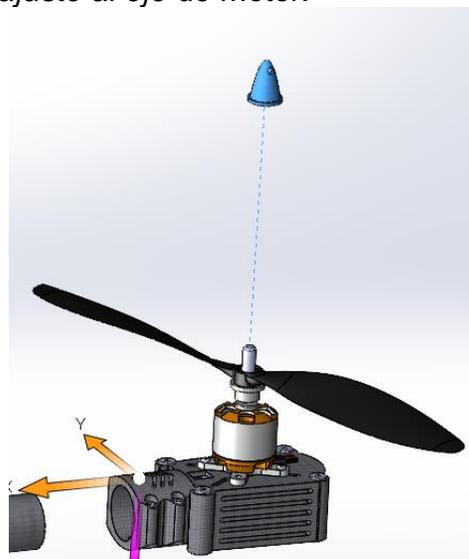
Ilustración 43. Instalación de la hélice.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Instale el piñón de ajuste al eje motor Brushless BLDC A2212 para fijar la hélice, como se muestra en la ilustración 43.

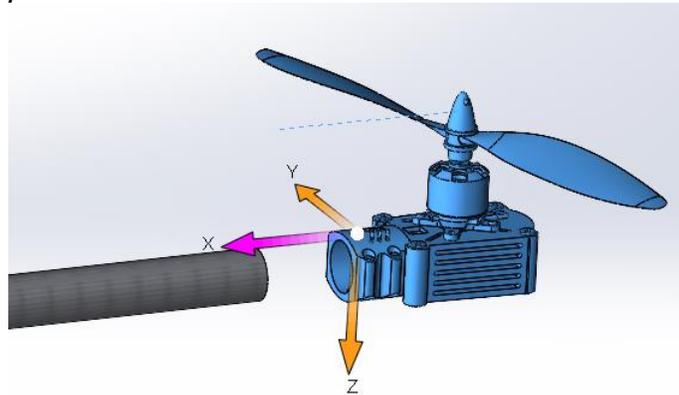
Ilustración 44. Piñón de ajuste al eje de motor.



Fuente: Elaboración propia.

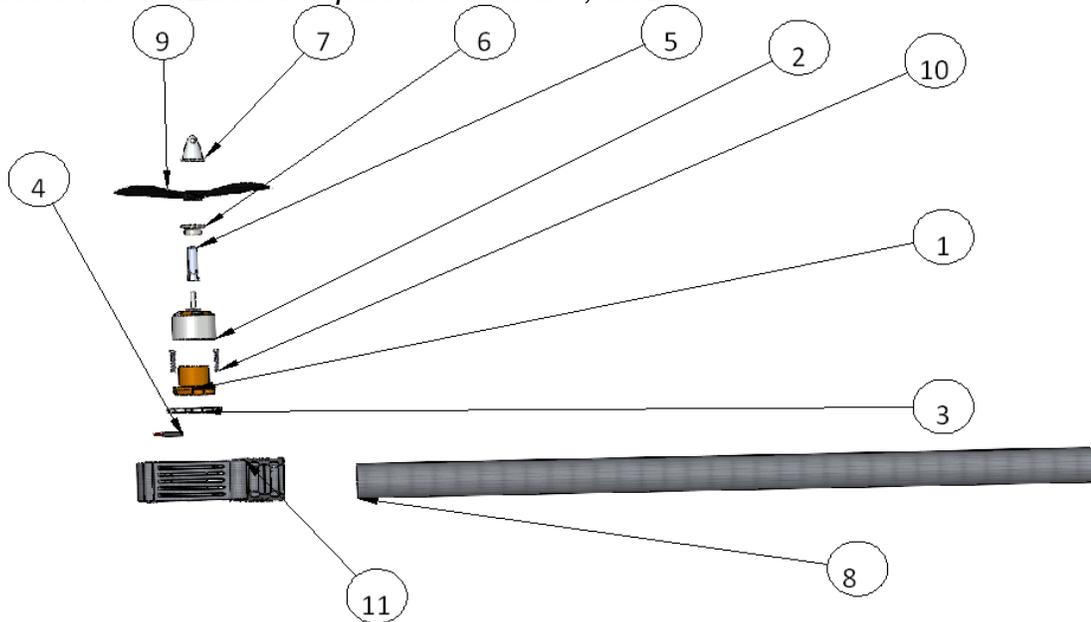
Paso 6: Instale la base para RC plana UAV Drone del soporte del motor al tubo de fibra de carbono de OD 25mm x 50cm de longitud y de ajuste con los tornillos, como se puede observar en la siguiente ilustración 44.

Ilustración 45. Soporte del motor BLDC a tubo de carbono.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 46. Ensamble para motor-hélice, brazo



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25. Numero de descripción de ensamble motor-hélice, brazo.

Números	Descripción	Cantidad
1	Motor estator brushless BLDC A2212	1
2	Motor rotor brushless BLDC A2212	1
3	Soporte base motor	1
4	Cables motor brushless BLDC A2212	1

5	Rop-bolt-m6-for-3mm-shaft	1
6	Prop-shaiba	1
7	Prop-cone	1
8	Tubo de fibra de carbono con OD de 25mm x 50cm de longitud	1
9	Hélice de carbono 1045	1
10	Tornillo soporte base	2
11	Acople base para RC plana UAV Drones especificación	1

Fuente: Elaboración propia.

Al terminar de ensamblar los componentes para la hélice con el eje, se debe apreciar un resultado como se presenta en la ilustración 42, al no obtener el resultado esperado repita de manera detallada los pasos descritos anteriormente.

Ilustración 47. Ensamble final del motor-hélice, brazo.

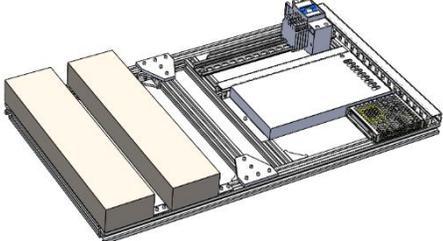
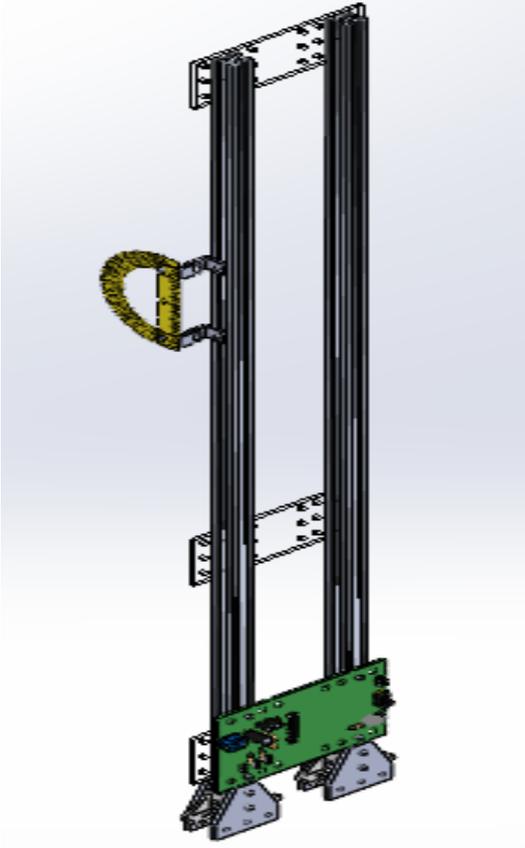


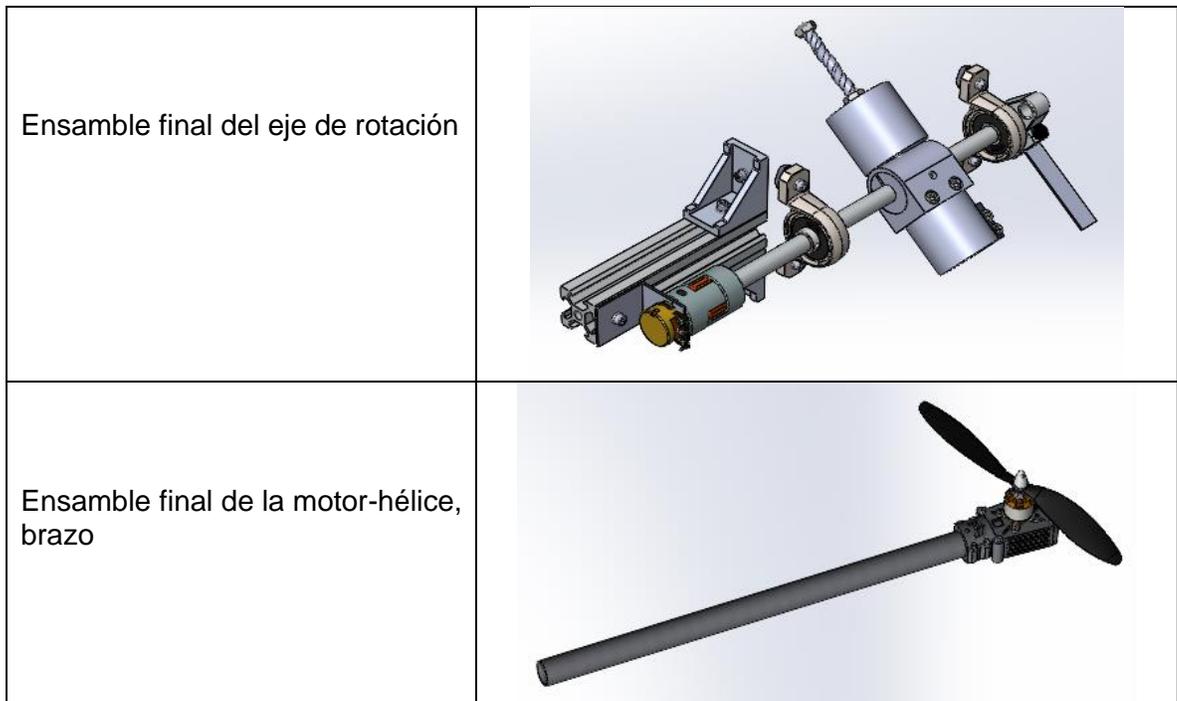
Fuente: Elaboración propia.

9.2.1 Proceso de ensamble de los cuatro subensambles

9.3 MATERIALES

Tabla 26. Materiales para ensamble del sistema Hélice-viga de ala rotatoria.

<p>Montaje final de la base del sistema Hélice-Viga.</p>	 Una ilustración tridimensional que muestra la base del sistema Hélice-Viga completamente ensamblada. Se observan dos bloques rectangulares de color beige que sirven como base para un conjunto de componentes metálicos, incluyendo una placa de circuito impreso (PCB) y varios conectores.
<p>Instalación final de los parales para el sistema Hélice-Viga</p>	 Una ilustración tridimensional que muestra la instalación final de los parales para el sistema Hélice-Viga. Se ven dos columnas verticales de parales que sostienen una estructura superior. Una cinta de parales amarilla está enrollada alrededor de una de las columnas. En la base, se encuentra una placa de circuito impreso (PCB) verde montada sobre un soporte metálico.

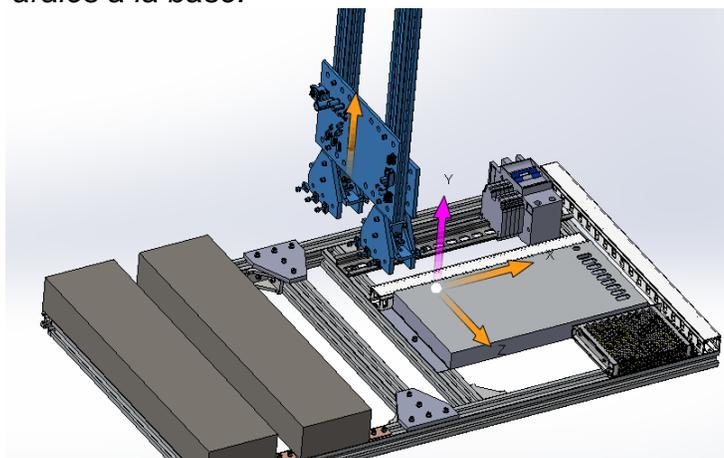


Fuente: Elaboración propia.

9.4 PASOS PARA ENSAMBLE DEL SISTEMA HÉLICE-VIGA DE ALA ROTATORIA

Paso1: Instale el resultado final de los parales al montaje resultante de la base para el sistema Hélice-Viga de forma que las uniones tipo T de 5 orificios de aluminio encajen en el perfil V-slot 2020 en aluminio de 30cm de longitud que se encuentra ubicado al centro de la base. Las flechas indican la forma correcta de instalar los parales a la base, ver ilustración 47.

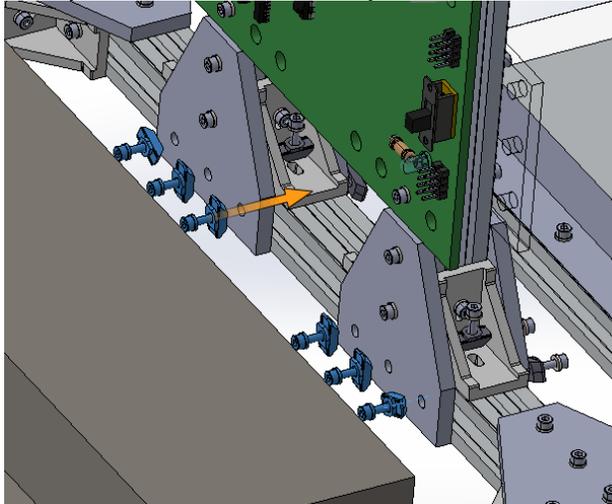
Ilustración 48. Parales a la base.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Instale los doce tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot de 30cm de longitud que está ubicado al centro de la base, gire los tornillos hasta garantizar buena sujeción, como se muestra en la ilustración 48.

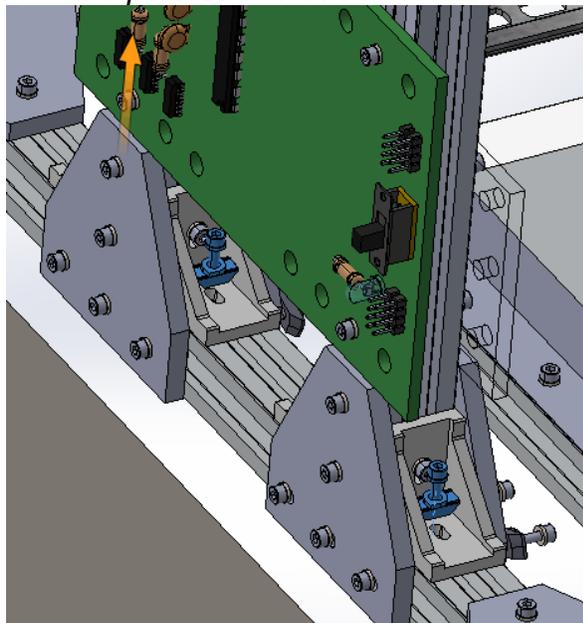
Ilustración 49. Atornillar placas de aluminio a perfiles de la base central.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 3: Instale las cuatro uniones tipo esquina, compatible con perfil de aluminio V-slot, usando cuatro tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot de 30cm de longitud que está ubicado al centro de la base, gire los tornillos hasta garantizar buena sujeción, como se muestra en la ilustración 49.

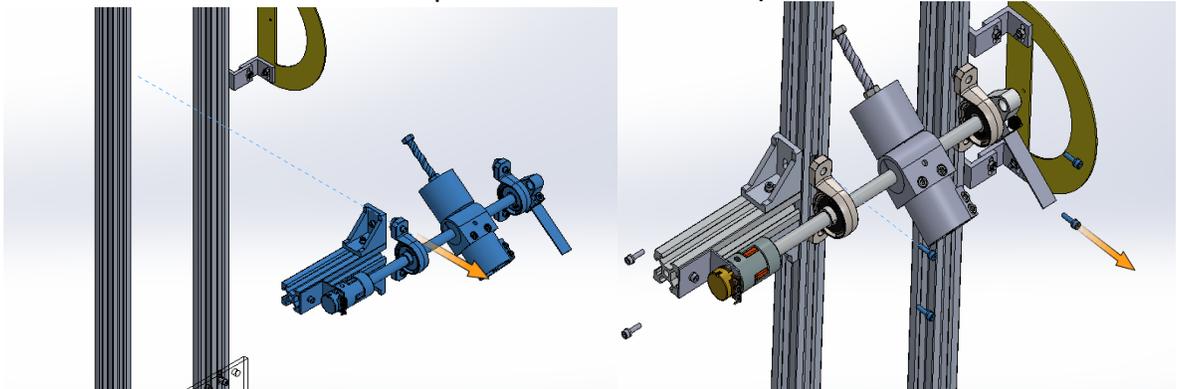
Ilustración 50. Instalación de parales a la base.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 4: Llevar el ensamble final del eje de rotación, ubicando los orificios de la chumacera de soporte con rodamiento 8mm (KP08) de manera tal que coincidan con los dos perfiles V-slot 2020 de 100cm longitud a su vez con la varilla lisa de 8mm al centro del trasportador de ángulos y ajuste con tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot, como se muestra en la ilustración 50.

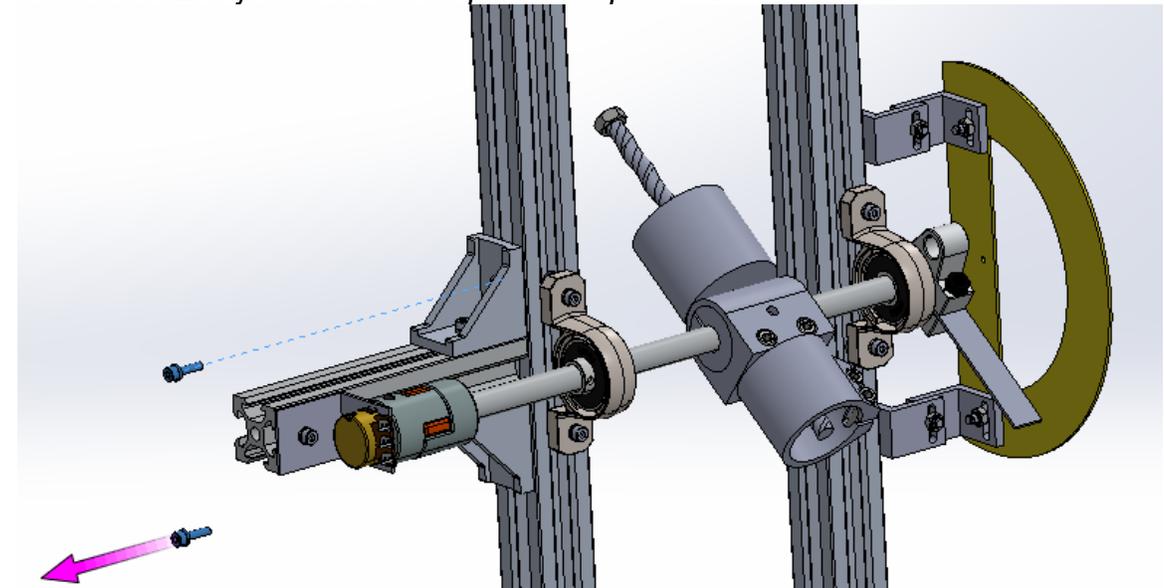
Ilustración 51. Chumaceras soporte de rotación a los parales.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 5: Instale las dos uniones tipo esquina, compatible con perfil de aluminio V-slot, usando dos tornillos M5 a las tuercas tipo T ubicadas al perfil V-Slot de 100cm de longitud que está ubicado al costado izquierdo, gire los tornillos hasta garantizar buena sujeción, como se muestra en la ilustración 51.

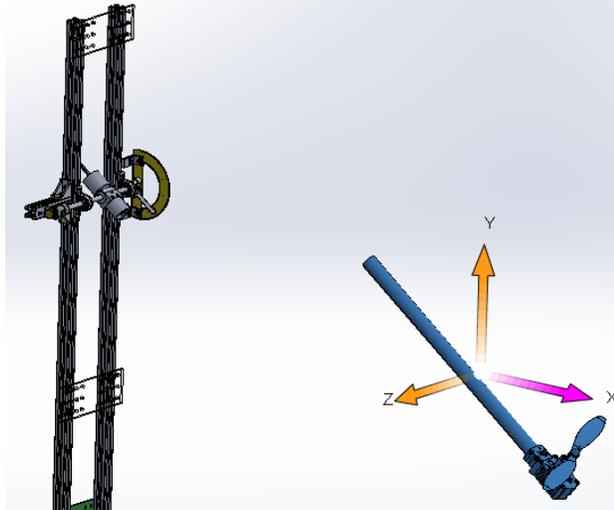
Ilustración 52. Fijación de las esquinas los parales.



Fuente: Elaboración propia.

Paso 6: Llevar el ensamble final de la hélice motor y ubicarla en la terminal tipo T de 25mm ubicado al rotor correspondiente del ensamble final del eje de rotación y ajuste con tornillos que están en su costado, como se muestra en la ilustración 52.

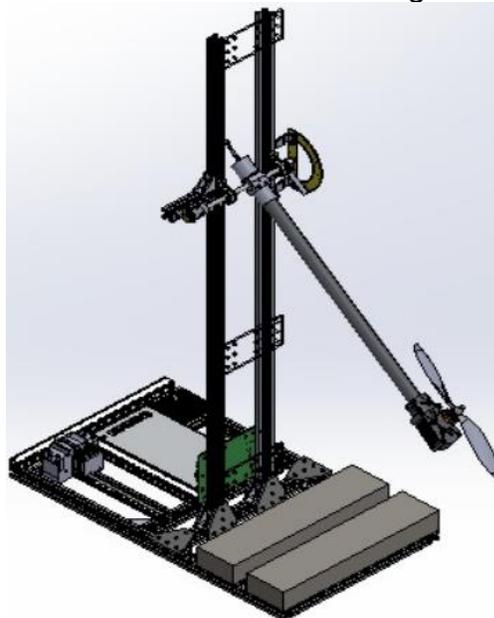
Ilustración 53. Instalación de la hélice motor al eje de rotación.



Fuente: Elaboración propia.

Al terminar de ensamblar los cuatro subensambles para el sistema la Hélice-Viga de ala rotatoria, se debe apreciar un resultado como se presenta en la ilustración 51, al no obtener el resultado esperado repita de manera detallada los pasos descritos anteriormente.

Ilustración 54. Montaje final del sistema de Hélice-Viga de ala rotatoria.



Fuente: Elaboración propia.

10 REGLAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE LA PLATAFORMA

Cuando trabaje con el sistema Hélice-Viga, utilice protección adecuada para los oídos, una larga exposición al ruido podría causar molestia o hasta pérdida auditiva.

Mantenga el sistema Hélice-Viga en superficies aisladas cuando realice una operación. El contacto con un cable conductor activo provocará que las piezas metálicas de la plataforma conduzcan electricidad y que el usuario reciba una descarga eléctrica.

Use una manera práctica de fijar el sistema Hélice-Viga a una superficie estable. El sujetar la plataforma con la mano o contra su cuerpo hace que se vuelva inestable y puede presentar como resultado la pérdida del control.

ADVERTENCIA: Si alguno de sus cables conductores del sistema Hélice-Viga están dañados debe ser reemplazado por una persona calificada para evitar un peligro.

ADVERTENCIA: Use **SIEMPRE** gafas de seguridad, los anteojos formulados NO SON lentes de seguridad.

SIEMPRE LLEVE EQUIPO DE SEGURIDAD CERTIFICADO

11 USO Y CUIDADO DEL SISTEMA HÉLICE-VIGA

Utilice la plataforma Hélice-Viga para lo que fue diseñada y del modo más seguro.

No de uso a la plataforma si no puede encender o apagarla con el interruptor. El sistema Hélice-Viga al no poder ser energizado desde el interruptor constituye un peligro y conviene repararse.

Desconecte el enchufe de la fuente de alimentación del sistema eléctrica antes de efectuar alguna reparación, cambio de accesorios o guardar el sistema. Estas medidas de seguridad preventivas reducen el riesgo de encender a la plataforma de una forma accidental.

Guarde el sistema cuando no esté en uso, lejos del alcance de los niños y no acceda a que otras personas no familiarizadas con ella o con estas instrucciones de puesta en marcha. El sistema es una fuente de peligro si son operadas por usuarios que no tiene el conocimiento.

Revise que no haya piezas en movimiento mal colocadas o trabadas, piezas rotas o cualquier otra situación que pueda afectar el funcionamiento de la plataforma. Si

localiza daños, haga que sea reparado antes de su uso. Se producen muchos accidentes a causa del sistema eléctricos que faltan de un mantenimiento adecuado.

Mantenga partes de movimiento limpias. Los accesorios con movimiento de este sistema deben estar limpios y los bordes sin filo, de tal manera son menos propensas a atascarse en el sistema.

Utilice el sistema, sus accesorios y piezas, etc. De acuerdo con las presentes instrucciones, teniendo siempre en cuenta las circunstancias de trabajo y el *trabajo para la cual fue diseñada*. El uso para actividades diferentes de aquellas para las que no fue diseñada podría causar un escenario peligroso.

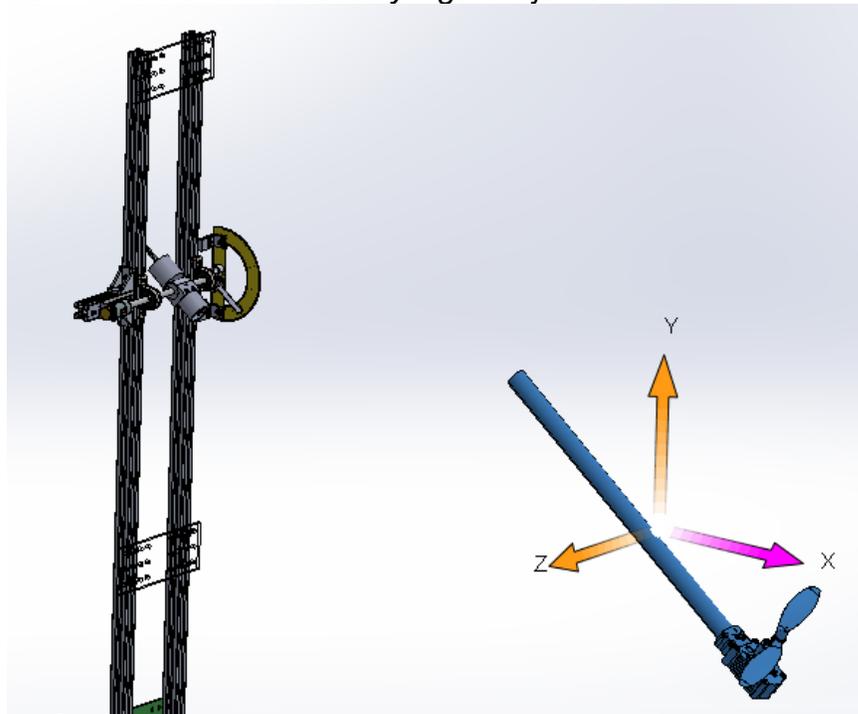
12 SERVICIO

Solicite a una persona competente en reparaciones que efectúe la reparación para la plataforma con sus componentes eléctricos y electrónicos y que solo utilice piezas de repuesto originales para garantizar la seguridad y un excelente desempeño.

13 VERIFICACIONES DE SEGURIDAD MECÁNICAS

Mover el brazo con la hélice 180° para garantizar movimiento libre sin atascos.

Ilustración 55. Instalación de la hélice y viga al eje de rotación.



Fuente: Elaboración propia.

Verifique buena sujeción en tuerca de seguridad de la hélice y así evitar que salga proyectada en alguna dirección.

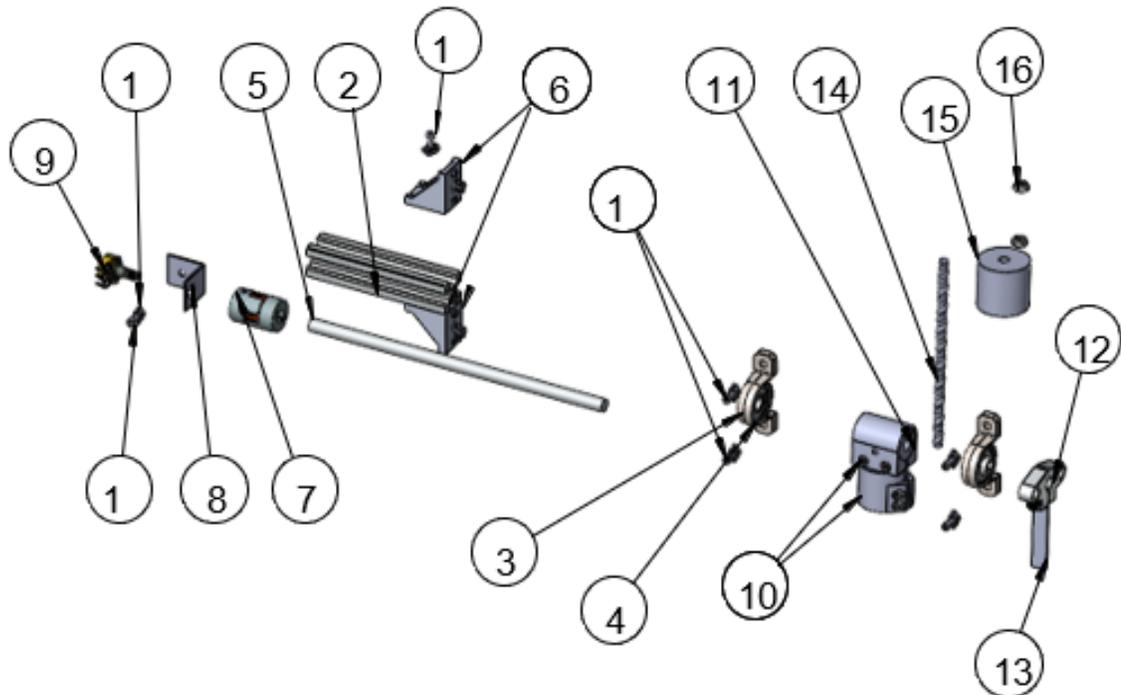
Ilustración 56. Soporte base, motor y hélice.



Fuente: Elaboración propia.

Verificaciones de posición adecuada del contrapeso número 15, sobre la varilla rocada ubicada al extremo del brazo del sistema.

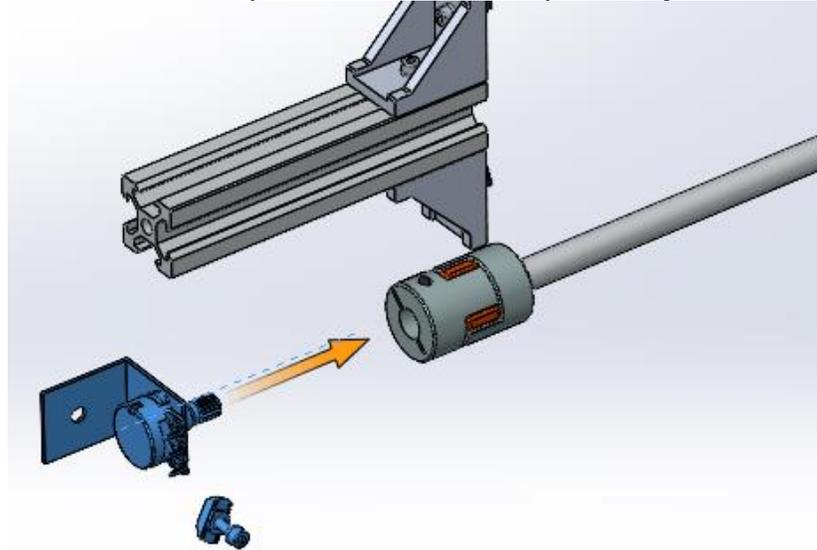
Ilustración 57. Ensamble del contrapeso al eje.



Fuente: Elaboración propia.

Verificar la alineación, ubicación y sujeción del potenciómetro número 9, acoplado al eje del brazo número 7, indicado en la ilustración anterior para el sistema Hélice-viga de ala rotatoria.

Ilustración 58. Instalación del potenciómetro al acople del eje



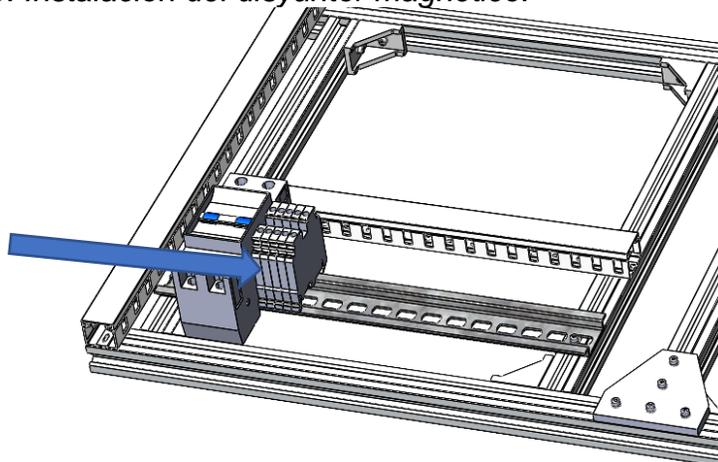
Fuente: Elaboración propia.

14 SECUENCIA DE INICIO PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA DE ALA ROTATORIA

14.1 VERIFICACIONES DE VOLTAJE

1. Voltaje de alimentación al energizar el sistema (110V AC), dado uso a multímetro digital en los terminales de breaker.

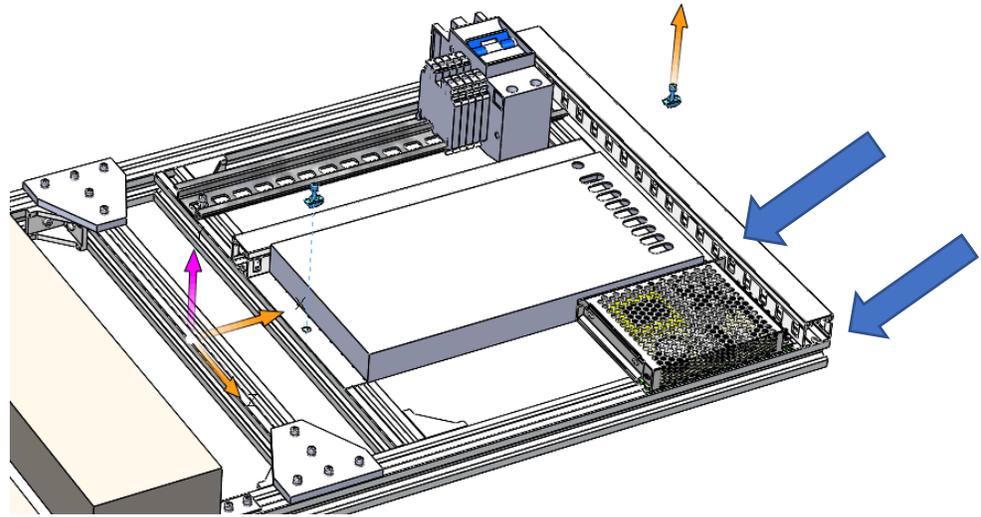
Ilustración 59. Instalación del disyuntor magnético.



Fuente: Elaboración propia.

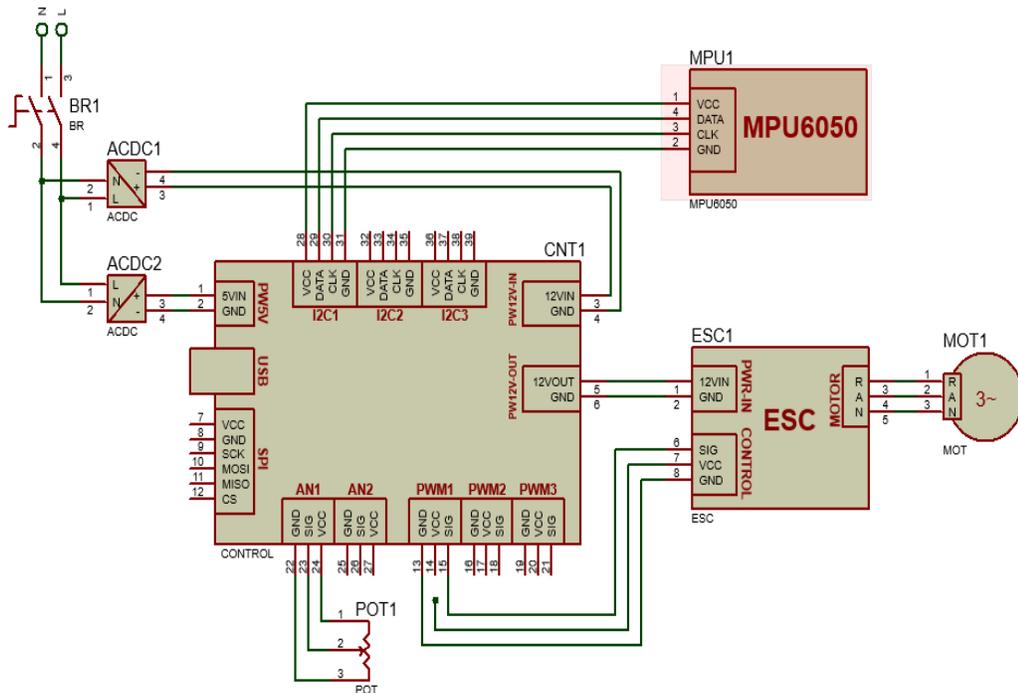
2. Voltaje en fuente para energizar al motor (12V DC), dando uso a multímetro digital a los terminales de salida de la fuente.
3. Voltaje en fuente para energizar a tarjeta de control (5V DC), dando uso a multímetro digital a los terminales de salida de la fuente.

Ilustración 60. Fuente de 12V DC y 5 V DC.



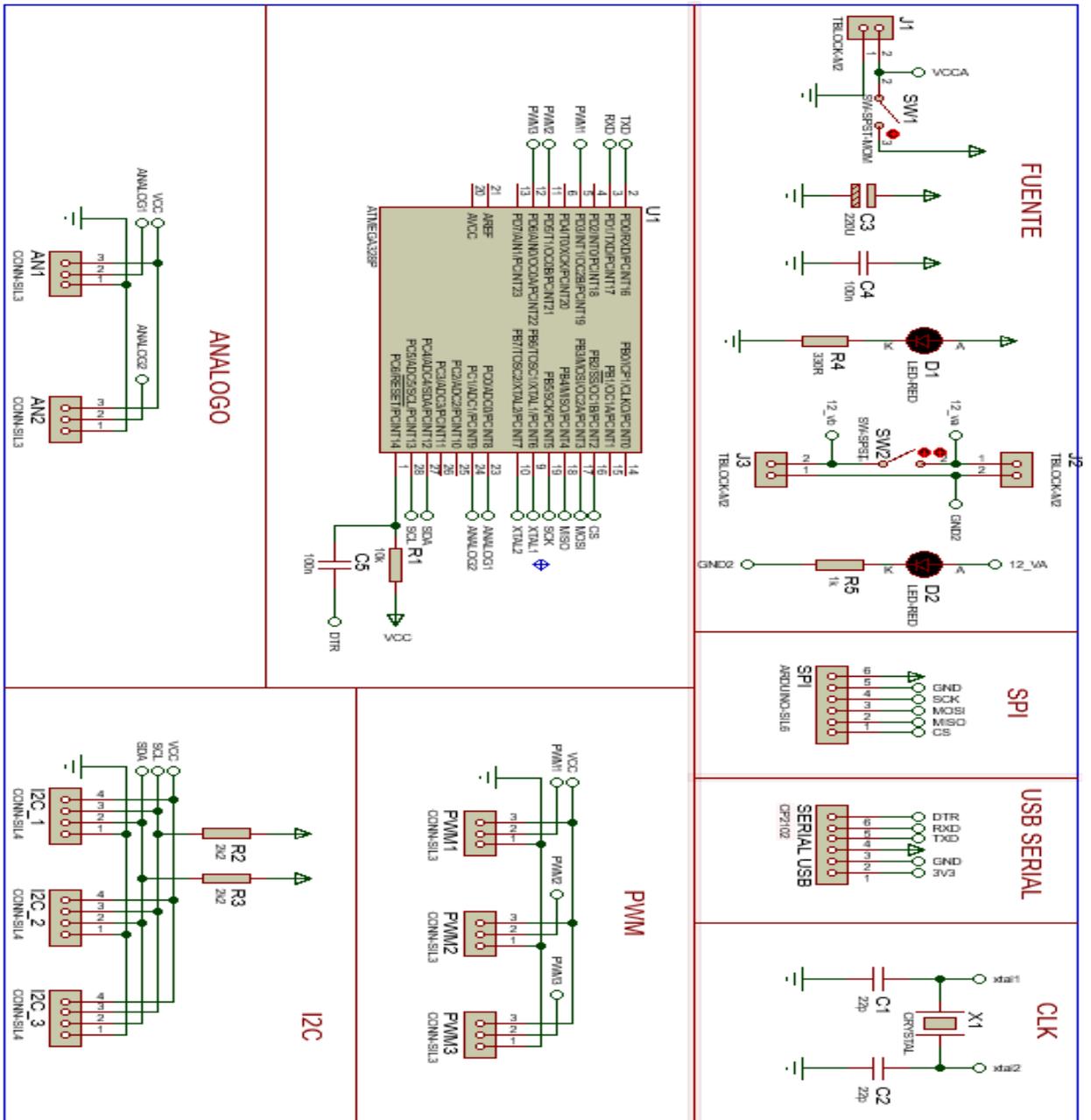
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 61. Esquema eléctrico para el sistema hélice -viga de ala giratoria.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 62. Esquemático de tarjeta de desarrollo.



Fuente: Elaboración propia.

8.2 ANEXO 2: MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA HELICE-VIGA DE ALA ROTATORIA.



MANUAL DE ENSAMBLE DEL SISTEMA HELICE-VIGA DE ALA ROTATORIA

**Autor:
Jaime Cortes Farfan**

**Universidad Antonio Nariño
Facultad de ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Villavicencio, Colombia
2021**

Contenido

1	DEFINICIONES GENERALES PARA NORMAS DE SEGURIDAD	125
2	SEGURIDAD EN EL PUESTO DE TRABAJO	125
3	SEGURIDAD PERSONAL.....	125
4	SEGURIDAD ELÉCTRICA.....	126
5	ADVERTENCIAS DE PELIGRO GENERALES PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA.....	126
6	USO Y CUIDADO DEL SISTEMA HÉLICE-VIGA.....	126
7	SERVICIO.....	127
8	REGLAS DE SEGURIDAD DE LA PLATAFORMA HÉLICE-VIGA	127
9	VERIFICACIONES DE SEGURIDAD MECÁNICAS.....	128
10	VERIFICACIONES DE SEGURIDAD ELÉCTRICAS Y VOLTAJES.....	130
11	SECUENCIA DE INICIO PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA DE ALA ROTATORIA.....	131
11.1	VERIFICACIONES DE VOLTAJE	131
11.2	SECUENCIA DE INICIO O PUESTA EN MARCHA.....	132
11.3	VERIFICACIÓN ARDUINO.....	135
12	PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.....	146

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Ilustración 1. Instalación del eje de rotación.	128
Ilustración 2. Soporte base, motor y hélice.	129
Ilustración 3. Ensamble del contrapeso al eje.	129
Ilustración 4. Instalación del potenciómetro al acople del eje.	130
Ilustración 5. Instalación del disyuntor magnético.	130
Ilustración 6. Instalación fuente de 12V y 5V.	131
Ilustración 7. Instalación del disyuntor magnético.	131
Ilustración 8. Verificar que el breaker principal.	132
Ilustración 9. Alimentación a 110VAC.	132
Ilustración 10. Breaker principal.	133
Ilustración 11. Activar SW1.	133
Ilustración 12. Interruptor SW2.	134
Ilustración 13. Conector cable USB.	134
Ilustración 14. Arduino.	135
Ilustración 15. Seleccionar la placa Arduino.	135
Ilustración 16. Seleccionar puerto.	136
Ilustración 17. Cargar el programa.	136
Ilustración 18. Compile el programa.	137
Ilustración 19. Suba el programa a la placa Arduino.	137
Ilustración 20. Activar SW2.	138
Ilustración 21. Programa BeamPropellerCal.	138
Ilustración 22. Ventana del programa.	139
Ilustración 23. Conecte el prototipo al computador.	139
Ilustración 24. Abrir el puerto.	140
Ilustración 25. Ubique el brazo en la posición 0°.	140
Ilustración 26. Ubique el brazo en la posición 180°.	141
Ilustración 27. Botón calcular calibración.	141
Ilustración 28. Ventana de mensajes.	142
Ilustración 29. Programa del Arduino y ajuste valores.	142
Ilustración 30. Programa del Arduino y ajuste valores.	143

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.Seguridad.....106

1 DEFINICIONES GENERALES PARA NORMAS DE SEGURIDAD

Lea estas instrucciones antes de poner en funcionamiento el sistema Hélice-Viga. Esta información contenida le permitirá usar la plataforma de una forma segura y así mismo a proteger a las personas que estén cerca a usted.

Las siguientes aclaraciones narran el nivel de riesgo de cada aviso.

PELIGRO: Indica una situación de peligro inminente que, si no se evita, provocará la muerte o lesiones graves.

ADVERTENCIA: Indica una situación de peligro potencial que, si no se evita, podría provocar la muerte o lesiones graves.

ATENCIÓN: Indica una situación de peligro potencial que, si no se evita, puede provocar lesiones leves o moderadas.

AVISO: Se refiere a una práctica no relacionada a lesiones corporales que de no evitarse puede resultar en daños a la propiedad.

2 SEGURIDAD EN EL PUESTO DE TRABAJO

1. Mantenga limpio y bien iluminado el área de trabajo. El desorden o falta de iluminación en el área de trabajo pueden provocar accidentes.
2. No utilice la herramienta eléctrica en un entorno con
3. No manipule equipos eléctricos en un entorno de peligro de explosión, en el que se hallen combustibles líquidos, gases o material en polvo. Las herramientas eléctricas producen chispas que pueden llegar a inflamar los materiales en polvo o vapores presentes.
4. Mantenga apartados a los niños y otras personas de su lugar de trabajo al usar la herramienta eléctrica. Un entretenimiento le puede hacer perder el control sobre el sistema Hélice-Viga, lo cual se contempla como herramienta eléctrica.

3 SEGURIDAD PERSONAL

1. Permanezca alerta a lo que está realizando y utilice el sentido común cuando utilice el sistema Hélice-Viga. No utilice el sistema hélice-viga si está cansado o bajo el efecto de drogas, alcohol o medicamentos. Un instante de descuido mientras se opera el sistema puede provocar lesiones personales graves.
2. Utilice equipo de protección personal. Use protección ocular, como gafas para evitar lesiones en la vista, botas de seguridad para protección de caída de objetos en los pies, protección para los oídos, el uso de estos elementos en condiciones adecuadas será una barrera para las lesiones personales.
3. Evite colocar en marcha el sistema Hélice-Viga de manera involuntaria, asegúrese de que el interruptor está apagado primitivamente cuando se desee conectar la fuente de alimentación, de igual manera para ser transportada. Transportar la plataforma sin desenchufar de la red eléctrica puede ocasionar accidentes graves.
4. Retire las herramientas de mano usadas para el ajuste de tuercas de manera previa a encender la Hélice-Viga. Una herramienta de mano para ajuste de tuercas que

quede puesta a una pieza giratoria de la plataforma puede provocar lesiones personales graves al salir proyectada.

5. Conserve la posición ergonómica adecuadamente en todo momento. Esto permite un mejor reacción y control de la plataforma Hélice-Viga en situaciones inesperadas.
6. Mantenga el cabello, la ropa suelta y los guantes alejados de los lugares con movimiento, al usar prendas sueltas, las joyas o el cabello suelto pueden ser alcanzados en las piezas con movimiento.

de su

4 SEGURIDAD ELÉCTRICA

1. Los enchufes de la plataforma eléctrica Hélice-Viga, cuenta con adaptación a la toma de corriente. Nunca modifique el enchufe de ninguna manera. Los enchufes que no presentan modificaciones reducirán el riesgo de descarga eléctrica.
2. Evite el contacto de su cuerpo con superficies de puesta tierra como, por ejemplo, tuberías, radiadores y refrigeradores. Existe un mayor riesgo de descarga eléctrica si su organismo entra en contacto con el aterrizaje del equipo.
3. No exponga el sistema eléctrico de la Hélice-Viga a lluvia ni a escenarios de humedad. Si ingresa agua en sus componentes eléctricos, aumentará el riesgo que se presente una descarga eléctrica.
4. Nunca use el cable para cargar, tirar o desenchufar el sistema eléctrico. Mantener el cable retirado del calor, el aceite, los bordes cortantes o las parte en movimiento. Los cables en mal estado o enredados aumentan el riesgo de electrocución.
5. Al operar el sistema eléctrico de la Hélice-Viga en exteriores, utilice un cable adecuado para tal uso, a fin de reducir el riesgo de descargas.
6. Si por alguna situación no se puede evitar el uso de la plataforma Hélice-Viga en una zona húmeda, utilice un dispositivo de corriente residual (residual current device, RCD) para mitigar el riesgo de sufrir descargas.

5 ADVERTENCIAS DE PELIGRO GENERALES PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA

Lea todas advertencias de peligro e instrucciones. En caso de no adoptar las advertencias de peligro e instrucciones dadas, ello puede ocasionar una descarga eléctrica, un incendio y/o lesiones graves.

El término “herramienta eléctrica” comprendido en todas las advertencias se reseña a su herramienta eléctrica acoplada a la red (cable eléctrico).

GUARDE LOS AVISOS E ILUSTRACIONES PARA PODER CONSULTARLAS MAS ADELANTE.

6 USO Y CUIDADO DEL SISTEMA HÉLICE-VIGA

1. Utilice la plataforma Hélice-Viga para lo que fue diseñada, de modo más seguro.
2. No de uso a la plataforma si no puede encender o apagarla con el interruptor. El sistema hélice-viga que no puedan ser energizada desde el interruptor constituyen un peligro y conviene repararse.

3. Desconecte el enchufe de la fuente de alimentación del sistema eléctrica antes de efectuar alguna reparación, cambio de accesorios o guardar el sistema. Estas medidas de seguridad preventivas reducen el riesgo de encender a la plataforma de una forma accidental.
4. Guarde el sistema cuando no esté en uso lejos del alcance de los niños y no acceda que otras personas no familiarizadas con ella o con estas instrucciones de puesta en marcha. El sistema es una fuente de peligro si son operadas por usuarios que no tiene el conocimiento.
5. Revise que no haya piezas en movimiento mal colocadas o trabadas, piezas rotas o cualquier otra situación que pueda afectar el funcionamiento de la plataforma. Si localiza daños, haga que sea reparado antes de su uso. Se producen muchos accidentes a causa del sistema eléctricas que faltan de un mantenimiento adecuado.
6. Mantenga partes de movimiento limpias. Los accesorios con movimiento de este sistema deben estar limpios y los bordes si filo, de tal manera son menos propensas a atascos.
7. Utilice el sistema, sus accesorios y piezas, etc. de acuerdo con las presentes instrucciones, teniendo siempre en cuenta las circunstancias de trabajo y el trabajo para la cual fue diseñada. El uso para actividades diferentes de aquellas para las que no fue diseñada podría causar un escenario peligroso.

7 SERVICIO

Solicite a una persona competente en reparaciones que efectúe la reparación para la plataforma con sus componentes eléctricos y electrónicos y que solo utilice piezas de repuesto originales para garantizar la seguridad y un excelente desempeño.

8 REGLAS DE SEGURIDAD DE LA PLATAFORMA HÉLICE-VIGA

1. Cuando trabaje con el sistema Hélice-Viga, utilice protección para los oídos, una larga exposición al ruido podría causar pérdida auditiva.
2. Mantenga el sistema Hélice-Viga en superficies aisladas cuando realice una operación. El contacto con un cable conductor activo provocará que las piezas metálicas de la plataforma conduzcan electricidad y que el usuario reciba una descarga eléctrica.
3. Use una manera práctica de fijar el sistema Hélice-Viga a una superficie estable. El sujetar la plataforma con la mano o contra su cuerpo hace que vuelva inestable y puede presentar como resultado la pérdida el control.

ADVERTENCIA: Si alguno de sus cables conductores del sistema Hélice-Viga están dañados debe reemplazar por una persona calificada para evitar peligro.

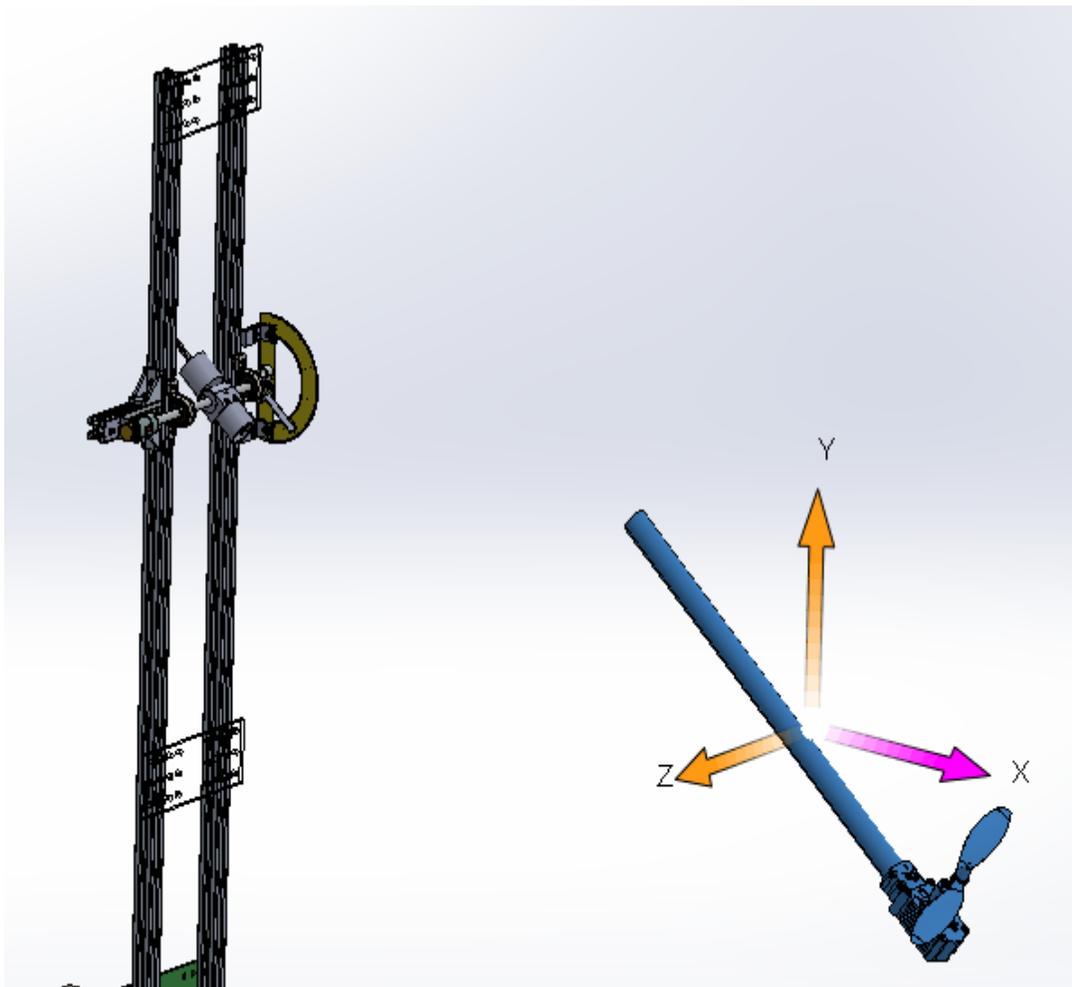
ADVERTENCIA: Use **SIEMPRE** gafas de seguridad, los anteojos formulados **NO SON** lentes de seguridad.

SIEMPRE LLEVE EQUIPO DE SEGURIDAD CERTIFICADO.

9 VERIFICACIONES DE SEGURIDAD MECÁNICAS

1. Mover el brazo con la hélice 180° para garantizar movimiento libre sin atascos.

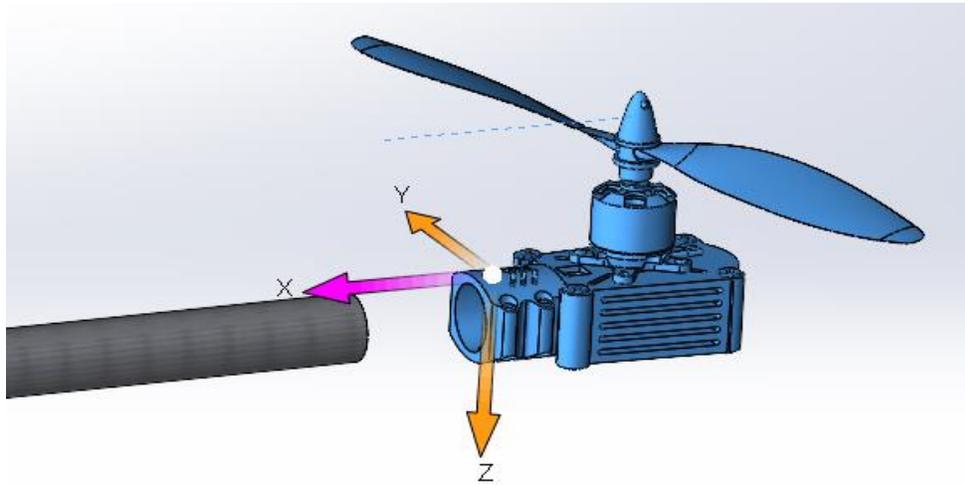
Ilustración 63. Instalación del eje de rotación.



Fuente: Elaboración propia.

2. Verifique buena sujeción en tuerca de seguridad de la hélice y así evitar que salga proyectada en alguna dirección.

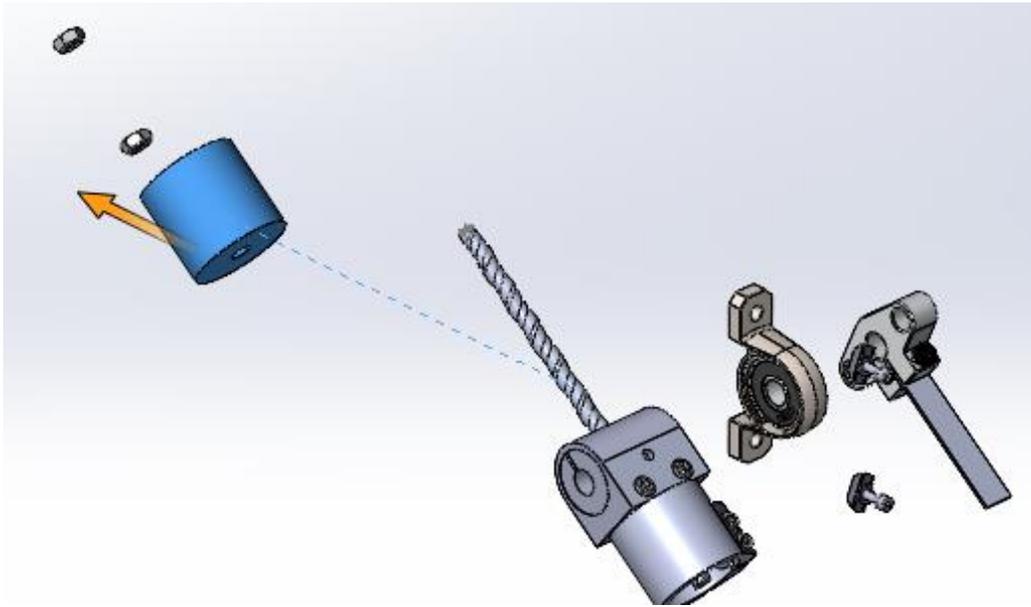
Ilustración 64. Soporte base, motor y hélice.



Fuente: Elaboración propia.

3. Verificaciones de posición adecuada del contrapeso, en uno de los extremos del brazo del sistema.

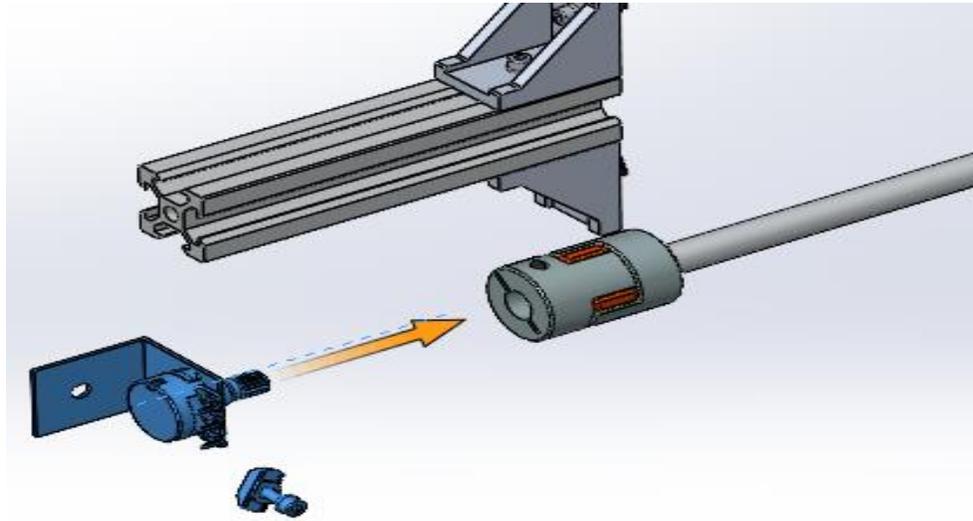
Ilustración 65. Ensamble del contrapeso al eje.



Fuente: Elaboración propia.

4. Verificar la alineación, ubicación y sujeción del potenciómetro acoplado al eje del brazo del sistema Hélice-Viga.

Ilustración 66. Instalación del potenciómetro al acople del eje.

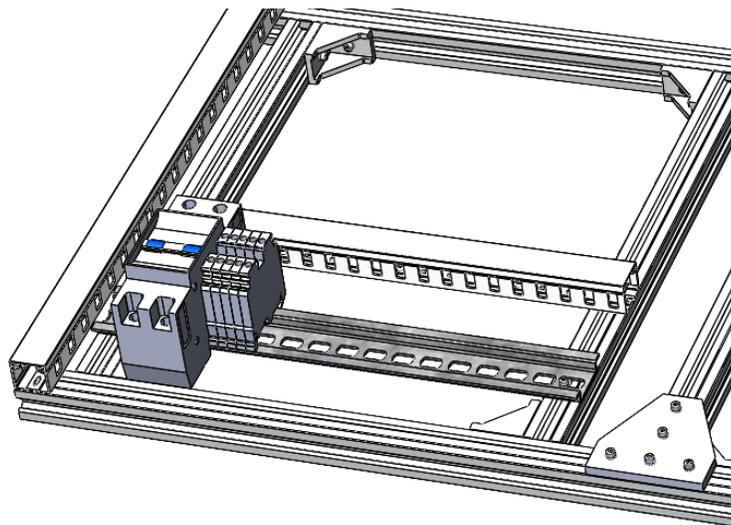


Fuente: Elaboración propia.

10 VERIFICACIONES DE SEGURIDAD ELÉCTRICAS Y VOLTAJES

1. Voltaje de alimentación, para energizar el sistema (110V AC).

Ilustración 67. Instalación del disyuntor magnético.

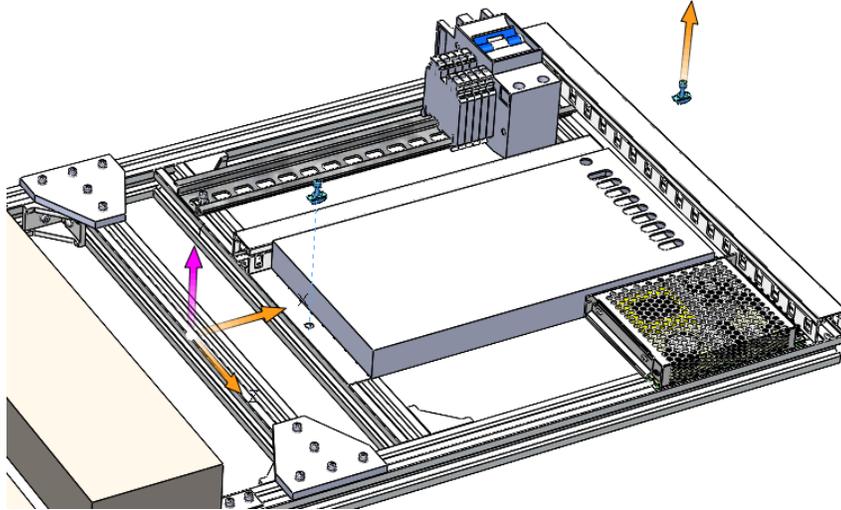


Fuente: Elaboración propia.

2. Voltaje en fuente para energizar al motor (12V DC).

3. Voltaje en fuente para energizar a tarjeta de control (5V DC).

Ilustración 68. Instalación fuente de 12V y 5V.



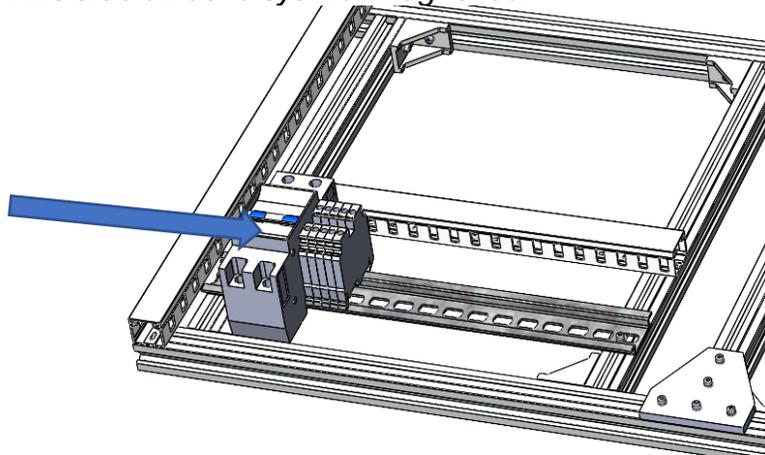
Fuente: Elaboración propia.

11 SECUENCIA DE INICIO PARA EL SISTEMA HÉLICE-VIGA DE ALA ROTATORIA.

11.1 VERIFICACIONES DE VOLTAJE

1. Voltaje de alimentación al energizar el sistema (110V AC), dado uso a multímetro digital en los terminales de breaker.

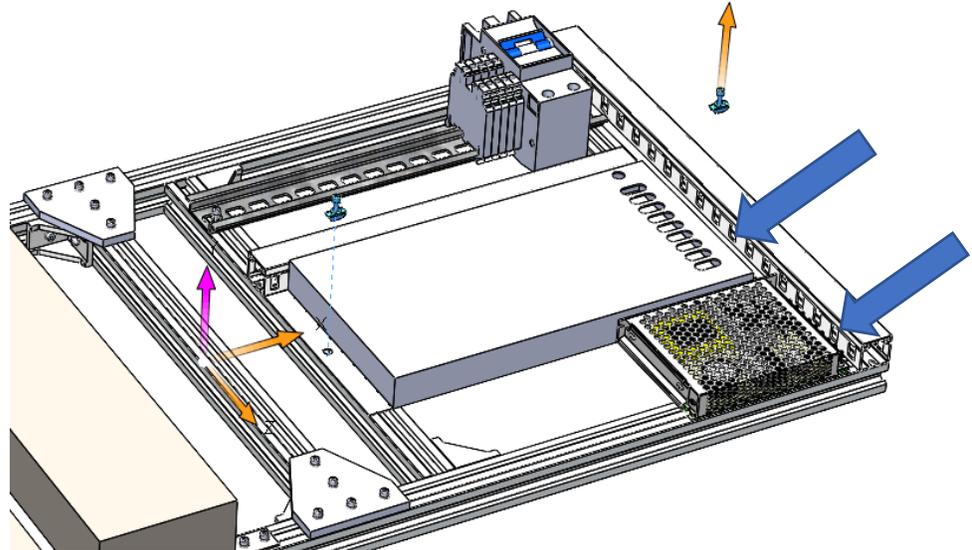
Ilustración 69. Instalación del disyuntor magnético.



Fuente: Elaboración propia.

1. Voltaje en fuente para energizar al motor (12V DC), dando uso a multímetro digital a los terminales de salida de la fuente.
2. Voltaje en fuente para energizar a tarjeta de control (5V DC), dando uso a multímetro digital a los terminales de salida de la fuente.

Ilustración 8. Fuente de 12V DC y 5 V DC.



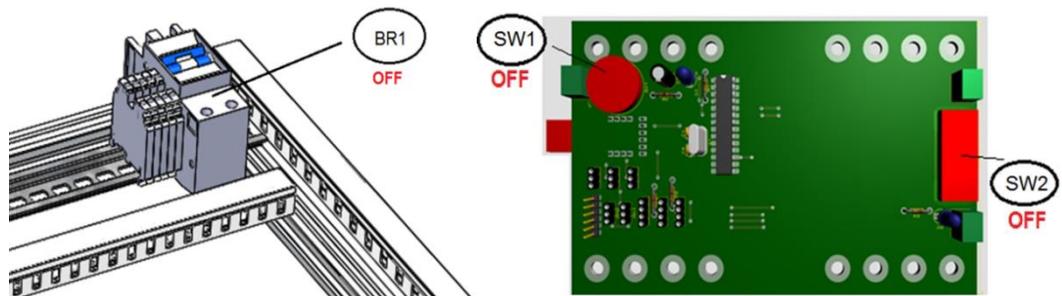
Fuente: Elaboración propia.

11.2 SECUENCIA DE INICIO O PUESTA EN MARCHA

Esquema eléctrico.

1. Verificar que el breaker principal (BR1) y los interruptores de la tarjeta estén en posición OFF antes de conectar la alimentación de 110VAC.

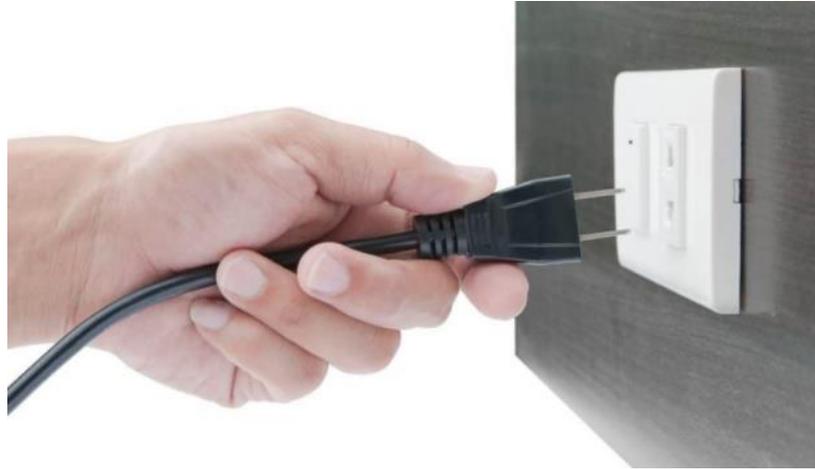
Ilustración 9. Verificar que el breaker principal.



Fuente: Elaboración propia.

2. Conectar la alimentación a 110VAC a la red eléctrica disponible.

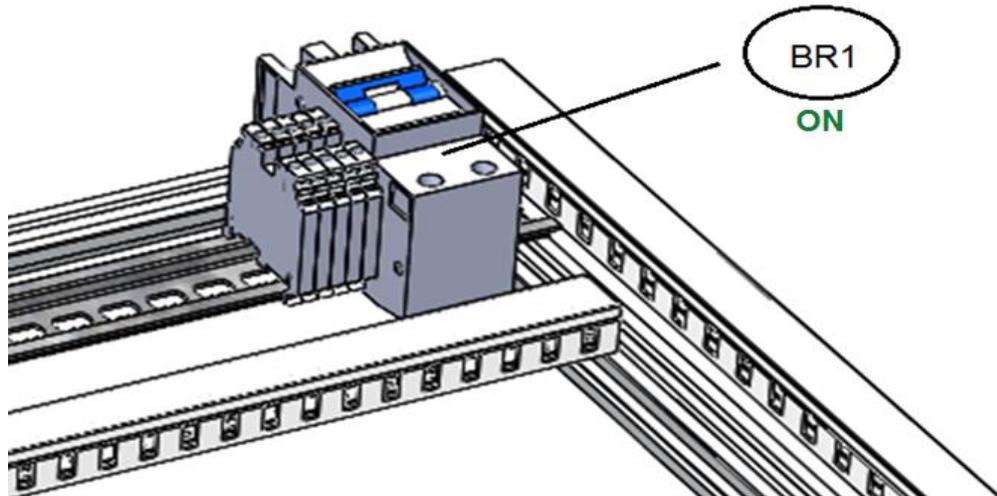
Ilustración 10. Alimentación a 110VAC



Fuente: Elaboración propia.

3. Active breaker principal BR1 (ON).

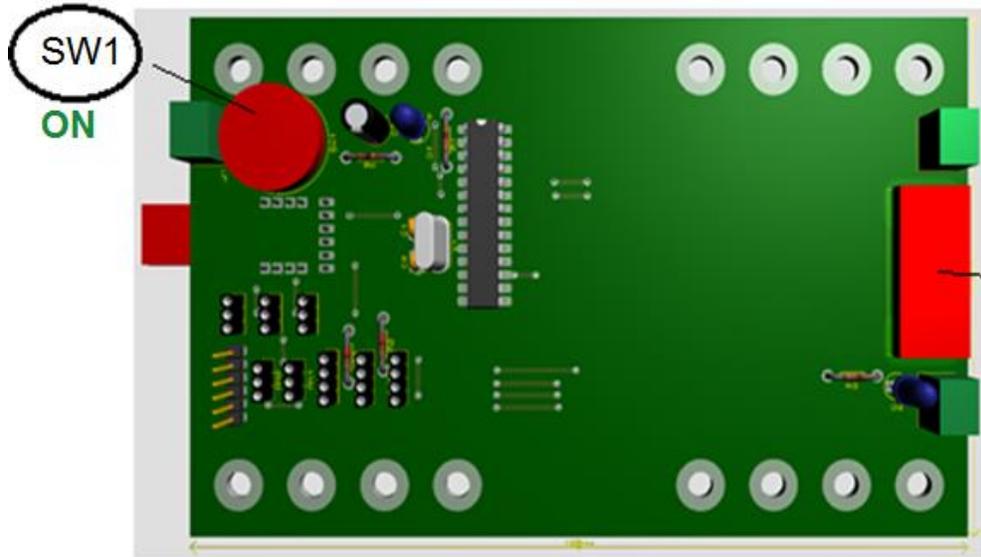
Ilustración 11. Breaker principal.



Fuente: Elaboración propia.

4. Activar SW1 (ON) ubicado en la tarjeta, para energizarla tarjeta con 5V DC y así realizar la comunicación con el microcontrolador y sensores a ordenador (PC).

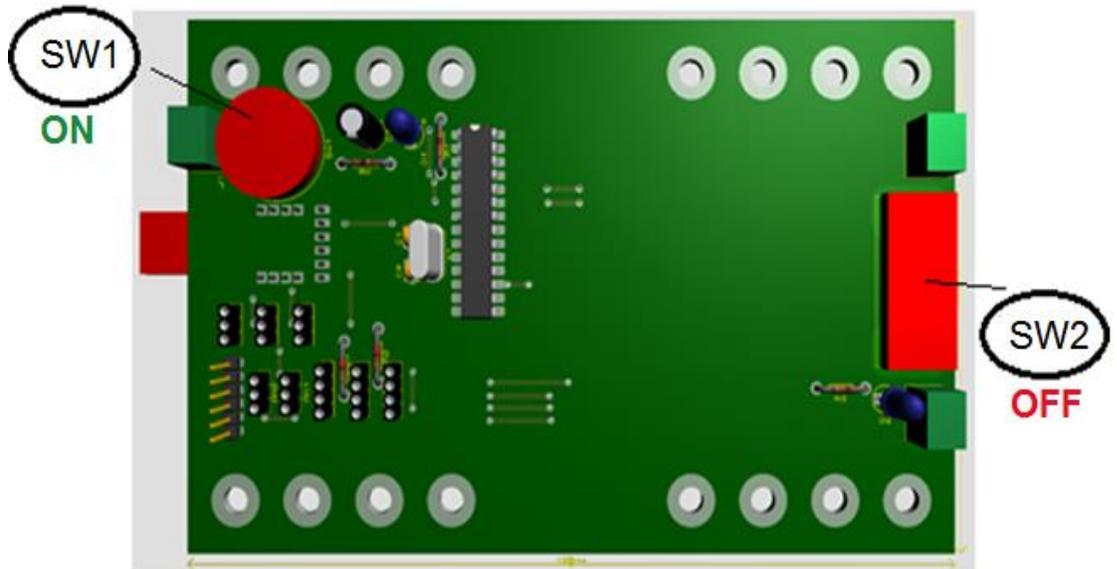
Ilustración 12. Activar SW1



Fuente: Elaboración propia.

5. El interruptor SW2 con 12V DC ubicado en la tarjeta, debe permanecer en posición apagado (OFF) por seguridad.

Ilustración 13. Interruptor SW2.



Fuente: Elaboración propia.

11.3 VERIFICACIÓN ARDUINO

1. Conectar cable USB de la tarjeta al terminal USB del computador.

Ilustración 14. Conector cable USB.



Fuente: Elaboración propia.

2. Abrir el programa Arduino (Versión 1.8.9).

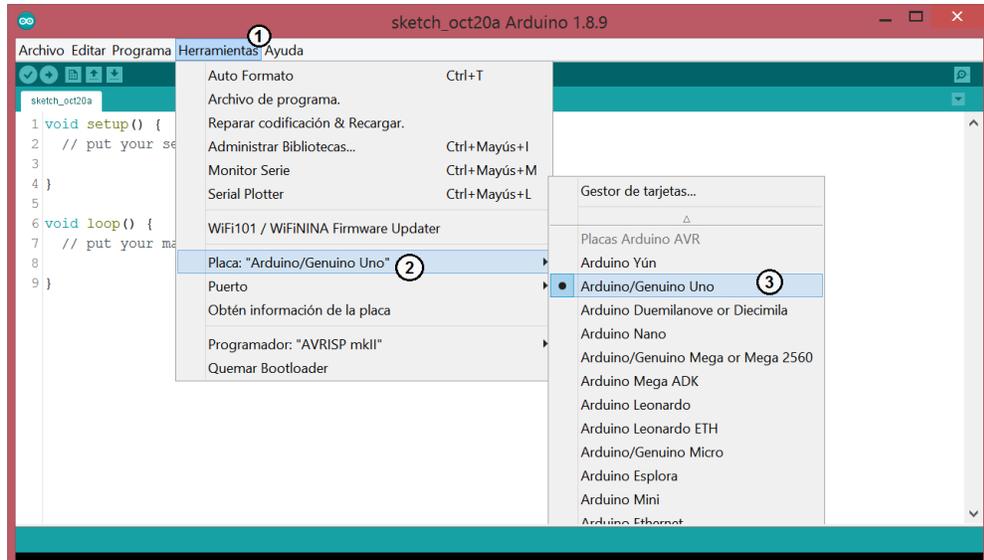
Ilustración 15. Arduino.



Fuente: Elaboración propia.

3. Seleccionar la placa Arduino UNO (Herramientas>Placa>Arduino UNO).

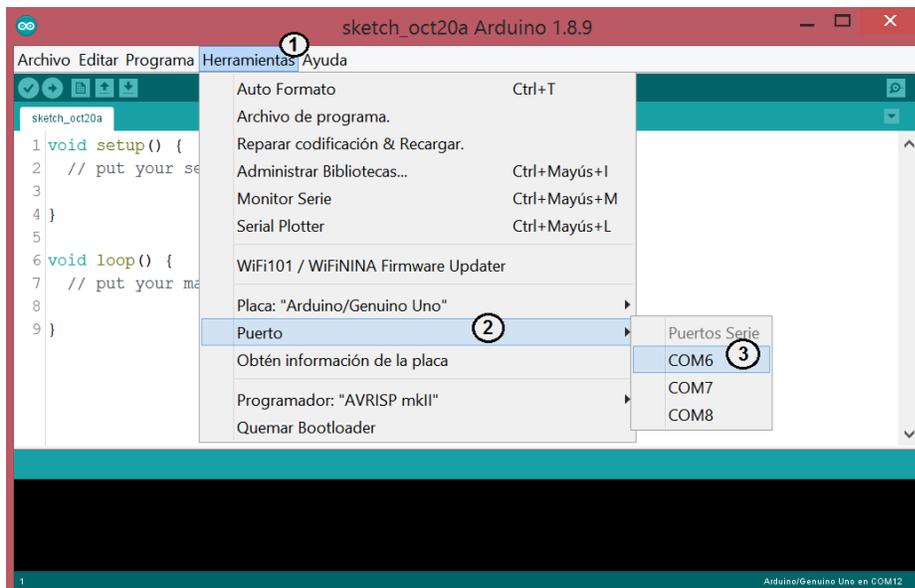
Ilustración 16. Seleccionar la placa Arduino.



Fuente: Elaboración propia.

4. Seleccionar puerto COM correspondiente a la tarjeta (Herramientas>Puerto>...).

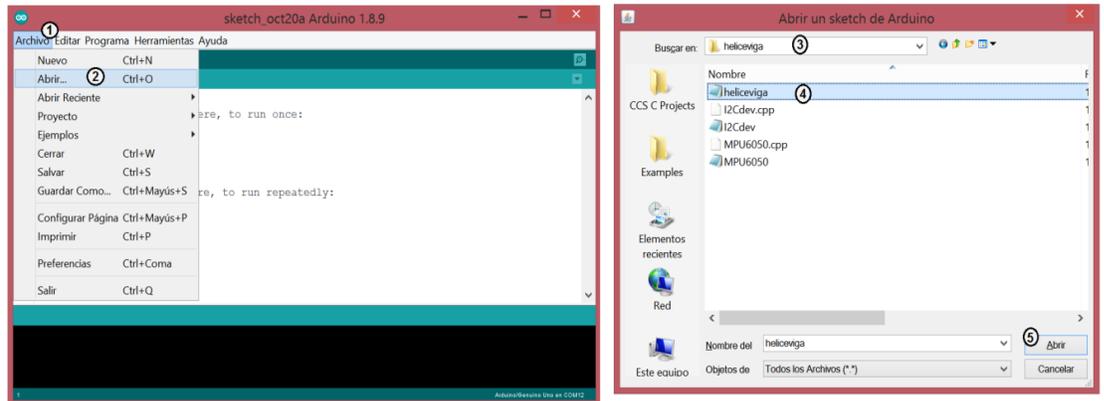
Ilustración 17. Seleccionar puerto.



Fuente: Elaboración propia.

5. Cargar el programa **NOMBRE_DEL_PROGRAMA** al Arduino (Archivo>Abrir>...).

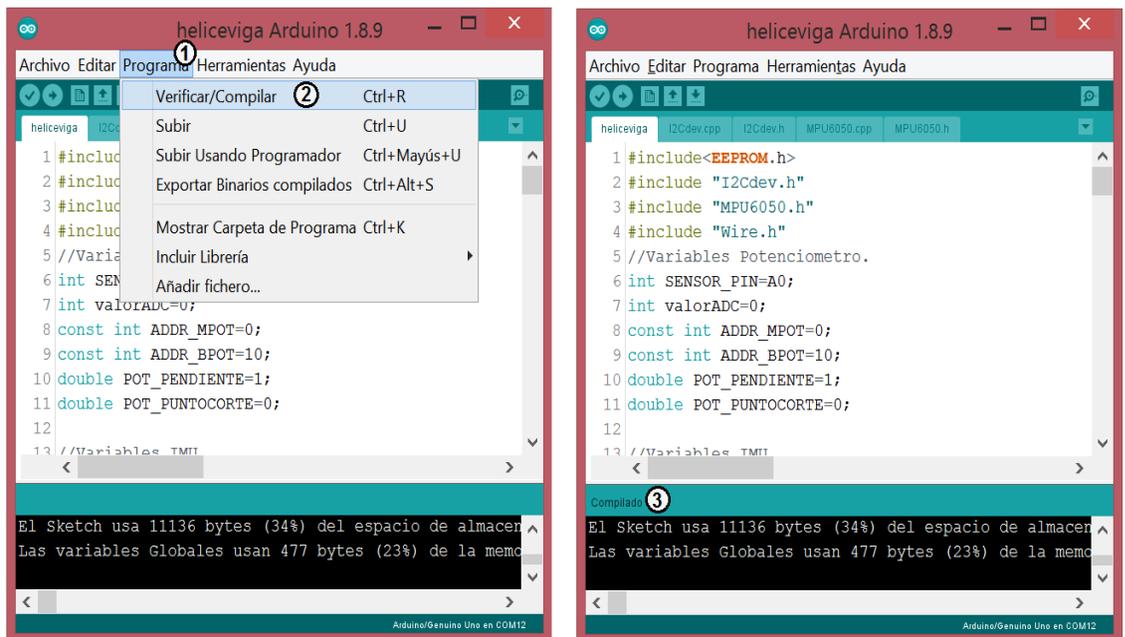
Ilustración 18. Cargar el programa.



Fuente: Elaboración propia.

6. Compile el programa por medio del menú (Programa>Verificar/Compilar).

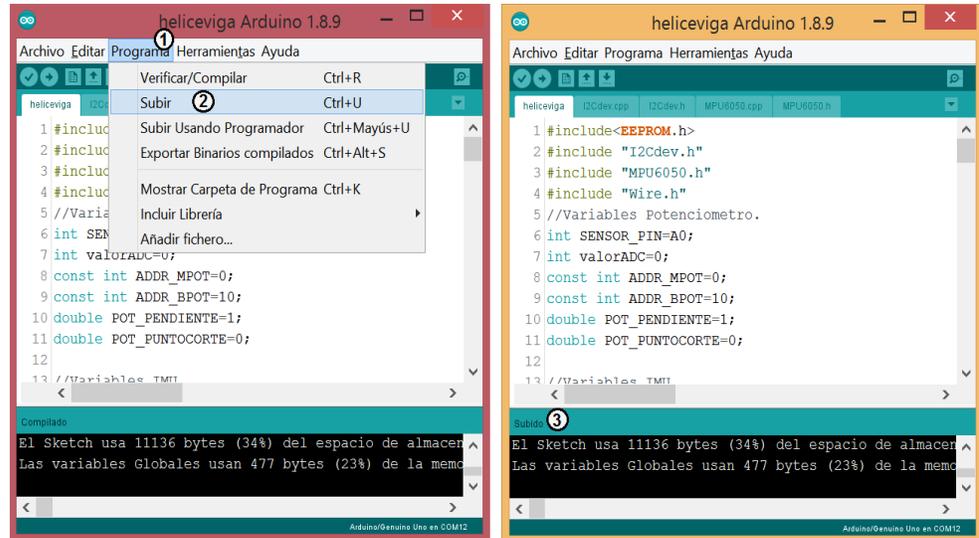
Ilustración 19. Compile el programa.



Fuente: Elaboración propia.

7. Suba el programa a la placa Arduino por medio del menú (Programa>Subir).

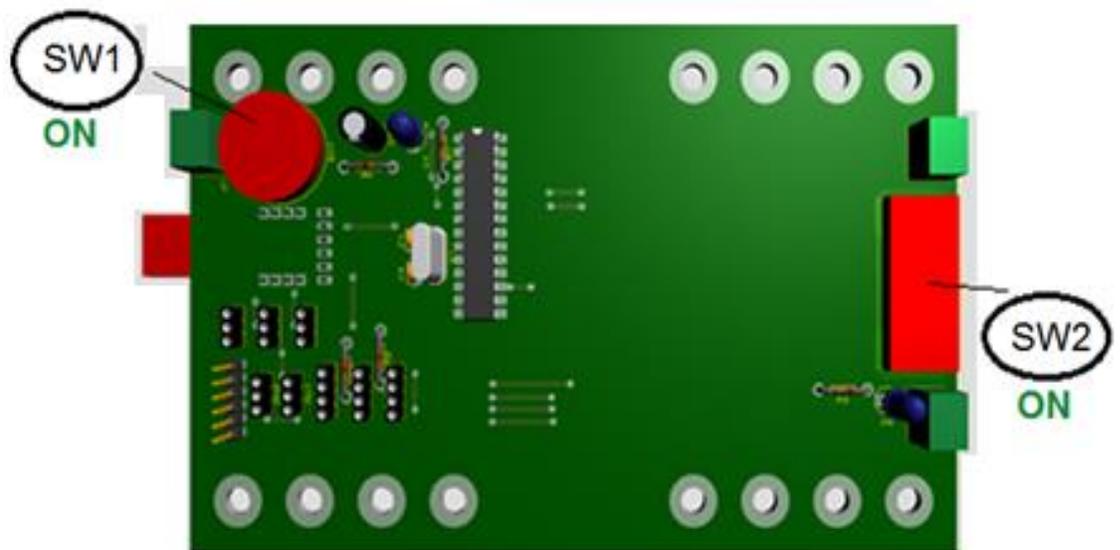
Ilustración 20. Suba el programa a la placa Arduino.



Fuente: Elaboración propia.

8. Activar SW2 (ON) para energizar con 12V DC el controlador (ESC) del motor.

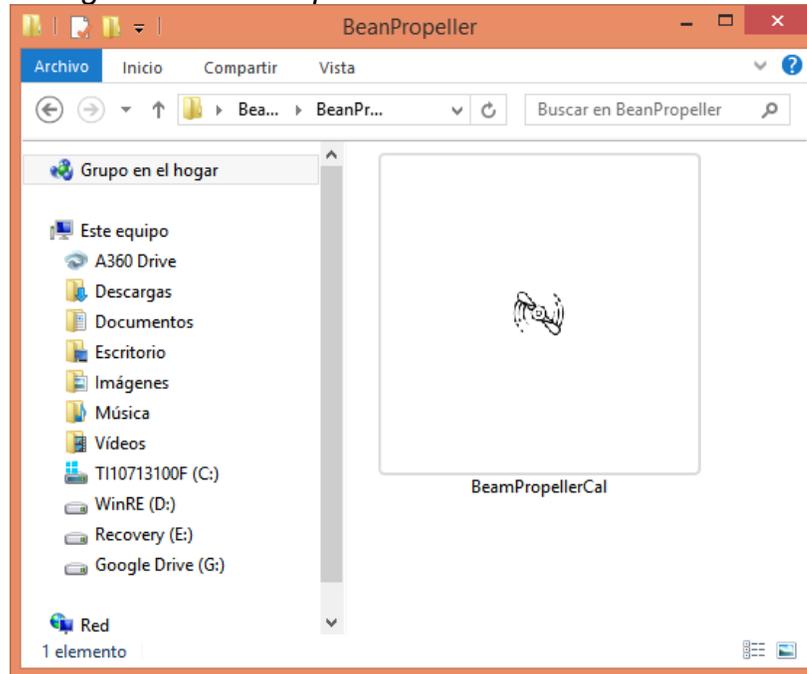
Ilustración 21. Activar SW2.



Fuente: Elaboración propia.

9. Haga doble click en el icono del programa BeamPropellerCal.

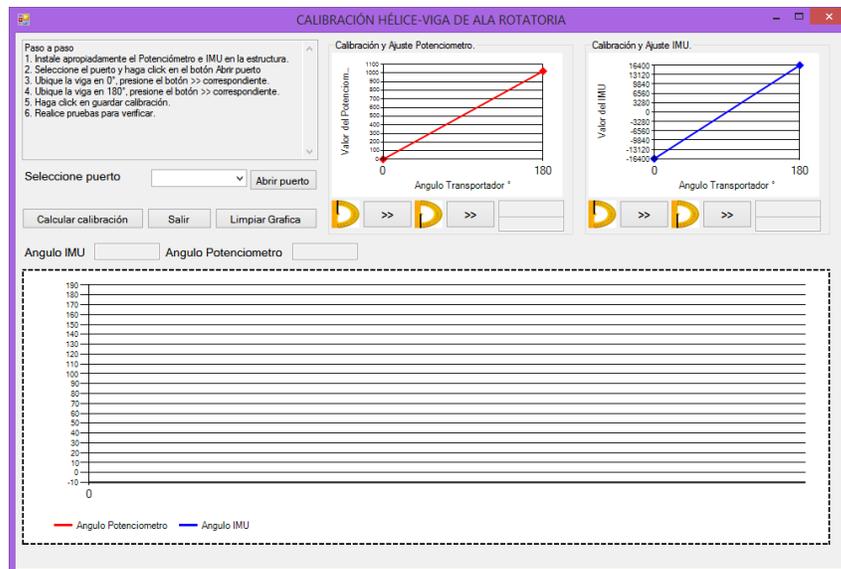
Ilustración 22. Programa BeamPropellerCal.



Fuente: Elaboración propia.

10. Se abre la ventana del programa de calibración.

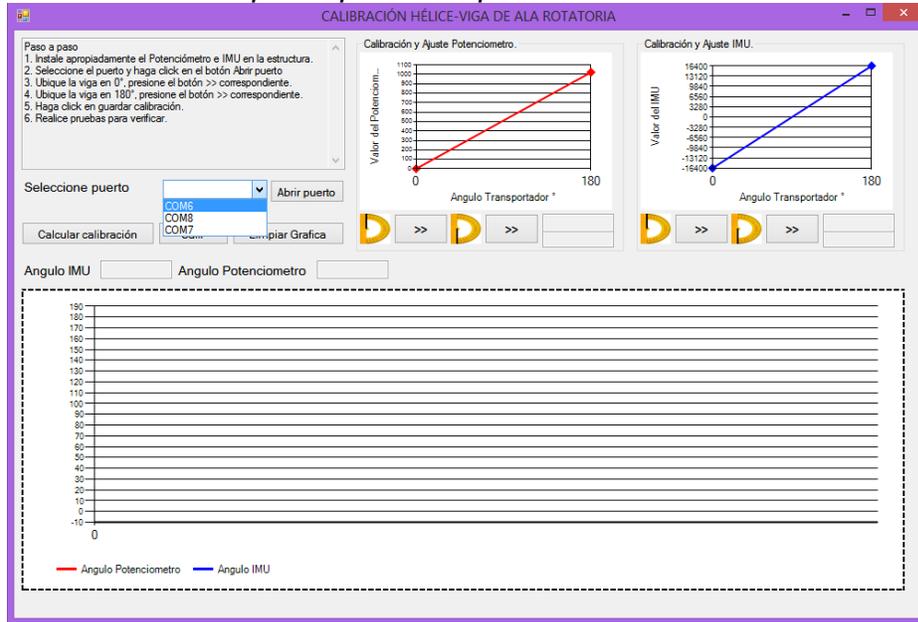
Ilustración 23. Ventana del programa.



Fuente: Elaboración propia.

11. Conecte el prototipo BeamPropeller al computador, y seleccione el puerto en el cual aparece.

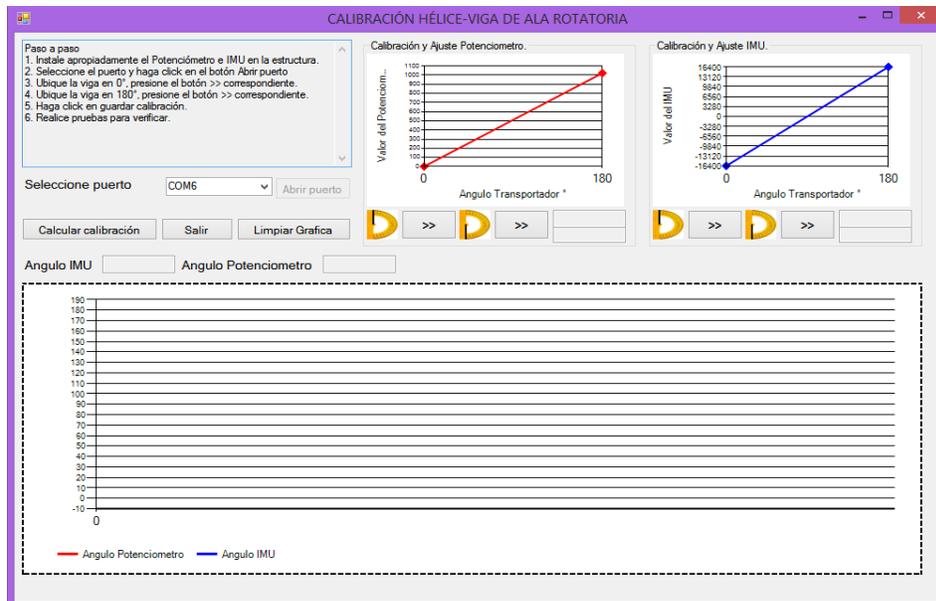
Ilustración 24. Conecte el prototipo al computador.



Fuente: Elaboración propia.

12. Haga click en abrir el puerto.

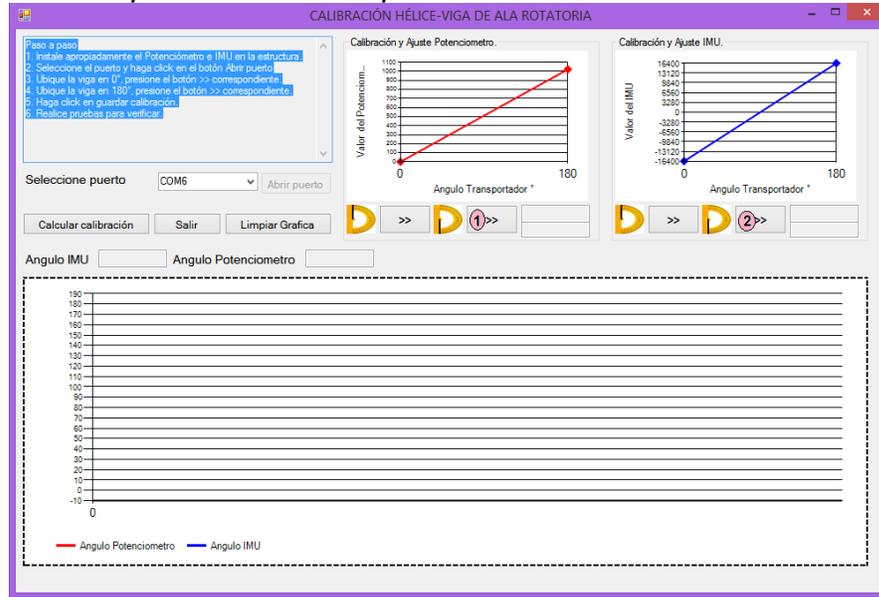
Ilustración 25. Abrir el puerto.



Fuente: Elaboración propia.

13. Ubique el brazo en la posición 0° y presione los botones indicados con los números (1) y (2).

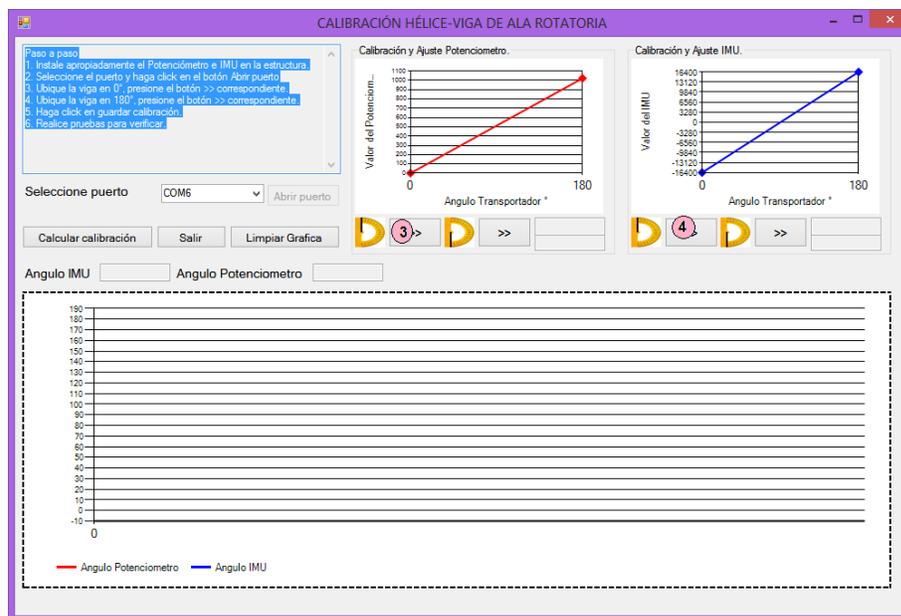
Ilustración 26. Ubique el brazo en la posición 0° .



Fuente: Elaboración propia.

14. Ubique el brazo en la posición 180° y presione los botones indicados con los números (3) y (4).

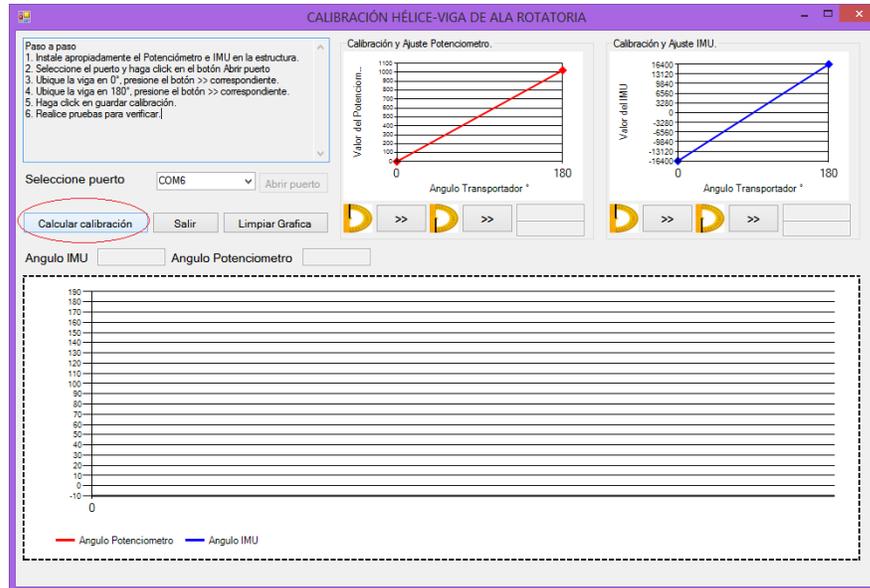
Ilustración 27. Ubique el brazo en la posición 180° .



Fuente: Elaboración propia.

15. Haga click en el botón calcular calibración.

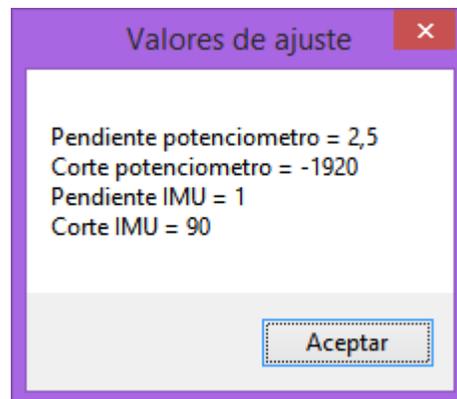
Ilustración 28. Botón calcular calibración.



Fuente: Elaboración propia.

16. Aparecerá una ventana de mensajes mostrando los valores de ajuste que deben ser programados en el Arduino.

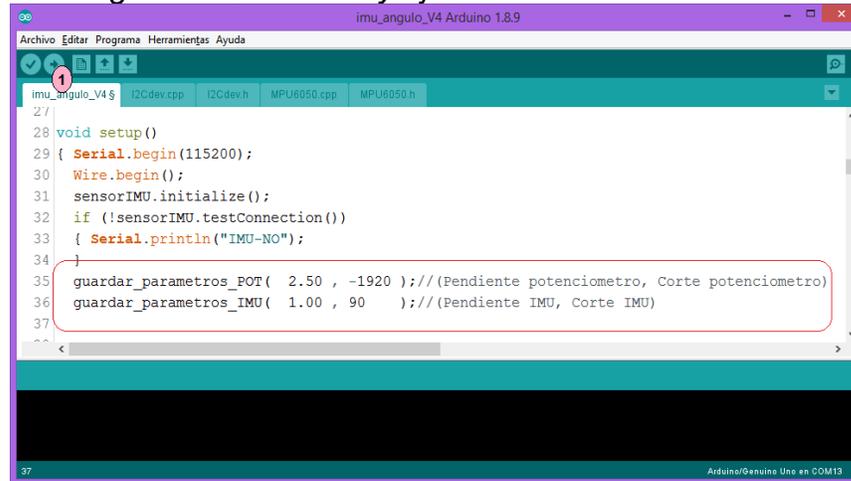
Ilustración 29. Ventana de mensajes.



Fuente: Elaboración propia.

17. Abra el programa del Arduino y remplace los valores de ajuste para potenciómetro e IMU en las dos líneas que aparecen con recuadro rojo, y luego haga click en Subir programa sobre el botón indicado con el numero (1).

Ilustración 30. Programa del Arduino y ajuste valores.



```
27
28 void setup()
29 { Serial.begin(115200);
30   Wire.begin();
31   sensorIMU.initialize();
32   if (!sensorIMU.testConnection())
33   { Serial.println("IMU-NO");
34   }
35   guardar_parametros_POT( 2.50 , -1920 );// (Pendiente potenciómetro, Corte potenciómetro)
36   guardar_parametros_IMU( 1.00 , 90 );// (Pendiente IMU, Corte IMU)
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
```

Fuente: Elaboración propia.

18. Código usado para la ampliación creada.

```
#include<math.h>
#include<EEPROM.h>
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"
//Variables Potenciómetro.
int SENSOR_PIN=A0;
int valorADC=0;
const int ADDR_MPOT=0;
const int ADDR_BPOT=10;
double POT_PENDIENTE=1;
double POT_PUNTOCORTE=0;

//Variables IMU.
MPU6050 sensorIMU;
float accel_ang_x;
int ax, ay, az;
const int ADDR_MIMU = 20;
const int ADDR_BIMU = 30;
double IMU_PENDIENTE=1;
double IMU_PUNTOCORTE=0;

//Muestreo Sensor
unsigned long tiempoAnterior=0;
unsigned long tiempoActual=0;

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

```

sensorIMU.initialize();
if (!sensorIMU.testConnection())
{ Serial.println("IMU-NO");
}
guardar_parametros_POT( 2.50 , -1902.1 );
guardar_parametros_IMU( 1.0185028008827024 , 90.585639110507543 );

cargar_parametros_POT();
cargar_parametros_IMU();
Serial.print(
"lecturaADC\tPOT_PENDIENTE\tPOT_PUNTOCORTE\tPOT_raw_escalado\t");
Serial.println( "ax\t ay\t az\t accel_ang_x\t IMU_PENDIENTE\t
IMU_PUNTOCORTE\t IMU_raw_salida" );
}

void loop()
{
if( Serial.available()>1 )
{ leerValor();
}
tiempoActual=millis();
if( (tiempoActual-tiempoAnterior)>=500 )//200ms
{ tiempoAnterior = tiempoActual;
//transmitir_datos();
transmitir_datosAll();
}
}

//POTENCIOMETRO
void cargar_parametros_POT(void){ EEPROM.get(ADDR_MPOT, POT_PENDIENTE);
EEPROM.get(ADDR_BPOT, POT_PUNTOCORTE);}
double leer_sensor_POT_RAW( void ) { int lecturaADC = analogRead(SENSOR_PIN);
return lecturaADC*1.0; }/**/
double ajustar_sensor_POT_RAW( double POT_raw ){ double POT_raw_salida =
POT_PENDIENTE * POT_raw + POT_PUNTOCORTE ; return POT_raw_salida; }
void guardar_parametros_POT(double pendiente, double puntocorte){
EEPROM.put(ADDR_MPOT,pendiente); EEPROM.put(ADDR_BPOT,puntocorte); }

//IMU
void cargar_parametros_IMU(void){ EEPROM.get(ADDR_MIMU, IMU_PENDIENTE);
EEPROM.get(ADDR_BIMU, IMU_PUNTOCORTE);}

double leer_sensor_IMU_RAW( void )
{ sensorIMU.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
float accel_ang_x= atan( ax/sqrt(pow(ay,2) + pow(az,2)) )*(180.0/3.14);
return 1.0*accel_ang_x;
}
double ajustar_sensor_IMU_RAW( double IMU_raw ) { double IMU_raw_salida =
IMU_PENDIENTE * IMU_raw + IMU_PUNTOCORTE ; return IMU_raw_salida; }

```

```

void guardar_parametros_IMU(double pendiente, double puntocorte){
EEPROM.put(ADDR_MIMU, pendiente); EEPROM.put(ADDR_BIMU, puntocorte); }

void leerValor(void)
{ char lecturaCmd = Serial.read();
  if(lecturaCmd=="*")
  { lecturaCmd = Serial.read();
    String lecturaStr = Serial.readStringUntil('#');
    double lecturaDbl = lecturaStr.toDouble();
    if(lecturaCmd=='A') { EEPROM.put(ADDR_MPOT,lecturaDbl);
cargar_parametros_POT(); return; }
    if(lecturaCmd=='B') { EEPROM.put(ADDR_BPOT,lecturaDbl);
cargar_parametros_POT(); return; }
    if(lecturaCmd=='C') { EEPROM.put(ADDR_MIMU,lecturaDbl);
cargar_parametros_IMU(); return; }
    if(lecturaCmd=='D') { EEPROM.put(ADDR_BIMU,lecturaDbl);
cargar_parametros_IMU(); return; }
  }
  /*
  if(lecturaCmd=='a'){ double valor_POT_Raw=leer_sensor_IMU_RAW(); Serial.println(
"a" + String(1012) ); return; } //Arriba POT
  if(lecturaCmd=='b'){ double valor_POT_Raw=leer_sensor_IMU_RAW(); Serial.println(
"b" + String(12) ); return; } //Abajo POT
  if(lecturaCmd=='c'){ double valor_IMU_Raw=leer_sensor_POT_RAW(); Serial.println(
"c" + String(16000) ); return; } //Arriba IMU
  if(lecturaCmd=='d'){ double valor_IMU_Raw=leer_sensor_POT_RAW(); Serial.println(
"d" + String(-16000)); return; } //Abajo IMU
  */
  if(lecturaCmd=='a'){ double valor_POT_Raw=leer_sensor_POT_RAW(); Serial.println(
"a" + String( valor_POT_Raw) ); return; } //Arriba POT
  if(lecturaCmd=='b'){ double valor_POT_Raw=leer_sensor_POT_RAW(); Serial.println(
"b" + String( valor_POT_Raw) ); return; } //Abajo POT
  if(lecturaCmd=='c'){ double valor_IMU_Raw=leer_sensor_IMU_RAW(); Serial.println(
"c" + String( valor_IMU_Raw) ); return; } //Arriba IMU
  if(lecturaCmd=='d'){ double valor_IMU_Raw=leer_sensor_IMU_RAW(); Serial.println(
"d" + String( valor_IMU_Raw) ); return; } //Abajo IMU

  if(lecturaCmd=='X')
  { double valor_POT_Raw=leer_sensor_IMU_RAW();
    double valor_IMU_Raw=leer_sensor_POT_RAW();
    transmitir_datos( valor_POT_Raw , valor_IMU_Raw );
  }

  if(lecturaCmd=='Y')
  { transmitir_datos();
  }

}
}

```

```

void transmitir_datos(void)
{ double valor_POT_Raw=leer_sensor_POT_RAW();    double valor_POT_Ajustado =
ajustar_sensor_POT_RAW( valor_POT_Raw );
  double valor_IMU_Raw=leer_sensor_IMU_RAW();    double valor_IMU_Ajustado =
ajustar_sensor_IMU_RAW( valor_IMU_Raw );
  transmitir_datos( valor_IMU_Ajustado , valor_POT_Ajustado );
  //transmitir_datos( valor_IMU_Raw , valor_POT_Raw );
}

//POTENCIOMETRO e IMU
void transmitir_datos(double imu, double pot)
{ Serial.print('x'); Serial.print(pot); Serial.print('*'); Serial.println(imu);
}

void transmitir_datosAll(void)
{
  int lecturaADC = analogRead(SENSOR_PIN);
  double POT_raw_escalado = POT_PENDIENTE * lecturaADC + POT_PUNTOCORTE ;
  sensorIMU.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
  float accel_ang_x=atan(ax/sqrt(pow(ay,2) + pow(az,2)))*(180.0/3.14);
  double IMU_raw_salida = IMU_PENDIENTE * accel_ang_x + IMU_PUNTOCORTE;
  /*
  Serial.print(
"lecturaADC\tPOT_PENDIENTE\tPOT_PUNTOCORTE\tPOT_raw_escalado\t" );
  Serial.println( "ax\t      ay\t      az\t      accel_ang_x\t      IMU_PENDIENTE\t
IMU_PUNTOCORTE\t      IMU_raw_salida" );
  */

  Serial.print ( String(lecturaADC) + "\t" + String(POT_PENDIENTE) + "\t" +
String(POT_PUNTOCORTE) + "\t" + String(POT_raw_escalado) + "\t" );
  Serial.print ( String(ax) + "\t" + String(ay) + "\t" + String(az) + "\t" + String(accel_ang_x) +
"\t" );
  Serial.println( String(IMU_PENDIENTE) + "\t" + String(IMU_PUNTOCORTE) + "\t" +
String(IMU_raw_salida) );
}

```

12 PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Tabla 27. Seguridad.

No deseche este producto con la basura normal del hogar o sitio de trabajo.	
Este producto puede ser reciclado para prevenir la contaminación del medio ambiente y reducir la demanda de materias primas	
Revise las normativas locales para reciclaje de productos eléctricos tales como herramientas y electrodomésticos, allí podrá encontrar centros de reciclaje municipales.	

Fuente: Elaboración propia.

8.3 ANEXO 3: TABLA DE CUENTA DE POTEONIOMETRO E IMU CON RELACION AL ANGULO

Angulo visual	Potenciómetro		IMU (MPU 6050)				
	Cuentas	Angulo	Cuentas	Cuentas-X	Cuentas-Y	Cuentas-Z	AnguloX+90
0° Grados	761	0.40	-16432	-480	-76	-88.35	0.60
	760	-2.10	-16328	-268	148	-88.97	-0.03
	761	0.40	-16332	-804	640	-86.44	2.54
	761	0.40	-16408	-240	-32	-89.20	-0.26
	760	-2.10	-16508	-396	-4	-88.67	0.27
	761	0.40	-16368	-408	52	-88.61	0.34
	761	0.40	-16340	-276	-72	-89.05	-0.11
	762	2.90	-16396	-204	-12	-89.33	-0.40
	761	0.40	-16364	-260	-112	-89.05	-0.12
	761	0.40	-16352	-356	72	-88.77	0.17
	761	0.40	-16324	-288	-76	-89.00	-0.06
	762	2.90	-16360	-232	8	-89.23	-0.30
	762	2.90	-16328	-336	-20	-88.86	0.08
	761	0.40	-16316	-408	-76	-88.59	0.36
	760	-2.10	-16364	-332	-60	-88.86	0.08
	760	-2.10	-16528	-72	-28	-89.78	-0.85
	761	0.40	-16456	-364	268	-88.47	0.48
	761	0.40	-16264	-416	84	-88.55	0.40
	761	0.40	-16144	-76	-348	-88.78	0.16
	761	0.40	-16384	-252	424	-88.32	0.63
10° Grados	766	12.90	-16156	-28	2892	-79.89	9.22
	766	12.90	-16160	-8	2876	-79.95	9.16
	764	7.90	-16116	-72	2808	-80.15	8.95
	764	7.90	-16132	92	3028	-79.40	9.71
	765	10.40	-16020	-28	2972	-79.53	9.58
	764	7.90	-16172	-124	2892	-79.89	9.21
	764	7.90	-16128	-132	2836	-80.06	9.05
	766	12.90	-16140	-64	2972	-79.60	9.51
	766	12.90	-16120	-32	2844	-80.03	9.07
	766	12.90	-16100	-80	3108	-79.11	10.01
	764	7.90	-16148	28	3092	-79.20	9.92
	767	15.40	-16104	-72	3144	-78.99	10.13
	763	5.40	-16144	-52	2952	-79.68	9.43
	763	9.40	-16068	-44	3184	-78.83	10.30
	763	8.40	-16076	16	2808	-80.13	8.97
	763	5.40	-16124	-28	3180	-78.88	10.24
763	10.40	-16132	-4	2972	-79.60	9.51	

10° Grados	766	12.90	-16088	-40	2984	-79.53	9.58
	763	5.40	-16104	-24	3072	-79.24	9.88
	764	7.90	-16048	-8	3124	-79.02	10.10
20° Grados	765	10.40	-15404	96	5584	-70.11	19.18
	769	20.40	-15364	164	5336	-70.88	18.40
	769	20.40	-15424	156	5476	-70.48	18.80
	767	15.40	-15416	280	5536	-70.26	19.03
	768	17.90	-15444	184	5456	-70.57	18.71
	767	15.40	-15400	160	5536	-70.26	19.03
	767	15.40	-15444	116	5584	-70.15	19.13
	768	17.90	-15468	228	5392	-70.80	18.47
	767	15.40	-15436	172	5476	-70.49	18.79
	767	15.40	-15440	76	5636	-69.98	19.31
	767	15.40	-15448	220	5416	-70.70	18.58
	766	12.90	-15456	116	5500	-70.44	18.84
	769	20.40	-15372	216	5648	-69.85	19.45
	770	22.90	-15492	200	5544	-70.33	18.95
	769	20.40	-15424	224	5560	-70.20	19.09
	767	15.40	-15436	268	5584	-70.13	19.16
	768	17.90	-15424	160	5604	-70.06	19.23
	767	15.40	-15400	188	5472	-70.46	18.82
	769	20.40	-15464	160	5604	-70.11	19.18
	767	15.40	-15304	60	5448	-70.44	18.84
30° Grados	774	32.90	-14140	428	7992	-60.52	28.95
	775	35.40	-14204	440	8172	-60.08	29.39
	774	32.90	-14200	368	8188	-60.04	29.44
	774	32.90	-14216	380	8192	-60.05	29.42
	769	20.40	-14248	528	8040	-60.54	28.92
	775	35.40	-14168	380	8108	-60.22	29.25
	773	30.40	-14124	468	8164	-59.96	29.52
	775	35.40	-14176	348	8028	-60.48	28.98
	774	32.90	-14232	364	7796	-61.29	28.16
	771	25.40	-14144	564	8112	-60.14	29.34
	774	32.90	-14240	380	8032	-60.58	28.89
	773	30.40	-14232	520	7884	-60.99	28.46
	771	25.40	-14268	504	8228	-60.01	29.46
	775	35.40	-14276	404	7832	-61.25	28.20
	771	25.40	-14212	516	8416	-59.35	30.14
	773	30.40	-14164	428	7924	-60.77	28.69
	772	27.90	-14192	416	8320	-59.62	29.86
	772	27.90	-14196	444	7932	-60.80	28.66
	773	30.40	-14232	520	7884	-60.99	28.46
	771	25.40	-14212	516	8416	-59.35	30.14

40° Grados	778	42.90	-12572	476	10376	-50.46	39.19
	775	35.40	-12852	468	10236	-51.46	38.17
	774	32.90	-12624	648	10388	-50.52	39.13
	776	37.90	-12600	600	10548	-50.05	39.61
	774	32.90	-12580	728	10548	-49.98	39.68
	775	35.40	-12592	644	10524	-50.08	39.57
	774	32.90	-12504	700	10548	-49.81	39.85
	774	32.90	-12584	636	10492	-50.15	39.50
	775	35.40	-12556	700	10428	-50.25	39.40
	775	35.40	-12576	700	10784	-49.35	40.32
	775	35.40	-12600	604	10596	-49.92	39.74
	776	37.90	-12620	624	10428	-50.41	39.24
	775	35.40	-12488	732	10676	-49.43	40.24
	774	32.90	-12616	748	10548	-50.06	39.60
	780	47.90	-12532	620	10552	-49.88	39.78
	777	40.40	-12592	604	10492	-50.18	39.48
	776	37.90	-12532	612	10476	-50.08	39.58
	778	42.90	-12520	708	10608	-49.69	39.98
	776	37.90	-12592	836	10436	-50.28	39.37
	776	37.90	-12616	784	10360	-50.55	39.10
50° Grados	780	47.90	-10600	1740	12180	-40.77	49.06
	781	50.40	-10724	884	12008	-41.71	48.10
	779	45.40	-10636	744	12728	-39.86	49.99
	782	52.90	-10664	768	12500	-40.44	49.40
	783	55.40	-10644	1128	12296	-40.78	49.05
	782	52.90	-10628	740	12480	-40.39	49.45
	780	47.90	-10548	676	12456	-40.24	49.60
	782	52.90	-10716	1048	12304	-40.97	48.86
	779	45.40	-10692	596	12420	-40.71	49.12
	780	47.90	-10636	956	12596	-40.12	49.73
	782	52.90	-10672	916	12392	-40.68	49.15
	779	45.40	-10632	912	12528	-40.27	49.57
	780	47.90	-10648	904	12544	-40.27	49.57
	782	52.90	-10684	656	12472	-40.57	49.27
	779	45.40	-10760	804	12476	-40.74	49.09
	780	47.90	-10712	768	12328	-40.95	48.87
	780	47.90	-10652	744	12324	-40.81	49.02
	780	47.90	-10624	1020	12288	-40.77	49.06
	780	47.90	-10648	904	12448	-40.49	49.35
	781	50.40	-10200	664	13052	-37.99	51.89
60° Grados	786	62.90	-9216	1032	14172	-32.98	56.99
	785	60.40	-6944	1548	13128	-27.73	62.35
	785	60.40	-7376	-844	15780	-25.03	65.09

60° Grados	786	62.90	-7392	1652	14172	-27.40	62.68
	785	60.40	-8244	1332	14904	-28.87	61.18
	785	60.40	-8068	416	14444	-29.19	60.85
	786	62.90	-7940	508	14108	-29.37	60.67
	786	62.90	-8284	1092	14176	-30.24	59.78
	785	60.40	-8340	1040	14192	-30.39	59.63
	785	60.40	-8184	1048	14220	-29.87	60.16
	785	60.40	-8192	920	13928	-30.42	59.60
	785	60.40	-8204	1208	14248	-29.86	60.17
	786	62.90	-8044	936	14084	-29.69	60.34
	785	60.40	-8116	1156	14260	-29.58	60.46
	785	60.40	-8204	1108	14100	-30.13	59.90
	785	60.40	-8068	1016	14404	-29.21	60.84
	785	60.40	-7908	700	14480	-28.63	61.43
	785	60.40	-7988	960	14500	-28.81	61.24
	785	60.40	-7932	976	14260	-29.04	61.01
	785	60.40	-7960	848	14220	-29.21	60.83
70° Grados	788	67.90	-6352	1448	14804	-23.14	67.02
	790	72.90	-6256	1000	15336	-22.16	68.01
	789	70.40	-5760	1156	15356	-20.52	69.69
	789	70.40	-5788	944	15248	-20.76	69.44
	789	70.40	-5780	1028	15040	-20.99	69.21
	787	65.40	-5804	1248	15236	-20.80	69.40
	787	65.40	-5872	1088	15360	-20.88	69.31
	788	67.90	-5824	1268	15212	-20.89	69.30
	790	72.90	-5840	1204	15352	-20.78	69.42
	787	65.40	-5776	1068	15252	-20.71	69.50
	788	67.90	-5844	1252	15536	-20.56	69.64
	788	67.90	-5808	1104	15380	-20.65	69.55
	788	67.90	-5736	1096	15412	-20.38	69.83
	788	67.90	-5760	1124	15316	-20.57	69.64
	788	67.90	-5924	1152	15272	-21.16	69.04
	789	70.40	-5732	1128	15240	-20.57	69.63
	789	70.40	-5752	992	15136	-20.78	69.42
788	67.90	-5356	1528	15160	-19.38	70.85	
789	70.40	-5280	1004	15312	-19.00	71.24	
790	72.90	-5612	1176	15660	-19.67	70.55	
80° Grados	794	82.90	-2760	1152	16484	-9.49	80.92
	794	82.90	-3732	1552	17824	-11.79	78.58
	793	80.40	-3196	1064	14516	-12.39	77.97
	793	80.40	-3232	1360	16240	-11.22	79.15
	794	82.90	-3232	1444	16000	-11.38	78.99
	794	82.90	-3176	1256	16160	-11.09	79.29

80° Grados	793	80.40	-3176	1340	16100	-11.13	79.25
	793	80.40	-3116	1320	16084	-10.93	79.45
	794	82.90	-3096	1200	16108	-10.86	79.53
	794	82.90	-3136	1292	16268	-10.88	79.50
	793	80.40	-3072	1216	16104	-10.78	79.61
	793	80.40	-3096	1276	16288	-10.74	79.65
	794	82.90	-3032	1228	16036	-10.68	79.71
	793	80.40	-3044	1124	16040	-10.73	79.66
	793	80.40	-3008	1156	16172	-10.52	79.88
	793	80.40	-2960	1388	16092	-10.39	80.00
	795	85.40	-3056	1316	16120	-10.71	79.68
	795	85.40	-2968	1232	16144	-10.39	80.00
	793	80.40	-3056	1132	16288	-10.61	79.78
	794	82.90	-2912	1140	16424	-10.04	80.36
90° Grados	796	87.90	-220	1436	16340	-0.77	89.80
	796	87.90	-240	1168	16184	-0.85	89.72
	795	85.40	-216	1224	16304	-0.76	89.81
	793	80.40	-336	1188	16256	-1.18	89.38
	796	87.90	-244	928	16324	-0.86	89.71
	795	85.40	-292	1336	16332	-1.02	89.55
	795	85.40	-168	1284	16592	-0.58	90.00
	798	92.90	-188	1412	16388	-0.66	89.92
	798	92.90	-188	1116	16424	-0.65	89.92
	797	90.40	-200	1212	16240	-0.70	89.87
	797	90.40	-240	1388	16440	-0.83	89.74
	798	92.90	-128	1372	16316	-0.45	90.13
	798	92.90	-180	1444	16372	-0.63	89.95
	796	87.90	-132	1376	16320	-0.46	90.12
	796	87.90	-192	1160	16416	-0.67	89.90
	796	87.90	-164	1252	16172	-0.58	90.00
	797	90.40	-248	1244	16360	-0.87	89.70
798	92.90	-160	1300	16360	-0.56	90.02	
797	90.40	-192	1428	16488	-0.67	89.91	
796	87.90	-272	1432	16500	-0.94	89.63	
100° Grados	800	97.90	2432	1300	16356	8.44	99.18
	800	97.90	2436	1348	16180	8.54	99.28
	799	95.40	2412	1356	16300	8.39	99.13
	800	97.90	2468	1452	16332	8.56	99.31
	800	97.90	2572	1384	16132	9.03	99.78
	802	102.90	2408	1376	16260	8.40	99.14
	800	97.90	2496	1360	16352	8.65	99.40
	803	105.40	2452	1304	16124	8.62	99.37
	801	100.40	2508	1312	16284	8.73	99.48

100° Grados	796	87.90	2484	1360	16292	8.64	99.39
	799	95.40	2536	1284	16196	8.88	99.63
	804	107.90	2504	1324	16172	8.78	99.53
	799	95.40	2444	1336	16160	8.58	99.32
	799	95.40	2596	1328	16232	9.06	99.81
	799	95.40	2500	1376	16284	8.70	99.45
	800	97.90	2472	1304	16168	8.67	99.42
	802	102.90	2460	1284	16220	8.60	99.35
	799	95.40	2468	1280	16304	8.59	99.33
	800	97.90	2484	1288	16336	8.62	99.37
	799	95.40	2512	1368	16136	8.82	99.57
110° Grados	806	112.90	4872	1404	15580	17.31	108.21
	804	107.90	5028	1296	15360	18.07	108.99
	804	107.90	5212	1224	15356	18.70	109.63
	804	107.90	5168	1316	15592	18.29	109.21
	804	107.90	5196	1112	15456	18.55	109.48
	805	110.40	5120	1232	15668	18.05	108.97
	804	107.90	5216	1336	15628	18.40	109.33
	804	107.90	5152	1320	15388	18.46	109.38
	804	107.90	5220	1180	15524	18.55	109.47
	804	107.90	5204	1104	15560	18.46	109.39
	805	110.40	5224	1384	15472	18.60	109.53
	807	115.40	5132	1236	15600	18.17	109.09
	807	115.40	5276	1220	15600	18.64	109.57
	807	115.40	5204	1172	15588	18.42	109.35
	807	115.40	5244	1292	15500	18.64	109.57
	805	110.40	5260	1260	15524	18.67	109.60
	805	110.40	5220	1240	15448	18.62	109.55
	806	112.90	5308	1060	15716	18.63	109.56
	803	105.40	5024	1392	15780	17.61	108.52
803	105.40	5628	1060	15580	19.83	110.78	
120° Grados	810	122.90	7792	1260	14592	28.03	119.13
	807	115.40	7768	1192	14400	28.28	119.39
	808	117.90	7744	1376	14696	27.70	118.80
	810	122.90	7828	1168	14316	28.60	119.72
	809	120.40	7832	1216	14288	28.66	119.77
	806	112.90	7820	1180	14352	28.52	119.63
	806	112.90	7840	1112	14320	28.64	119.76
	804	107.90	7804	1252	14368	28.43	119.54
	806	112.90	7876	1280	14424	28.56	119.67
	805	110.40	7832	1252	14344	28.56	119.67
	804	107.90	7880	1160	14388	28.64	119.76
	808	117.90	7932	1236	14544	28.54	119.65

120° Grados	809	120.40	7804	1256	14424	28.34	119.45
	808	117.90	7860	1176	14484	28.42	119.53
	806	112.90	7904	1260	14380	28.72	119.83
	806	112.90	7912	1256	14288	28.90	120.02
	807	115.40	7844	1172	14520	28.32	119.43
	807	115.40	7692	1444	14012	28.65	119.77
	808	117.90	7904	1320	14560	28.41	119.52
	816	137.90	8392	1024	14720	29.64	120.78
130° Grados	813	130.40	10504	1344	12100	40.81	132.15
	814	132.90	10252	1188	12728	38.75	130.05
	815	135.40	10428	1696	11856	41.07	132.41
	814	132.90	10180	1008	13008	37.98	129.27
	822	152.90	10356	968	12684	39.17	130.48
	814	132.90	10188	1216	12620	38.80	130.11
	815	135.40	10188	1744	13104	37.64	128.92
	814	132.90	10304	1160	13024	38.26	129.55
	813	130.40	10268	932	12956	38.35	129.64
	812	127.90	10296	1104	12924	38.46	129.76
	809	120.40	10340	884	12972	38.51	129.81
	809	120.40	10300	1264	13092	38.08	129.37
	809	120.40	10148	1264	12948	37.97	129.26
	809	120.40	10160	1060	12788	38.39	129.69
	809	120.40	10200	1116	13024	37.98	129.27
	808	117.90	10156	1024	12852	38.25	129.54
	809	120.40	10200	920	12708	38.70	130.00
	810	122.90	10160	1000	12956	38.04	129.33
812	127.90	10104	1016	12844	38.12	129.41	
813	130.40	10268	932	12956	38.35	129.64	
140° Grados	817	140.40	12304	1056	10512	49.37	140.87
	817	140.40	12136	860	11264	47.07	138.53
	818	142.90	12160	944	10924	47.98	139.46
	818	142.90	12068	904	10976	47.64	139.11
	817	140.40	12068	848	11056	47.45	138.91
	817	140.40	12028	1132	11124	47.11	138.57
	818	142.90	12024	968	11112	47.17	138.63
	817	140.40	12012	1084	11040	47.30	138.76
	817	140.40	12028	1064	11324	46.62	138.07
	817	140.40	12000	956	11036	47.31	138.77
	818	142.90	11972	1052	11244	46.70	138.14
	817	140.40	11928	876	11392	46.26	137.70
	817	140.40	11980	1024	11312	46.55	138.00
	817	140.40	12036	992	11140	47.13	138.58
817	140.40	12016	888	11284	46.73	138.19	

140° Grados	817	140.40	12232	808	10592	49.05	140.55
	817	140.40	12176	912	11044	47.72	139.19
	817	140.40	12200	952	10964	47.97	139.44
	817	140.40	12148	1020	11040	47.64	139.11
	817	140.40	13040	412	11400	48.85	140.33
150° Grados	821	150.40	13840	792	8744	57.64	149.29
	821	150.40	13820	784	8776	57.51	149.16
	821	150.40	13908	748	8704	57.90	149.55
	821	150.40	13764	744	8820	57.28	148.93
	821	150.40	13748	732	8888	57.06	148.70
	821	150.40	13828	800	8912	57.12	148.77
	821	150.40	13776	652	8956	56.93	148.57
	822	152.90	13836	764	8976	56.96	148.60
	821	150.40	13780	660	8720	57.63	149.28
	821	150.40	13852	728	8864	57.33	148.97
	822	152.90	13816	724	8928	57.07	148.71
	823	155.40	13872	732	8884	57.30	148.95
	822	152.90	13852	748	8836	57.40	149.05
	823	155.40	13820	896	8860	57.23	148.88
	822	152.90	13936	652	8788	57.72	149.38
	822	152.90	13984	532	8508	58.66	150.33
	822	152.90	13880	632	8716	57.83	149.49
	821	150.40	13824	704	8656	57.89	149.55
	821	150.40	13864	832	8784	57.56	149.21
	822	152.90	13848	816	8756	57.61	149.26
160° Grados	825	160.40	15304	696	6104	68.16	160.01
	826	162.90	15200	200	5928	68.72	160.58
	825	160.40	15236	536	6196	67.83	159.67
	826	162.90	15184	444	5952	68.58	160.43
	826	162.90	15224	668	5884	68.78	160.64
	826	162.90	15228	772	6012	68.33	160.18
	825	160.40	15248	708	6052	68.25	160.10
	829	170.40	15212	756	6060	68.16	160.01
	829	170.40	15232	616	6048	68.28	160.13
	824	157.90	15252	496	6040	68.36	160.21
	829	170.40	15228	316	6148	68.02	159.87
	829	170.40	15220	676	6004	68.38	160.23
	831	175.40	15180	412	6040	68.29	160.14
	824	157.90	15244	812	6180	67.80	159.64
	825	160.40	15196	612	5924	68.63	160.49
	828	167.90	15212	564	6212	67.74	159.58
	826	162.90	15236	596	5928	68.68	160.53
	825	160.40	15248	588	6004	68.45	160.30

160° Grados	825	160.40	15200	880	6008	68.26	160.11
	828	167.90	15192	472	6124	68.02	159.87
170° Grados	831	175.40	16008	464	3636	77.14	169.15
	831	175.40	15960	420	3536	77.46	169.48
	832	177.90	15948	360	3972	76.00	167.99
	831	175.40	16048	160	3236	78.63	170.67
	830	172.90	15952	188	3636	77.18	169.20
	829	170.40	15984	408	3716	76.88	168.88
	831	175.40	15964	180	3588	77.36	169.37
	831	175.40	16016	260	3684	77.05	169.07
	831	175.40	15952	496	3680	76.94	168.94
	829	170.40	15940	416	3620	77.16	169.18
	830	172.90	15964	356	3700	76.93	168.94
	830	172.90	15996	376	3544	77.48	169.50
	831	175.40	15960	296	3632	77.18	169.19
	829	170.40	16008	416	3632	77.18	169.19
	832	177.90	15924	460	3748	76.70	168.70
	831	175.40	16064	208	3592	77.41	169.43
	830	172.90	15976	308	3684	77.01	169.02
	828	167.90	16108	220	3548	77.59	169.62
	828	167.90	16020	220	4280	75.06	167.04
	831	175.40	16112	292	3248	78.60	170.64
180° Grados	834	182.90	16436	48	848	87.09	179.28
	833	180.40	16396	240	692	87.49	179.69
	834	182.90	16392	112	720	87.50	179.70
	833	180.40	16448	120	816	87.17	179.37
	833	180.40	16416	68	756	87.40	179.60
	833	180.40	16340	136	864	86.98	179.18
	833	180.40	16392	-100	672	87.67	179.88
	833	180.40	16388	128	792	87.24	179.44
	833	180.40	16400	120	736	87.44	179.64
	833	180.40	16408	20	744	87.45	179.65
	833	180.40	16376	196	576	87.92	180.13
	833	180.40	16452	184	768	87.30	179.50
	833	180.40	16368	100	736	87.45	179.65
	833	180.40	16408	-48	724	87.51	179.72
	833	180.40	16492	556	-576	87.27	179.47
	834	182.90	16324	-28	220	89.27	181.50
	833	180.40	16332	-44	340	88.84	181.07
	833	180.40	16388	252	400	88.39	180.61
	833	180.40	16416	84	16	89.75	181.99
	833	180.40	16488	120	64	89.57	181.82

Fuente: Elaboración propia.

9 REFERENCIAS

- [1] Sac.org.co, *Revista Nacional De Agricultura*, 2018.
- [2] J. P. Y. P. R. H. D. Vrančić, «"A New Tuning Method for PID Controllers",» vol. 30, nº 27, pp. 399-404, 1997.
- [3] FAO, «Desarrollo Agrícola Sostenible para la Seguridad Alimentaria y la Nutrición: ¿Qué función desempeña la ganadería?,» *Food and Agriculture Organization os the United Nation*, p. 13, 2016.
- [4] C. y. M. O. E, «"Diseño y Construcción de Un Prototipo de Sistema Motor-Hélice-Balancín",» *Biblioteca de ingenieria de la Universidad de Sevilla*, 2016.
- [5] D. A. e. a. J, «"Diseño de un controlador de Angulo En Un Balancin",» 2020.
- [6] M. M. K. M. B. a. A. M. M, «"PID Control of a Lab Scale Sible-Rotor Helicopter System Using A Multicore Microcontroller.",» *Internaticional Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology 16 (AERISPACE SCIENCES)*, pp. 1-14, 2015.
- [7] G. e. a. C H, «"Sintonia Ótima de Controladores PID Utilizando Técnicas de Modellagem Caxa-Cinza: Aplicaçvo Em Um Sistema Viga- Hélice",» pp. 1238-43, 2019.
- [8] U. e. a. E, «"Position Control of Seesaw like Platform by Using a Thrust Propeller",» *International Workshop on Aadvanced Motion Control, AMC*, 2012.
- [9] Wayback Machine, «Wayback Machine,» [En línea]. Available: <https://web.archive.org/web/20150818144845/http://www.rcmodelsbiz.co.uk/electronic-speed-controllers-esc/>.
- [10] YGE, «"YGE 18 and 30A electronic speed controller (ESC)",» 2020. [En línea]. Available: https://www.esoaringgadgets.co.uk/pdf_files/YGE-18-30%20english.pdf.
- [11] F. D, «"Adquisición de datos IMU en un sistema embebido",» Valencia, 2015.
- [12] L. M, P. P, P. S y M. G, «"Sensores inerciales portátiles para el análisis del movimiento humano.",» 2016.
- [13] InvenSense, «"MPU-6000 and MPU-6050",» 2013.
- [14] EE Power, «EE Power - Power Electronics Technical Articles, News, Resources, and Market Insights,» [En línea]. Available: <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/potentiometer/#>.
- [15] Arduino cc, «Arduino cc,» 5 2 2018. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Último acceso: 28 10 2021].
- [16] Arduino cc, «Arduino cc,» [En línea]. Available: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3-smd?selectedStore=us>.
- [17] Institute NCB, «"Conociendo El Microcontrolador Núcleo (Core) Atmega328p De Arduino Uno. (MIC019S)",» *Institute NCB*.

- [18] Electrónica Fácil, «Eléctronica Fácil,» [En línea]. Available: <https://www.electronicafacil.net/>.
- [19] ebay, «ebay,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ebay.com/itm/ABI-12V-500W-Power-Supply-Indoor-Outdoor-LED-Driver-Rainproof-Weatherproof-42A/252470279772>.
- [20] AliExpress, «AliExpress,» [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/1005002553164891.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.22ca242aBa9z5P&algo_pvid=740bd165-ae8a-402c-855b-44cc786daf32&aem_p4p_detail=202110281324551812657829134840015612698&algo_exp_id=740bd165-ae8a-402c-855b-44cc786daf32-4&pdp_ext_.
- [21] Laplace, «Departamento de Física Aplicada III,» 2 11 2016. [En línea]. Available: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Momento_cin%C3%A9tico_\(CMR\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Momento_cin%C3%A9tico_(CMR)).
- [22] G. J. O. O, «"Tema III: Método de seires de taylor",» Quito, 2015.
- [23] S. & E. M. Magazine, «An Electronic Speed Control Primer,» *stefanv.com*, 1997.
- [24] Magazine, Sailplane & Electric Modeler, *Stefanv.com*, 1997. [En línea]. Available: <http://www.stefanv.com/electronics/escprimer.html>.
- [25] T. B, G. F, A. Bert y T. G, «"An IMU-based Sensor Network to Continuously Monitor Rowing Technique on the Water",» 2016.
- [26] «Eprints.polsri.ac.id,» 2004. [En línea]. Available: <http://eprints.polsri.ac.id/4598/8/File%20VIII%20%28Lampiran%29.pdf>.
- [27] Weclonline, «Weclonline.com,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.weclonline.com/downloads/pdf/64-05-0925.pdf>.