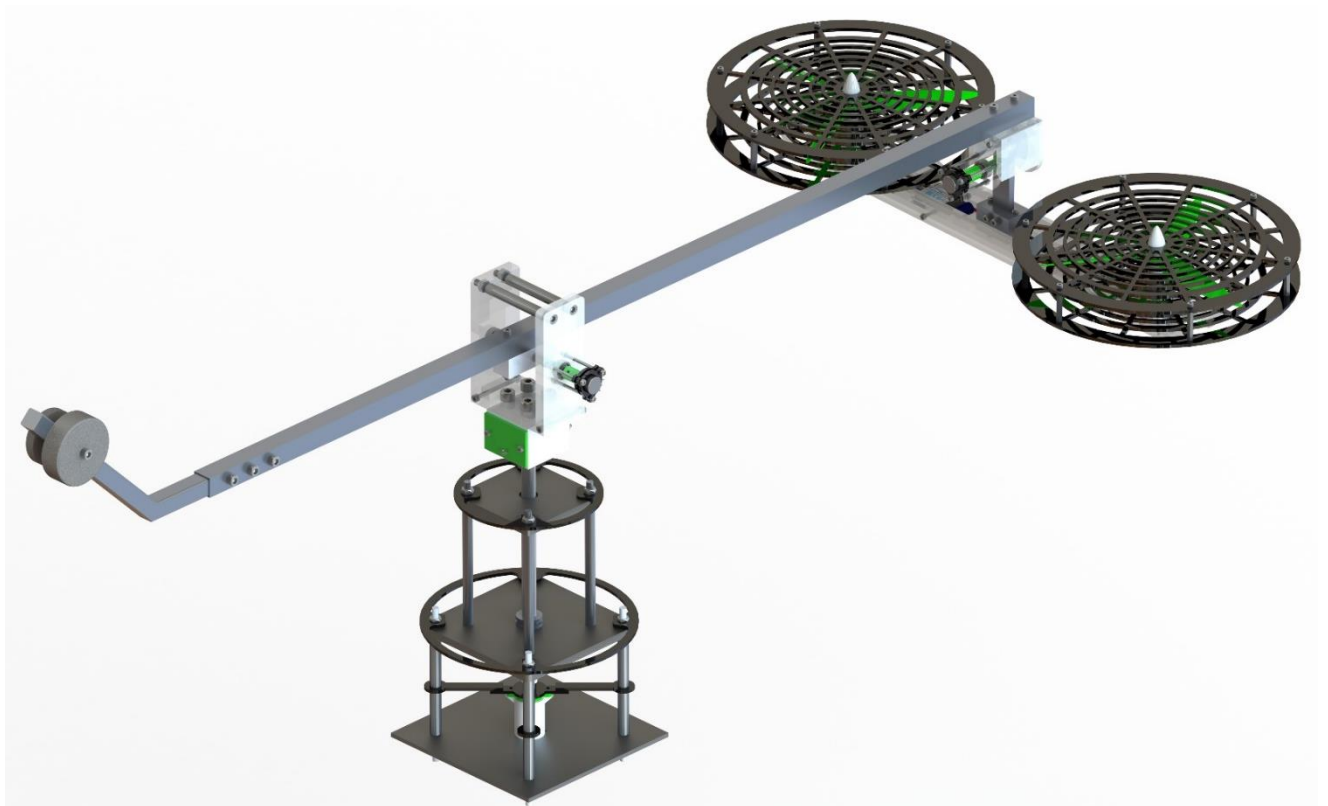


# MANUAL DE OPERACIÓN

## Helicoptero 3GDL

INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN



# CONTENIDOS

1. Introducción .....	3
2. Partes del prototipo .....	4
2.1. Estructura motores .....	4
2.2. Viga principal .....	5
2.3. Estructura base .....	6
3. Configuración del sistema y cableado .....	8
3.1. Conexiones .....	8
4. PRUEBAS Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS .....	11
4.1. Interfaz .....	11
4.1.1. Pruebas .....	11
4.1.2. Solución de problemas .....	11
4.2. Motores .....	12
4.2.1. Pruebas .....	12
4.2.1.1. Solución de problemas .....	12
4.3. Sensores .....	12
4.3.1. Pruebas .....	12
4.3.1.1. Solución de problemas .....	12
5. BIBLIOGRAFÍA .....	13

# 1. Introducción

El helicóptero 3GDL es un módulo didáctico de 3 grados de libertad que consta de un brazo largo pivotado sobre una base fija vertical, el cual a través de variaciones en el voltaje de dos motores brushless instalados en el extremo del brazo crean una fuerza de empuje que junto al contrapeso ubicado en el extremo contrario permiten controlar los ángulos de elevación (altura que alcanza el cuerpo del helicóptero), el cabeceo (cabeceo en torno al eje longitudinal del prototipo) y el viaje (giro en torno al eje perpendicular al suelo), utilizando 3 sensores, cada uno para registrar las variaciones en los tres ángulos a controlar.

El helicóptero de 3GDL se muestra en la figura 1. El sistema está dividido en tres estructuras principales: estructura motores, viga principal y estructura base. Esto le da al prototipo la característica modular para facilitar el transporte y el armado del mismo. Cada una de estas estructuras contiene un grado de libertad, la estructura motores está sobre el ángulo de cabeceo, en la viga principal se encuentra el ángulo de elevación y en la estructura base se localiza el ángulo de viaje.

Las variaciones de los ángulos se dan gracias a los cambios de empuje de los motores, es decir, para una elevación constante las fuerzas en ambos motores deben ser iguales, de manera análoga una diferencia de empuje en los motores genera una variación en el ángulo de cabeceo produciendo así un desplazamiento en el ángulo de viaje.

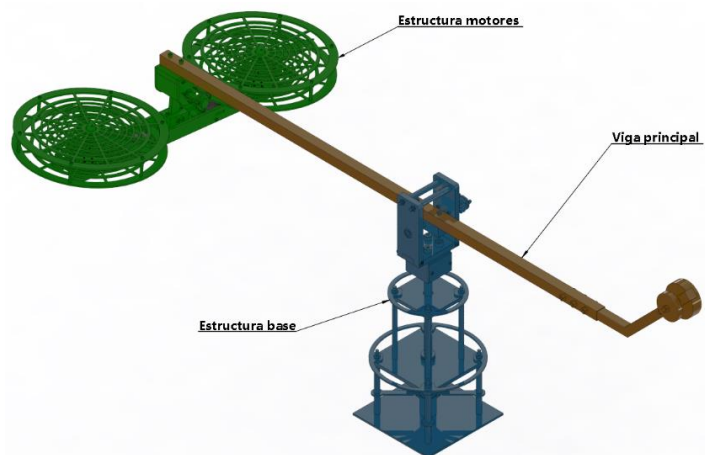


Figura 1. El helicóptero de 3GDL seccionado estructuras principales

## 2. Partes del prototipo

### 2.1. Estructura motores

La estructura de los motores está compuesta por dos motores brushless Turnyng seguidos de los controladores ESC 40A para cada uno de estos, cuentan con unas rejillas para la protección de las hélices. En la figura 2, se observa la estructura motores detallado por secciones ver tabla 1 para la descripción de estas.

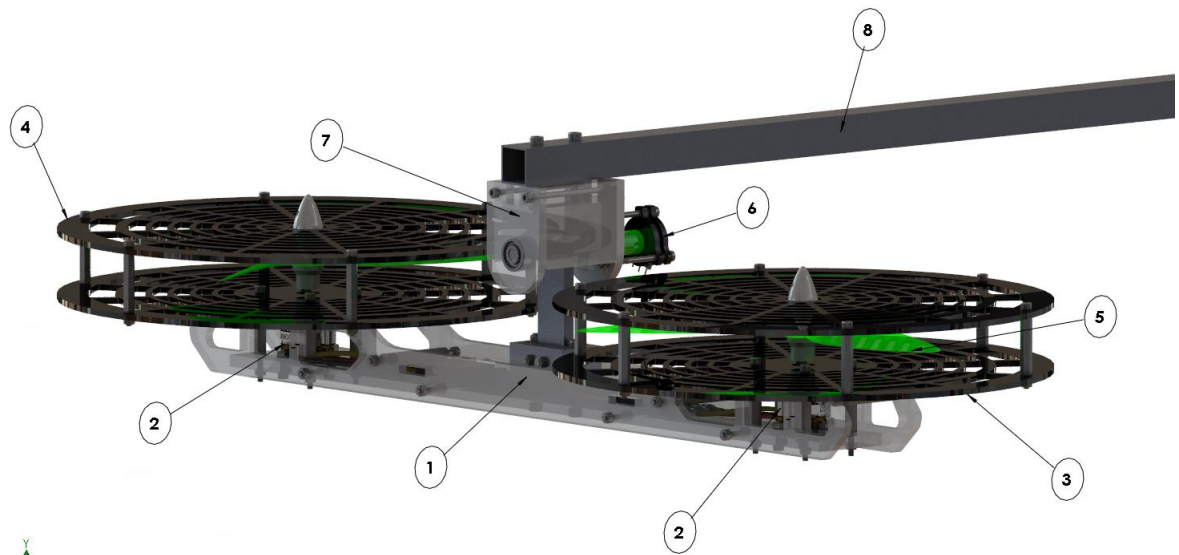


Figura 2. Estructura motor detallado por secciones

Tabla 1. Descripción de las secciones de la figura 2.

Sección	Descripción
1	Cuerpo motores
2	Motores Brushless d2826-10
3	Carcasa protectora inferior
4	Carcasa protectora superior
5	Hélices
6	Sensor cabeceo
7	Soporte eje cabeceo
8	Viga principal

## 2.2. Viga principal

La viga principal va pivotada sobre la estructura base, se encarga de soportar el peso del conjunto de motores ubicados en el lado izquierdo y del contrapeso ubicado en el lado derecho. Ver figura 3. La idea de utilizar un contrapeso es encontrar la relación ideal para lograr una exigencia pequeña en el caso de los motores.

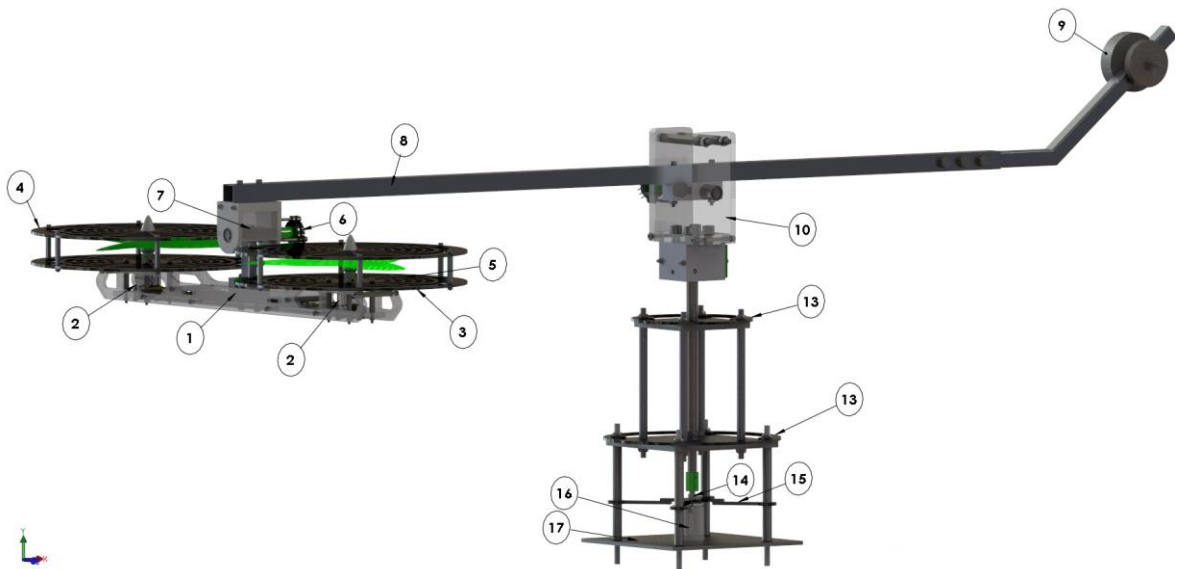


Figura 3.vista general de estructuras detallada por secciones ver tabla 2

Tabla 2. Descripción de las secciones de la figura 3

Sección	Descripción
9	Contrapeso
10	Soporte elevación
13	Anillo deslizantes
14	Sensor de viaje
15	Agarre soporte sensor viaje
16	Soporte sensor viaje
17	Base

### 2.3. Estructura base

La estructura base está compuesta de cuatro partes, el soporte de elevación, seguido al bloque de soporte del circuito 1, se tiene la estructura del eje viaje y la estructura de agarre de sensor de viaje.

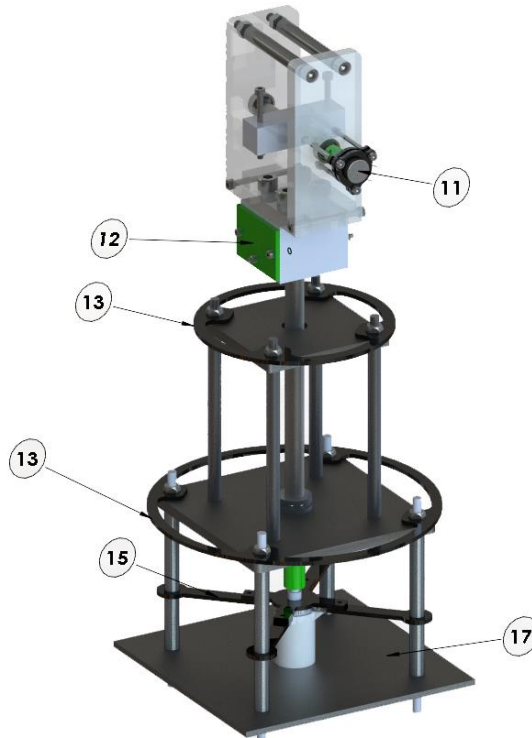


Figura 4. Estructura base detallada por secciones ver tabla 3

Tabla 3. Descripción de las secciones de la figura 4

Sección	Descripción
11	Sensor elevación
12	Circuito 1

### 2.3. Parámetros del sistema

En la Tabla 4 se muestran los valores de los parámetros del modelo matemático para el helicóptero 3GDL, los cuales se usan en el diseño de los controladores PID y robusto. Las inercias se obtienen del modelo CAD utilizando SolidWorks y los coeficientes de fricción dinámicos de los ejes se tomaron de la literatura [1]

Tabla 4. Parámetros del helicóptero

Parámetro	Valor	Unidades (SI)
Masa del helicóptero (motores) ( $m_H$ )	1.160	$kg$
Masa del contra peso ( $m_W$ )	1.015	$kg$
Masa de la viga principal ( $m_A$ )	0.19367	$kg$
Distancia entre el eje de elevación y el pliegue del contrapeso ( $L_W$ )	0.47	$m$
Distancia entre el pliegue del contrapeso hasta el contrapeso ( $L_{W2}$ )	0.10762	$m$
Distancia entre el eje de elevación y el helicóptero ( $L_M$ )	0.5775	$m$
Distancia entre el eje de cabeceo y el centro de las hélices ( $L_H$ )	0.19	$m$
Distancia entre el eje de elevación y el centro de masa de la viga principal ( $L_A$ )	0.10565	$m$
Distancia entre el eje de cabeceo y la base de los motores ( $d$ )	0.125	$m$
Distancia entre la base de los motores y las hélices ( $c$ )	0.05269	$m$
Distancia entre eje de elevación y el centro de la viga principal ( $h$ )	0.01862	$m$
La inercia de rotación alrededor del eje de cabeceo ( $I_p$ )	0.04794	$kgm^2$
La inercia de rotación alrededor del eje de elevación ( $I_\epsilon$ )	0.64562	$kgm^2$
La inercia de rotación alrededor del eje de viaje ( $I_\tau(0)$ )	0.65584	$kgm^2$
Coefficiente de fricción dinámico eje de cabeceo ( $k_{d,p}$ )	0.053	$\frac{Nms}{rad}$
Coefficiente de fricción estático eje de cabeceo ( $k_{s,p}$ )	0.04	$Nm$
Coefficiente de fricción dinámico eje de elevación ( $k_{d,\epsilon}$ )	1	$\frac{Nms}{rad}$
Coefficiente de fricción estático eje de elevación ( $k_{s,\epsilon}$ )	0	$Nm$
Coefficiente de fricción dinámico eje de viaje ( $k_{d,\tau}$ )	0.5	$\frac{Nms}{rad}$
Coefficiente de fricción estático eje de viaje ( $k_{s,\tau}$ )	0	$Nm$

# 3. Configuración del sistema y cableado

## 3.1 Conexiones

En esta sección se describen las conexiones requeridas en el helicóptero 3GDL, especificando el orden de conexión entre los circuitos. En la figura 5 se muestra un esquema general de todas las conexiones requeridas por el helicóptero 3GDL. El helicóptero cuenta con dos circuitos impresos, un Arduino DUE y la fuente de alimentación.

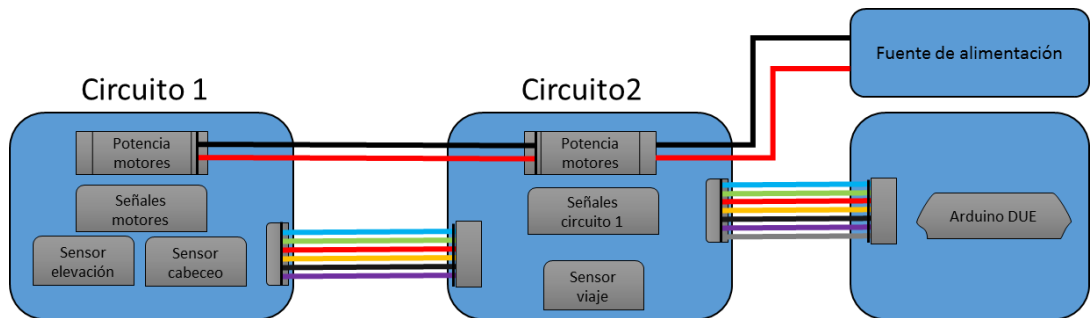


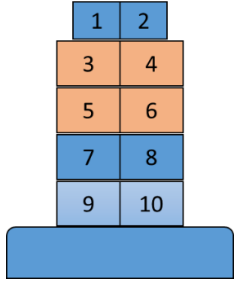
Figura 5. Esquema de conexiones generales helicóptero 3 GDL.

El circuito 1 centraliza todos los cables provenientes de la parte superior del helicóptero (sensores cabeceo, elevación, PWM de motores y alimentación de motores) en la tabla 5 muestra los pines que contiene el circuito 1, los terminales a los que va conectado y los colores de sus respectivos

Tabla 5. Conexiones del circuito 1.

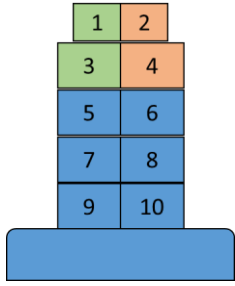
Circuito 1	Pin	Terminal	Color
	1	PW1	Piel
	2	PW2	Amarillo
	3,4,5,6	Tierra	Gris, verde, café, rojo
	7	Sensor cabeceo	rojo



	8	Sensor elevación	morado
	9,10	3.3V*	Azul, piel

En la tabla 6 se muestra el orden de conexión que deben llevar los cables, los respectivos terminales en las que debería estar conectados y sus colores

Tabla 6. Conexiones circuito 2

Circuito 2	Pin	Terminal	Color
	1,3	3.3V*	Azul, piel
	2,4	Tierra	Gris,gris
	5	PWM1	verde
	6	No conectar	
	7	PWM2	azul
	8	Sensor cabeceo	Morado
	9	Sensor elevación	amarillo
	10	Sensor viaje	Morado

\*Es importante que este pin se conecte a 3.3V ya que el Arduino DUE funciona a este voltaje y si se conecta al pin de 5 v se puede quemar.

Al Arduino DUE llegan todas las señales de sensores y de motores, por lo que es de vital importancia realizar esto correctamente.

Tabla 7. Conexiones Arduino DUE

Pin Arduino DUE	Terminal	Color
9	PWN 2	Rojo
11	PWM 1	gris
A1	Señal del cabeceo	Café
A3	Señal de elevación	Amarillo
A5	Señal de viaje	verde
3.3v	Alimentación	Morado
Gnd	Tierra	Piel

En la tabla 8. Se observa la forma de conexión entre Esc 40 A y los terminales de la Fuente.

Tabla 8. Conexión de potencia de los motores

Esc 40 A	Color circuito 1	Color circuito 2	Terminal fuente
Rojo	rojo	Negro	8.1V
Negro	Blanco	Blanco	Gnd

# 4. PRUEBAS Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Esta sección describe la forma de saber si el prototipo está en correcto funcionamiento, dada una serie de pruebas mencionadas, en caso de algún fallo también se mencionan las posibles soluciones a esos problemas. Esto asumiendo que el dispositivo está conectado correctamente como se describe en la sección 3.

## 4.1. Interfaz

### 4.1.1. Pruebas

Para verificar que la interfaz este en correcto funcionamiento en tiempo real, luego de correr el programa se deben observar encendidos los Leds Rx y Tx de comunicación serial en el Arduino DUE.

### 4.1.2 Solución de problemas

Si lo anterior no está sucediendo, seguir los siguientes pasos de verificación,

- Verificar en el administrador de dispositivos del computador que este reconozca el Arduino DUE, comprobar el puerto COM al que está conectado.
- Verificar en la interfaz gráfica de Simulink que el puerto COM definido para el Arduino DUE sea el mismo del paso anterior, de lo contrario poner el mismo puerto COM.

Si al sistema está en perfecto funcionamiento y de repente el sistema deja responder a cambios en los Setpoint, verificar la prueba mencionada en [4.1.1](#) y seguir los siguientes pasos,

- Desconectar el cable USB, antes tomando el prototipo por la parte del contrapeso, ya que el sistema seguirá respondiendo, pero cuando se desconecta el cable USB instantáneamente los puertos que envían PWM a los motores dejan de enviar señal y los motores se apagan.

## 4.2. Motores

### 4.2.1. Pruebas

Verificar una conexión correcta en los motores, cuando se conecta la fuente de alimentación los motores deben emitir un sonido tal como “¶123” luego un “beep-beep”, indicando así una buena conexión.

#### 4.2.1.1. Solución de problemas

Si los motores no satisfacen la prueba mencionada en [4.2.1](#) se deben seguir el siguiente paso,

- Verificar que la conexión Arduino-PC esté en orden tal como se mencionó en la prueba 4.1.1, sino solucionarlo como en 4.1.2.
- Seguir los pasos en el orden que se menciona en el documento guía de usuario en la sección 1.1.2.1 “Secuencia de encendido”.

## 4.3. Sensores

### 4.3.1. Pruebas

Verificar la lectura de los sensores, ir al bloque Helicóptero 3GDL Motores-Ángulos y en la sección “Lectura Sensores” observar en el display que las lecturas sean -26, 0, 0 aproximadamente correspondiente a estar apoyado en el centro de la mesa, esto antes de encender digitalmente el prototipo.

#### 4.3.1.1. Solución de problemas

Si la lectura de los sensores no es la correcta según la prueba mencionada en [4.3.1](#) se deben seguir los siguientes pasos,

- Entrar a la S-Function donde se hace la lectura análoga de 12 bits de los tres sensores, ubicada en “Helicoptero 3GDL Motores-Ángulos>Lectura Sensores>S-Function Builder” de la interfaz gráfica, una vez se abra el cuadro de la S-Function dar click en “Build” poniendo antes la carpeta en Matlab donde se encuentra el archivo .slx correspondiente a la Interfaz, para más información referencia [2].

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Stenholm, E. B. (1 de Junio de 2015). Modelling & Control of a 3DOF Helicopter. Linköping, Suecia.
- [2] Eewriter, «Arduino Simulink S-function tutorial,» 4 2017. [En línea]. Available: <http://eestuffs.com/2017/03/13/arduino-simulink-s-function-tutorial/>.
- [3] M. Lucas García, «Arduino con MATLAB y Simulink, Parte 3: Programando Arduino con Simulink,» [En línea]. Available: <https://www.mathworks.com/videos/arduino-with-matlab-and-simulink-part-3-programming-arduino-with-simulink-99404.html>.