

Protocolo de pruebas

1. Objetivo:

Evaluar las características aerodinámicas del conjunto motor-hélice utilizado en un cuadricóptero.

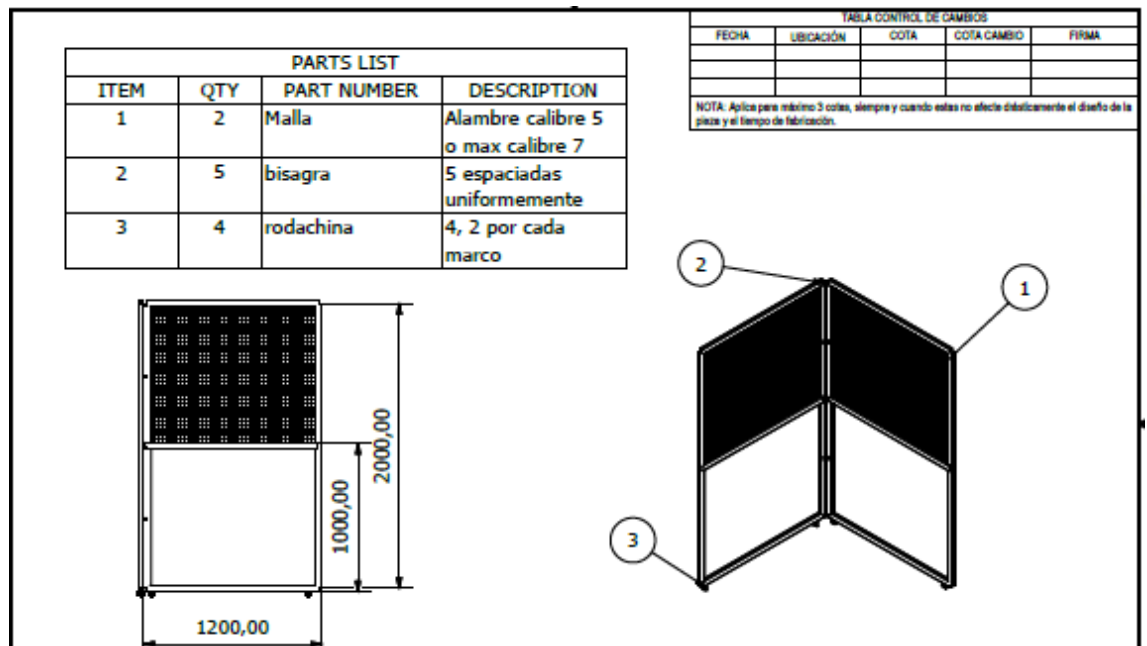
Preparación del ensayo:

a. Elementos de protección:

Los elementos de protección personal requeridos para el ensayo son los siguientes:

<i>Símbolo</i>	<i>Nombre</i>	<i>¿Requerido?</i>
	Overol	
	Gafas de seguridad	
	Botas de protección	
	Protección auditiva	NA
	Guantes de protección	NA
	Máscara de gases	NA
	Tapabocas	NA

Adicional a esto, se recomienda utilizar una barrera física como medida de protección adicional para evitar que el posible desprendimiento de la hélice a caracterizar resulte perjudicial para salud. Una barrera de protección recomendada se muestra a continuación:



2. Instrumentación:

a. Resumen:

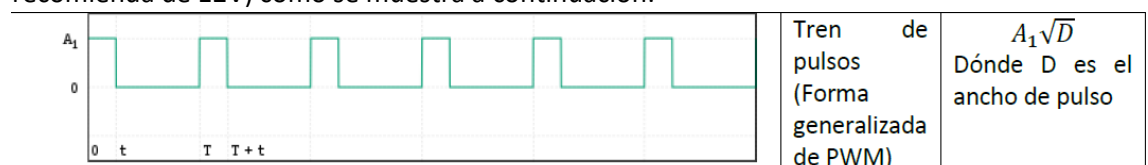
Instrumento	Instrumento recomendado
Fuente de Voltaje de 20A	Fuente Keithley 2260B-80-27 de 720W
Control de Servomotores o de ancho de pulso de señales PWM	Controlador Pololu Micro Maestro 6
Tarjeta de adquisición de datos de voltaje	Tarjeta de adquisición NI 9205 acoplada a software LabView
Barómetro	Barómetro de columna inclinada Dwyer 1917631
Higrómetro	Anemómetro EXTECH 45158
Termómetro	
Tubo Pitot acoplado a manómetro	Pitot Dwyer A10N CAT6024

b. Alimentación:

La alimentación del sistema debe ser una fuente capaz de entregar al menos un voltaje de 12V con una corriente de 15 A, esto debido a que los ESC comerciales, tienen una corriente máxima de corto circuito de 20 A. En este caso, se recomienda utilizar una fuente **Keithley 2260B-80-27 de 720W**, esta fuente se encuentra en el laboratorio de dinámica de Fluidos de la Universidad de los Andes la cual permite entregar una corriente de 0-27 A y un voltaje de 0-80 V.





c. Control del rotor:

Al motor, se le ingresa una señal de PWM, la cual tiene una amplitud fija (Se recomienda de 12V) como se muestra a continuación:

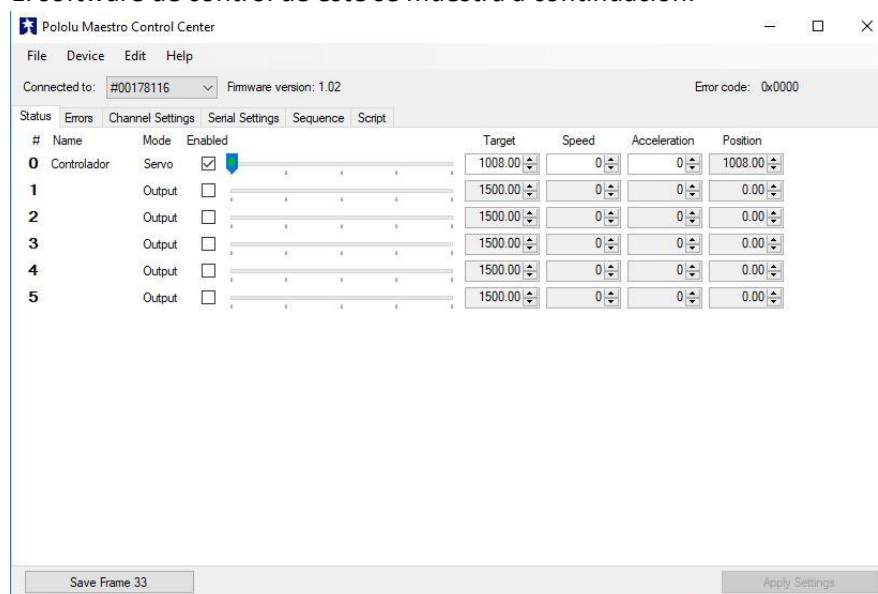


Se observa que el valor RMS de esta señal depende únicamente de su ancho de pulso, para controlar este ancho de pulso de la señal que ingresa al controlador

ESC del motor Brushless del rotor, se utilizará un controlador de servomotores (Micro Maestro™) que se muestra a continuación:

				
	<u>Micro Maestro</u>	<u>Mini Maestro 12</u>	<u>Mini Maestro 18</u>	<u>Mini Maestro 24</u>
Channels:	6	12	18	24
Analog input channels:	6	12	12	12
Digital input channels:	0	0	6	12
Width:	0.85" (2.16 cm)	1.10" (2.79 cm)	1.10" (2.79 cm)	1.10" (2.79 cm)
Length:	1.20" (3.05 cm)	1.42" (3.61 cm)	1.80" (4.57 cm)	2.30" (5.84 cm)
Weight ⁽¹⁾ :	3.0 g	4.2 g	4.9 g	6.0 g
Configurable pulse rate ⁽²⁾ :	33–100 Hz	1–333 Hz	1–333 Hz	1–333 Hz
Pulse range ⁽²⁾ :	64–3280 μ s	64–4080 μ s	64–4080 μ s	64–4080 μ s
Script size ⁽³⁾ :	1 KB	8 KB	8 KB	8 KB

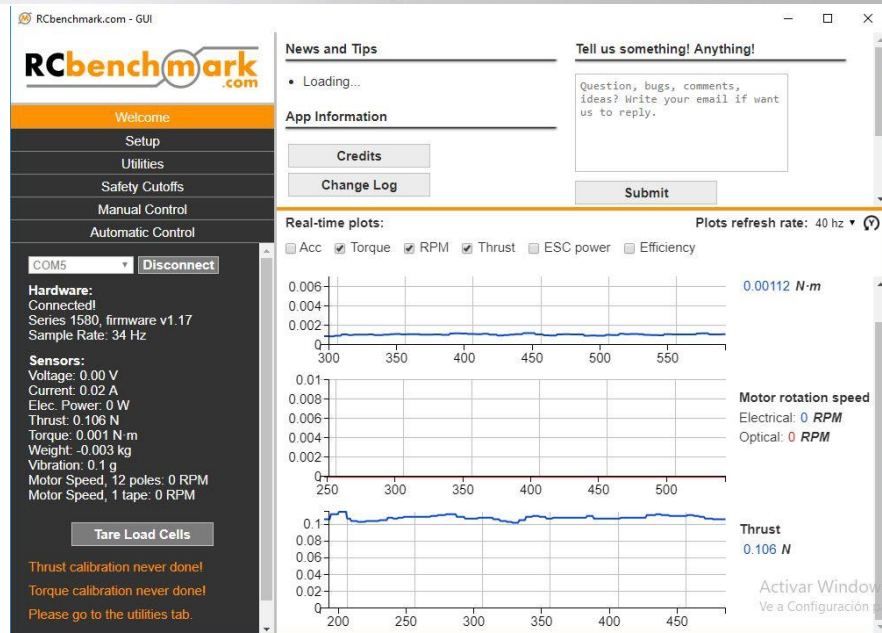
El software de control de este se muestra a continuación:



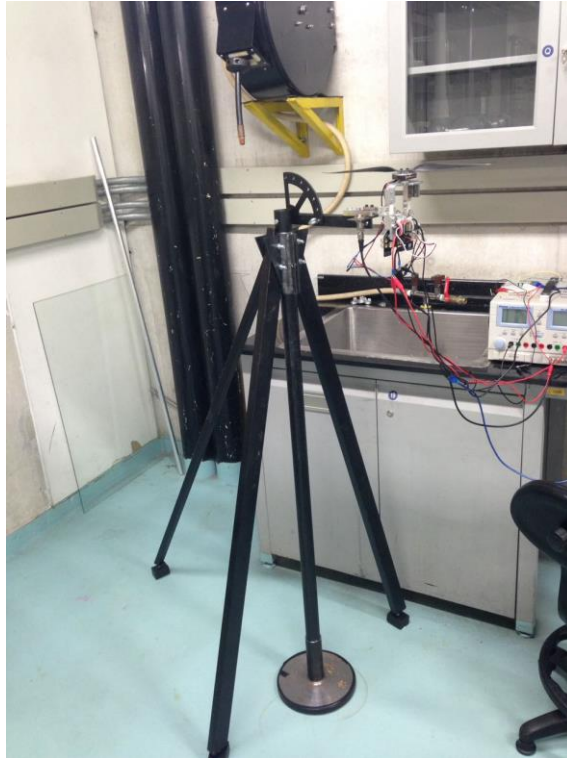
En este software, se puede controlar con el cursor azul el ancho de pulso, sin embargo, se recomienda usar las secuencias que se han programado previamente en la pestaña “sequence” o en la pestaña “scripts” en donde se encuentra definido la equivalencia entre anchos de pulso y velocidad angular (PWM), esto con el fin de automatizar este proceso de control.

d. Medición de Fuerzas:

Para medir el torque y empuje generado por la hélice, se utilizará un sistema dinamómetro comercial, fabricado por la empresa RC Benchmark™, el cual trae consigo un software que permite visualizar y exportar estos datos, junto con el valor de velocidad angular de acuerdo con la señal del PWM. A continuación, se muestra un par de ilustraciones de este sistema:

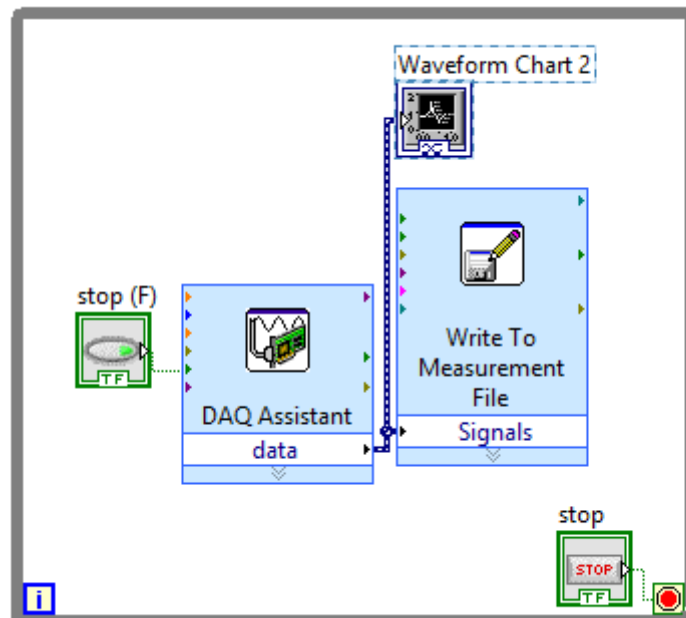


Debido al rango alto de velocidad angular a evaluar, es necesario acoplar este sistema dinamómetro a un montaje (Ver sección “Descripción del soporte”) disponible en el laboratorio de dinámica de fluidos de la Universidad de Los Andes, con el fin de evitar vibraciones y reducir al mínimo la interferencia del flujo inducido por la hélice:



e. Medición de velocidad angular:

Para la medición de velocidad angular, se utilizará un sensor óptico **Omron E3FB**, el cual se encuentra en el montaje descrito. La adquisición de estos datos de velocidad se recomienda utilizando una tarjeta de National Instruments™, en particular, la tarjeta de adquisición de voltaje 9205 y el software Labview™. A continuación, se muestra el código implementado y sugerido para adquirir los datos de velocidad angular:



f. Medición de densidad:

La medición de la densidad del aire es recomendable realizarla de forma indirecta puesto que realizar la medición de forma directa requiere una complejidad mucho mayor a la que se pretende alcanzar con este protocolo.

Siguiendo este orden de ideas, se recomienda utilizar la siguiente aproximación:

$$\rho = \left(\frac{0.0034847}{T} \right) (p - 0.003796 R_h e_s)$$

$$e_s = (1.7526 \times 10^{11}) e^{-\frac{5315.56}{T}}$$

Dónde:

p = Presión atmosférica absoluta [Pa]

R_h = Humedad relativa ambiente [%]

T = Temperatura ambiente [K]

Para la medición de estos valores es necesario utilizar los siguientes elementos:

- Un barómetro para medir la presión atmosférica en sitio.
- Un higrómetro para medir la humedad relativa del aire en sitio.
- Un termómetro para medir la temperatura ambiente en sitio.

Se recomienda utilizar un anemómetro **EXTECH 45158** el cual posee sensores tanto de humedad relativa como de temperatura, el cual se encuentra en el laboratorio de Dinámica de Fluidos de la Universidad de los Andes. Respecto a la presión atmosférica, se recomienda utilizar un barómetro de columna inclinada **Dwyer 1917631**.

Los instrumentos descritos se encuentran en el laboratorio de Dinámica de Fluidos de la Universidad de los Andes

g. Medición de velocidad de viento incidente:

También se medirá la velocidad del viento incidente utilizando un tubo Pitot conectado a un manómetro para registrar la presión dinámica del fluido y se calculará la velocidad de este usando la siguiente ecuación:

$$P_{din} = K \frac{1}{2} \rho v^2$$

Donde K es la constante del Pitot.

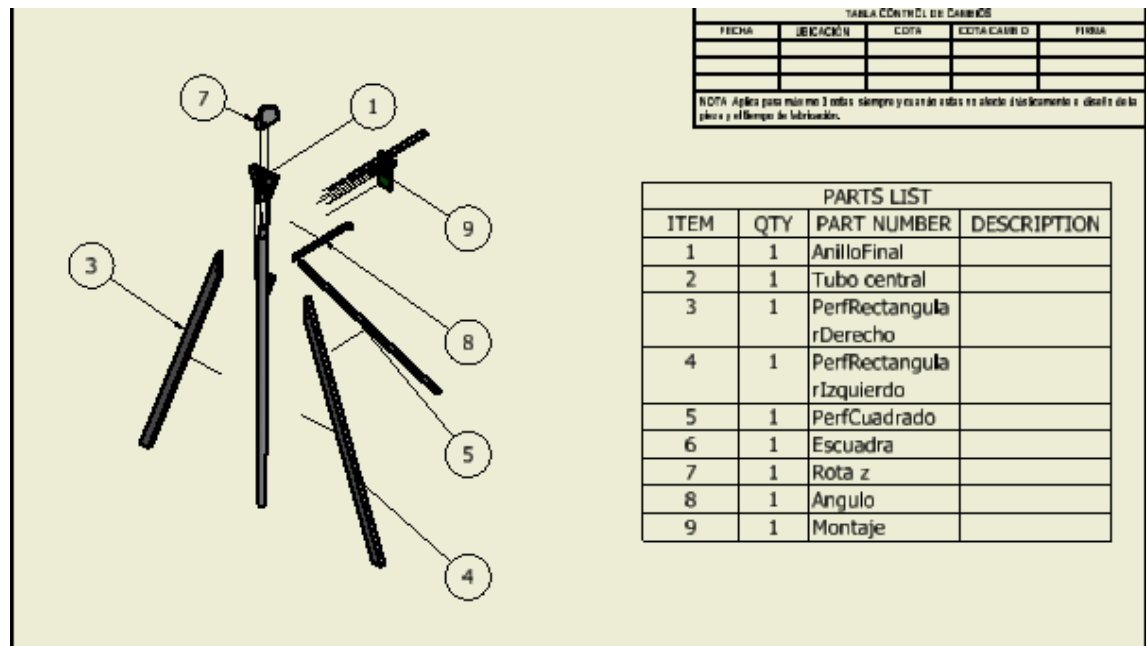
Se recomienda utilizar el tubo Pitot **Dwyer A10N CAT6024**. Utilizando este tubo en específico, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$v = 1096.2 \sqrt{\frac{P_{din}}{\rho}}$$

Donde la presión tiene unidades de $in - H_2O$ y la densidad del fluido en lb/ft^3 .

3. Descripción del soporte:

El soporte en el cual se debe montar el conjunto rotor hélice es un soporte tipo trípode desarrollado en la Universidad de Los Andes. En este soporte se recomienda implementar hélices de un diámetro **no superior a las 30 cm**. A continuación, se encuentra un despiece general de este:

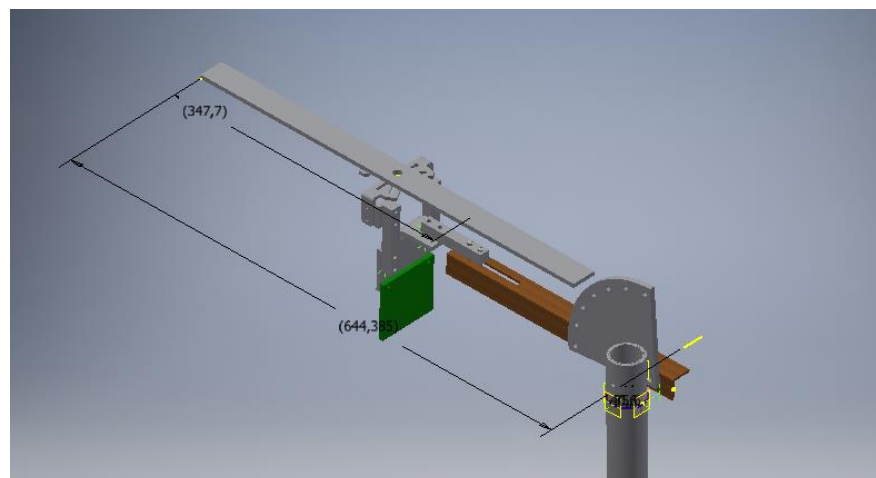


a. **Posiciones de uso:**

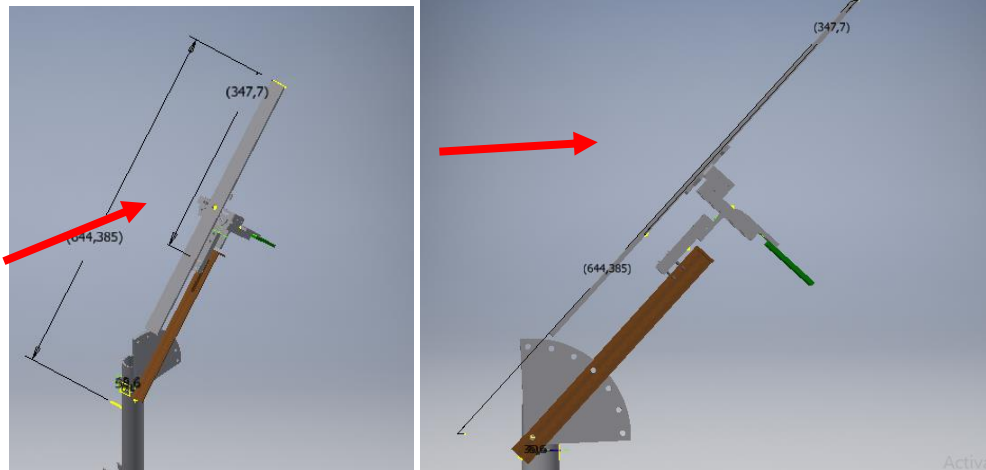
A continuación, se presenta la forma en que debe acoplarse el sistema para cada una de las pruebas a realizar:

NOTA: Con fines ilustrativos, en las siguientes imágenes no se muestra el soporte de la celda de carga, sin embargo debe tenerse en cuenta que este soporte tiene 2 tornillos adicionales que deben ser a su vez ajustados.

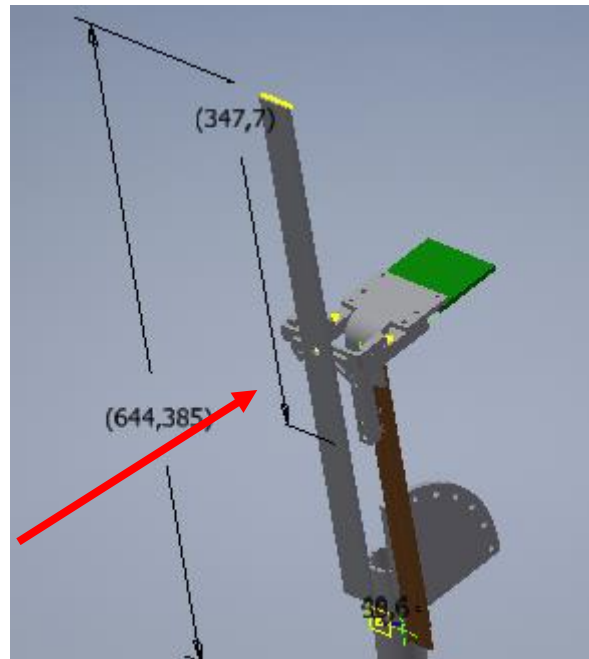
- **Pruebas en Hover:**



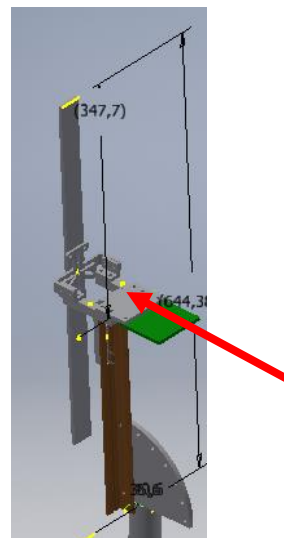
- Asumiendo un ángulo de avance de 45° :



- Asumiendo vuelo ascendente:



- Vuelo decendente:



En las imágenes anteriores, la flecha de color rojo indica la dirección de viento incidente.

NOTA: POR SEGURIDAD, CUANDO SE UTILICEN HÉLICES DE UN DIAMETRO MAYOR A 20 cm SOLO AJUSTAR EL DINAMOMETRO EN EL PUNTO INFERIOR DE LA RANURA CUANDO SE REALICE LA PRUEBA DE VUELO ASCENDENTE Y DESCENDENTE, PARA LAS OTRAS PRUEBAS, UBICAR EL DINAMOMETRO SIEMPRE EN EL PUNTO SUPERIOR DE LA RANURA.

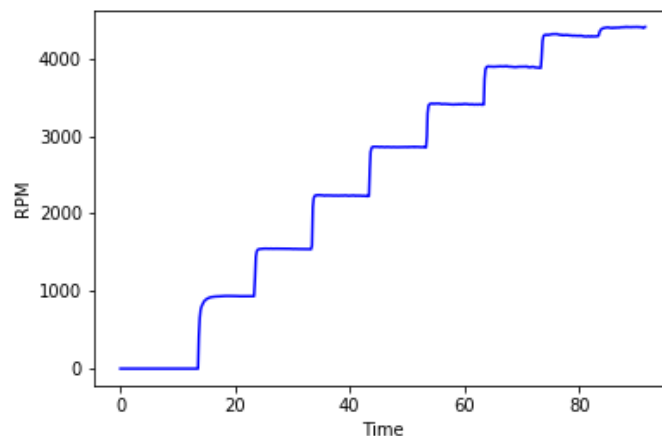
4. Metodología de medición:

Es de gran importancia aclarar que cada vez que se realice el montaje del sistema, es necesario tomar el valor de densidad. Este se tomará como constante durante toda la prueba debido a la corta duración de esta, sin embargo, si la prueba queda incompleta y requiere de un espacio adicional para terminarla, si este espacio adicional no es continuo al espacio actual, es valor de la densidad debe tomarse de nuevo.

El valor de la densidad será medido 3 veces con el fin de tener un mejor estimativo y un error asociados a esta medición

a. Pruebas en Hover:

Se realizarán un total de 3 mediciones en ausencia de flujo externo, cada una de estas representa la variación de velocidad angular que se muestra a continuación, es decir con tiempos de estabilización de cada escalón de 10s, y un rango de 0 hasta 6500 RPM, con rampas de 100 RPM:



A continuación, se presenta el formato de tabla que debe llenarse con el fin de registrar los datos (La tabla completa se encuentra en anexos):

Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje

b. Pruebas con flujo cruzado:

En total se realizarán 60 pruebas (20 horas en total). En este caso, se usarán las mismas velocidades angulares en el protocolo de pruebas estáticas, pero adicionándole a cada una, velocidades de viento incidente de 5, 10 y 20 m/s, y cada configuración de rampas de velocidad-viento, se le otorgarán ángulos de incidencia con respecto al viento de 0°, 45° y 90°

En este caso, deberá ser diligenciada la siguiente tabla:

Viento inincidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje

5. Post Procesamiento de datos:

Con el fin de manipular y procesar los datos adquiridos, se utilizará el software libre python™. A continuación, se presenta el código propuesto para la lectura y procesamiento de datos en función del nombre del archivo donde se encuentren guardados:

```
In [8]: import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
def llamarDatos (nombreArchivo):
    import os
    import pandas as pd
    serie=os.path.join('Data',nombreArchivo+'.csv')
    serie_pd = pd.read_csv(serie, sep = ',', encoding='latin-1')
    return serie_pd

def datos(nombreArchivo,Fuerza):
    data=llamarDatos(nombreArchivo)
    RPM=data['Motor Electrical Speed (RPM)'][~np.isnan(data[Fuerza])]
    fuerza=data[Fuerza][~np.isnan(data[Fuerza])]
    time=data['Time (s)'][~np.isnan(data[Fuerza])]
    return time,RPM,fuerza

def plots(nombreArchivo):
    thrust=datos(nombreArchivo,'Thrust (N)')[2]
    torque=datos(nombreArchivo,'Torque (N·m)')[2]

    timeTh=datos(nombreArchivo,'Thrust (N)')[0]
    timeT=datos(nombreArchivo,'Torque (N·m)')[0]

    RPMTh=datos(nombreArchivo,'Thrust (N)')[1]
    RPMT=datos(nombreArchivo,'Torque (N·m)')[1]

    plt.figure(1)#RPM vs Thrust
    plt.plot(RPMTh,thrust,'b^')
    plt.xlabel('RPM')
    plt.ylabel('Thrust [N]')
    plt.savefig(nombreArchivo+'_Thrust_vs_RPM')
    plt.show

    plt.figure(2)#RPM vs Torque
    plt.plot(RPMT,torque,'b^')
    plt.xlabel('RPM')
    plt.ylabel('Torque [Nm]')
    plt.savefig(nombreArchivo+'_Torque_vs_RPM')
    plt.show

    plt.figure(3)#Torque vs Time
    plt.plot(timeT,torque,'b-')
    plt.xlabel('Time')
    plt.ylabel('Torque [Nm]')
    plt.savefig(nombreArchivo+'_Torque_vs_Time')
    plt.show

    plt.figure(4)#Thrust vs Time
    plt.plot(timeTh,thrust,'b-')
    plt.xlabel('Time')
    plt.ylabel('Thrust [N]')
    plt.savefig(nombreArchivo+'_Thrust_vs_Time')
    plt.show

    plt.figure(5)#Torque vs Time
    plt.plot(timeTh,RPMTh,'b-')
    plt.xlabel('Time')
    plt.ylabel('RPM')
    plt.savefig(nombreArchivo+'_RPM_vs_Time')
    plt.show
    return
```

```
In [9]: plots('Log_2018-03-08_161928')
```

6. ANEXOS:

a. Tabla pruebas en hover:

Medición	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	0						
2	950						
3	1150						
4	1250						
5	1350						
6	1450						
7	1550						
8	1650						
9	1750						
10	1850						
11	1950						
12	2050						
13	2150						
14	2250						
15	2350						
16	2450						
17	2550						
18	2650						
19	2750						
20	2850						
21	2950						
22	3050						
23	3150						
24	3250						
25	3350						
26	3450						

27	3550						
28	3650						
29	3750						
30	3850						
31	3950						
32	4050						
33	4150						
34	4250						
35	4350						
36	4450						
37	4550						
38	4650						
39	4750						
40	4850						
41	4950						
42	5050						
43	5150						
44	5250						
45	5350						
46	5450						
47	5550						
48	5650						
49	5750						
50	5850						
51	5950						
52	6050						
53	6150						
54	6250						
55	6350						
56	6450						
57	6550						

b. Tabla Pruebas con flujo cruzado:

i. Simulando avance:

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	5	0		45				
2	5	950		45				
3	5	1150		45				
4	5	1250		45				
5	5	1350		45				
6	5	1450		45				
7	5	1550		45				

8	5	1650		45				
9	5	1750		45				
10	5	1850		45				
11	5	1950		45				
12	5	2050		45				
13	5	2150		45				
14	5	2250		45				
15	5	2350		45				
16	5	2450		45				
17	5	2550		45				
18	5	2650		45				
19	5	2750		45				
20	5	2850		45				
21	5	2950		45				
22	5	3050		45				
23	5	3150		45				
24	5	3250		45				
25	5	3350		45				
26	5	3450		45				
27	5	3550		45				
28	5	3650		45				
29	5	3750		45				
30	5	3850		45				
31	5	3950		45				
32	5	4050		45				
33	5	4150		45				
34	5	4250		45				
35	5	4350		45				
36	5	4450		45				
37	5	4550		45				
38	5	4650		45				
39	5	4750		45				
40	5	4850		45				
41	5	4950		45				
42	5	5050		45				
43	5	5150		45				
44	5	5250		45				
45	5	5350		45				
46	5	5450		45				
47	5	5550		45				
48	5	5650		45				
49	5	5750		45				
50	5	5850		45				
51	5	5950		45				

52	5	6050		45				
53	5	6150		45				
54	5	6250		45				
55	5	6350		45				
56	5	6450		45				
57	5	6550		45				

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	10	0		45				
2	10	950		45				
3	10	1150		45				
4	10	1250		45				
5	10	1350		45				
6	10	1450		45				
7	10	1550		45				
8	10	1650		45				
9	10	1750		45				
10	10	1850		45				
11	10	1950		45				
12	10	2050		45				
13	10	2150		45				
14	10	2250		45				
15	10	2350		45				
16	10	2450		45				
17	10	2550		45				
18	10	2650		45				
19	10	2750		45				
20	10	2850		45				
21	10	2950		45				
22	10	3050		45				
23	10	3150		45				
24	10	3250		45				
25	10	3350		45				
26	10	3450		45				
27	10	3550		45				
28	10	3650		45				
29	10	3750		45				
30	10	3850		45				
31	10	3950		45				
32	10	4050		45				
33	10	4150		45				

34	10	4250		45				
35	10	4350		45				
36	10	4450		45				
37	10	4550		45				
38	10	4650		45				
39	10	4750		45				
40	10	4850		45				
41	10	4950		45				
42	10	5050		45				
43	10	5150		45				
44	10	5250		45				
45	10	5350		45				
46	10	5450		45				
47	10	5550		45				
48	10	5650		45				
49	10	5750		45				
50	10	5850		45				
51	10	5950		45				
52	10	6050		45				
53	10	6150		45				
54	10	6250		45				
55	10	6350		45				
56	10	6450		45				
57	10	6550		45				

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	20	0		45				
2	20	950		45				
3	20	1150		45				
4	20	1250		45				
5	20	1350		45				
6	20	1450		45				
7	20	1550		45				
8	20	1650		45				
9	20	1750		45				
10	20	1850		45				
11	20	1950		45				
12	20	2050		45				
13	20	2150		45				
14	20	2250		45				
15	20	2350		45				

16	20	2450	45				
17	20	2550	45				
18	20	2650	45				
19	20	2750	45				
20	20	2850	45				
21	20	2950	45				
22	20	3050	45				
23	20	3150	45				
24	20	3250	45				
25	20	3350	45				
26	20	3450	45				
27	20	3550	45				
28	20	3650	45				
29	20	3750	45				
30	20	3850	45				
31	20	3950	45				
32	20	4050	45				
33	20	4150	45				
34	20	4250	45				
35	20	4350	45				
36	20	4450	45				
37	20	4550	45				
38	20	4650	45				
39	20	4750	45				
40	20	4850	45				
41	20	4950	45				
42	20	5050	45				
43	20	5150	45				
44	20	5250	45				
45	20	5350	45				
46	20	5450	45				
47	20	5550	45				
48	20	5650	45				
49	20	5750	45				
50	20	5850	45				
51	20	5950	45				
52	20	6050	45				
53	20	6150	45				
54	20	6250	45				
55	20	6350	45				
56	20	6450	45				
57	20	6550	45				

ii. Simulando vuelo ascendente:

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	5	0		90				
2	5	950		90				
3	5	1150		90				
4	5	1250		90				
5	5	1350		90				
6	5	1450		90				
7	5	1550		90				
8	5	1650		90				
9	5	1750		90				
10	5	1850		90				
11	5	1950		90				
12	5	2050		90				
13	5	2150		90				
14	5	2250		90				
15	5	2350		90				
16	5	2450		90				
17	5	2550		90				
18	5	2650		90				
19	5	2750		90				
20	5	2850		90				
21	5	2950		90				
22	5	3050		90				
23	5	3150		90				
24	5	3250		90				
25	5	3350		90				
26	5	3450		90				
27	5	3550		90				
28	5	3650		90				
29	5	3750		90				
30	5	3850		90				
31	5	3950		90				
32	5	4050		90				
33	5	4150		90				
34	5	4250		90				
35	5	4350		90				
36	5	4450		90				
37	5	4550		90				
38	5	4650		90				
39	5	4750		90				
40	5	4850		90				
41	5	4950		90				

42	5	5050		90				
43	5	5150		90				
44	5	5250		90				
45	5	5350		90				
46	5	5450		90				
47	5	5550		90				
48	5	5650		90				
49	5	5750		90				
50	5	5850		90				
51	5	5950		90				
52	5	6050		90				
53	5	6150		90				
54	5	6250		90				
55	5	6350		90				
56	5	6450		90				
57	5	6550		90				

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	10	0		90				
2	10	950		90				
3	10	1150		90				
4	10	1250		90				
5	10	1350		90				
6	10	1450		90				
7	10	1550		90				
8	10	1650		90				
9	10	1750		90				
10	10	1850		90				
11	10	1950		90				
12	10	2050		90				
13	10	2150		90				
14	10	2250		90				
15	10	2350		90				
16	10	2450		90				
17	10	2550		90				
18	10	2650		90				
19	10	2750		90				
20	10	2850		90				
21	10	2950		90				
22	10	3050		90				
23	10	3150		90				
24	10	3250		90				

25	10	3350		90				
26	10	3450		90				
27	10	3550		90				
28	10	3650		90				
29	10	3750		90				
30	10	3850		90				
31	10	3950		90				
32	10	4050		90				
33	10	4150		90				
34	10	4250		90				
35	10	4350		90				
36	10	4450		90				
37	10	4550		90				
38	10	4650		90				
39	10	4750		90				
40	10	4850		90				
41	10	4950		90				
42	10	5050		90				
43	10	5150		90				
44	10	5250		90				
45	10	5350		90				
46	10	5450		90				
47	10	5550		90				
48	10	5650		90				
49	10	5750		90				
50	10	5850		90				
51	10	5950		90				
52	10	6050		90				
53	10	6150		90				
54	10	6250		90				
55	10	6350		90				
56	10	6450		90				
57	10	6550		90				

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	20	0		90				
2	20	950		90				
3	20	1150		90				
4	20	1250		90				
5	20	1350		90				
6	20	1450		90				
7	20	1550		90				

8	20	1650	90				
9	20	1750	90				
10	20	1850	90				
11	20	1950	90				
12	20	2050	90				
13	20	2150	90				
14	20	2250	90				
15	20	2350	90				
16	20	2450	90				
17	20	2550	90				
18	20	2650	90				
19	20	2750	90				
20	20	2850	90				
21	20	2950	90				
22	20	3050	90				
23	20	3150	90				
24	20	3250	90				
25	20	3350	90				
26	20	3450	90				
27	20	3550	90				
28	20	3650	90				
29	20	3750	90				
30	20	3850	90				
31	20	3950	90				
32	20	4050	90				
33	20	4150	90				
34	20	4250	90				
35	20	4350	90				
36	20	4450	90				
37	20	4550	90				
38	20	4650	90				
39	20	4750	90				
40	20	4850	90				
41	20	4950	90				
42	20	5050	90				
43	20	5150	90				
44	20	5250	90				
45	20	5350	90				
46	20	5450	90				
47	20	5550	90				
48	20	5650	90				
49	20	5750	90				
50	20	5850	90				
51	20	5950	90				
52	20	6050	90				

53	20	6150	90				
54	20	6250	90				
55	20	6350	90				
56	20	6450	90				
57	20	6550	90				

iii. Simulando vuelo descendente:

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	5	0		-90				
2	5	950		-90				
3	5	1150		-90				
4	5	1250		-90				
5	5	1350		-90				
6	5	1450		-90				
7	5	1550		-90				
8	5	1650		-90				
9	5	1750		-90				
10	5	1850		-90				
11	5	1950		-90				
12	5	2050		-90				
13	5	2150		-90				
14	5	2250		-90				
15	5	2350		-90				
16	5	2450		-90				
17	5	2550		-90				
18	5	2650		-90				
19	5	2750		-90				
20	5	2850		-90				
21	5	2950		-90				
22	5	3050		-90				
23	5	3150		-90				
24	5	3250		-90				
25	5	3350		-90				
26	5	3450		-90				
27	5	3550		-90				
28	5	3650		-90				
29	5	3750		-90				
30	5	3850		-90				
31	5	3950		-90				
32	5	4050		-90				
33	5	4150		-90				
34	5	4250		-90				

35	5	4350		-90				
36	5	4450		-90				
37	5	4550		-90				
38	5	4650		-90				
39	5	4750		-90				
40	5	4850		-90				
41	5	4950		-90				
42	5	5050		-90				
43	5	5150		-90				
44	5	5250		-90				
45	5	5350		-90				
46	5	5450		-90				
47	5	5550		-90				
48	5	5650		-90				
49	5	5750		-90				
50	5	5850		-90				
51	5	5950		-90				
52	5	6050		-90				
53	5	6150		-90				
54	5	6250		-90				
55	5	6350		-90				
56	5	6450		-90				
57	5	6550		-90				

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
1	10	0		-90				
2	10	950		-90				
3	10	1150		-90				
4	10	1250		-90				
5	10	1350		-90				
6	10	1450		-90				
7	10	1550		-90				
8	10	1650		-90				
9	10	1750		-90				
10	10	1850		-90				
11	10	1950		-90				
12	10	2050		-90				
13	10	2150		-90				
14	10	2250		-90				
15	10	2350		-90				
16	10	2450		-90				
17	10	2550		-90				

18	10	2650		-90				
19	10	2750		-90				
20	10	2850		-90				
21	10	2950		-90				
22	10	3050		-90				
23	10	3150		-90				
24	10	3250		-90				
25	10	3350		-90				
26	10	3450		-90				
27	10	3550		-90				
28	10	3650		-90				
29	10	3750		-90				
30	10	3850		-90				
31	10	3950		-90				
32	10	4050		-90				
33	10	4150		-90				
34	10	4250		-90				
35	10	4350		-90				
36	10	4450		-90				
37	10	4550		-90				
38	10	4650		-90				
39	10	4750		-90				
40	10	4850		-90				
41	10	4950		-90				
42	10	5050		-90				
43	10	5150		-90				
44	10	5250		-90				
45	10	5350		-90				
46	10	5450		-90				
47	10	5550		-90				
48	10	5650		-90				
49	10	5750		-90				
50	10	5850		-90				
51	10	5950		-90				
52	10	6050		-90				
53	10	6150		-90				
54	10	6250		-90				
55	10	6350		-90				
56	10	6450		-90				
57	10	6550		-90				

Medición	Viento incidente [m/s]	Velocidad angular PWM [RPM]	Velocidad angular óptica [RPM]	Ángulo de inclinación [°]	Empuje [N]	% variación Empuje	Torque [Nm]	% variación Empuje
----------	------------------------	-----------------------------	--------------------------------	---------------------------	------------	--------------------	-------------	--------------------

1	20	0	-90				
2	20	950	-90				
3	20	1150	-90				
4	20	1250	-90				
5	20	1350	-90				
6	20	1450	-90				
7	20	1550	-90				
8	20	1650	-90				
9	20	1750	-90				
10	20	1850	-90				
11	20	1950	-90				
12	20	2050	-90				
13	20	2150	-90				
14	20	2250	-90				
15	20	2350	-90				
16	20	2450	-90				
17	20	2550	-90				
18	20	2650	-90				
19	20	2750	-90				
20	20	2850	-90				
21	20	2950	-90				
22	20	3050	-90				
23	20	3150	-90				
24	20	3250	-90				
25	20	3350	-90				
26	20	3450	-90				
27	20	3550	-90				
28	20	3650	-90				
29	20	3750	-90				
30	20	3850	-90				
31	20	3950	-90				
32	20	4050	-90				
33	20	4150	-90				
34	20	4250	-90				
35	20	4350	-90				
36	20	4450	-90				
37	20	4550	-90				
38	20	4650	-90				
39	20	4750	-90				
40	20	4850	-90				
41	20	4950	-90				
42	20	5050	-90				
43	20	5150	-90				
44	20	5250	-90				
45	20	5350	-90				

46	20	5450		-90				
47	20	5550		-90				
48	20	5650		-90				
49	20	5750		-90				
50	20	5850		-90				
51	20	5950		-90				
52	20	6050		-90				
53	20	6150		-90				
54	20	6250		-90				
55	20	6350		-90				
56	20	6450		-90				
57	20	6550		-90				