

Protocolo de pruebas

1. Objetivo:

Evaluar las características aerodinámicas del conjunto motor-hélice utilizado en el cuadricóptero ARAKNOS v2 a la luz de un análisis computacional previamente realizado (SIMULATION OF THE INTERACTION OF 4 ROTORS OF A QUADCOPTER IN HOVER. Mendoza Silva, S.)

2. Preparación del ensayo:

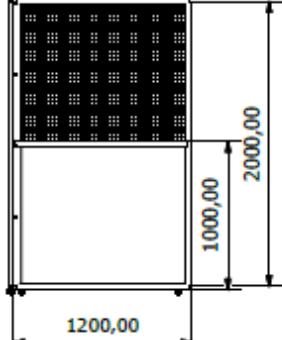
a. Elementos de protección:

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

Símbolo	Nombre	¿Requerido?
	Overol	<input checked="" type="checkbox"/>
	Gafas de seguridad	<input type="checkbox"/>
	Botas de protección	<input checked="" type="checkbox"/>
	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:

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Malla	Alambre calibre 5 o max calibre 7
2	5	bisagra	5 espaciadas uniformemente
3	4	rodachina	4, 2 por cada marco



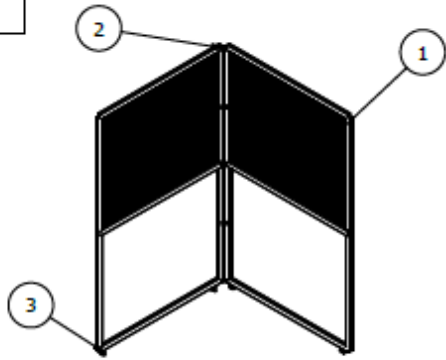


TABLA CONTROL DE CAMBIOS				
FECHA	UBICACIÓN	COTA	COTA CAMBIO	FIRMA

NOTA: Aplica para máximo 3 cotas, siempre y cuando estas no afecte drásticamente el diseño de la pieza y el tiempo de fabricación.

3. Metodología de medición:

a. Pruebas estáticas:

Para todas las pruebas se realizará una inspección de la densidad del aire antes de la prueba. Dado que no es posible realizar una medición directa de la densidad, se utilizará 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:

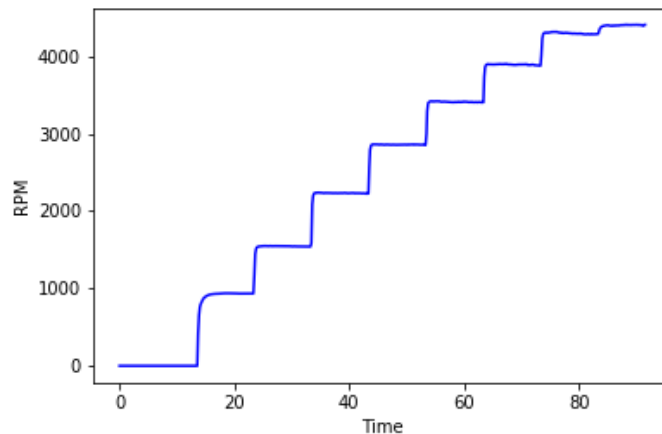
p = Presión atmosférica absoluta [Pa]

R_h = Humedad relativa ambiente [%]

T = Temperatura ambiente [K]

Se tomarán 3 datos antes de la completa medición con el fin de tener un valor esperado y un error asociado a la medición. Para la medición de temperatura ambiente y humedad relativa se utilizará un instrumento Anemómetro Fluke.

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:



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

Estos % de variación serán comparados con respecto a la variación de los valores calculados mediante el modelo computacional analizado (SIMULATION OF THE INTERACTION OF 4 ROTORS OF A QUADCOPTER IN HOVER. Mendoza Silva, S.)

b. Pruebas dinámicas:

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 0, 5, 10, 15 y 20 m/s, y cada configuración de rampas de velocidad-viento, se le otorgarán ángulos de incidencia con respecto al viento de 15°, 30°, 45° y 60°

En este caso, debido a vibraciones en el sistema se utilizará un filtro por análisis de frecuencias de datos para suavizar la curva de estos.

En este caso, los porcentajes de variación de las 3 medidas serán comparados con la variación de la velocidad inducida calculada con teoría de conservación de momentum para un rotor con radio constante vs la velocidad calculada mediante la teoría de aerofolio estándar.

$$v_{i_{aero}} = v_{i_{mom}} (1 + Kr \cos \psi)$$

Donde K es una constante dependiente de la geometría de la hélice y r es el radio del rotor.

Debido a la cantidad de pruebas, se tomarán medidas de densidad cada 20 pruebas (es decir que con cada cambio de ángulo incidente y con cada cambio de velocidad angular del rotor no se registraran diferentes valores de la densidad, sin embargo, con cada cambio de velocidad incidente SI se determinará el valor de esta densidad).

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

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

En este caso, deberá ser diligenciada la siguiente tabla:

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

4. Equipos y software para la medición:





a. Rotor por evaluar:

El rotor por evaluar pertenece al dron Arkanos v2. Fabricado por la empresa Advectorm™ (Ver figura). Este rotor consta de una hélice de 30 cm de fibra de Carbono unida a un motor Brushless RC Timer™ de 530 kVE y este a su vez conectado a un controlador ESC Simon K™ de 20 A. **Se debe tener en cuenta que la alimentación de este motor debe ser de 12V y su PMO se encuentra a 12V, 20 A.**

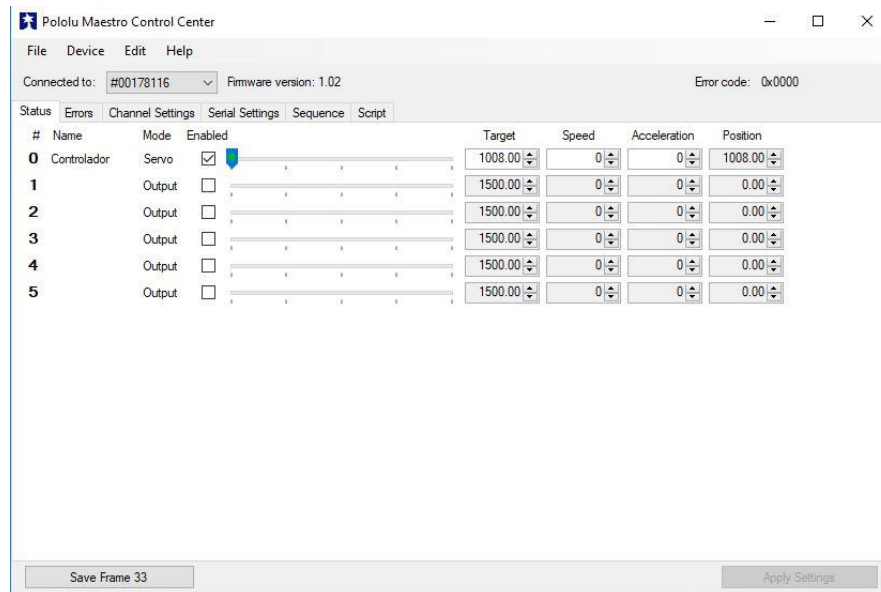


b. Pololu Micro Maestro 6:

Para controlar el ancho de pulso de la señal del PWM que ingresa al controlador ESC del motor Brushless del rotor, se utilizará un controlador de servomotores (Micro Maestro™) que se muestra a continuación:

				
	Micro Maestro	Mini Maestro 12	Mini Maestro 18	Mini Maestro 24
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:



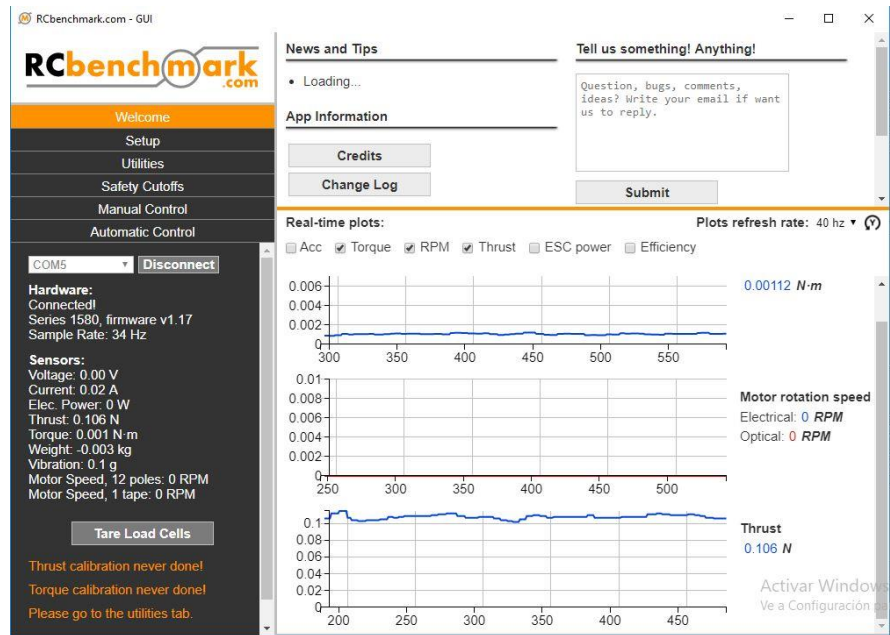
En este software, se puede controlar con el cursor azul el ancho de pulso, sin embargo, se recomienda usar las secuencias que se han programado previamente en la pestaña “sequence” o en la pestaña “scripts” en donde se encuentra definido la equivalencia entre anchos de pulso y velocidad angular (PWM),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

c. Adquisición de datos:

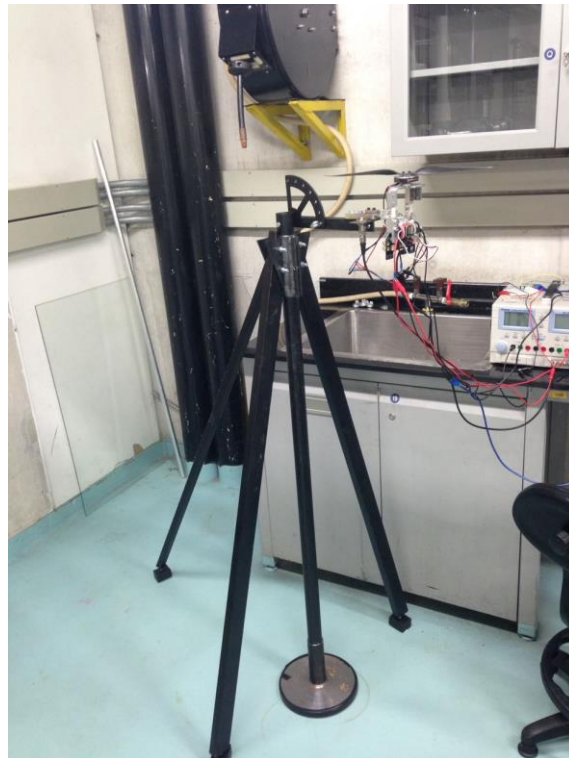
i. Fuerzas:

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:



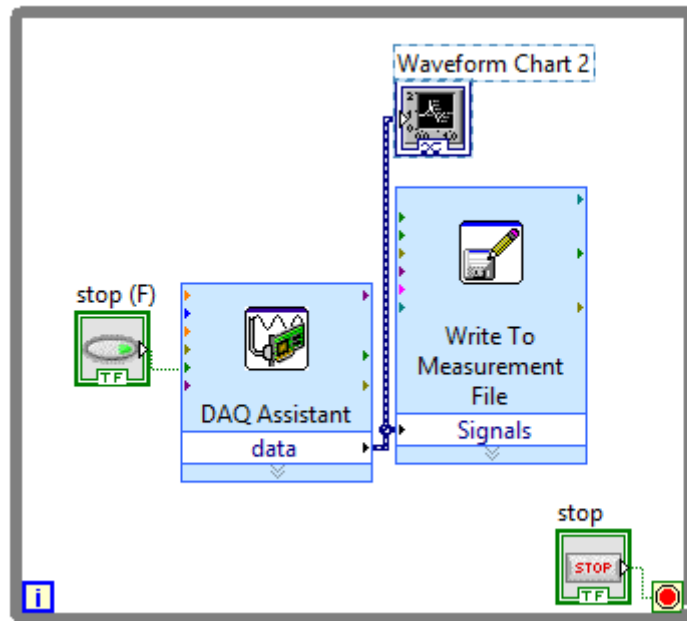


Debido al tamaño del rotor y su velocidad angular, es necesario acoplar este sistema dinamómetro a un montaje disponible en el laboratorio de dinámica de fluidos de la Universidad de Los Andes, con el fin de evitar vibraciones y reducir al mínimo la interferencia del flujo inducido por la hélice:



ii. Velocidad angular:

Para la medición de velocidad angular, se utilizará un sensor óptico, el cual se encuentra en el montaje descrito. La adquisición de estos datos de velocidad se realizará utilizando una tarjeta de National instruments™, en particular se utilizará la tarjeta de adquisición de voltaje 9205 y el software Labview™. A continuación, se muestra el código implementado:



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')

```