

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXPERIMENTAL
DE UN CUADRICÓPTERO ESTABILIZADO POR CONTROL DIFUSO”

AUTORES:

MARCO ROBLES

PAMELA SÁENZ

DIRECTOR:

ING. PAÚL AYALA

CODIRECTOR:

ING. DANNY SOTOMAYOR

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

CUADRICÓPTERO



CUADRICÓPTERO



- Aeronave no tripulada (UAV)
- Tiene cuatro motores y cuatro hélices
- Posee 6 grados de libertad

CUADRICÓPTERO



- Aeronave no tripulada (UAV)
- Tiene cuatro motores y cuatro hélices
- Posee 6 grados de libertad

CUADRICÓPTERO



- Aeronave no tripulada (UAV)
- Tiene cuatro motores y cuatro hélices
- Posee 6 grados de libertad

CUADRICÓPTERO



- Aeronave no tripulada (UAV)
- Tiene cuatro motores y cuatro hélices
- Posee 6 grados de libertad

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

CONTROL DIFUSO



CONTROL DIFUSO



- Permite tratar con modos imprecisos de razonamiento
- Se pueden manejar de manera lingüística
- Pueden contruirse en base a la experiencia

CONTROL DIFUSO



- Permite tratar con modos imprecisos de razonamiento
- Se pueden manejar de manera lingüística
- Pueden contruirse en base a la experiencia

CONTROL DIFUSO



- Permite tratar con modos imprecisos de razonamiento
- Se pueden manejar de manera lingüística
- Pueden contruirse en base a la experiencia

CONTROL DIFUSO



- Permite tratar con modos imprecisos de razonamiento
- Se pueden manejar de manera lingüística
- Pueden contruirse en base a la experiencia

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo experimental de un cuadricóptero que tenga la capacidad de mantener autónomamente su estabilidad de vuelo mediante un controlador difuso.

ESPECÍFICOS

- Escoger un armazón liviano y resistente capaz de soportar el vuelo y de albergar todos los componentes necesarios para el funcionamiento del cuadricóptero más un peso adicional de dos kilogramos.
- Seleccionar la combinación de motores-hélices adecuada para satisfacer la demanda de empuje del cuadricóptero por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo experimental de un cuadricóptero que tenga la capacidad de mantener autónomamente su estabilidad de vuelo mediante un controlador difuso.

ESPECÍFICOS

- Escoger un armazón liviano y resistente capaz de soportar el vuelo y de albergar todos los componentes necesarios para el funcionamiento del cuadricóptero más un peso adicional de dos kilogramos.
- Seleccionar la combinación de motores-hélices adecuada para satisfacer la demanda de empuje del cuadricóptero por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo experimental de un cuadricóptero que tenga la capacidad de mantener autónomamente su estabilidad de vuelo mediante un controlador difuso.

ESPECÍFICOS

- Escoger un armazón liviano y resistente capaz de soportar el vuelo y de albergar todos los componentes necesarios para el funcionamiento del cuadricóptero más un peso adicional de dos kilogramos.
- Seleccionar la combinación de motores-hélices adecuada para satisfacer la demanda de empuje del cuadricóptero por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo experimental de un cuadricóptero que tenga la capacidad de mantener autónomamente su estabilidad de vuelo mediante un controlador difuso.

ESPECÍFICOS

- Escoger un armazón liviano y resistente capaz de soportar el vuelo y de albergar todos los componentes necesarios para el funcionamiento del cuadricóptero más un peso adicional de dos kilogramos.
- Seleccionar la combinación de motores-hélices adecuada para satisfacer la demanda de empuje del cuadricóptero por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar y construir un prototipo experimental de un cuadricóptero que tenga la capacidad de mantener autónomamente su estabilidad de vuelo mediante un controlador difuso.

ESPECÍFICOS

- Escoger un armazón liviano y resistente capaz de soportar el vuelo y de albergar todos los componentes necesarios para el funcionamiento del cuadricóptero más un peso adicional de dos kilogramos.
- Seleccionar la combinación de motores-hélices adecuada para satisfacer la demanda de empuje del cuadricóptero por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

OBJETIVOS

ESPECÍFICOS

- Estudiar la posibilidad de construir un banco de ultracapacitores o en su defecto escoger la batería capaz de cubrir las demandas de energía de todo el sistema y que otorgue una independencia de vuelo de al menos veinte minutos.
- Encontrar las ecuaciones necesarias del control difuso y programarlas en el micro controlador para que mantengan estable al cuadricóptero.
- Transmitir desde el cuadricóptero la información necesaria de sensores y actuadores a una estación remota para organizarla, visualizarla y guardarla adecuadamente.

OBJETIVOS

ESPECÍFICOS

- Estudiar la posibilidad de construir un banco de ultracapacitores o en su defecto escoger la batería capaz de cubrir las demandas de energía de todo el sistema y que otorgue una independencia de vuelo de al menos veinte minutos.
- Encontrar las ecuaciones necesarias del control difuso y programarlas en el micro controlador para que mantengan estable al cuadricóptero.
- Transmitir desde el cuadricóptero la información necesaria de sensores y actuadores a una estación remota para organizarla, visualizarla y guardarla adecuadamente.

OBJETIVOS

ESPECÍFICOS

- Estudiar la posibilidad de construir un banco de ultracapacitores o en su defecto escoger la batería capaz de cubrir las demandas de energía de todo el sistema y que otorgue una independencia de vuelo de al menos veinte minutos.
- Encontrar las ecuaciones necesarias del control difuso y programarlas en el micro controlador para que mantengan estable al cuadricóptero.
- Transmitir desde el cuadricóptero la información necesaria de sensores y actuadores a una estación remota para organizarla, visualizarla y guardarla adecuadamente.

OBJETIVOS

ESPECÍFICOS

- Estudiar la posibilidad de construir un banco de ultracapacitores o en su defecto escoger la batería capaz de cubrir las demandas de energía de todo el sistema y que otorgue una independencia de vuelo de al menos veinte minutos.
- Encontrar las ecuaciones necesarias del control difuso y programarlas en el micro controlador para que mantengan estable al cuadricóptero.
- Transmitir desde el cuadricóptero la información necesaria de sensores y actuadores a una estación remota para organizarla, visualizarla y guardarla adecuadamente.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

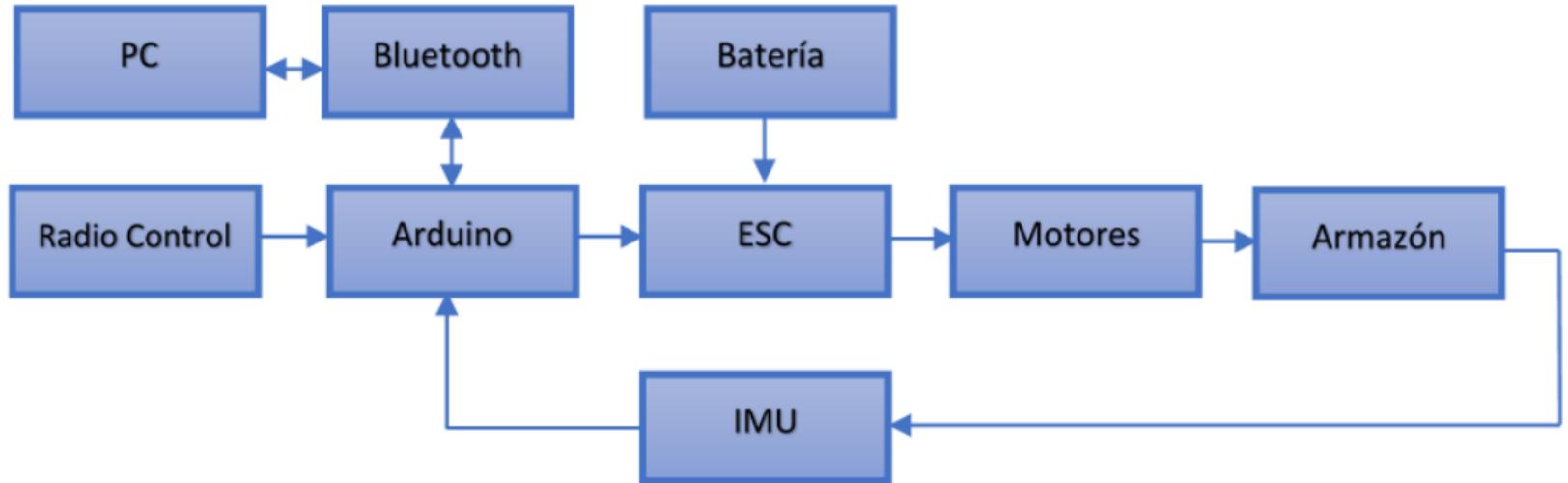
3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

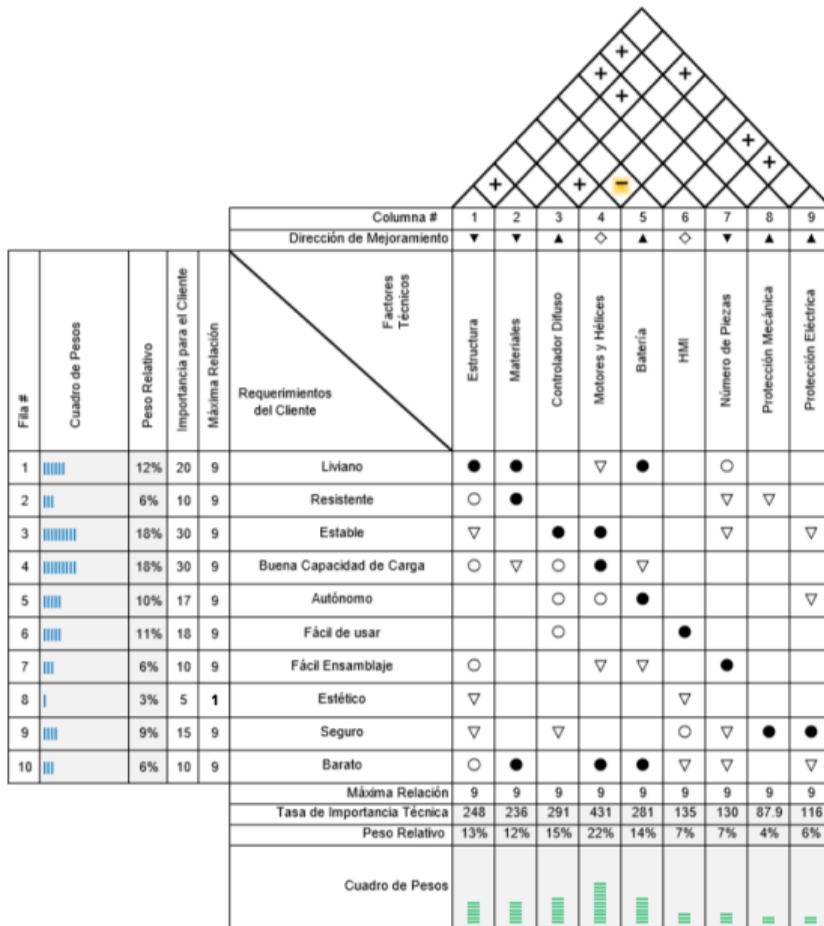
- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES



RESULTADOS DEL QFD

N	Factor Técnico	Peso Relativo
1	Motores y hélices	22 %
2	Controlador difuso	15 %
3	Batería	14 %
4	Estructura	13 %
5	Materiales	12 %
6	Número de piezas	7 %
7	HMI	7 %
8	Protección eléctrica	6 %
9	Protección mecánica	4 %

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS

	MT2814 KV770	MN3510 KV630	MN3508 KV580
			
Empuje Máximo	1860 g	1850 g	1520 g
Costo	61.9 \$	79.9 \$	69.9 \$
Consumo Máximo	349 w	288 w	219 w
Instalación	Tuerca-Tornillo	Plato-Pernos	Plato-Pernos
Peso	120 g	97 g	82 g

PESO ESPECÍFICO DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN

Empuje > Costo > Consumo de Potencia > Instalación = Peso

Criterio	Empuje	Costo	Consumo	Instalación	Peso	$\Sigma+1$	Ponderación
Empuje	-	1	1	1	1	5	0.34482759
Costo	0	-	1	1	1	4	0.27586207
Consumo	0	0	-	1	1	3	0.20689655
Instalación	0	0	0	-	0.5	1.5	0.10344828
Peso	0	0	0	0	-	1	0.06896552
					Suma	14.5	1

RESULTADOS

Solución	Empuje	Costo	Consumo	Instalación	Peso	$\Sigma+1$	Prioridad
Alternativa A	0.14367	0.04597	0.06896	0.01724	0.01149	0.28735	3
Alternativa B	0.14367	0.13793	0.03448	0.04310	0.02873	0.38793	1
Alternativa C	0.05747	0.09195	0.10344	0.04310	0.02873	0.32471	2
					Suma	1	

Para los motores MN3510 KV630 el fabricante recomienda usar hélices de fibra de carbono de 14 pulgadas.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- **Diseño del Controlador**
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

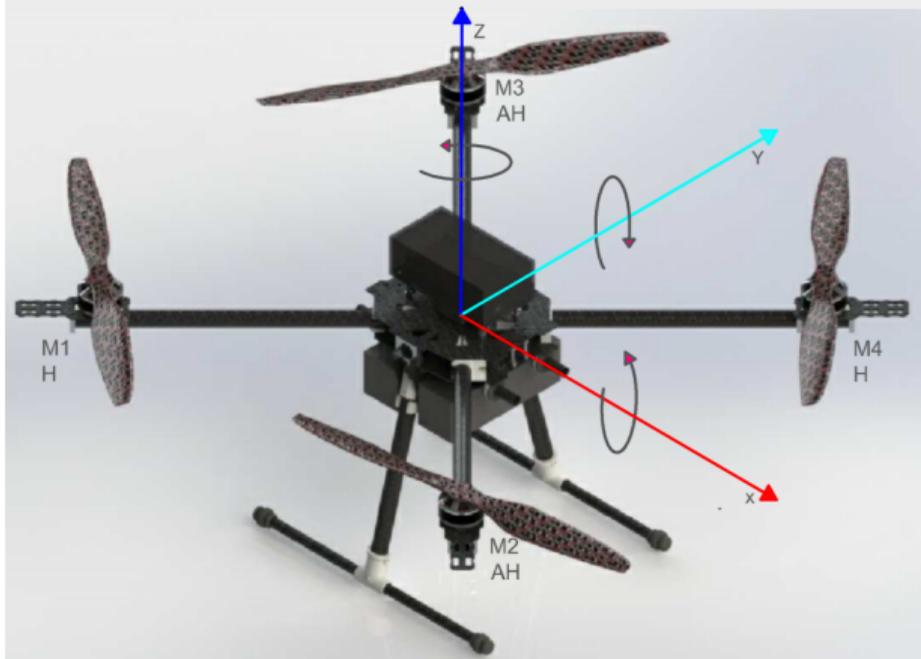
3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

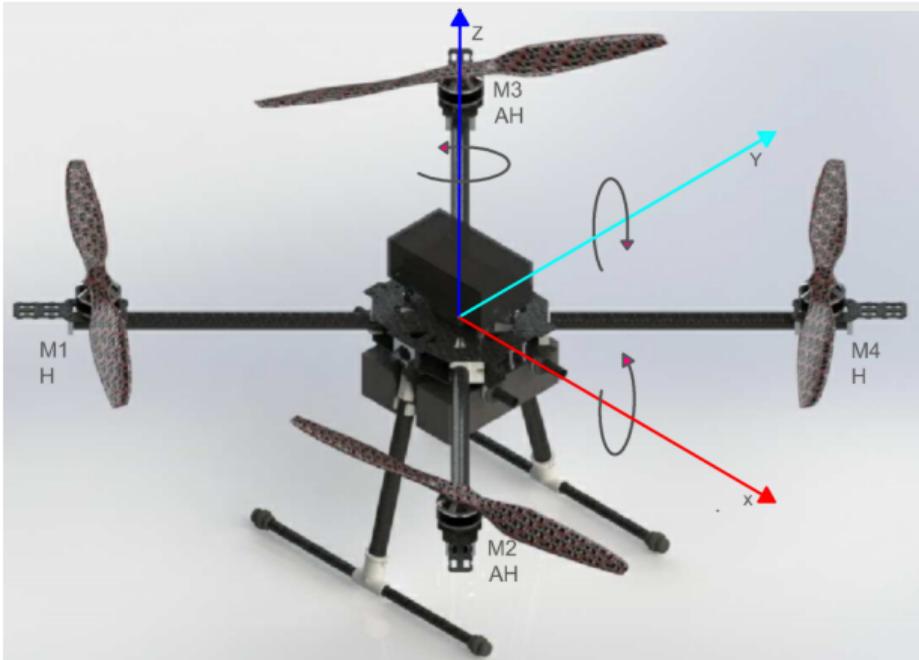
4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO

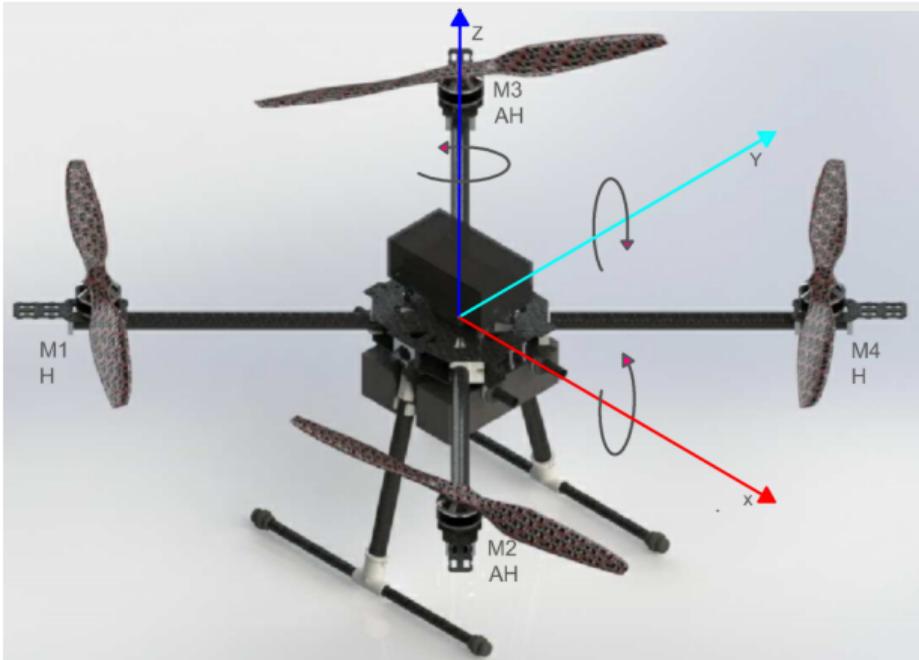


MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



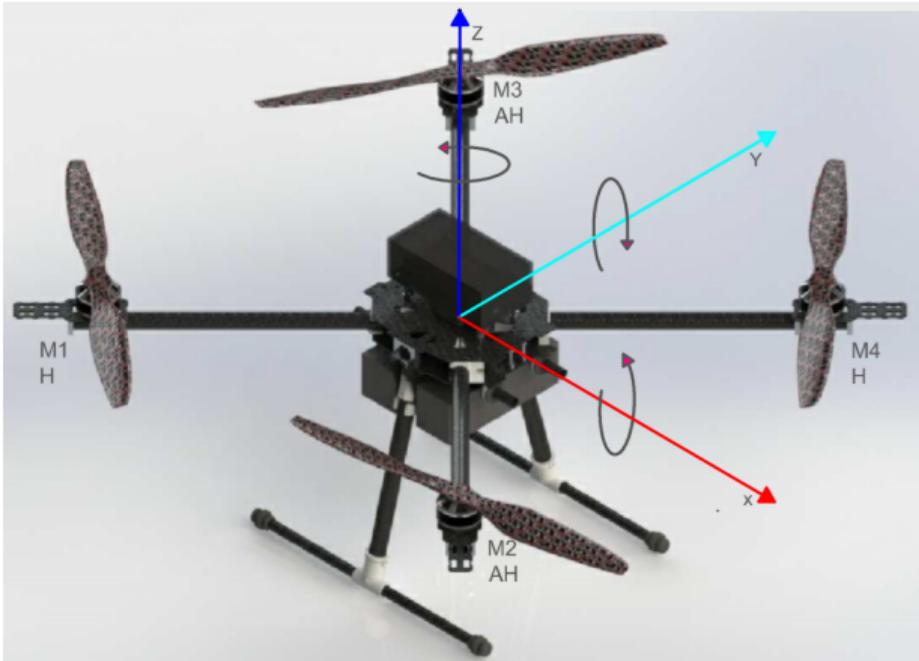
- $\ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$
- $\ddot{\phi} I_{yy} = (-F_1 - F_2 + F_3 + F_4)l$
- $\ddot{\psi} I_{zz} = (\tau_{m1} - \tau_{m2} - \tau_{m3} + \tau_{m4})$
- $\ddot{x} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\phi \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \sin\theta)$
- $\ddot{y} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi)$
- $\ddot{z} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\cos\phi \cos\theta) - g$

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



- $\ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$
- $\ddot{\phi} I_{yy} = (-F_1 - F_2 + F_3 + F_4)l$
- $\ddot{\psi} I_{zz} = (\tau_{m1} - \tau_{m2} - \tau_{m3} + \tau_{m4})$
- $\ddot{x} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\phi \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \sin\theta)$
- $\ddot{y} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi)$
- $\ddot{z} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\cos\phi \cos\theta) - g$

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



- $\ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$

- $\ddot{\phi} I_{yy} = (-F_1 - F_2 + F_3 + F_4)l$

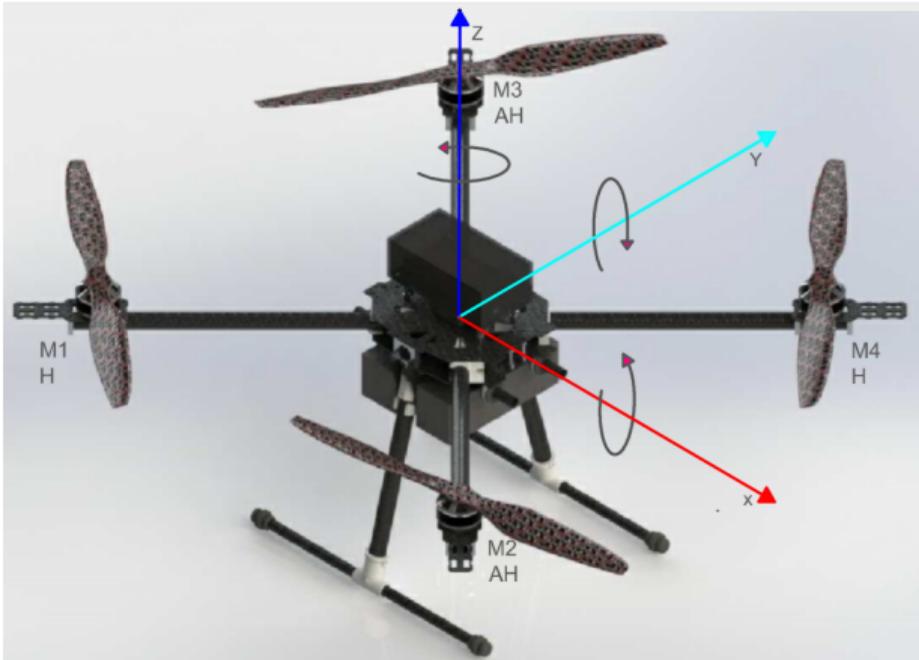
- $\ddot{\psi} I_{zz} = (\tau_{m1} - \tau_{m2} - \tau_{m3} + \tau_{m4})$

- $\ddot{x} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\phi \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \sin\theta)$

- $\ddot{y} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi)$

- $\ddot{z} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\cos\phi \cos\theta) - g$

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



$$\ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$$

$$\ddot{\phi} I_{yy} = (-F_1 - F_2 + F_3 + F_4)l$$

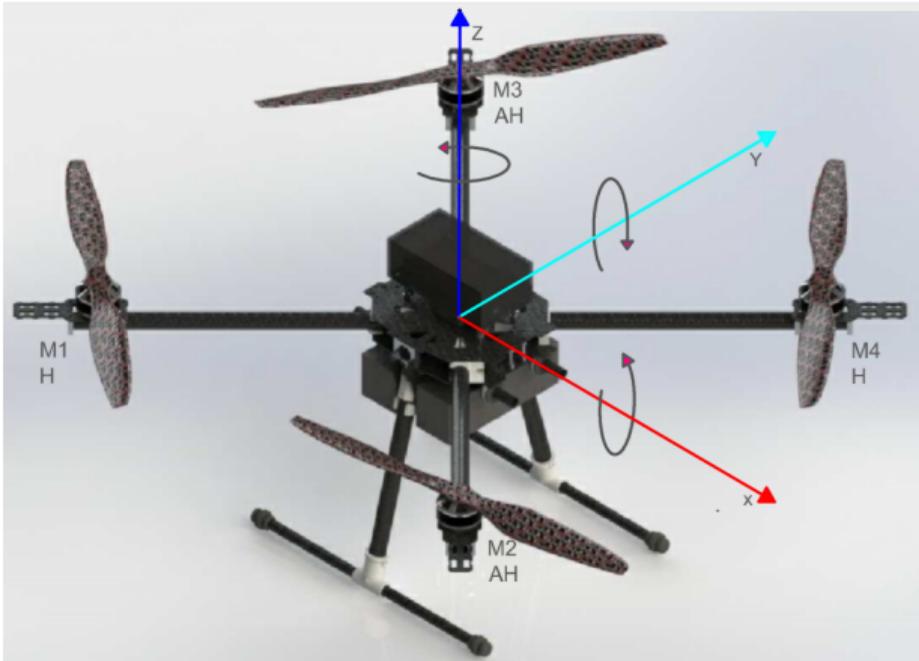
$$\ddot{\psi} I_{zz} = (\tau_{m1} - \tau_{m2} - \tau_{m3} + \tau_{m4})$$

$$\ddot{x} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\phi \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \sin\theta)$$

$$\ddot{y} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi)$$

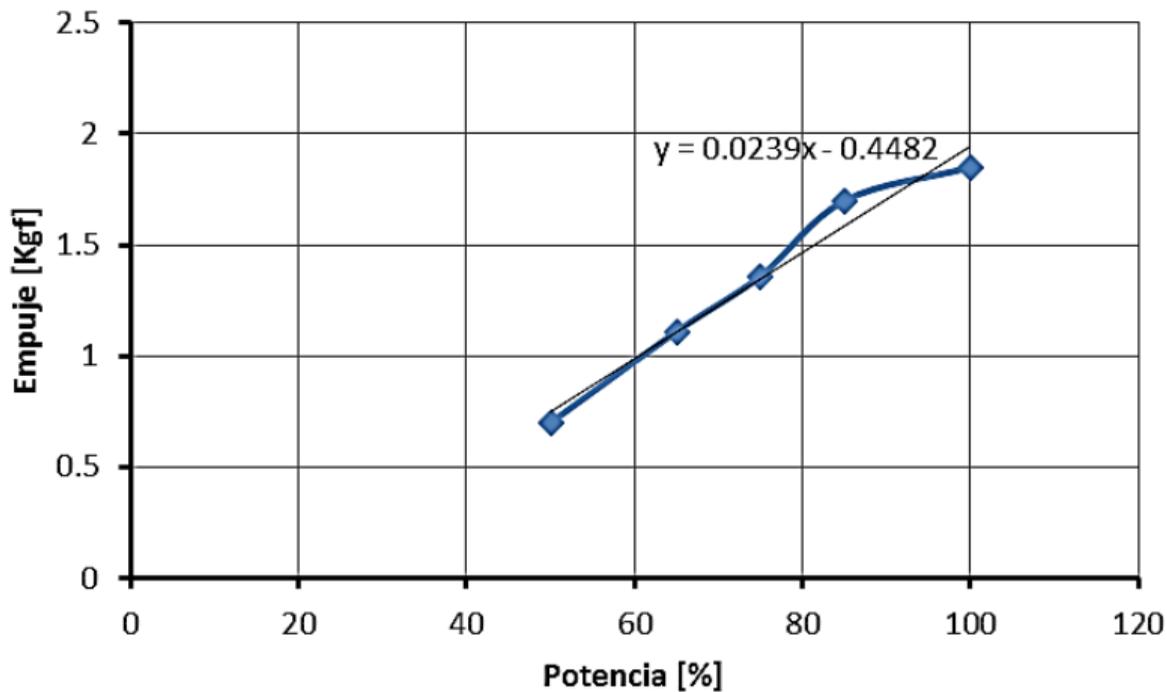
$$\ddot{z} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\cos\phi \cos\theta) - g$$

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



- $\ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$
- $\ddot{\phi} I_{yy} = (-F_1 - F_2 + F_3 + F_4)l$
- $\ddot{\psi} I_{zz} = (\tau_{m1} - \tau_{m2} - \tau_{m3} + \tau_{m4})$
- $\ddot{x} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\phi \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \sin\theta)$
- $\ddot{y} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\sin\psi \sin\theta \cos\phi - \cos\psi \sin\phi)$
- $\ddot{z} = \frac{1}{m} \sum_1^4 F_i (\cos\phi \cos\theta) - g$

MODELO DE LOS MOTORES



$$k = 0.0272 \frac{N}{\mu s}$$

PASOS PARA DISEÑAR UN CONTROLADOR DIFUSO

- 1 Escoger las entradas y salidas del controlador
- 2 Escoger el preprocesamiento de las entradas y el postprocesamiento de las salidas
- 3 Seleccionar la base de reglas
- 4 Seleccionar el mecanismo de inferencia
- 5 Escoger la interfaz de fusificación
- 6 Seleccionar la interfaz de defusificación

PASOS PARA DISEÑAR UN CONTROLADOR DIFUSO

- 1 Escoger las entradas y salidas del controlador
- 2 Escoger el preprocesamiento de las entradas y el postprocesamiento de las salidas
- 3 Seleccionar la base de reglas
- 4 Seleccionar el mecanismo de inferencia
- 5 Escoger la interfaz de fusificación
- 6 Seleccionar la interfaz de defusificación

PASOS PARA DISEÑAR UN CONTROLADOR DIFUSO

- 1 Escoger las entradas y salidas del controlador
- 2 Escoger el preprocesamiento de las entradas y el postprocesamiento de las salidas
- 3 Seleccionar la base de reglas
- 4 Seleccionar el mecanismo de inferencia
- 5 Escoger la interfaz de fusificación
- 6 Seleccionar la interfaz de defusificación

PASOS PARA DISEÑAR UN CONTROLADOR DIFUSO

- 1 Escoger las entradas y salidas del controlador
- 2 Escoger el preprocesamiento de las entradas y el postprocesamiento de las salidas
- 3 Seleccionar la base de reglas
- 4 Seleccionar el mecanismo de inferencia
- 5 Escoger la interfaz de fusificación
- 6 Seleccionar la interfaz de defusificación

PASOS PARA DISEÑAR UN CONTROLADOR DIFUSO

- 1 Escoger las entradas y salidas del controlador
- 2 Escoger el preprocesamiento de las entradas y el postprocesamiento de las salidas
- 3 Seleccionar la base de reglas
- 4 Seleccionar el mecanismo de inferencia
- 5 Escoger la interfaz de fusificación
- 6 Seleccionar la interfaz de defusificación

PASOS PARA DISEÑAR UN CONTROLADOR DIFUSO

- 1 Escoger las entradas y salidas del controlador
- 2 Escoger el preprocesamiento de las entradas y el postprocesamiento de las salidas
- 3 Seleccionar la base de reglas
- 4 Seleccionar el mecanismo de inferencia
- 5 Escoger la interfaz de fusificación
- 6 Seleccionar la interfaz de defusificación

PASOS PARA DISEÑAR UN CONTROLADOR DIFUSO

- 1 Escoger las entradas y salidas del controlador
- 2 Escoger el preprocesamiento de las entradas y el postprocesamiento de las salidas
- 3 Seleccionar la base de reglas
- 4 Seleccionar el mecanismo de inferencia
- 5 Escoger la interfaz de fusificación
- 6 Seleccionar la interfaz de defusificación

SELECCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA

$e(t) \rightarrow$ "error del ángulo"	
"Grande Negativo" \rightarrow "GN"	$[-\infty, -210]$
"Pequeño Negativo" \rightarrow "PN"	$[-210, -105]$
"Cero" \rightarrow "Z"	$[-105, 105]$
"Pequeño Positivo" \rightarrow "PP"	$[105, 210]$
"Grande Positivo" \rightarrow "GP"	$[210, \infty]$

$\frac{de(t)}{dt} \rightarrow$ "velocidad angular"	
"Grande Negativo" \rightarrow "GN"	$[-\infty, -320]$
"Pequeño Negativo" \rightarrow "PN"	$[-320, -160]$
"Cero" \rightarrow "Z"	$[-160, 160]$
"Pequeño Positivo" \rightarrow "PP"	$[160, 320]$
"Grande Positivo" \rightarrow "GP"	$[320, \infty]$

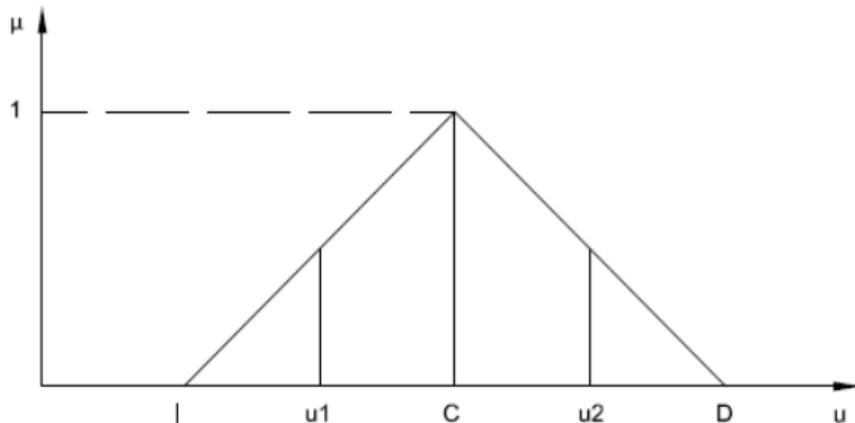
$u(t) \rightarrow$ "PWM"	
"Negativo 6" \rightarrow "N6"	$[-650, -550]$
"Negativo 5" \rightarrow "N5"	$[-550, -450]$
"Negativo 4" \rightarrow "N4"	$[-450, -350]$
"Negativo 3" \rightarrow "N3"	$[-350, -250]$
"Negativo 2" \rightarrow "N2"	$[-250, -150]$
"Negativo 1" \rightarrow "N1"	$[-150, -50]$
"Cero" \rightarrow "Z"	$[-50, 50]$
"Positivo 1" \rightarrow "P1"	$[50, 150]$
"Positivo 2" \rightarrow "P2"	$[150, 250]$
"Positivo 3" \rightarrow "P3"	$[250, 350]$
"Positivo 4" \rightarrow "P4"	$[350, 450]$
"Positivo 5" \rightarrow "P5"	$[450, 550]$
"Positivo 6" \rightarrow "P6"	$[550, 650]$

BASE DE REGLAS

Pitch - Roll		Velocidad				
		GN	PN	Z	PP	GP
Error	GN	N6	N4	N2	Z	P2
	PN	N5	N3	N1	P1	P3
	Z	N4	N2	Z	P2	P4
	PP	N3	N1	P1	P3	P5
	GP	N2	Z	P2	P3	P6

INTERFAZ DE FUSIFICACIÓN

- $\mu^I(u) = \begin{cases} 1 & u \leq c^I \\ 0 & u > c^I \end{cases}$
- $\mu^D(u) = \begin{cases} \frac{u-c^I}{0,5a} & c^I \leq u \leq c \\ \frac{c^D-u}{0,5a} & c < u \leq c^D \\ 0 & u < c^I \text{ or } u > c^D \end{cases}$
- $\mu^D(u) = \begin{cases} 1 & u \leq c^D \\ 0 & u > c^D \end{cases}$



INTERFAZ DE DEFUSIFICACIÓN

Método de Centro de Gravedad



$$salida_{nítida} = \frac{\sum_i b_i \int \mu(i)}{\sum_i \int \mu(i)}$$

Donde:

i número de regla

b_i es el centro de la función de membresía de la consecuente regla i

μ es el valor de la premisa

$\int \mu(i)$ área de la función de membresía i

CONTROL DE YAW

Transformada de Laplace para YAW

$$\blacksquare \psi = \frac{\tau}{I_{zz}s^2} \text{ rad}$$

El torque correspondiente al 50% de la potencia máxima es de 0.0166 N.m.
Entonces:

$$\psi = \frac{0.0332}{0.045s^2}$$

Con esta la ecuación se utiliza la herramienta de PID tool de Matlab y se obtiene las constantes:

$$k_p = 2.71$$

$$k_i = 0.09$$

$$k_d = 2.37$$

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- **Ultracapacitores y Baterías**
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

ULTRACAPACITORES

Ecuación de Descarga

■ $\tau = RC$

Para la aplicación la capacitancia requerida es de 240 F.

Modelo	Paralelos	# Total	Peso [g]	Capacitancia [F]	Autonomía [min]	Precio [\$]
BCAP0150	10	60	1920	250	20.83333	637.8
BCAP0150	2	12	1920	216.67	18.05556	462.48
BCAP0150	1	6	1680	250	20.83333	312
BCAP0150	1	6	3060	500	41.66667	396

BATERÍAS LI-PO

- $Ca = I \cdot t$
- $C = \frac{I_{m\acute{a}x}}{Ca}$

Para la aplicación se requiere una capacidad de 10400 mAh, con una C de mínimo 18.

Modelo	C	Ca [mAh]	Peso [g]	Precio [\$]
ZIPPY Flightmax 5000mAh 4S1P 40C	40	5000	560	51.09
Bias 40C 4S 5000mAh 14.8V	40	5000	535	79.99
Venom 25C 4S 5000mAh 14.8	25	5000	541	82.70
Turnigy 5000mAh 4S1P 14.8v 20C	20	5000	528	24.33

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

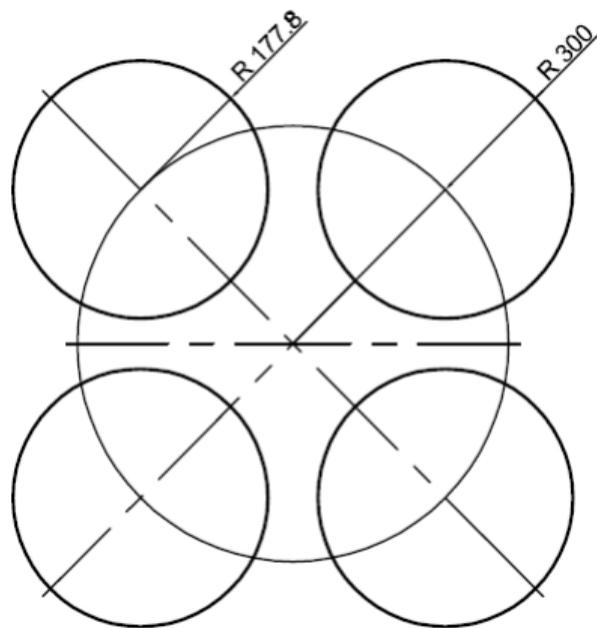
3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

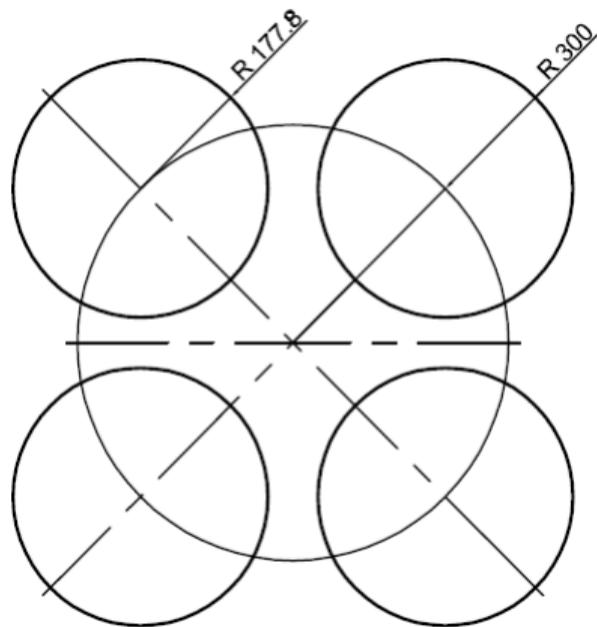
5 CONCLUSIONES

SELECCIÓN DEL ARMAZÓN



Material	Densidad E+3 [Kg/m ³]	Módulo de Young [GPa]	Precio [USD/Kg]
Fibra de Vidrio	1.5 - 1.8	13.8 - 27.6	4.8 - 5.3
Fibra de Carbono	1.68 - 1.72	71 - 79	27 - 28
Aluminio	2.67 - 2.73	71 - 75	1.65 - 1.82

SELECCIÓN DEL ARMAZÓN



Material	Densidad E+3 [Kg/m ³]	Módulo de Young [GPa]	Precio [USD/Kg]
Fibra de Vidrio	1.5 - 1.8	13.8 - 27.6	4.8 - 5.3
Fibra de Carbono	1.68 - 1.72	71 - 79	27 - 28
Aluminio	2.67 - 2.73	71 - 75	1.65 - 1.82

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

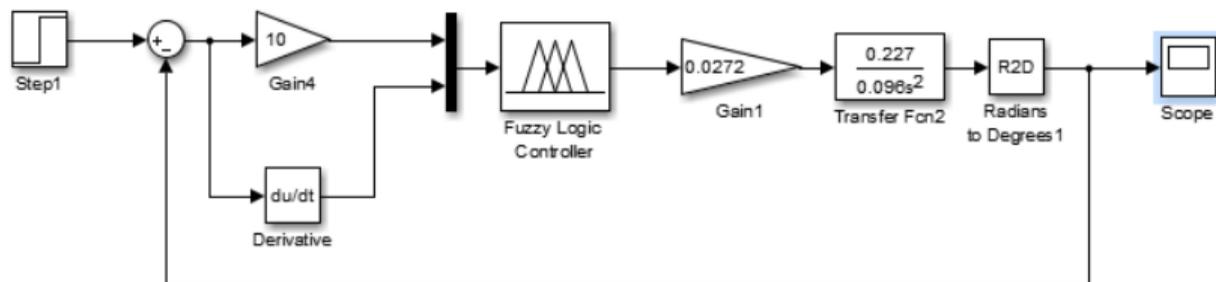
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

$$\blacksquare \ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$$

TRANSFORMADA DE LAPLACE

$$\blacksquare \theta = F \frac{l}{I_{xx} s^2} = F \frac{0.227}{0.096 s^2} \text{ rad} ; F = uk [N]$$



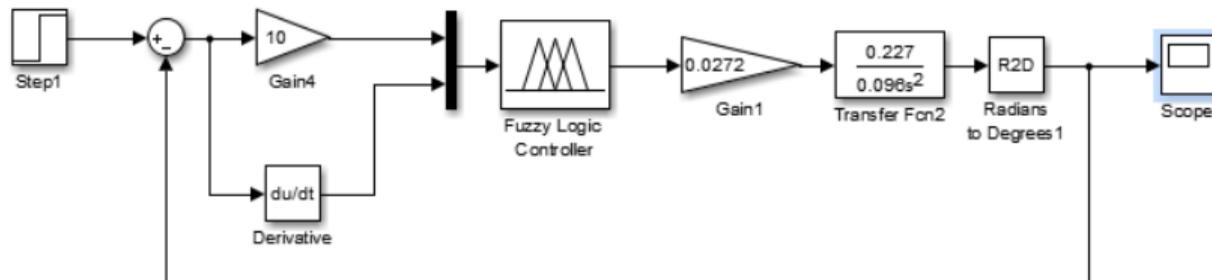
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

$$\ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$$

TRANSFORMADA DE LAPLACE

$$\theta = F \frac{l}{I_{xx} s^2} = F \frac{0.227}{0.096 s^2} \text{ rad} ; F = uk [N]$$



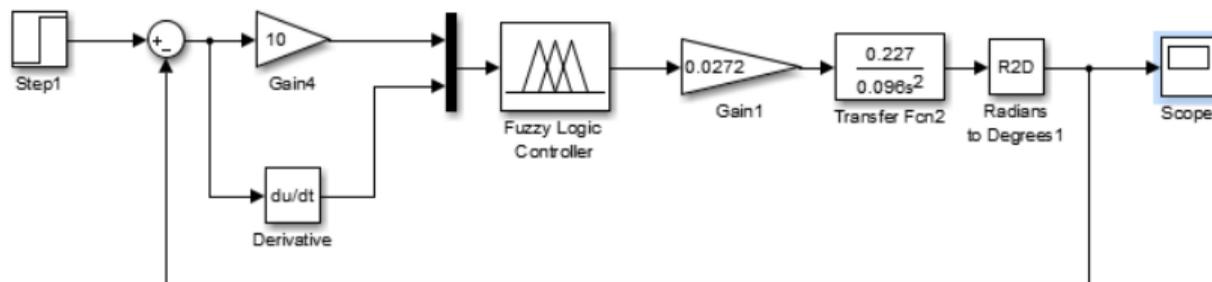
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

$$\blacksquare \ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$$

TRANSFORMADA DE LAPLACE

$$\blacksquare \theta = F \frac{l}{I_{xx} s^2} = F \frac{0.227}{0.096 s^2} \text{ rad} ; F = uk [N]$$



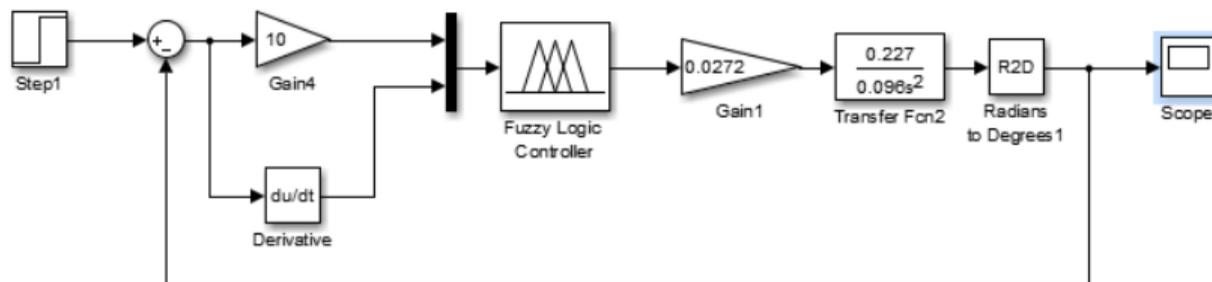
FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

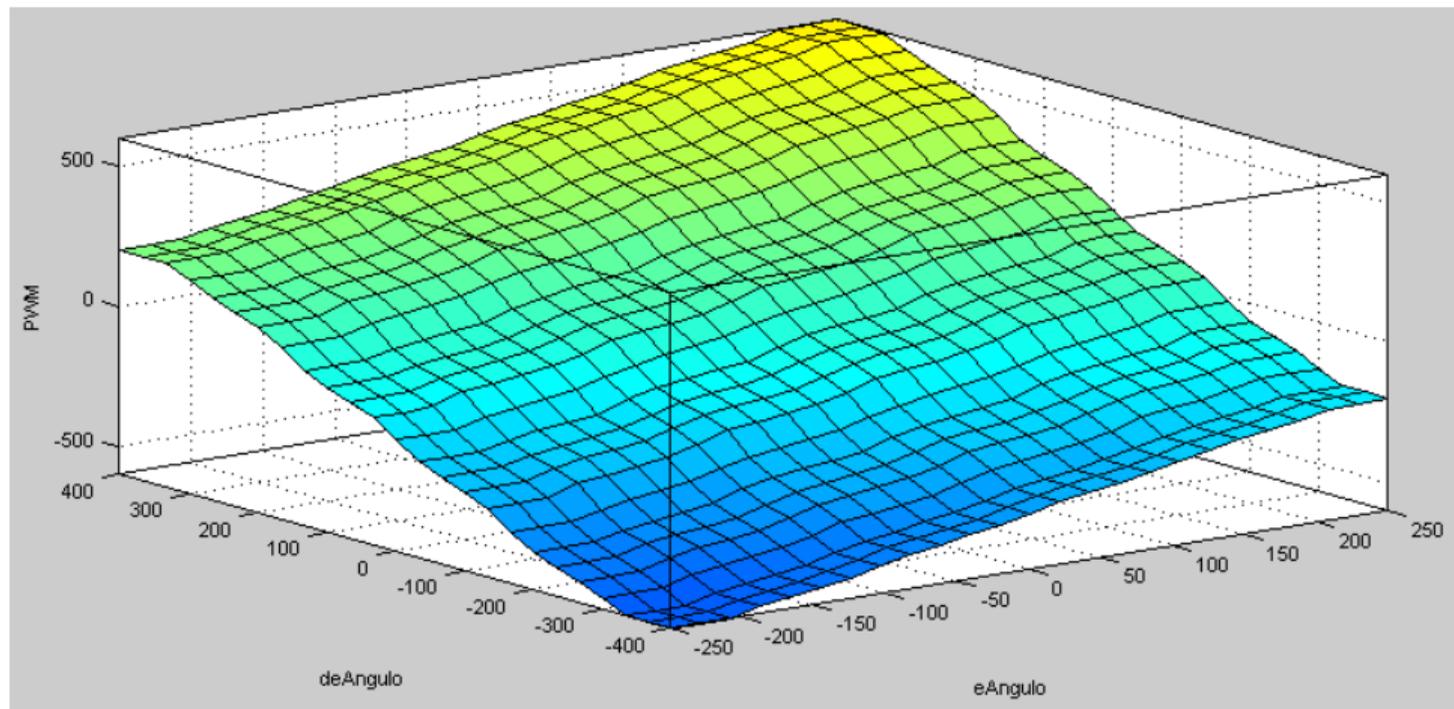
$$\blacksquare \ddot{\theta} I_{xx} = (F_1 - F_2 + F_3 - F_4)l$$

TRANSFORMADA DE LAPLACE

$$\blacksquare \theta = F \frac{l}{I_{xx} s^2} = F \frac{0.227}{0.096 s^2} \text{ rad} ; F = uk [N]$$



SUPERFICIE DE CONTROL



RESULTADO DE LA SIMULACIÓN

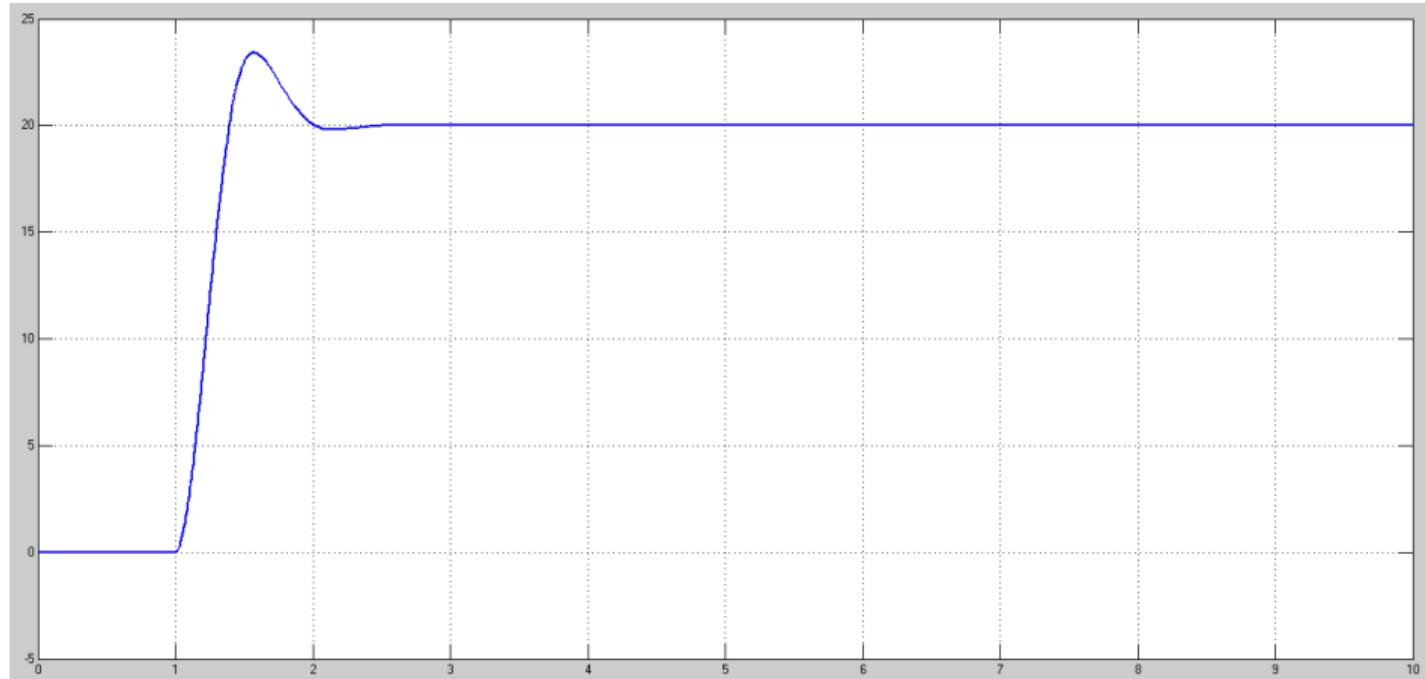
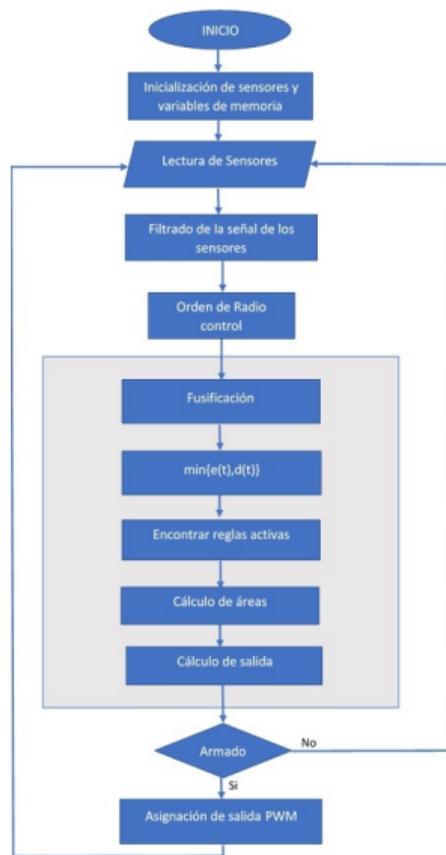


DIAGRAMA DE PROGRAMACIÓN



ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

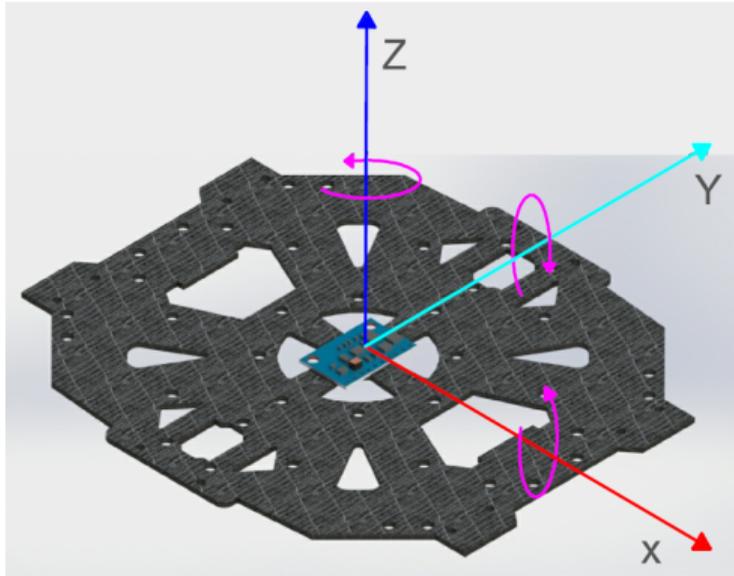
3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

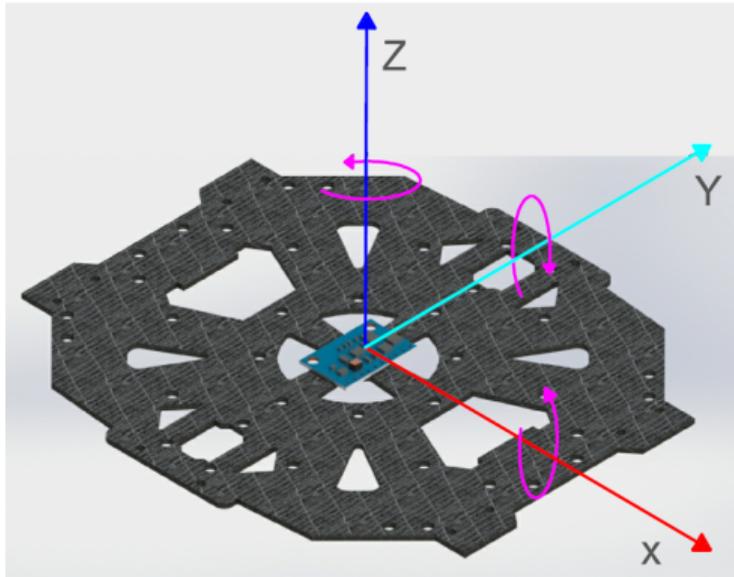
4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO

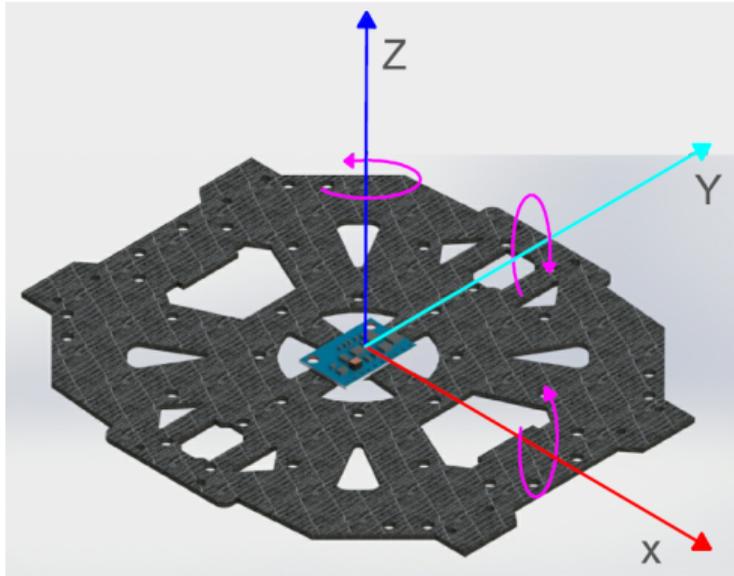


MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



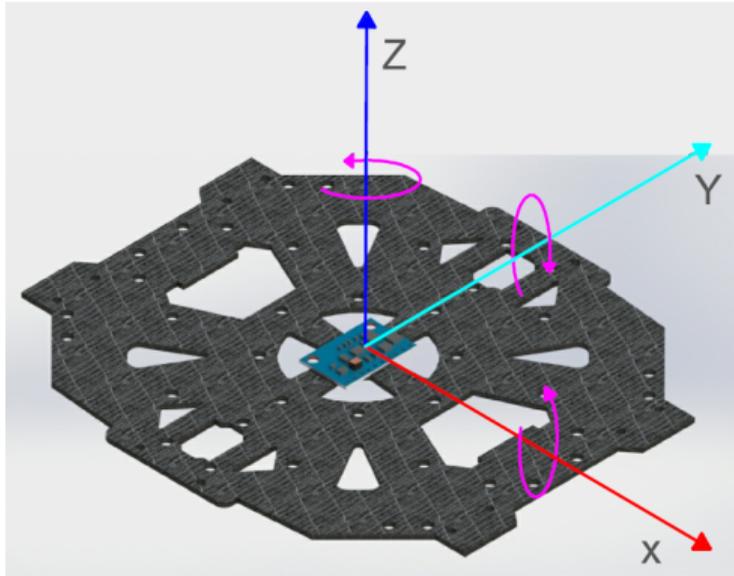
- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



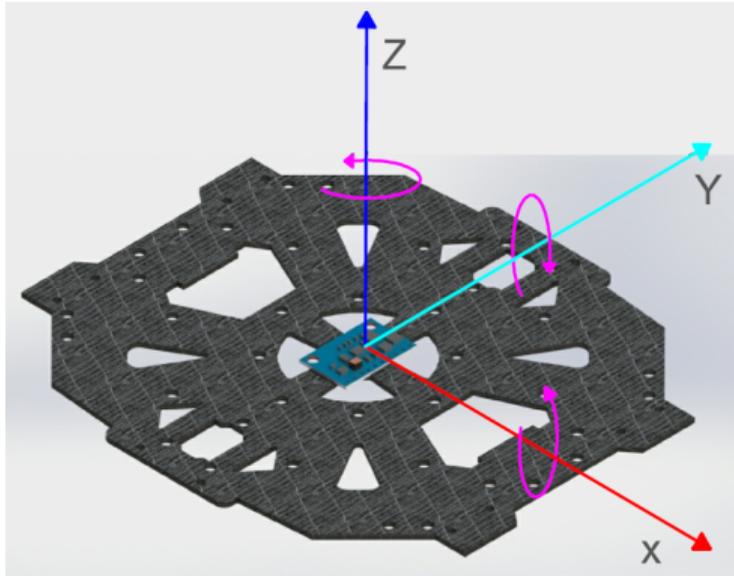
- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



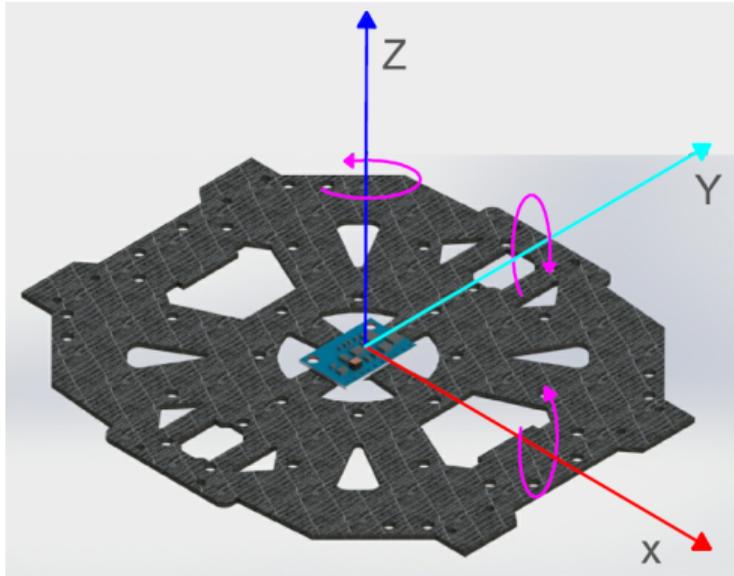
- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



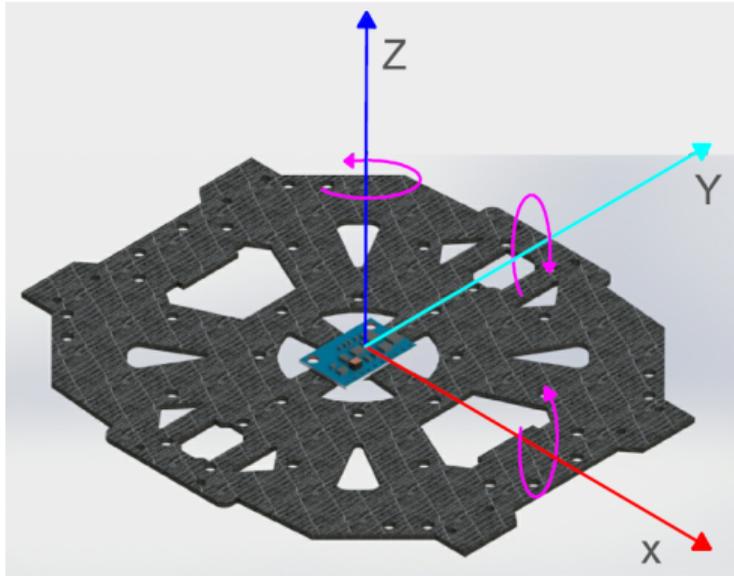
- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



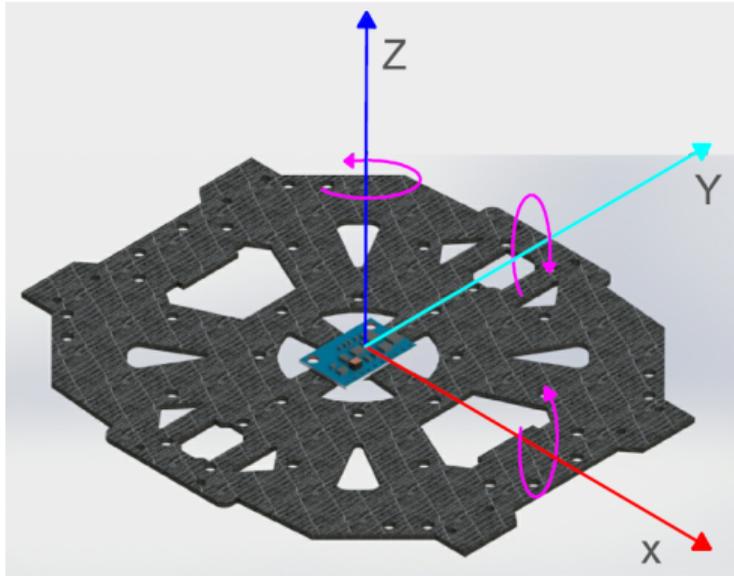
- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



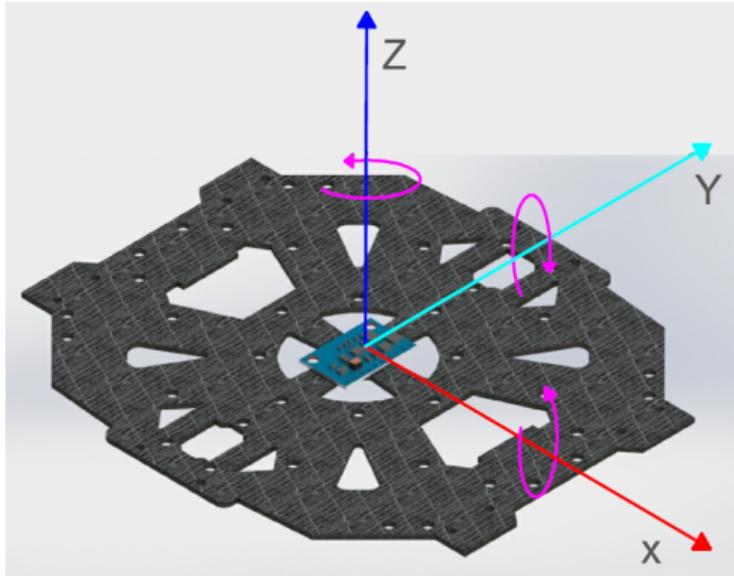
- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

MODELO DINÁMICO DEL CUERPO RÍGIDO



- Orientar la IMU
- Fijar tornillos
- Nivelar motores
- Comprobar sentido de giro
- Fijar cables
- Ubicar baterías
- Señalizar al cuadricóptero

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

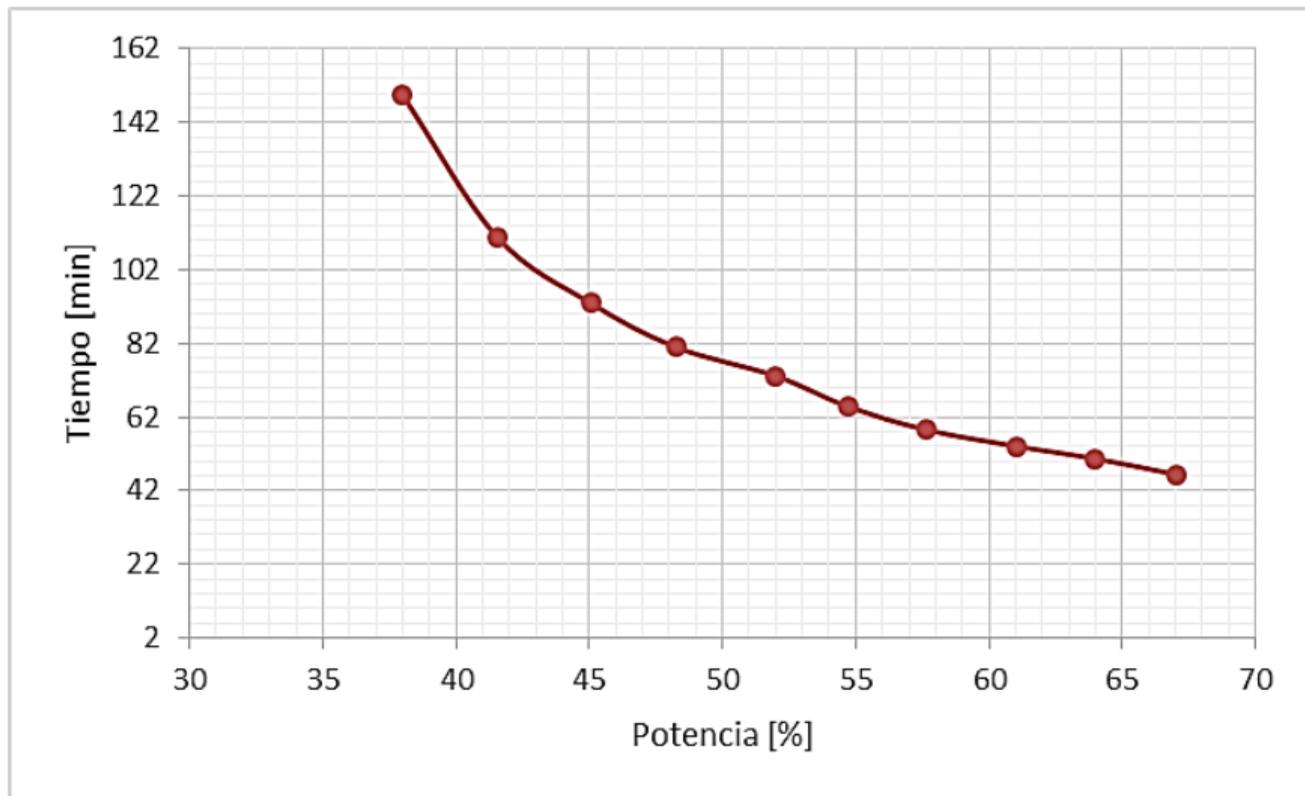
4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

PRUEBA DE CONSUMO



PRUEBA DE CONSUMO



PRUEBA DE PRECISIÓN



PRUEBA DE PRECISIÓN

N	Ángulo Radio Control [°]	Ángulo Cuadricóptero [°]	ess [%]
1	-16	-16.1	0.625
2	-10	-10.2	2.000
3	-5	-4.9	2.000
4	5	4.8	4.000
5	10	10.3	3.000
6	16	16.2	1.250

PRUEBA DE TIEMPO DE RESPUESTA ANTE PERTURBACIONES



PRUEBA DE TIEMPO DE RESPUESTA ANTE PERTURBACIONES

Peso 20 [g]	Potencia 10 [%]
-------------	-----------------

N	t_0 [s]	t_f [s]	Δt [s]
1	4.36	5.60	1.24
2	17.3	18.68	1.38
3	59.96	57.89	0.93
4	148.58	149.65	1.07
5	162.75	164.03	1.28
		Prom. [s]	1.18

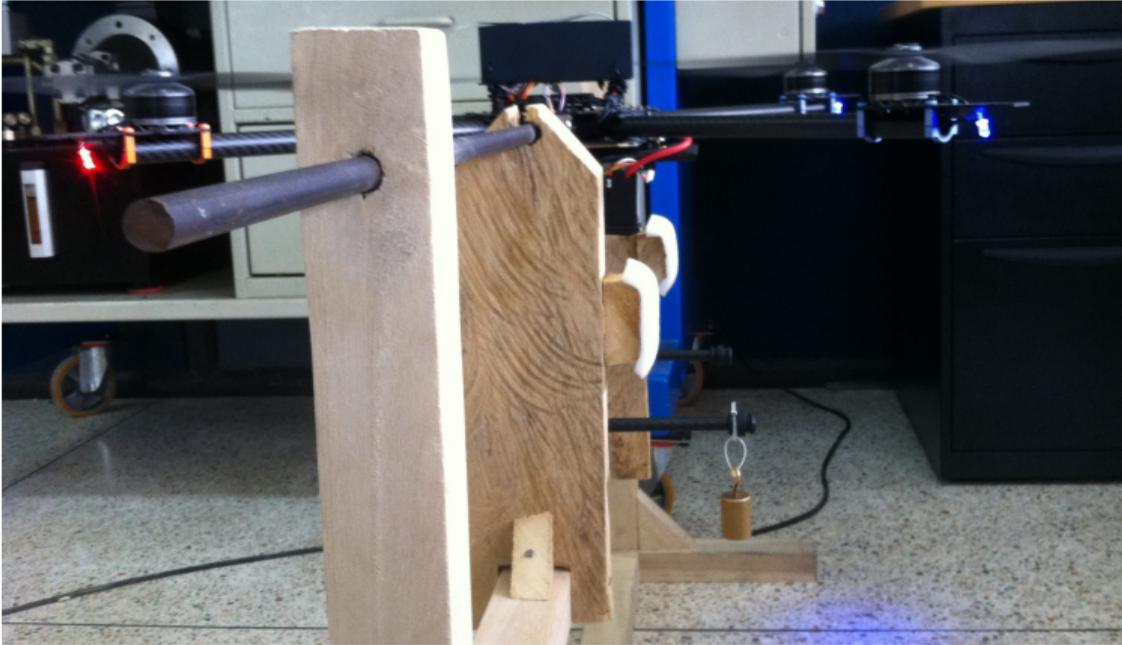
Peso 50 [g]	Potencia 20 [%]
-------------	-----------------

t_0 [s]	t_f [s]	Δt [s]
23.31	25.6	2.29
35.56	37.11	1.55
47.31	49.17	1.86
69.09	70.62	1.53
158.74	160.6	1.86
	Prom. [s]	1.818

Peso 100 [g]	Potencia 40 [%]
--------------	-----------------

t_0 [s]	t_f [s]	Δt [s]
2.89	4.64	1.75
13.69	15.58	1.89
26.15	28.01	1.86
36.26	37.97	1.71
135.71	137.57	1.86
	Prom. [s]	1.814

PRUEBA DE ESTABILIDAD CON PESO DISTRIBUIDO DE MANERA NO UNIFORME



PRUEBA DE ESTABILIDAD CON PESO DISTRIBUIDO DE MANERA NO UNIFORME

N	Peso [g]	Desviación 1 [°]	Desviación 2 [°]	Promedio [°]
1	20	0.5	0.2	0.35
2	50	0.9	0.4	0.65
3	70	1.3	0.6	0.95
4	100	1.5	0.8	1.15
5	120	1.8	0.8	1.30
6	150	3.5	1.7	2.60
7	170	3.9	2	2.95
8	200	3.6	1	2.30
9	250	4.4	1	2.70
10	300	5.3	1.2	3.25
11	350	6.1	1.9	4.00

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN

- Cuadricóptero
- Control Difuso

2 DISEÑO MECATRÓNICO

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD)
- Selección de Motores y Hélices
- Diseño del Controlador
- Ultracapacitores y Baterías
- Selección del Armazón

3 IMPLEMENTACIÓN

- Simulación
- Consideraciones de Montaje

4 PRUEBAS Y RESULTADOS

5 CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- El control de tipo difuso es preciso, responde ante perturbaciones externas con rapidez y es capaz de atenuar alteraciones en el modelo del sistema.
- Las características de los ultracapacitores hacen que no puedan ser utilizados para energizar el cuadricóptero.
- El filtro complementario permite hacer un ajuste fino de sus parámetros, y tiene la capacidad de generar señales con tolerancia al ruido causado por agentes externos.

CONCLUSIONES

- El control de tipo difuso es preciso, responde ante perturbaciones externas con rapidez y es capaz de atenuar alteraciones en el modelo del sistema.
- Las características de los ultracapacitores hacen que no puedan ser utilizados para energizar el cuadricóptero.
- El filtro complementario permite hacer un ajuste fino de sus parámetros, y tiene la capacidad de generar señales con tolerancia al ruido causado por agentes externos.

CONCLUSIONES

- El control de tipo difuso es preciso, responde ante perturbaciones externas con rapidez y es capaz de atenuar alteraciones en el modelo del sistema.
- Las características de los ultracapacitores hacen que no puedan ser utilizados para energizar el cuadricóptero.
- El filtro complementario permite hacer un ajuste fino de sus parámetros, y tiene la capacidad de generar señales con tolerancia al ruido causado por agentes externos.

CONCLUSIONES

- Un controlador difuso de tipo Mamdani requiere de más tiempo (4ms) de procesamiento en relación a un controlador de tipo PID (3.2ms).
- La interfaz y el módulo bluetooth fueron fundamentales porque permitieron tomar datos a distancia en tiempo real y así observar si el filtro complementario funciona adecuadamente.
- Debido a la configuración en equis de la aeronave, el control del yaw resulta menos riguroso por lo cual se utiliza un ajuste experimental de un controlador PID.

CONCLUSIONES

- Un controlador difuso de tipo Mamdani requiere de más tiempo (4ms) de procesamiento en relación a un controlador de tipo PID (3.2ms).
- La interfaz y el módulo bluetooth fueron fundamentales porque permitieron tomar datos a distancia en tiempo real y así observar si el filtro complementario funciona adecuadamente.
- Debido a la configuración en equis de la aeronave, el control del yaw resulta menos riguroso por lo cual se utiliza un ajuste experimental de un controlador PID.

CONCLUSIONES

- Un controlador difuso de tipo Mamdani requiere de más tiempo (4ms) de procesamiento en relación a un controlador de tipo PID (3.2ms).
- La interfaz y el módulo bluetooth fueron fundamentales porque permitieron tomar datos a distancia en tiempo real y así observar si el filtro complementario funciona adecuadamente.
- Debido a la configuración en equis de la aeronave, el control del yaw resulta menos riguroso por lo cual se utiliza un ajuste experimental de un controlador PID.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN