

Índice

Acrónimos	x
1 Introducción	1
1.1 Introducción general	1
1.2 Estado del arte	2
1.2.1 Gestión de activos	2
1.2.2 Vehículos aéreos no tripulados (UAV)	3
1.2.3 Estrategias de control	6
1.2.4 Discusión estado del arte	11
1.2.5 Objetivo general	12
1.2.6 Objetivos específicos	12
1.3 Alcances y limitaciones	12
1.3.1 Alcances	12
1.3.2 Limitaciones	13
1.4 Metodología	13
1.4.1 Revisión bibliográfica	13
1.4.2 Modelamiento y simulación matemática	14
1.4.3 Diseño y selección de componentes	14
1.4.4 Resultados experimentales	14
1.5 Temario	14
2 Desarrollo teórico	16
2.1 Modelamiento matemático	16
2.1.1 Sistemas de referencia	16
2.1.2 Comportamiento del UAV	18
2.1.3 Algoritmo de mezcla de motores	21
2.2 Simulación	21
2.2.1 Parámetros	22
2.2.2 Controlador	22
2.2.3 Simulación con control sobre Roll, Pitch, Yaw y Thrust	23
2.2.4 Simulación con control sobre posición X, Y y Z	27
3 Etapa de diseño	30
3.1 Componentes necesarios para construcción de un UAV	30
3.1.1 Motores <i>brushless</i>	30
3.1.2 ESC	31
3.1.3 Controlador de vuelo	31
3.1.4 Batería LiPo	32
3.1.5 Hélices	32
3.1.6 PDB	32
3.1.7 Frame	32
3.1.8 IMU	33
3.1.9 Barómetro	33
3.1.10 GPS	33

3.1.11	Sensor ultrasónico	33
3.1.12	Cámara	34
3.2	Diseño y selección de componentes	34
4	Etapa de construcción	43
4.1	Ensamble mecánico	43
4.2	Conexionado electrónico	52
4.3	Programación y control	55
4.3.1	Verificación de módulos	55
4.3.2	Transcripción de bibliotecas	61
4.3.3	Generación de PWM	66
4.3.4	ROS	68
4.3.5	Algoritmo de control	75
4.3.6	Comunicación entre tarjetas	78
5	Resultados	80
5.1	Revisión del funcionamiento del sistema integrado	80
5.2	Primera prueba de vuelo	84
5.3	Control con compensación manual	85
6	Conclusiones y trabajo futuro	90
6.1	Conclusiones	90
6.2	Trabajo futuro	91
	Referencias	93
	Anexos	96
A	Control sobre Roll, Pitch, Yaw y Thrust	96
B	Control sobre posición en ejes X, Y y Z	97
C	Plano de placa de montaje para Cora Z7	98
D	Código ejemplo para uso de barómetro	99
E	Código ejemplo para uso de la IMU	100
F	Código ejemplo para uso de sensor GPS	103
G	Biblioteca .h para barómetro	105
H	Código .cc para barómetro	109
I	Biblioteca .h para IMU	120
J	Código .cc para IMU	128
K	Código AXI-PWM.v	167

L	Código PWM.v	178
M	Código de ejemplo para PWM en Xilinx SDK	180
N	Diagrama de relaciones ROS del proyecto	182
Ñ	Código con monitoreo por puerto serial para controlador de vuelo	183
O	Código en lazo abierto para cálculo de compensaciones por motor.	196

Índice de figuras

1.1	Diagrama de principales tipos de UAV's	4
1.2	Diagrama de principales tipos de UAV's de hélice rotatoria	5
1.3	Tipos de control más usados en UAV's	7
1.4	Diagrama de bloques para controlador <i>fuzzy</i>	9
1.5	Ejemplo de red neuronal	10
2.1	Sistema coordinado inercial del dron.	17
2.2	Sistema coordinado del cuerpo del dron.	17
2.3	Diagrama de bloques control PD.	23
2.4	Diagrama de bloques control PID.	23
2.5	Diagrama de bloques de control en ángulos de euler y Thrust parte a. . .	24
2.6	Diagrama de bloques de control en ángulos de euler y Thrust parte b. . .	24
2.7	Comparación entre entrada escalón y respuesta para el ángulo Roll. . . .	26
2.8	Comparación entre entrada escalón y respuesta para el ángulo Pitch. . . .	26
2.9	Comparación entre entrada escalón y respuesta para el ángulo Yaw. . . .	26
2.10	Comparación entre entrada escalón y respuesta para el thrust (posición en Z).	26
2.11	Posición del dron en el eje X.	27
2.12	Posición del dron en el eje Y.	27
2.13	Modificación lazos de control para variables X, Y, Z	27
2.14	Comparación entre posición deseada en eje X y comportamiento del prototipo	28
2.15	Comparación entre posición deseada en eje X y comportamiento del prototipo	28
2.16	Ángulo Yaw del dron.	29
2.17	Comparación entre señal de control y comportamiento del ángulo Pitch. .	29
2.18	Comparación entre señal de control y comportamiento del ángulo Roll. .	29
3.1	Sección transversal de un motor brushless de corriente continua.	30
3.2	Circuito de control para motor DC <i>brushless</i>	31
3.3	Ejemplo de <i>wheelbase</i>	33
3.4	SoC Cora Z7	34
3.5	SoC ESP32	35
3.6	<i>Frame</i> ZMR250	36
3.7	Motores Emax RS2205 2300kV.	36
3.8	Tabla de información motores Emax 2300 kV	37
3.9	Batería LiPo 3S 2200 mAh 70C	38
3.10	Hélices 5030 fabricadas en ABS	39
3.11	ESC Littlebee 30[A].	39
3.12	PDB Matek	40
3.13	IMU GY-BNO080	40
3.14	Barómetro BME280.	41
3.15	Módulo GPS Ublox NEO-6M	41
3.16	Ultrasonido HC-SR04.	42
3.17	Cámara Raspberry PI NoIR.	42
4.1	Ensamble simulado en 3d para validar tamaño de componentes.	43
4.2	Representación física del ensamble simulado en 3d.	44
4.3	Análisis de deflexión sobre la cubierta del UAV con 8 soportes.	45

4.4	Análisis de deflexión sobre la cubierta del UAV con 6 soportes.	45
4.5	Separador de ABS para PDB.	46
4.6	Montaje de PDB y ESC's.	46
4.7	Montaje de motores.	47
4.8	Placa de montaje para SoC Cora Z7	48
4.9	Montaje de <i>shield</i> y cubierta superior del prototipo.	48
4.10	Montaje estructural completo del prototipo solo con piezas originales del frame.	49
4.11	Soportes de aterrizaje originales de frame ZMR-250.	50
4.12	Diseño de soportes de aterrizaje con altura extendida.	50
4.13	Soportes de aterrizaje impresos en 3D	51
4.14	Montaje estructural completo del prototipo con soportes de aterrizaje altos (vista isométrica).	52
4.15	Montaje estructural completo del prototipo con soportes de aterrizaje altos (vista frontal).	52
4.16	Soldadura de PDB	53
4.17	Soldadura de <i>pin headers</i>	54
4.18	<i>Shield</i> y placa para montaje de sensores	55
4.19	Salida de lecturas de barómetro con código de ejemplo.	57
4.20	Salida de lecturas de IMU con código de ejemplo.	59
4.21	Salida de lecturas de GPS con código de ejemplo.	61
4.22	Esquemático de plataforma hardware para comunicación I2C.	62
4.23	Módulo AXI PWM	67
4.24	Diagrama de relaciones en comunicación ROS	69
4.25	Diagrama de relaciones simplificado en comunicación ROS para el presente proyecto	75
5.1	Plantilla de terminal de Ubuntu para monitoreo de comunicación ROS	81
5.2	Lectura puerto serial Tarjeta Cora Z7 al inicio de la ejecución del código de prueba.	82
5.3	Lectura puerto serial Tarjeta Cora Z7 al estimar la altura base.	83
5.4	Lecturas del terminal Ubuntu para tópicos ROS en instantes iniciales de la prueba experimental.	84
5.5	Lecturas del terminal Ubuntu para tópicos ROS en instantes finales de la prueba experimental.	84
5.6	Capturas del resultado de la primera prueba de vuelo del prototipo.	85
5.7	Muestra del montaje utilizado para las pruebas con compensación directa sobre el giro de motores.	86
5.8	Capturas del resultado con compensación de valor 750 para corrección de Roll y 0 para corrección de Pitch.	88
5.9	Capturas del resultado con compensación de valor 4650 para corrección de Roll y 1300 para corrección de Pitch.	89
A.1	Diagrama de bloques de control en ángulos de euler y Thrust.	96
B.1	Diagrama de bloques del sistema con control de posición en X, Y y Z.	97
C.1	Plano de placa de montaje para SoC.	98
N.1	Diagrama de relaciones completo en comunicación ROS para el presente proyecto	182

Índice de cuadros

1.1	Ventajas y desventajas por tipo de control	11
-----	--	----