

Índice de contenidos

Índice de contenidos	I
Índice de figuras	IV
Lista de símbolos	x
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Conceptos básicos	3
2.1. Descripción general	3
2.1.1. Descripción del rotor principal	3
2.1.2. Comandos	5
2.1.3. Condiciones de vuelo	7
2.1.4. Descripción de los ángulos de <i>feathering</i> y <i>flapping</i>	8
2.2. Sistemas de referencia	10
2.2.1. Velocidad angular	12
2.2.2. Velocidad lineal en los sistemas inercial y no inercial	12
2.3. Fuerzas y momentos en el sistema fijo al helicóptero	13
2.3.1. Fuerzas involucradas	13
2.3.2. Momentos involucrados	15
2.3.3. Equilibrio de fuerzas y momentos	16
2.4. Teoría de momento	17
2.4.1. <i>Hovering</i> y vuelo vertical	17
2.4.2. Vuelo hacia adelante y en vertical	18
2.4.3. Generalización	19
2.5. Teoría de aspas (<i>blade theory</i>)	20

2.5.1.	Velocidad en las aspas para vuelo hacia adelante y vertical . . .	20
2.5.2.	T , H , Y y Q para vuelo hacia adelante y vertical	22
2.5.3.	Generalización	23
2.6.	Ecuaciones de los ángulos de <i>flapping</i>	24
2.6.1.	Generalización	25
2.7.	<i>Thrust</i> del rotor trasero	25
2.7.1.	<i>Hovering</i>	26
2.7.2.	Generalización	26
3.	Modelo dinámico	27
3.1.	Construcción del modelo	27
3.2.	Ecuaciones y variables involucradas	29
3.3.	Valores numéricos de los parámetros utilizados en el modelo	30
3.4.	Puntos de equilibrio	31
3.4.1.	<i>Hovering</i>	31
3.4.2.	Vuelo hacia adelante	32
3.4.3.	Giro coordinado	33
3.5.	Linealización del modelo	35
3.6.	Desacoplamiento de las ecuaciones	36
3.7.	Perturbaciones	37
4.	Diseño de los controladores	38
4.1.	Controladores y pilotos automáticos existentes	38
4.2.	Esquemas de control utilizados	40
4.2.1.	Controlador A	40
4.2.2.	Controlador B	41
4.3.	Seguimiento de referencia	42
4.4.	Pruebas en Matlab y JSBSim	43
4.5.	Control de altitud	45
5.	Resultados para <i>hovering</i>	47
5.1.	Resultados con el modelo lineal (Simulink)	47
5.1.1.	Primeros resultados	47
5.1.2.	Respuesta a una ráfaga de viento	50
5.1.3.	Despegue	50
5.2.	Resultados con JSBSim	52

5.2.1.	Despegue y prueba del controlador A	52
5.2.2.	Prueba del controlador B	53
5.2.3.	Pérdida de control	56
5.2.4.	Seguimiento de una rutina de vuelo	57
6.	Resultados para vuelo hacia adelante	63
6.1.	Resultados con el modelo lineal (Simulink)	63
6.1.1.	Primeros resultados	63
6.1.2.	Respuesta a una ráfaga de viento	66
6.2.	Resultados con JSBSim	66
7.	Resultados para giro coordinado	70
7.1.	Resultados con el modelo lineal (Simulink)	70
7.1.1.	Giro a la derecha	70
7.1.2.	Giro a la izquierda	71
7.2.	Resultados con JSBSim	74
7.2.1.	Giro a la derecha	76
7.2.2.	Giro a la izquierda	78
7.3.	Combinación de los modos de vuelo	80
8.	Conclusiones	83
8.1.	Resumen de los resultados obtenidos	83
8.2.	Trabajo a futuro	84
	Bibliografía	88
	A. Modelo matemático	89
	B. Matrices del espacio de estados y ganancias de los controladores	93
B.1.	<i>Hovering</i>	93
B.2.	Vuelo hacia adelante	95
B.3.	Giro coordinado a la derecha	97
B.4.	Giro coordinado a la izquierda	99