



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

PROYECTO FIN DE CARRERA



*Diseño de sistemas de control
para helicópteros mediante
combinación de controles
óptimos basados en modelos
linealizados*

Autor: Francisco Rafael Gavilán Jiménez

Ingeniería Aeronáutica

Tutor: Francisco Gordillo Álvarez
Cotutor: Sergio Esteban Roncero

Índice general

1. Introducción	5
I Descripción de la dinámica del helicóptero	7
2. Dinámica del helicóptero	9
2.1. Ecuaciones generales	9
2.2. Ecuaciones linealizadas: Dinámica acoplada	10
2.3. Ecuaciones linealizadas desacopladas: Dinámica longitudinal	12
2.4. Ecuaciones linealizadas desacopladas: Dinámica lateral-direccional	12
3. Equilibrio global del helicóptero	15
4. Análisis de estabilidad	19
4.1. Estabilidad longitudinal	19
4.2. Estabilidad lateral-direccional	22
5. Construcción de un modelo de simulación	25
5.1. Modelo longitudinal desacoplado	26
5.2. Modelo lateral-direccional desacoplado	30
5.3. Modelo acoplado	32
II Diseño de sistemas de aumento de estabilidad	33
6. Regulador de perturbaciones longitudinales	35
6.1. Diseño de las matrices de realimentación	36
6.2. Modelo del controlador en <i>Simulink</i>	38
6.3. Análisis de actuaciones	39
7. Regulador de perturbaciones laterales-direccionales	45
7.1. Diseño de las matrices de realimentación	45
7.2. Modelo del controlador en <i>Simulink</i>	47
7.3. Análisis de actuaciones	47
8. Estudio de los sistemas de aumento de estabilidad en el modelo acoplado	53
III Diseño de sistemas de control automáticos	61
9. Autopiloto de mantenimiento de velocidad	63

10. Autopiloto de mantenimiento de altitud, rumbo y velocidad	73
10.1. Inclusión de la altitud en las ecuaciones del helicóptero	73
10.2. Control óptimo con referencia variable	74
10.3. Desarrollo de los controladores	76
10.3.1. Sistema de control de velocidad y altitud	76
10.3.2. Sistema de control de rumbo	83
10.4. Simulación en el modelo acoplado	84
IV Apéndices	91
A. Descripción del helicóptero <i>Bo-105</i>	93
A.1. Derivadas de estabilidad	93
A.1.1. Derivadas de estabilidad longitudinales	94
A.1.2. Derivadas de estabilidad laterales-direccionales	96
A.1.3. Derivadas de estabilidad acopladas	98
A.1.4. Potencias de control	101