



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 |