

# Índice de contenidos

<b>Índice de contenidos</b>	<b>v</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>xiii</b>
<b>Glosario</b>	<b>xvii</b>
<b>Resumen</b>	<b>xix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xxi</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivo . . . . .	4
<b>2. Identificación de Sistemas</b>	<b>5</b>
2.1. Identificación de Sistemas y Estimación de Parámetros . . . . .	6
2.2. Proceso de Identificación de Sistemas para VANTs . . . . .	7
2.2.1. Elección de un Modelo . . . . .	10
2.2.2. Diseño de datos entrada . . . . .	11
2.2.3. Registro de datos . . . . .	11
2.2.4. Análisis de compatibilidad de datos . . . . .	12
2.2.5. Estimación de parámetros y estados . . . . .	12
2.2.6. Diagnóstico de colinealidad . . . . .	13
2.2.7. Validación del Modelo y Optimización . . . . .	13
2.3. Estado Actual de la IDS en VANTs . . . . .	14

2.3.1.	VANTs de ala fija . . . . .	14
2.3.2.	Otros tipos de VANTs . . . . .	15
2.3.3.	Métodos de Estimación utilizados . . . . .	15
<b>3.</b>	<b>Modelo Matemático de la Aerodinámica de un Vehículo Aéreo</b>	<b>17</b>
3.1.	Marcos de referencia y Convenciones de signos . . . . .	18
3.1.1.	Marcos de Referencia . . . . .	18
3.2.	Cinemática de una aeronave . . . . .	20
3.3.	Dinámica . . . . .	23
3.3.1.	Dinámica de cuerpo rígido . . . . .	24
3.4.	Linealización y separación de las Ecuaciones de Movimiento . . . . .	26
3.4.1.	Comentarios . . . . .	28
3.4.2.	Ecuaciones de movimiento en el espacio de Estados . . . . .	28
3.5.	Ecuaciones de Movimiento Linealizadas . . . . .	29
3.5.1.	Ecuaciones Longitudinales en el espacio de estados . . . . .	30
3.6.	Modos de oscilación longitudinales . . . . .	31
3.6.1.	Modos de oscilación longitudinales: Periodo Corto . . . . .	32
3.6.2.	Modos de oscilación longitudinales: Periodo largo - Phugoid . . . . .	33
3.6.3.	Ecuaciones Laterales Direccionales en el espacio de estados . . . . .	35
3.7.	Modos laterales - direccionales . . . . .	37
3.7.1.	Modo de Roll . . . . .	38
3.7.2.	Modo Espiral . . . . .	39
3.7.3.	Modo de Dutch-Roll . . . . .	40
<b>4.</b>	<b>Modelado y Simulación</b>	<b>43</b>
4.1.	Modelado de una Aeronave de Ala Fija . . . . .	43
4.1.1.	Coefficientes aerodinámicos desde DATCOM . . . . .	44
4.1.2.	Propulsión . . . . .	45
4.2.	Algoritmo implementado para el modelado . . . . .	45
4.2.1.	Inicialización . . . . .	45
4.2.2.	Estado de equilibrio . . . . .	46
4.2.3.	Obtención de las matrices del espacio de estados del sistema linealizado	46

---

4.2.4. Finalización . . . . .	47
4.3. Simulador Lineal y Generador de Datos Simulados . . . . .	48
4.3.1. Algoritmo de simulación . . . . .	48
<b>5. Estimación de Parámetros</b>	<b>55</b>
5.1. Elección de un estimador . . . . .	57
5.2. Estimador para el modelo de Mínimos Cuadrados . . . . .	58
5.2.1. Estimador de Mínimos Cuadrados Ordinario . . . . .	59
5.2.2. Herramientas de evaluación estadística del Estimador . . . . .	60
5.2.3. Implementación del Estimador de Mínimos Cuadrados Ordinario . . . . .	62
<b>6. Datos de Vuelos Experimentales</b>	<b>65</b>
6.1. Caburé: VANT para experimentación . . . . .	65
6.2. Sensórica del Caburé . . . . .	66
6.2.1. LORD MicroStrain 3DM-GX3-35 AHRS . . . . .	67
6.2.2. Sensor de Presión Diferencial MPXV7002DP . . . . .	68
6.3. Diseño de Maniobras para la Estimación . . . . .	69
6.4. Resumen de los Vuelos de Prueba . . . . .	70
6.5. Procedimiento de Vuelos de Prueba . . . . .	73
<b>7. Procesamiento de Datos Experimentales</b>	<b>77</b>
7.1. Mediciones directas . . . . .	78
7.2. Mediciones indirectas . . . . .	79
7.3. Perturbaciones . . . . .	80
7.4. Diferenciación . . . . .	80
7.5. Interpolación y Suavizado . . . . .	81
7.6. Filtrado . . . . .	82
7.7. Ejemplo del Procesamiento . . . . .	82
<b>8. Análisis de Resultados</b>	<b>91</b>
8.1. IDS con Datos Simulados en Modo Piloto . . . . .	91
8.1.1. Identificación del Espacio de Estados Linealizado . . . . .	92
8.1.2. Identificación de Derivativas . . . . .	95

---

8.1.3. Identificación de los Modos dinámicos del sistema . . . . .	97
8.2. IDS con Datos Simulados en Modo Autopiloto . . . . .	99
8.2.1. Identificación del Espacio de Estados Linealizado . . . . .	100
8.2.2. Identificación de Derivativas . . . . .	102
8.2.3. Identificación de los Modos dinámicos del sistema . . . . .	105
8.3. IDS con Datos Experimentales . . . . .	107
8.3.1. Identificación del Espacio de Estados Linealizado . . . . .	108
8.3.2. Identificación de Derivativas . . . . .	111
8.3.3. Identificación de los Modos dinámicos del sistema . . . . .	113
<b>9. Conclusiones</b>	<b>117</b>
9.1. Finalización de la Tesis . . . . .	117
9.2. Experiencias . . . . .	118
9.3. Interpretación de Resultados . . . . .	119
9.4. Investigaciones Pendientes . . . . .	119
<b>A. Apéndice: Archivo Ejemplo de Entrada a DATCOM</b>	<b>121</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>125</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>129</b>