

Índice

Capítulo 1. Introducción 1

1.1	La energía eólica	1
1.2	Diseño aerodinámico.....	1
1.3	Dispositivos aerodinámicos que transforman la energía del viento.....	2
1.3.1	Dispositivos aerodinámicos que operan mediante fuerzas de arrastre.....	3
1.3.2	Dispositivos aerodinámicos que operan mediante fuerzas de arrastre y sustentación.....	3
1.4	La hélice en operación.....	5
1.4.1	Relación de velocidad en la punta.....	5
1.4.2	Influencia del número de palas.....	5
1.4.3	Efecto de la solidez.....	5
1.5	Teoría y selección de perfiles.....	6
1.5.1	Teoría y selección de perfiles.....	6
1.5.2	Requerimientos aerodinámicos.....	8
1.5.2.1	Requerimientos sobre arrastre y sustentación.....	9
1.5.2.2	Efectos de la aspereza de la superficie.....	9
1.5.2.3	Selección del perfil.....	10
1.5.3	Desprendimiento dinámico.....	11
1.6	Control aerodinámico.....	12
1.6.1	Control de movimiento a lo largo de toda la pala.....	12
1.6.2	Control de movimiento a lo largo de parte de la pala.....	12
1.6.3	Control por desprendimiento.....	13

Capítulo 2. Modelos teóricos 16

2.1	Modelo de disco actuador para turbinas de eje horizontal.....	16
2.1.1	Configuraciones de funcionamiento de la hélice.....	18
2.2	Teoría general de momento con rotación en la estela.....	19
2.2.1	Aplicación de la conservación de impulso angular.....	20
2.2.2	Aplicación de la conservación de la energía.....	20
2.2.3	Aplicación de la conservación del impulso lineal.....	21
2.2.4	Aplicación de la conservación de la energía.....	23
2.2.5	Algunas conclusiones de la teoría de momento.....	23
2.3	Teoría del elemento de pala.....	25
2.4	Combinación de la teoría de momento y elemento de pala.....	26
2.5	Teoría de la hélice óptima	28
2.6	Correcciones a la teoría de momento y elemento de pala.....	30
2.6.1	El factor de pérdida en la en las puntas, F	31
2.6.2	El factor de pérdida en el centro.....	32
2.6.3	Corrección de Glauert en la ecuación de momento.....	33
2.7	Influencia del ángulo de cono.....	34

2.8	Método de diseño de una hélice.....	35
2.8.1	Ecuación empírica para el máximo coeficiente de potencia.....	35
2.8.2	Cálculo de la hélice óptima.....	36
2.9	Distribución de la velocidad del viento.....	37
2.10	Orientación del rotor respecto a la velocidad del viento.....	38
2.10.1	Inclinación del rotor <i>tilt</i>	38
2.10.2	Error de orientación del rotor <i>yaw</i>	38
2.10.3	Análisis aerodinámico de un rotor no alineado.....	39
2.10.3.1	Proyección de la velocidad del viento sobre sistema coordenado local al rotor.....	40
2.10.3.2	Proyección de la velocidad del viento sobre el elemento de pala.....	40
2.10.3.3	Convención de signos.....	41
2.10.3.4	Análisis aerodinámico sobre el elemento de pala.....	41
2.10.3.5	Corrección debido a que la estela está torcida.....	42
2.11	Efecto de la viscosidad.....	44
2.11.1	Disco uniformemente cargado con $C_T = 8/9$	44

Capítulo 3. Programas y resultados 48

3.1	Programa de análisis y aerodinámico, Hélice_Perform.....	48
3.1.1.	Archivo de entrada.....	48
3.1.2.	Archivos que contienen las propiedades de los perfiles utilizados.....	51
3.1.3.	Archivos de salida del programa Hélice_perform.....	52
3.2	Programa de diseño aerodinámico, Diseño_rotor.....	52
3.2.1	Archivo de entrada.....	52
3.2.2	Archivo de salida.....	54
3.3	Resultados de los programas.....	55
3.3.1	Diseño de la hélice óptima.....	55
3.3.1.1	Entrada de datos para el diseño.....	55
3.3.1.2	Cálculo del diámetro del rotor.....	55
3.3.1.3	Forma de la hélice óptima.....	56
3.3.2	Análisis aerodinámico de la hélice.....	61
3.3.2.1	Comportamiento en el punto de diseño.....	61
3.3.2.2	Performance cuando varía la velocidad del viento.....	67
3.3.2.3	Comportamiento del rotor con error de orientación o <i>yaw</i>	70
3.3.2.3.1	Resultados con error <i>yaw</i> = 20°.....	71
3.3.2.3.2	Resultados con error <i>yaw</i> = 30° y <i>yaw</i> = 45°.....	73
3.3.3	Comparación con de los resultados con los de otros programas comerciales.....	75
3.3.3.1	Comparación de Rotor_Perf con el programa comercial PROPID	75
3.3.3.2	Comparación de Rotor_Perf con el programa comercial Wind_turbine_Performance.....	78
3.3.3.2.1	Velocidad uniforme y perpendicular al rotor, sin cono.....	78
3.3.3.2.2	Velocidad uniforme y perpendicular al rotor, con cono.....	79

3.3.3.2.3	Rotor con error <i>yaw</i> con cono y <i>tilt</i> , sin corrección en la estela.....	80
3.3.3.2.4	Rotor con error <i>yaw</i> con cono y <i>tilt</i> , sin corrección en la estela con velocidad uniforme.....	81

Capítulo 4. Conclusiones 85