

Contenido

Prólogo.....	XV
--------------	----

CAPÍTULO 1

Introducción a la energía eólica.....	1
1.1. ¿Qué es la energía?	1
1.1.1. ¿Qué energías son renovables?	2
1.1.2. ¿Qué energías no son renovables?	2
1.2. ¿Por qué es importante y trascendental contar con energías limpias?	4
1.3. ¿Qué es el efecto invernadero?	5
1.4. ¿Qué es el cambio climático?	5
1.5. ¿Qué está haciendo la comunidad internacional para mitigar las emisiones de los gases de efecto invernadero?	5
1.6. ¿Qué hacen los países latinos para mitigar el efecto invernadero?	6
1.6.1. ¿Qué hace México para mitigar el cambio climático?.....	6
1.7. Acuerdos internacionales para proteger el medio ambiente.....	7
1.8. Energía eólica.....	8
1.8.1. Importancia de la energía eólica para mitigar el cambio climático.....	8

CAPÍTULO 2

Antecedentes de la energía eólica.....	11
2.1. Introducción	11
2.2. ¿Qué es la energía eólica y cómo funciona?.....	11
2.3. Historia de la energía eólica.....	15
2.4. Ventajas y desventajas de la energía eólica	19
2.4.1. Ventajas de la energía eólica	19
2.4.2. Desventajas de la energía eólica.....	20
2.5. Países líderes en generación de energía eólica	21
2.6. Potencial del viento en Europa.	23
2.7. Potencial del viento en Latinoamérica	25
2.8. México apuesta por la energía eólica para su futuro energético	27
2.9. Autoevaluación del capítulo 2.....	28

CAPÍTULO 3

El viento como recurso energético.....	31
3.1. Introducción	31
3.2. Características de la atmósfera	31
3.3. Origen del viento	33
3.4. Potencial energético del viento y ley de Weibull	34
3.5. Cálculos de energía eólica y factores que influyen en la producción de energía	44
3.6. Influencia de los obstáculos, el relieve del terreno y las estelas de los aerogeneradores en la producción de energía eólica	49
3.6.1. Variación del viento con la altura	53
3.7. Dirección y velocidad del viento y tipos de vientos en la superficie	57
3.7.1. Vientos locales	58
3.7.2. Vientos anabáticos	59
3.7.3. Vientos catabáticos	59
3.8. Escala Beaufort.....	60
3.9. Efecto Coriolis	64
3.10. Distribución de Rayleigh	69
3.11. Medición del viento	71
3.12. Principios básicos de aerodinámica y mecánica de los aerogeneradores.....	73
3.12.1. Principios básicos de aerodinámica.....	74
3.12.1.1. Perfil aerodinámico	74
3.12.1.2. Ángulo de ataque	74
3.12.1.3. Arrastre	74
3.12.2. Mecánica de los aerogeneradores	74
3.12.2.1. Rotor.....	74
3.12.2.2. Caja multiplicadora	74
3.12.2.3. Generador eléctrico.....	75
3.13. Autoevaluación del capítulo 3	75

CAPÍTULO 4

Tecnologías de aerogeneradores.....	79
4.1. Introducción	79
4.2. Diseño de aerogeneradores.....	79
4.2.1. Aerogeneradores más comunes.....	84
4.3. Tipos de aerogeneradores.....	87
4.3.1. Aerogeneradores de eje horizontal.....	88
4.3.2. Aerogenerador de eje horizontal tipo offshore	92
4.3.3. Aerogeneradores de eje vertical	92

4.3.4. Aerogeneradores “especiales”.....	95
4.4. Componentes y partes clave de un aerogenerador.....	96
4.4.1. Torre de contención.....	96
4.4.2. Álabes.....	96
4.4.3. Rotor.....	96
4.4.4. Góndola.....	97
4.4.5. Generador.....	97
4.4.6. Caja de engranajes.....	98
4.4.7. Sistema de frenado.....	98
4.4.8. El sistema de control.....	98
4.4.9. Convertidor de potencia.....	98
4.4.10. El sistema de refrigeración.....	98
4.4.11. Sistema de lubricación.....	99
4.4.12. El sistema de iluminación y señalización.....	99
4.4.13. Sistema de orientación.....	99
4.4.14. Cimientos terrestres.....	100
4.4.15. Cimientos offshore.....	103
4.5. Innovaciones tecnológicas en aerogeneradores.....	104
4.6. Proceso de conversión de la energía eólica cinética del viento en energía eólica.....	106
4.6.1. Tipos de generadores.....	108
4.6.2. Subsistemas de regulación y control.....	111
4.7. Curva de potencia de los tipos de aerogenerador.....	117
4.8. Autoevaluación del capítulo 4.....	119
CAPÍTULO 5	
Instalación y puesta en marcha de parques eólicos.....	123
5.1. Introducción.....	123
5.2. Selección ideal de ubicación de parques eólicos.....	123
5.3. Construcción de parques eólicos.....	126
5.3.1. Selección de la ubicación.....	126
5.3.2. Equipamiento y construcción.....	126
5.3.3. Obtención de permisos y autorizaciones.....	127
5.3.4. Pruebas y puesta en marcha.....	127
5.3.5. Operación y mantenimiento.....	127
5.4. Operación de parques eólicos y tipos de mantenimiento.....	128
5.4.1. Mantenimiento preventivo.....	128
5.4.2. Mantenimiento correctivo.....	129
5.4.3. Mantenimiento predictivo.....	129
5.5. Autoevaluación del capítulo 5.....	130

CAPÍTULO 6

Integración de parques eólicos a la red eléctrica	133
6.1. Introducción	133
6.1.1. Estudios preliminares	135
6.2. Diseño de la infraestructura eléctrica	136
6.3. Interconexión de aerogeneradores.....	138
6.3.1. Subestación del parque eólico.....	140
6.3.2. Líneas de transmisión	142
6.3.3. Subestación de conexión	144
6.3.4. Sincronización con la red eléctrica	145
6.3.5. Pruebas y certificación	148
6.4. Sistema de almacenamiento de energía	150
6.4.1. Baterías	152
6.4.2. Pilas de combustible	152
6.4.3. Almacenamiento hidráulico	152
6.4.4. Almacenamiento térmico	152
6.4.5. Almacenamiento de aire comprimido	153
6.4.6. Almacenamiento de hidrógeno.....	153
6.5. Desafíos de la integración de la energía eólica en la red eléctrica	155
6.6. Soluciones para la integración de la energía eólica en la red eléctrica	157
6.7. Autoevaluación del capítulo 6.....	159

CAPÍTULO 7

Perspectivas de la energía eólica	163
7.1. Introducción	163
7.2. Innovaciones futuras en tecnologías de aerogeneradores.....	163
7.2.1. Materiales compuestos reciclables	164
7.2.2. Álabes más largos y flexibles	164
7.2.3. Aerogeneradores con placas solares integradas.....	165
7.3. Mejoras en la eficiencia de la energía eólica.....	166
7.3.1. Diseño aerodinámico de los álabes	166
7.3.2. Reducción de las pérdidas y la resistencia mecánica.....	166
7.3.3. Mejoras en la transmisión y distribución de la energía eólica....	167
7.3.4. Eficiencia en la captación y aprovechamiento del viento	168
7.4. Oportunidades de crecimiento y desarrollo en la industria de la energía eólica	169
7.5. Nuevos materiales y tecnologías en la energía eólica	171
7.6. Smart Grid	173
7.6.1. Definición y características de los Smart Grids	174

7.6.2. Descripción de la energía eólica y su importancia en el contexto de los Smart Grids.....	175
7.6.3. Integración de la energía eólica en la red eléctrica.....	177
7.6.4. Tecnologías de control utilizadas en los Smart Grids para la energía eólica	182
7.6.5. Tecnologías de comunicación utilizadas en los Smart Grids para la energía eólica	184
7.7. Autoevaluación del capítulo 7	186

CAPÍTULO 8

Casos de éxito de proyectos eólicos	191
8.1. Introducción	191
8.2. Casos de éxito en energía eólica en todo el mundo.....	191
8.2.1. Casos de éxito en Europa.....	192
8.2.2. Casos de éxito en América	194
8.2.3. Casos de éxito en Asia.....	198
8.2.4. Casos de éxito en África	201
8.2.5. Casos de éxito en Oceanía	204
8.3. Proyectos de energía eólica en condiciones climáticas extremas.....	207
8.3.1. Energía eólica en las zonas polares	208
8.4. Autoevaluación del capítulo 8.....	210

CAPÍTULO 9

Economía y financiamiento de proyectos de energía eólica.....	213
9.1. Introducción	213
9.2. Análisis de costo-beneficio de proyectos de energía eólica.....	213
9.3. Vida útil de los aerogeneradores	215
9.4. Autoevaluación del capítulo 9.....	218

CAPÍTULO 10

Marco legal y regulaciones en la energía eólica	221
10.1. Introducción	221
10.1.1. Marco legal y normativo de la energía eólica en México	222
10.1.2. Ley de la Industria Eléctrica.....	222
10.1.3. Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica	222
10.1.4. Ley de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía	223
10.1.5. La Ley de Transición Energética	223
10.1.6. Ley de Hidrocarburos	223

10.1.7. Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética.	223
10.2. Licencias, permisos y autorizaciones para proyectos de energía eólica	223
10.3. Código de Red en proyectos energéticos en la industria eólica.....	225
10.3.1. Introducción al Código de Red: ¿Qué es y por qué es importante?	225
10.3.2. Requisitos técnicos del Código de Red para proyectos eólicos.....	227
10.3.3. Código de Red: Calidad	228
10.3.4. Código de Red: Seguridad.....	229
10.3.5. Estabilidad del suministro eléctrico	230
10.3.6. Normas y procedimientos del Código de Red para la conexión de proyectos eólicos en México	233
10.3.7. Normas aplicables en México en la industria eléctrica	235
10.3.8. Requerimientos técnicos del Código de Red	238
10.3.9. Cumplimiento y certificación del Código de Red en los proyectos eólicos	240
10.3.10. Normas y certificaciones internacionales de calidad aplicables a la operación y puesta en marcha de un parque eólico en México	241
10.4. Autoevaluación del capítulo 10	245

CAPÍTULO 11

Eficiencia energética y gestión de la energía eólica	251
11.1. Introducción	251
11.2. Técnicas para mejorar la eficiencia energética de la generación eólica en México	252
11.3. Gestión de la energía producida por los parques eólicos.....	254
11.4. Optimización de la distribución de la energía eólica en la red eléctrica	255
11.5. Autoevaluación del capítulo 11	258

CAPÍTULO 12

Impacto ambiental de la energía eólica	261
12.1. Introducción	261
12.2. Evaluación de los efectos ambientales de los parques eólicos	261
12.3. Conservación de la vida silvestre y hábitats en las áreas de la energía eólica	264
12.4. Mitigación de los impactos sonoros y visuales.....	266

12.4.1. Impactos visuales.....	266
12.4.2. Impactos sonoros.....	267
12.5. Autoevaluación del capítulo 12.....	271

CAPÍTULO 13

Operación y mantenimiento de un parque eólico	273
13.1. Introducción.....	273
13.2. Tipos de mantenimiento.....	273
13.2.1. Mantenimiento preventivo.....	274
13.2.2. Mantenimiento correctivo.....	279
13.3. Planificación y programación del mantenimiento.....	282
13.4. Gestión de los repuestos y materiales.....	286
13.5. Seguridad y salud laboral en el mantenimiento.....	288
13.5.1. Caída en altura.....	288
13.5.2. Arco eléctrico.....	289
13.5.3. Incendio.....	291
13.5.4. Protecciones para el ruido en el mantenimiento.....	292
13.5.5. Capacitación y entrenamiento.....	293
13.5.6. Procedimientos de trabajo seguros.....	294
13.5.7. Gestión de sustancias peligrosas.....	294
13.5.8. Cultura de seguridad.....	295
13.6. Evaluación de la eficiencia y la calidad del mantenimiento.....	295
13.7. Autoevaluación del capítulo 13.....	297
Glosario.....	301
Solucionario de los ejercicios.....	325
Solucionario de la autoevaluación.....	331
Referencias.....	335

Para tener acceso al material de la plataforma de contenidos interactivos del libro, siga los siguientes pasos:

1. Ir a la página: https://libroweb.alfaomega.com.mx/book/energia_eolica
2. En la sección *Materiales de apoyo* tendrá acceso al material descargable, complemento imprescindible de este libro, descomprimir con la clave: EOLICA23