

Índice

Introducción.....	9
CAPÍTULO 1	
La Energía Eólica.....	10
1.1.-Cuestiones Relevantes.	12
1.2.-La Energía Eólica en el Mundo.	15
1.3.-La Energía Eólica en México.....	22
1.3.1.-El potencial eólico en Oaxaca	26
1.3.2.-Integración de la energía eólica al sistema eléctrico mexicano.	31
1.3.3.-Otras acciones llevadas a cabo en México enfocadas a la energía eólica.	39
1.3.4.-Prospectiva y recomendaciones.	40
CAPÍTULO 2	
Sistemas Eólicos de Energía Eléctrica.	46
2.1.-Sistemas de Energía Eléctrica	48
2.2.- La Energía del Viento	50
2.3.- Los Aerogeneradores.	52
2.3.1.- Componentes de un aerogenerador.....	52
2.3.2.- La Energía Producida.....	57
2.3.3.-Funcionamiento de los aerogeneradores	69
2.4.- El generador de inducción doble alimentado.....	83
2.4.1.- Funcionamiento del generador doble alimentado	83
CAPÍTULO 3	
Implantación de Parques Eólicos.....	94
3.1.- Planificación de un proyecto eólico	95
3.2.-Pasos para el desarrollo de un parque eólico.....	99
3.2.1 -Fase de ejecución.....	101
3.2.2 Fase de Explotación.....	108
3.2.3 -Fase de clausura.....	110
3.3.- Subestaciones eléctricas en los parques eólicos.	110
CAPITULO 4	
Aspectos Normativos a incluir en la norma NOM-001-SEDE-2005	120
4.1.- Introducción.....	122

4.2.- Historia de la Normativa en Aerogeneradores	122
4.3.- Propuesta de Lineamientos a considerar en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEDE en materia de instalaciones eléctricas.	127
Conclusiones y recomendaciones.....	151
Fuentes de información.	154

INDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Nueva capacidad energética en la Unión Europea.</i>	13
<i>Ilustración 2. Potencia instalada de energía eólica por continente (MW). Periodo 2003-2007. Fuente: EWEA</i>	17
<i>Ilustración 3. Capacidad eólica instalada en el mundo hasta 2010</i>	18
<i>Ilustración 4. Potencia eólica instalada en España. 2004-2007 (en Mw)</i>	19
<i>Ilustración 5. Capacidad Eólica instalada en Texas 1999-2008 Fuente: AWEA. Wind Energy Database</i>	21
<i>Ilustración 6. Sinopsis de la cronología de los principales proyectos eólicos en México hasta 2007</i>	24
<i>Ilustración 7. Distribución Geográfica del Potencial de Energía Eólica en México. Fuente :MADE</i>	26
<i>Ilustración 8. Mapa de recursos eólicos en Oaxaca.</i>	27
<i>Ilustración 9. Porcentaje de participación en la generación de energía eléctrica en México. Fuente: Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016. SENER</i>	32
<i>Ilustración 10. Modalidades de Generación de Energía Eléctrica en el Sector Privado</i>	32
<i>Ilustración 11. Consumo de energía eléctrica por sector .Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016. SENER</i>	34
<i>Ilustración 12. Ordenamientos Jurídicos que rigen las Actividades del Sector Eléctrico. FUENTE: CIPAMEX</i>	35
<i>Ilustración 13. Descripción del Sistema Eléctrico Nacional. Fuente: SENER. Prospectiva del sector eléctrico 2008-2017</i>	36
<i>Ilustración 14. Potencia Autorizada para la Modalidad de Autoabastecimiento por Tipo de Combustible 1999-2010. Fuente: CRE</i>	37
<i>Ilustración 15. Demanda y Oferta de Nueva Capacidad. 2008-2017. Fuente: Elaboración Propia Basada en la Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016. SENER.</i>	39
<i>Ilustración 16. . Proyectos Eólicos en México.</i>	44
<i>Ilustración 17. Turbinas con 1, 2 y 3 aspas</i>	52
<i>Ilustración 18. Partes de un aerogenerador. http://www.renovables-energia.com/2009</i>	53
<i>Ilustración 19. Eje de baja velocidad de una aeroturbina © 1998 www.windpower.org</i>	54
<i>Ilustración 20. Acoplamiento flexible a la salida de la caja multiplicadora. © 1998 www.windpower.org</i>	55
<i>Ilustración 21. Fuerzas aerodinámicas sobre perfil</i>	58
<i>Ilustración 22. Comportamiento de coeficientes de Sustentación y Arrastre de un perfil Aerodinámico</i>	59
<i>Ilustración 23. Diagrama de Velocidades actuando sobre un elemento de pala</i>	60
<i>Ilustración 24. Diagrama de las fuerzas actuando sobre un elemento de pala</i>	60
<i>Ilustración 25. Tubo de corriente en un aerogenerador</i>	62
<i>Ilustración 26. Velocidad del viento contra potencia generada por metro cuadrado expuesto al viento</i>	65
<i>Ilustración 27. Curva de potencia de un aerogenerador Gamesa G80 - 2MW</i>	67
<i>Ilustración 28. Curva del coeficiente de potencia para un aerogenerador danés típico</i>	68
<i>Ilustración 29. Aerogeneradores de paso variable Qingdao Commercial Energy International Trading Co., Ltd.</i>	70
<i>Ilustración 30. Aerogenerador de regulación (pasiva) por pérdidas aerodinámicas. ©2007. http://www.hotfrog.com.au</i>	71
<i>Ilustración 31. Mecanismo de orientación de una máquina típica de 750 kW.</i>	72
<i>Ilustración 32. Control de Torsión de cables</i>	73
<i>Ilustración 33. Caja Multiplicadora</i>	74
<i>Ilustración 34. Controlador de la turbina eólica</i>	76
<i>Ilustración 35. Unidad de comunicaciones de fibra óptica.</i>	76
<i>Ilustración 36. Parte de alta tensión de un controlador de una máquina de 1 megawatt.</i>	78
<i>Ilustración 37. Equipo de medición de emisiones electromagnéticas</i>	79
<i>Ilustración 38. Torres de aerogeneradores, Navarra (España) Foto Soren Krohn</i>	79

<i>Ilustración 39. Torres de celosía © NEG-Micon A/S 1998</i>	80
<i>Ilustración 40. Tamaños de rotor normales en aerogeneradores</i>	81
<i>Ilustración 41. Personal de mantenimiento trabajando en una pala de 32 m de un aerogenerador de 1,5 MW Fotografía Christian Kjae© 2000 DWIA</i>	82
<i>Ilustración 42. Esquema de generador de velocidad variable mediante máquina asíncrona y convertidor</i>	84
<i>Ilustración 43. Sentido del flujo de la potencia activa (Ahmed G. AboKhalil, and Dong Choon Lee)</i>	85
<i>Ilustración 44. Sentido de corrientes del Sistema</i>	88
<i>Ilustración 45. Conexión de el generador doble alimentado a la línea trifásica (Ahmed G. AboKhalil, and Dong Choon Lee)</i>	89
<i>Ilustración 46. Curva de potencia para un generador de 600 kw. (Ahmed G. AboKhalil, and Dong Choon Lee)</i>	91
<i>Ilustración 47. Control Aplicado al Sistema</i>	92
<i>Ilustración 48. Parque Eólico Horse Hollow Wind Energy Center, Texas.</i>	96
<i>Ilustración 49. Fases de un proyecto eólico.</i>	101
<i>Ilustración 50. Los accesos cobran especial relevancia por la envergadura de las piezas que se deben transportar. Fuente: www.nordex-online.com</i>	102
<i>Ilustración 51. Disposición del cableado interno del parque eólico. Fuente: www.nordex-online.com</i>	105
<i>Ilustración 52. Esquema de la canalización enterrada: distancias y materiales. Fuente: Sistemas Eólicos de Producción de Energía Eléctrica. (ED. RUEDA, S.L)</i>	106
<i>Ilustración 53. Base de cimentación de un aerogenerador. Fuente: www.nordex-online.com</i>	107
<i>Ilustración 54. Momento de izado de las partes de la torre de un aerogenerador</i>	108
<i>Ilustración 55. . Ensamblaje de las palas en el buje del rotor</i>	108
<i>Ilustración 56. Subestación en SF6</i>	113
<i>Ilustración 57. Tablero Metal Clad</i>	113
<i>Ilustración 58. Algunas normas vigentes actualmente en aerogeneradores</i>	123
<i>Ilustración 59. Normas vigentes de energía eólica</i>	123
<i>Ilustración 60. tensión-tiempo¹ que define el área de la “perturbación de tensión” en el punto de conexión a red que debe poder ser soportado por la instalación. Tensión fase-tierra correspondiente a las fases perturbadas.</i>	130
<i>Ilustración 61. Sobretensiones que debe soportar el sistema eólico</i>	131
<i>Ilustración 62. Límites de saturación mínimos de inyección/absorción de corriente reactiva “I_r”</i>	133
<i>Ilustración 63. Límites inferior y superior de la corriente activa “I_a” en valores unitarios respecto de la potencia nominal aparente de la instalación.</i>	134
<i>Ilustración 64. Ejemplo de conexión de la puesta a tierra a los cimientos de la estructura</i>	146
<i>Ilustración 65. Geometría de puesta a tierra, tipo 1</i>	146
<i>Ilustración 66. Geometría de puesta a tierra, tipo 2.</i>	147
<i>Ilustración 67. Geometría de puesta a tierra, tipo 3</i>	147
<i>Ilustración 68. Conexión de aerogeneradores en forma de “T”</i>	148

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ahorros logrados (en miles de millones de euros) según el precio del combustible y del CO2 (por toneladas).</i>	14
<i>Tabla 2. Capacidad eólica instalada en el mundo hasta 2008.</i>	15
<i>Tabla 3. Crecimiento de algunos países en cuanto a Generación Eólica en el periodo de 2005-2008.</i>	16
<i>Tabla 4. Crecimiento de algunos países en cuanto a Generación Eólica en el periodo de 2005-2008. (Continuación)</i>	16
<i>Tabla 5. Proyectos Eólicos en el estado de Oaxaca.</i>	28
<i>Tabla 6. Áreas de Importancia para la Conservación de Aves. FUENTE: CIPAMEX</i>	30
<i>Tabla 7. México. Capacidad Instalada de Generación Eléctrica 2008.</i>	33
<i>Tabla 8. México. Generación Eléctrica por Fuente, 1999-2008.</i>	33
<i>Tabla 9. Crecimiento Promedio Anual del Consumo de Electricidad. Escenario de Planeación. Fuente: Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016. SENER</i>	38
<i>Tabla 10. . Potencia por metro cuadrado de superficie expuesta al viento para diferentes velocidades del viento</i>	66
<i>Tabla 11. Clases de viento</i>	97
<i>Tabla 12. Frecuencias de corte</i>	136
<i>Tabla 13. Niveles de armónicos permitidos</i>	138

