

# **CAPITULO 3**

### **3. ASPECTOS TÉCNICOS.**

En este capítulo se explicara cómo se lleva a cabo la implementación de un parque eólico, desde los aspectos técnicos, una memoria básica del proyecto o anteproyecto, la infraestructura eléctrica del parque incluyendo el desarrollo de la ingeniería, los costos económicos que conllevan este tipo de proyectos, las implicaciones medioambientales en sitio del proyecto y finalmente la fase de construcción del proyecto.

#### **3.1 Aspectos Técnicos.**

Para cualquier proyecto de desarrollo de un parque eólico es necesario considerar todos los aspectos enunciados en los capítulos previos. La empresa desarrolladora o empresa promotora deberá considerar la planificación y la parte técnica del proyecto, analizando todo lo ya descrito que resume y se complementa en la siguiente lista:

- La identificación de localizaciones adecuadas.
- La medición del viento en las áreas más adecuadas.
- Análisis de viabilidad económico-financiero previo-.
- Redacción de anteproyecto.
- Negociación de terrenos o predios.
- Gestión de autorizaciones y permisos.
- Solicitud de punto de evacuación.
- Negociación de la financiación económica del proyecto.
- Desarrollo de la ingeniería del proyecto.
- Solicitud de licencia de obra.
- Inicio de la construcción.
- Preparación de los accesos y plataformas de los aerogeneradores.
- Zanjas y cimentaciones.
- Líneas eléctricas y subestación eléctrica.
- Montaje de aerogeneradores.
- Solicitud de acometida eléctrica provisional.

En los siguientes incisos del presente capítulo describiremos los puntos faltantes y que se refieren propiamente a la ejecución e implementación de un parque eólico.

### **3.2 Memoria básica proyecto de un parque eólico.**

A continuación se describe una memoria básica de un proyecto eólico de 100 MW, considerando que todos los valores, aunque son propuestos, están apegados a los valores reales en proyectos de este tipo en México. Tal es el caso de los proyectos eólicos que la CFE ha licitado en los últimos 5 años. Para ejemplificar la ubicación del proyecto se considera el estado de Oaxaca, donde ya se han desarrollado proyectos similares, aunque se podría proponer ubicarlo en Zacatecas, Baja California, Tamaulipas o cualquier otro estado Mexicano con potencial suficiente.

Aunque si bien está considerado el desarrollo del parque eólico, se debe tomar como alcance adicional la subestación eléctrica y el enlace al sistema eléctrico de 230 KV ambos son mencionados solo por razones de ejemplificar el alcance global del proyecto.

Reiteramos que el objetivo es desarrollar el parque eólico, no su interconexión a la red de transmisión de energía.

#### **EJEMPLO BASE PROYECTO EÓLICO DE 100 MW**

- **Introducción**

El Proyecto consistirá en el desarrollo de las Instalaciones que incluyen la Central eólica de 100 MW, incluyendo el sistema de colección de energía eléctrica dentro de la central eólica.

- **Descripción del proyecto**

##### **Especificación técnica.**

Una (1) Central Eólica completa de una capacidad nominal de 100 MW integrada por aerogeneradores del mismo modelo y de la misma capacidad individual de 2,000 KW (o 2MW); incluyendo la ingeniería, suministro, instalación, construcción, pruebas y puesta en servicio, edificio de control, subestación eléctrica principal de 34.5-230 KV, sistemas de control y monitoreo, transformadores, cableado, enlace al sistema eléctrico de 230 KV, obra civil; obras electromecánicas; planeación, dirección y supervisión; Sistema de Aseguramiento de la Calidad, Sistema de Administración Ambiental; documentación y capacitación; fletes hasta el sitio de la Central, impuestos y seguros; en general lo que se requiera para la oportuna y satisfactoria ejecución del Proyecto completo hasta su entrega en operación a cliente.

Cada aerogenerador contará con un centro de transformación media tensión, el cual elevará la tensión de la energía generada de 690V a 34.5 KV. Ésta se conducirá hasta la subestación principal de la Central mediante buses colectores subterráneos.

##### **Localización del proyecto.**

El sitio del proyecto se encuentra localizado, en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, aproximadamente a 310 km al Este-Sureste de la Ciudad de Oaxaca, capital del Estado de Oaxaca. Entre las ciudades de importancia cercanas al sitio, se encuentra el puerto de Salina Cruz localizado al Suroeste y la ciudad de Juchitán localizada al Suroeste. Al sur del sitio, se encuentra una comunidad, en donde se cuenta con servicio de ferrocarril que comunica al oriente con Arriaga y al poniente con Juchitán. El acceso al Sitio de la Central se logra a través del camino pavimentado.

### Parámetros del suelo.

Conforme a la Carta de Regionalización sísmica de la República Mexicana del Manual de Diseño por Sismo de la CFE (1993), la zona se localiza en la Zona “D” de alta intensidad sísmica.

- **Datos de partida.**

- Potencia a instalar: 100 MW
- Potencia por aerogenerador: 2.00 MW
- Número de aerogeneradores: 50 unidades.
- Tensión de Generación: 690 VCA
- Tensión de Distribución: 34.5 kV
- Separación entre aerogeneradores: 3 veces el diámetro de las aspas en la misma línea y 7 veces el diámetro entre líneas.
- Diámetro total de aspas: 80 Mts

- **Lista de planos y memoria de cálculo del proyecto.**

Esta es la lista documentos, memorias o planos que se realizarán para el proyecto para su construcción.

LISTA DE DOCUMENTOS DE INGENIERIA DEL PARQUE EOLICO
<b>TITULO</b>
<b>INGENIERIA CIVIL</b>
<b>GENERALES</b>
Plan de Ingeniería
Criterios de Diseño - Parque Eólico
Coordenadas de Implantación de Aerogeneradores
Disposición del Parque - Planta General
Localización de Bancos de Materiales
Levantamiento Topográfico
Plataformas - Secciones Tipo
Intersecciones de Caminos con Líneas de Media Tensión y Baja Tensión
Localización de Torres de Medición
Ubicación Geográfica Parque Eólico
Levantamientos Topográficos para Parques Eólicos

Estudios Hidrológicos para Parques Eólicos
<b>CAMINOS DE ACCESO</b>
Planta Geométrica General
Volumetría de Obra de Caminos
Estructuración de Caminos - Secciones Tipo
Planta Geométrica y perfil Camino 1.0
Proyecto de la rasante Camino 1.0
Secciones transversales de construcción Camino 1.0 -
Estructuración de Caminos - Secciones Tipo
Acceso a Torres Meteorológicas y Subestación
Secciones Transversales de Construcción - Acceso a Torres Meteorológicas y SE
Detalle de Entronque Camino 1.0
<b>CIMENTACIONES</b>
Memoria de Cálculo Cimentaciones Aerogeneradores
Memoria de Cálculo Cimentación de Torres Meteorológicas
Cimentaciones de Aerogeneradores Tipo
Cimentación de Torres Meteorológicas
Caseta para Torres Meteorológicas
<b>PROYECTO DE OBRAS DE DRENAJE</b>
Planta General de Obras de Drenajes
Localización General Obras de Drenaje
Drenaje de Caminos, Alcantarillas Camino 1.0
Memoria de Cálculo para Alcantarillas de Losa Camino 7.0
<b>CANALIZACIONES Y CABLEADOS</b>
Canalizaciones Eléctricas -
Canalizaciones Eléctricas - Secciones Tipo
Ubicación de Registros de Media Tensión y Comunicaciones o Fibra Óptica
Detalle de Registros de Media Tensión y Comunicaciones o Fibra Óptica
Registros para Fibra Óptica - Secciones Tipo
Registros para Cruce de Carretera - Camino

<b>INGENIERIA ELECTROMECHANICA</b>
<b>DIAGRAMA UNIFILAR</b>
Diagrama Unifilar General
<b>COMUNICACIONES O FIBRA OPTICA</b>
Comunicaciones o red de Fibra Óptica
<b>INFRAESTRUCTURA DE MT</b>
Infraestructura de Media Tensión - Planta General
Infraestructura de Media Tensión - Malla de Puesta a Tierra
Infraestructura de Media Tensión - Malla de Puesta a Tierra - Detalles
<b>GENERALES</b>
Memoria de Cálculo Eléctrica
Memoria de Cálculo de corto circuito
Memoria de Cálculo BT
Memoria de Calculo MT
Hoja de Datos Celdas de Media Tensión 36-38 kV
Hoja de Datos Transformadores 2500 KVA
Hoja de Datos Cable de Potencia Parque
Hoja de Datos Cable de Tierras Parque
Hoja de Datos Centro de Transformación
Hoja de Datos Cable de Fuerza Baja Tensión
Hoja de Datos Cable de Fibra Óptica
Hoja de Datos Cajas de Empalme y Accesorios para Fibra Óptica
Especificación Técnica Celdas de Media Tensión 36-38 kV
Especificación Técnica Transformadores 1000 KVA
Especificación Técnica Centro Transformación
Especificación Técnica Cable de Potencia
Especificación Técnica Cable de Fibra Óptica
Especificación Técnica Cajas de Empalme y Accesorios para Fibra Óptica
Lista de Recuento de Cable de Potencia
Lista de Recuento de Cable de Tierras
Lista de Recuento de Cable de Fibra Óptica

Lista de Recuento de Tubería de Canalización y Drenajes
Lista de Entradas de Cables Eléctricos a cada Aerogenerador
Listado de Recuento de Accesorios para Fibra Óptica

• **Leyes, Reglamentos, Criterios, Normas y Códigos Mexicanos.**

A continuación se presenta una lista de las leyes, reglamentos, normas y códigos que las Instalaciones y el productor deben cumplir, la cual es indicativa pero no limitativa.

- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) y su Reglamento.
- Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN).
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y sus reglamentos.
- Ley Federal de Derechos.
- Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.
- Ley Federal del Trabajo.
- Ley General de Salud.
- Ley del Seguro Social.
- Ley de Protección Civil.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- Leyes y Reglamentos del Municipio o del Estado, aplicable a los temas no cubiertos en estas Especificaciones.

**Relación de Normas y Proyectos de Normas:**

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE 2005 Instalaciones eléctricas (Utilización)
- Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.
- Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-, Equipo de Protección Personal – Selección, Uso y Manejo en los Centros de Trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-STPS-1999 –Relativa a las condiciones de edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-condiciones de seguridad e higiene.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS- 2001 –Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-019-STPS-1993 –Relativa a la Constitución y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-STPS-1993 –Relativa a los requerimientos y características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.
- Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999 –Relativa a las condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo.
- Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-1998 –Relativa a colores y señales de seguridad e

higiene e identificación de riegos por fluidos conducidos por tuberías.

- NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida.
- NOM Serie B - Métodos de pruebas mecánicas para productos de acero estructural de alta resistencia.
- NOM Serie EE - Carretes de madera para conductores eléctricos y telefónicos.
- NOM Serie J - Motores de inducción, transformadores de corriente, transformadores de potencia, productos eléctricos conductores, técnicas de prueba de alta tensión, cordones desnudos flexibles de cobre para usos eléctricos y electrónicos. Método de prueba de aislamiento.
- NOM Serie W - Clasificación de cobre.
- NOM Serie Z - Muestreo para inspección por atributos.
- NOM Serie 1-7 a 1-63 - Equipos y componentes electrónicos, métodos de prueba para fuentes de alimentación utilizadas en telefonía, cargadores de baterías para uso industrial y de telecomunicaciones.

- Métodos de prueba ambientales y de durabilidad

#### **NMX Normas Mexicanas:**

- NMX-CC-9000-IMNC-2000(ISO 9000:2000) Sistema de Gestión de Calidad.- Fundamentos y vocabulario
- NMX-CC-9001-IMNC-2000 (ISO-9001:2000) Sistemas de Gestión de Calidad- Requisitos.
- NMX-SSA-1401-IMNC-2004 Sistema de Gestión Ambiental-Especificación, con orientación para su uso.
- NMX-CC-SAA-19011-IMNC-2002 (ISO 19011-2002). Directrices para la auditoria de los Sistemas de Gestión de la Calidad y/o Ambiental.
- NMX-CC-017/1: 1995 IMNC (equivalente a ISO 10012-1:1992) Requisitos de Aseguramiento de Calidad para Equipos de Medición- Parte 1: Sistema de Confirmación Metrológica para Equipo de Medición.
- NMX-CC-002/4: 1996 INMC (equivalente a ISO 9000-4:1993) Administración de Calidad-Parte 4: Seguridad de Funcionamiento.
- NMX Serie J - Productos eléctricos, motores de inducción, transformadores de corriente, de potencial, transformadores y autotransformadores de distribución y potencia. Conectores de cobre, clasificación de materiales aislantes.
- NMX –SAST-001-IMNC-2000 Sistema de Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo.- Especificación ó la Norma internacional BSI OHSAS 18001:1999 Occupational Health and Safety Management System.- Specification.

#### **Secretaría de Comunicaciones y Transportes:**

- SCT-2.01.01 Normas de Servicios Técnicos. Proyecto Geométrico de Carreteras.
- SCT-3.02.02 Normas para Construcción e Instalación. Terracerías.
- SCT-3.02.03 Normas para Construcciones e Instalaciones de Estructuras y Obras de Drenaje.
- SCT-6.01.03 Pavimentos. Tomos I y II

### **Normas Internacionales:**

- ISO- International Standard Organization.
- ISO-9000-3:1991 - Quality management and quality assurance standards- Part 3: Guidelines for the application of ISO-9001 to the development, supply and maintenance of software
- ISO 14001-2004 - Norma Internacional para la Gestión Ambiental.

### **IEC-International Electrotechnical Commission:**

- IEC 34-1 International Electrotechnical. Rotating Electrical Machines.
- IEC-56 International Electrotechnical Commission. High Voltage Alternating Circuit Breakers.
- IEC-137 International Electrotechnical Commission. Bushing For Alternating Voltage Above 100kV.
- IEC-129 International Electrotechnical Commission. Alternating Current Disconnectors and Earthing Switches.
- IEC-265 International Electrotechnical Commission. High Voltage Switches.
- IEC-61400-1 International Electrotechnical Commission. Wind Turbine Generator Systems-Part 1: Safety requirements. .
- IEC-61400-12-1 International Electrotechnical Commission. Wind Turbines -Part 12-1: Power Performance Measurements of Electricity producing wind Turbines 1ª edición 2005-12.
- IEC-61400-11 International Electrotechnical Commission. Wind Turbine Generator Systems-Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques.
- IEC-61400-24 International Electrotechnical Commission. Wind Turbine Generator Systems-Part 24: Lightning Protection.
- IEC-60050-415 International Electrotechnical Commission. International Electrotechnical Vocabulary – Part 415: Wind Turbine Generator Systems.

### **Especificaciones de la Comisión:**

- Manual de Diseño de Obras Civiles (CFE):
- Normas de referencia y especificaciones de CFE.

### **3.3 Infraestructura eléctrica del parque.**

En este apartado se pretende analizar el parque eólicos desde el punto de vista eléctrico, partiendo de la conversión de la energía eólico-mecánica-eléctrica, hasta la conexión con la línea de 34.5 KV que hemos definido de manera hipotética para el proyecto. Es importante mencionar que en este proyecto no se ha contemplado el estudio y diseño de la subestación de transformación necesaria para conectar a los 34.5 KV.

El sistema eléctrico del parque eólico tiene su origen en el generador instalado en cada torre, cuyo objeto es transformar en energía eléctrica, la energía mecánica proveniente del rotor del

aerogenerador. La energía eléctrica producida por el generador en una tensión de 690 volts en forma de corriente alterna trifásica de 60 hz, es elevada a 34.5 KV mediante un transformador instalado en el interior de la base de la torre donde se ubica el aerogenerador, o junto a la torre del aerogenerador.

La energía transformada a 34.5 KV se evacúa, desde cada torre, mediante una línea enterrada a través de una canalización que unirá a los aerogeneradores entre sí. Dependerá de la distribución real en campo de los aerogeneradores, la cantidad de torres que van conectadas entre sí, en este ejemplo se conectarán 10 aerogeneradores hasta hacer 5 circuitos y tener los 50 aerogeneradores conectados.

Se efectuará la interconexión de cada uno de los grupos de aerogeneradores, mediante las celdas de media tensión (34.5 kV) correspondientes que se instalan en el interior de las torres, llevándose las líneas ya agrupadas hasta la subestación, evitando así la instalación de casetas en el interior del parque. En cada aerogenerador también habrá un tablero de protección y control, así como el transformador de servicios auxiliares.

Esta parte descrita en los párrafos anteriores es la parte medular, del sistema eléctrico de un parque eólico y queda mejor entendido en un diagrama unifilar. El diagrama unifilar, está definido, como una representación gráfica de una instalación eléctrica, el conjunto de conductores de un circuito se representa mediante una única línea, independientemente de la cantidad de conductores que lleve este circuito. En la Figura 3.1 se plasma el diagrama unifilar del proyecto de 100 MW.

También en la Figura 3.2. Se muestra el cálculo eléctrico de calibres de un circuito tipo.

Es conveniente señalar que también se debe instalar una Unidad Remota de Telecontrol (RTU o UTR), que servirá para comunicar órdenes, señales y medidas de potencia, corriente y voltaje entre los aerogeneradores y el sistema de control del parque.

Otro apartado del proyecto eléctrico es el sistema de tierras, pues es de gran importancia en el comportamiento de un sistema eléctrico y en la seguridad del personal que labora en él, especialmente en condiciones de anomalías o presencia de fallas.

De especial importancia en el diseño de las mallas de tierra son los potenciales de toque y de paso, definidos como:

- Potencial de toque o de contacto: es la diferencia de potencial máximo entre una estructura u objeto metálico puesto a tierra y un punto sobre la superficie del terreno a un metro de distancia.
- Potencial de paso: es la diferencia de potencial máximo entre dos puntos de un terreno separado entres sí a una distancia de un paso, la cual se supone de un metro en la dirección del máximo gradiente de potencial.

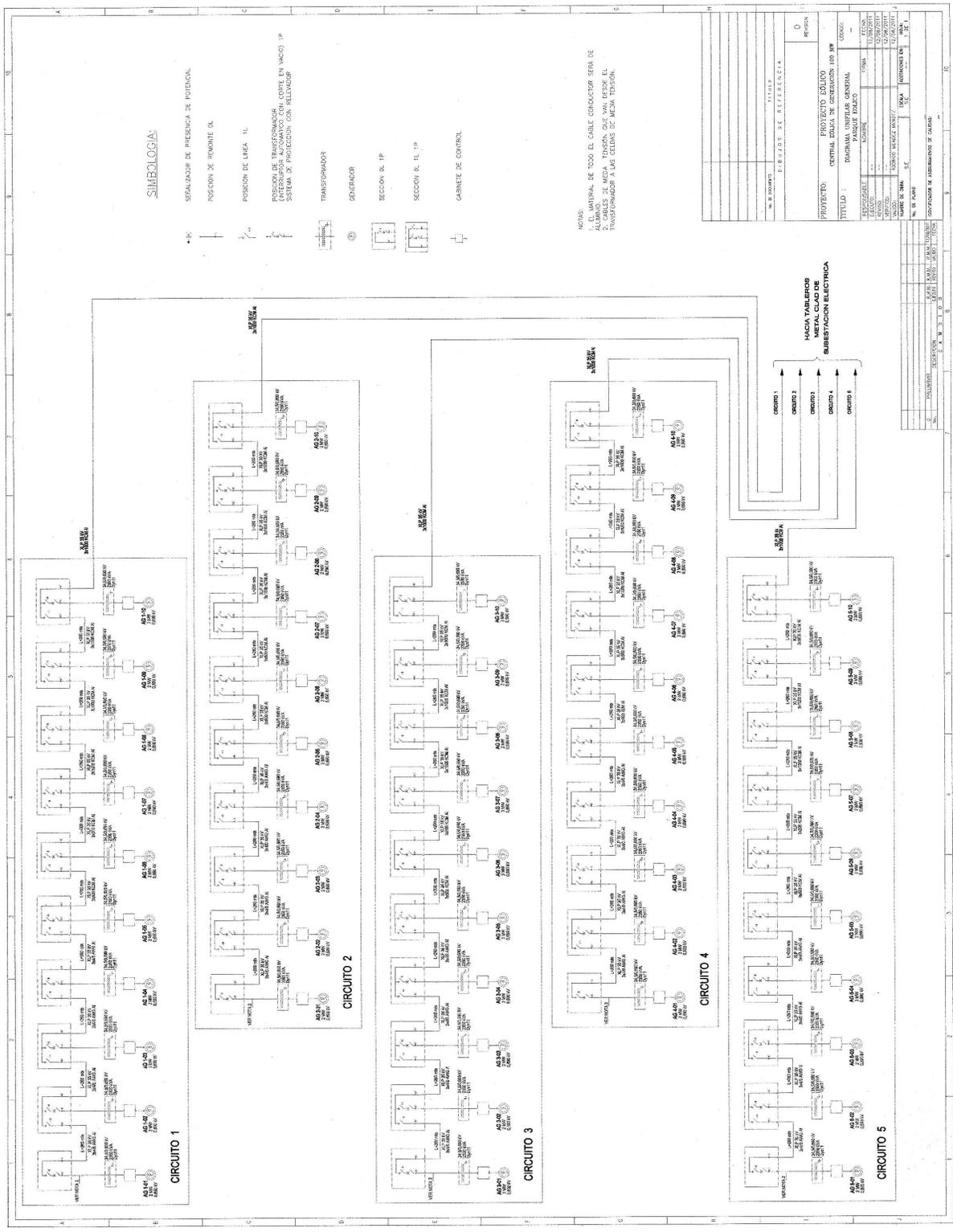


Figura 3.1. Diagrama unifilar general de un parque eólico de 100 MW.

Datos del Circuito 1 10 AEROGENERADORES						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)				
	Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Termas en canalización	Sección	V	e%	KW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM
AG1-01	AG1-02	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0
AG1-02	AG1-03	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0
AG1-03	AG1-04	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0
AG1-04	AG1-05	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0
AG1-05	AG1-06	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0
AG1-06	AG1-07	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.046%	0	840	0
AG1-07	AG1-08	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840
AG1-08	AG1-09	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840
AG1-09	AG1-10	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	6.42 kW	0.036%	0	0	840
AG1-10	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160
Total						193.27 V	0.5602%	55.89 kW	0.2794%	3,360	1,680	4,680

Figura 3.2. Memoria de cálculo para obtener conductores y pérdidas de potencia.

### 3.4 Costos generales del proyecto.

En este apartado veremos los costos asociados que tiene un proyecto de una capacidad de 100 MW desde su concepción hasta su funcionamiento, cabe decir que no están contemplados los costos de operación y mantenimiento para la vida de funcionamiento del parque.

Es importante mencionar que actualmente los costos de un parque de estas dimensiones puesto en tierra (onshore) compite de una manera económicamente muy atractiva con otras alternativas de generación eléctrica renovable y cada vez es más atractiva con respecto a otras fuentes de energía que son más agresivas y contaminantes para el medio ambiente, como son el gas natural y el carbón, que son de las tecnologías más utilizadas.

Para un parque eólico mar adentro (offshore) los costos casi se duplican o más con respecto al parque en tierra (onshore).

La Figura 3.3 tomada de la administración de la información de la energía de Estados Unidos (US Energy Information Administration EIA por sus siglas en Inglés) plasma los costos en dólares de distintos tipos de generación de energía. Ahí se observa que el costo estimado de generación eólica es de \$2,438.00 USD/KW, con este dato deducimos que el costo de instalación para un Mega Watt es de **\$2, 438,000 USD/ MW**.

Updated Estimates of Power Plant Capital and Operating Costs					
	Plant Characteristics		Plant Costs		
	Nominal Capacity (kilowatts)	Heat Rate (Btu/kWh)	Overnight Capital Cost (2010 \$/kW)	Fixed O&M Cost (2010\$/kW)	Variable O&M Cost (2010 \$/MWh)
<b>Coal</b>					
Single Unit					
Advanced PC	650,000	8,800	\$3,167	\$35.97	\$4.25
Dual Unit					
Advanced PC	1,300,000	8,800	\$2,844	\$29.67	\$4.25
Single Unit Advanced PC with CCS	650,000	12,000	\$5,099	\$76.62	\$9.05
Dual Unit Advanced PC with CCS	1,300,000	12,000	\$4,579	\$63.21	\$9.05
Single Unit IGCC	600,000	8,700	\$3,565	\$59.23	\$6.87
Dual Unit IGCC	1,200,000	8,700	\$3,221	\$48.90	\$6.87
Single Unit IGCC with CCS	520,000	10,700	\$5,348	\$69.30	\$8.04
<b>Natural Gas</b>					
Conventional NGCC	540,000	7,050	\$978	\$14.39	\$3.43
Advanced NGCC	400,000	6,430	\$1,003	\$14.62	\$3.11
Advanced NGCC with CCS	340,000	7,525	\$2,060	\$30.25	\$6.45
Conventional CT	85,000	10,850	\$974	\$6.98	\$14.70
Advanced CT	210,000	9,750	\$665	\$6.70	\$9.87
Fuel Cells	10,000	9,500	\$6,835	\$350	\$0.00
<b>Uranium</b>					
Dual Unit Nuclear	2,236,000	N/A	\$5,335	\$88.75	\$2.04
<b>Biomass</b>					
Biomass CC	20,000	12,350	\$7,894	\$338.79	\$16.64
Biomass BFB	50,000	13,500	\$3,860	\$100.50	\$5.00
<b>Wind</b>					
Onshore Wind	100,000	N/A	\$2,438	\$28.07	\$0.00
Offshore Wind	400,000	N/A	\$5,975	\$53.33	\$0.00
<b>Solar</b>					
Solar Thermal	100,000	N/A	\$4,692	\$64.00	\$0.00
Small Photovoltaic	7,000	N/A	\$6,050	\$26.04	\$0.00
Large Photovoltaic	150,000	N/A	\$4,755	\$16.70	\$0.00
<b>Geothermal</b>					
Geothermal – Dual Flash	50,000	N/A	\$5,578	\$84.27	\$9.64
Geothermal – Binary	50,000	NA	\$4,141	\$84.27	\$9.64
<b>MSW</b>					
MSW	50,000	18,000	\$8,232	\$373.76	\$8.33
<b>Hydro</b>					
Hydro-electric	500,000	N/A	\$3,076	\$13.44	\$0.00
Pumped Storage	250,000	N/A	\$5,595	\$13.03	\$0.00
Release Date: November 2010					

Figura 3.3. Costos estimados de generación de Energía con distintas fuentes de generación.

Fuente: [http://www.eia.gov/oiaf/beck\\_plantcosts/index.html](http://www.eia.gov/oiaf/beck_plantcosts/index.html)

Los costos del proyecto que estamos considerando serán valorados en dólares que es la moneda internacional de mayor uso en estos proyectos. Para obtener los costos en pesos mexicanos habrá que considerar el tipo de cambio peso- dólar vigente y realizar una simple multiplicación.

Para el caso de nuestro proyecto el costo en dólares es:

<b>COSTO ESTIMADO DEL PROYECTO DE 100 MW</b>	
COSTO POR MEGAWATT	\$2,438,000.00 USD
CAPACIDAD DEL PARQUE EN MW	100
<b>COSTO DEL PARQUE</b>	<b>\$243,800,000.00 USD</b>

Esto es el total que un inversor, persona física o empresa debe invertir en un proyecto de esta capacidad.

Conviene señalar que dependiendo del tamaño de la instalación o área a ocupar, de su situación y complejidad geográfica y topográfica, de la distancia a la red de evacuación, de que el promotor o inversor sea también fabricante de aerogeneradores o suministrador de otros servicios, de que existan otros proyectos empleando las mismas infraestructuras los costos y las inversiones pueden variar de forma importante.

En la Figura 3.4 tenemos los distintos costos según el Instituto de Investigaciones Eléctricas, en diversos países del mundo, se observa que los precios fluctúan de manera importante. Sin embargo el promedio de costo/KW es de \$2,339.75 USD.



Costos de inversión

	Dólares/kW		
Australia	1,939	3,136	
Austria	2,380	2,520	
Canadá	2,100	2,520	
Dinamarca	1,820	3,640	on-offshore
Grecia	1,540	1,960	
Irlanda		2,243	
Italia		2,436	
Japón		3,150	
México	1,820	2,100	
Holanda		1,855	
Noruega	1,960	2,240	
Portugal	1,820	2,100	
España		1,750	
Suecia	2,114	3,024	
Suiza		2,639	
Reino Unido	1,470	2,205	onshore
	2,940	4,410	offshore
Estados Unidos		2,022	

Figura 3.4. Costos estimados de generación de Energía eólica en distintos países.  
Fuente: Instituto de Investigaciones eléctricas.

Desde luego lo que más impacta de manera económica en un proyecto de este tipo es el propio aerogenerador. Según el portal de internet [www.bnef.com](http://www.bnef.com) (Bloomberg New Energy Finance) que es el proveedor líder de análisis independiente para datos y noticias en los mercados de energía limpia y carbono; en su cuarto número de Índice de Bloomberg New Energy Finance el precio de aerogeneradores muestra que hacia finales de 2010, para la entrega de equipos en 2011, despliegan precios muy agresivos, con valores promedio de 0.98 Millones €/MW o el equivalente a **\$1.33 Millones USD/MW**. Esta es una disminución del 7% en comparación con los contratos firmados en 2009 (€1.06m/MW) y 19% por debajo de los valores pico en 2007-08 (€1.21m/MW). <http://bnef.com/PressReleases/view/139>.

Para llegar a estos costos de aerogeneradores estos especialistas analizaron los datos confidenciales proporcionados por 28 grandes compradores de las turbinas de viento. La muestra incluye más de 150 contratos de turbinas, por un total de casi 7GW de la capacidad en 28 mercados a nivel mundial - con un enfoque principal en Europa y las Américas.

También el Instituto de Investigaciones Eléctricas difundió los costos de aerogeneradores en distintos países. Ver Figura 3.5. Donde el costo promedio es de **\$1.63 Millones USD /MW**.



Costos de aerogeneradores

	Dólares/kW	
Australia	1,386	1,848
Austria	1,960	2,100
Canadá	1,470	1,862
Irlanda	1,330	1,400
Italia	1,778	
Japón	2,100	
México	1,400	1,680
Portugal	1,330	1,820
España	1,302	
Suecia	1,358	1,820
Suiza	2,030	
Estados Unidos	1,042	1,607

Figura 3.5. Costos estimados de aerogeneradores en distintos países.  
Fuente: Instituto de Investigaciones eléctricas.

Una vez visto el costo general del proyecto y el costo de los aerogeneradores por MW, ahora veremos los demás costos asociados a la construcción del parque. Considerando varios puntos de vista de diversos fuentes de información.

Para un primer caso se cuenta con la información del libro Manual de Energía eólica del autor J.M Escudero en su capítulo de análisis económico-financiero y de negocio de una inversión de energía eólica plasma el siguiente análisis de costos. Ver Figura 3.6

Para un segundo caso la información publicada por la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA) en su documento Energía Eólica: realidades <http://www.wind-energy-the-facts.org/es/resumen-ejecutivo/parte-i-tecnologia.html> en su capítulo 3 plasma los porcentajes de costos involucrados de un proyecto eólico. Ver Figura 3.7.

Y finalmente en un tercer caso de la información plasmada en el especial de la energía eólica de los autores V. Olmos García, J.J. Romero Zamora y B. Benavides González–Camino del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en España, plasman los costos asociados a un proyecto eólico. Ver Figura 3.8.

Fase	Porcentaje (%)
0. Análisis previos	0,10
1. Captación de terreno	0,20
2. Medición y otros análisis	1,21
Total fases 0 + 1 + 2	1,51
3. Promoción	
• Proyectos	2,43
• Estudio medioambiental	0,10
• Otros estudios	0,10
* Seguimiento y gestiones de promoción	1,01
Total promoción	3,64
Total fases 0 + 1 + 2 + 3	5,15
4. Licencia de obras	0,20
Total fases 0 + 1 + 2 + 3 + 4	5,36
5. Construcción:	
• Aerogeneradores	70,34
• Infr. eléctrica del parque	7,08
• Infr. eléctrica hasta conexión	8,09
• Infr. civil	8,60
Total construcción	94,12
6. Ingeniería de control	0,51
<b>Total fases 0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6</b>	<b>100,00</b>

Figura 3.6. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Fuente: Manual de energía eólica J.M Escudero López.

**Tabla S.2: Estructura de costes de un aerogenerador tipo de 2 MW instalado en Europa (en €, 200€)**

	<b>Inversión (1.000€/MW)</b>	<b>Cuota (%)</b>
Aerogenerador (franco fábrica)	928	75,6
Cimentación	80	6,5
Instalación eléctrica	18	1,5
Conexión de redes	109	8,9
Sistemas de control	4	0,3
Consultoría	15	1,2
Terreno	48	3,9
Costes financieros	15	1,2
Carretera	11	0,9
<b>Total</b>	<b>1.227</b>	<b>100</b>

**Nota:** Calculados por el autor a partir de los datos seleccionados de instalaciones eólicas en Europa.  
Fuente: Risk DTU

Figura 3.7. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Fuente: Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA).

Evaluación de recursos eólicos	0.8340%
Ingeniería, Licencias y Permisos	4.1600%
Aerogenerador + MONTAJE	73.6100%
Obra Civil:	6.0189%
Infraestructura eléctrica:	8.8900%
Línea de evacuación:	5.0926%
Terrenos (alquiler):	0.5100%
Gestión y Administración:	0.4200%
Seguros e impuestos:	0.4645%

Figura 3.8. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Tomando en cuenta los datos de Bloomberg New Energy Finance (BNEF), tenemos el costo de los aerogeneradores para el proyecto de 100 MW.

<b>COSTO DEL PROYECTO DE 100 MW</b>	
NUMERO DE AEROGENERADORES	50
COSTO DE AEROGENERADOR DE 1MW	1,330,000.00 SEGÚN BNEF
COSTO DE AEROGENERADOR DE 2 MW	2,660,000.00
<b>COSTO DE LOS 50 AEROG. DE 2 MW C/U</b>	<b>\$133,000,000.00 Millones USD</b>

Para el primer caso de tenemos el siguiente desglose de costo de proyecto.

ANALISISPREVIOS	0.1000%	243,800.00
CAPTACION DE TERRENOS	0.2000%	487,600.00
MEDICIONES Y OTROS ANALISIS	1.2100%	2,949,980.00
PROMOCION DE PROYECTO	2.4300%	5,924,340.00
ESTUDIOS AMBIENTALES	0.1000%	243,800.00
OTROS ESTUDIOS	0.1000%	243,800.00
SEGUIMIENTO Y GESTIONES DE PROMOCION	1.0200%	2,486,760.00
LICENCIAS DE OBRA	0.2000%	487,600.00
AEROGENERADORES+ MONTAJE	70.3500%	171,513,300.00
INFR. ELECTRICA DEL PARQUE	7.0800%	17,261,040.00
INFR. ELECTRICA HASTA CONEXIÓN	8.0900%	19,723,420.00
INFRA.CIVIL	8.6000%	20,966,800.00
INGENIERIA DE CONTROL	0.5200%	1,267,760.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>100.0000%</b>	<b>\$243,800,000.00 M USD</b>

Figura 3.9. Análisis de costos de un proyecto eólico de 100 MW.  
Basado en Manual de energía eólica J.M Escudero López.

Para el segundo caso de tenemos el siguiente desglose de costo de proyecto.

AEROGENERADORES+ MONTAJE	75.6000%	184,312,800.00
CIMENTACIONES	6.5000%	15,847,000.00
INSTALACION ELECTRICA	1.5000%	3,657,000.00
CONEXIÓN DE REDES	8.9000%	21,698,200.00
SISTEMAS DE CONTROL	0.3000%	731,400.00
CONSULTORIA	1.2000%	2,925,600.00
TERRENO	3.9000%	9,508,200.00
COSTES FINANCIEROS	1.2000%	2,925,600.00
CAMINOS	0.9000%	2,194,200.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>100.0000%</b>	<b>\$243,800,000.00 M USD</b>

Figura 3.10. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Basado en Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA).

Para el tercer caso de tenemos el siguiente desglose de costo de proyecto.

EVALUACIÓN DE RECURSOS EÓLICOS	0.8340%	2,033,292.00
INGENIERÍA, LICENCIAS Y PERMISOS	4.1600%	10,142,080.00
AEROGENERADOR + MONTAJE	73.6100%	179,461,180.00
OBRA CIVIL:	6.0189%	14,674,078.20
INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA:	8.8900%	21,673,820.00
LÍNEA DE EVACUACIÓN:	5.0926%	12,415,758.80
TERRENOS (ALQUILER):	0.5100%	1,243,380.00
GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN:	0.4200%	1,023,960.00
SEGUROS E IMPUESTOS:	0.4645%	1,132,451.00
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>100.0000%</b>	<b>\$243,800,000.00 M USD</b>

Figura 3.11. Análisis de costos de un proyecto eólico.  
Basado en Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Podemos en general resumir los siguientes porcentajes de costos de un proyecto eólico:

	SHARE OF TOTAL COST (%)	TYPICAL SHARE OF OTHER COST (%)
Turbine (ex works)	68-84	-
Grid connection	2-10	35-45
Foundation	1-9	20-25
Electric installation	1-9	10-15
Land	1-5	5-10
Financial costs	1-5	5-10
Road construction	1-5	5-10
Consultancy	1-3	5-10

Note: Based on a selection of data from Germany, Denmark, Spain and the UK adjusted and updated by the author

Figura 3.12. Resumen de estructura de costos en proyectos eólicos.  
Fuente: The Economics of Wind Energy. A report by the European Wind Energy Association.

	Porcentaje variable entre	
<b>AEROGENERADOR ,TRANSPORTE Y MONTAJE</b>	<b>68%</b>	<b>84%</b>
<b>CONEXIÓN A LA RED</b>	<b>2%</b>	<b>10%</b>
<b>CIMENTACIONES</b>	<b>1%</b>	<b>9%</b>
<b>CAMINOS</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
<b>INSTALACION ELECTRICA DEL PARQUE, CONTROL</b>	<b>1%</b>	<b>9%</b>
<b>ALQUILER DE TERRENOS</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
<b>CONSULTORIA ,GESTION , ADMINSTRACION , ESTUDIOS, LICENCIAS, CONTINGENCIAS</b>	<b>1%</b>	<b>3%</b>
<b>COSTES FINANCIEROS, SEGUROS E IMPUESTOS,INTERESES</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>

Figura 3.13 Resumen de costos en proyectos eólicos.

### **3.5 Aspectos medioambientales**

Todo uso de las fuentes de energía, aún de las renovables, involucra frecuentemente efectos ambientales que deben ser identificados siempre que sea posible.

Para una correcta evaluación del impacto ambiental se debe considerar todo el ciclo de vida de cada fuente de energía, desde la fabricación de los materiales, su operación y hasta su desmantelamiento.

En general, los parques eólicos se identifican con instalaciones o empresas limpias, o no contaminantes, sin graves consecuencias negativas al ambiente, que crean empleo, que son independientes de los combustibles convencionales y producen riqueza.

Los parques eólicos son proyectos que deben cumplir con las condiciones adecuadas para lograr una buena integración al medio ambiente.

#### **3.5.1 Estudio de impacto ambiental**

Es necesario hacer un estudio de impacto ambiental antes iniciar un proyecto. Puede ocurrir que un proyecto rentable para un parque se desestime o que se deniegue permiso por el organismo por los efectos negativos que ocasionase al medio ambiente. En México la autoridad competente al respecto es SEMARNAT. Por tanto el estudio determinará la viabilidad del parque. El estudio pretende analizar y minimizar la incidencia de los parques eólicos durante las cuatro fases de su vida:

- Antes de la instalación.
- Durante las obras.
- Durante la explotación.
- Después del abandono de la misma.

El impacto se valorará en función de:

- Emplazamiento elegido.
- Distancia de áreas sensibles (poblaciones y áreas protegidas).
- Tamaño de la instalación.

El seguimiento del estudio puede llegar a detener las obras y ajustarlas a los requisitos del estudio, o a las modificaciones que se hagan sobre la marcha de las obras.

La resolución de estudio puede afectar a la cantidad de generadores instalados. Al finalizar las obras de la instalación y durante la explotación se realizan informes periódicos.

Cuando termina la vida útil de los aerogeneradores, y en caso de no continuar con la actividad, se retirarán los aerogeneradores y se revegetará el sitio, quedándose únicamente las zapatas de cimentación y los cables enterrados.

### **3.5.2 Uso de suelo**

Los parques eólicos son frecuentemente ubicados en terrenos que ya han sido impactados por el desmonte. La vegetación removida y el disturbio del terreno es mínimo comparado por ejemplo con las minas de carbón y las estaciones de energía que queman carbón.

Los defensores de la Energía Eólica dicen que menos del 1% del terreno se utiliza en los cimientos y caminos de acceso, el otro 99% puede seguir siendo usado como granjas. El montaje de un aerogenerador no conlleva gran uso del suelo. Generalmente el área de la base de una máquina está entre los 25 m<sup>2</sup>.

En la etapa de montaje del parque eólico se necesita construir caminos de acceso para la transportación de los componentes de las máquinas, el emplazamiento de las grúas y construcción de las obras civiles de la caseta de operación y subestación eléctrica del parque.

Una vez terminado el montaje, las áreas de emplazamiento de las grúas, algunos de los caminos de acceso y el resto de los movimientos de tierra realizados, con el tiempo se recuperan de forma natural o con trabajos de remediación.

El terreno todavía puede ser utilizado para la agricultura y ganadería. El ganado no se ve afectado por la presencia de los aerogeneradores. La experiencia muestra que el ganado pasta en las mismas bases de las turbinas eólicas y frecuentemente son utilizadas para frotarse y como zona de sombra.

Las turbinas generalmente no son instaladas en áreas urbanas. Los edificios interfieren con el viento y las turbinas deben instalarse a una distancia segura de residencias en caso de falla y el valor del terreno es alto.

### **3.5.3 Ruido**

El ruido de los aerogeneradores es producido por el movimiento de la palas al girar, por el batimiento del viento con los perfiles de las estructuras externas del aerogenerador (góndola, torre, etc.) y por el tren de potencia del aerogenerador.

Las turbinas modernas producen significativamente menos ruido que los diseños antiguos. El ruido es un reflejo de pérdida de energía y potencia de salida.

Este impacto de la generación de electricidad eólica siempre es muy polémico. Siempre el ruido es algo que se antepone al desarrollo de un proyecto eólico cerca de localidades, lugares turísticos, de recreación o de protección de la fauna.

Un estudio realizado por el instituto de investigación danés "DK Teknik" indica que la percepción del sonido de los aerogeneradores está más gobernada por la actitud de las personas hacia la fuente de sonido que por el sonido real en sí mismo.

En julio del 2010, el National Health and Medical Research Council, reportó que “no existen evidencias científicas publicadas que apoyen efectos adversos a la salud por aerogeneradores”.

En la Figura 3.14 se plasma los niveles de ruido de los aerogeneradores a diversa distancia y se compara con los niveles de ruido generados por otros enseres utilizados en la vida cotidiana.

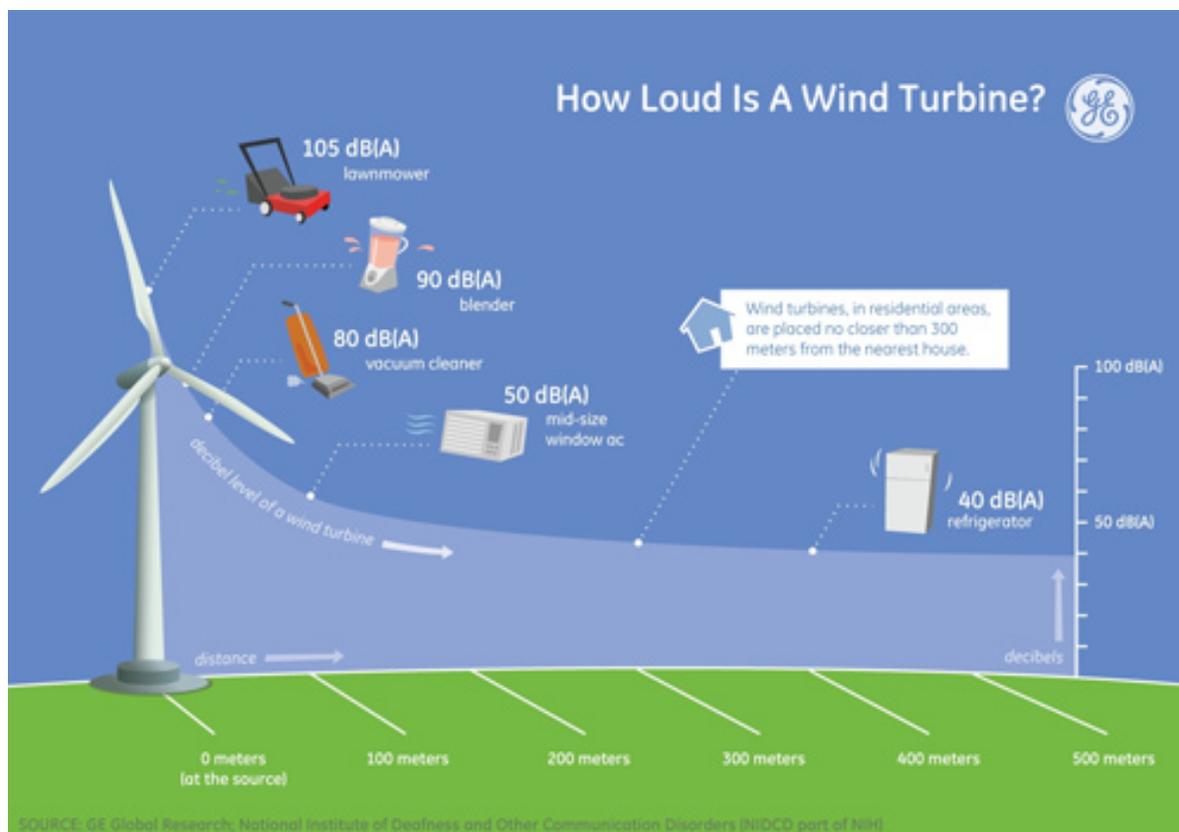


Figura 3.14 Niveles de ruido de aerogenerador y otros enseres de uso común.  
Fuente. GE GLOBAL RESEARCH NATIONAL INTITUTE.

### 3.6 Construcción

Sin lugar a dudas la parte más tangible y visible de un proyecto eólico, es cuando se lleva a cabo su construcción. Para llegar a esta etapa es necesario haber librado o concluido las etapas de: prospección, la etapa de medición de viento, tener los terrenos, tener ya el financiamiento económico y generalmente la etapa de Ingeniería del proyecto está en su fase final.

Otra fase de la cual no hemos hablado y que es previa a la fase de construcción es la parte de adquisición o compras tanto de equipos, insumos, servicios de montaje para finalmente realizar su ejecución.

Es una práctica habitual y común en la realización de estos proyectos, que una sola empresa realice las fases de: Ingeniería, de Procuración o compras y la Construcción, estas tres fases se engloban,

en lo que se conoce como un IPC o EPC por sus siglas en inglés (Engineering, Procurement and Construction).

En la parte de compras podemos enunciar que es una lista muy basta de equipos, servicios necesarios para ejecutar de manera correcta la construcción del parque. En la Figura 3.15 se enumera las principales compras para la ejecución constructiva proyecto. Para ello se realiza una labor muy extensa de búsqueda de proveedores adecuados que cumplan con las características técnicas, experiencia y calidad.

<b>COMPRAS PARA UN PROYECTO DE UN PARQUE EOLICO</b>	
<b>PRODUCTO A: COMUNES</b>	
<b>VARIOS</b>	
	Estudio Impacto Ambiental y Gastos Asociados
	Estudio Geotécnico - (mecánica de suelos)
	Levantamiento Topográfico o Aerofotogrametría
	Servicios de Laboratorio externos de Control de Calidad
	Casetas y Prefabricados
	<b>INFRAESTRUCTURA DE OBRA, GASTOS DE OBRA Y SEGURIDAD Y SALUD</b>
	Instalaciones Temporales
	Viales y Estacionamientos Provisionales
	Red de energía eléctrica
	Mobiliario y equipamiento oficinas
	Retirada y acondicionamiento
	Red de agua y saneamiento
	Vallado Provisional
	Almacén, Primeros Auxilios y Control de Accesos
	Accesos
	Comedor
	Gastos y Servicios de Obra
	Consumos de energía y agua
	Consumos Telefonía e Internet
	Suministros y consumibles
	Gestión de Almacén
	Control de Calidad
	Topografía
	Servicios Generales de mantenimiento
	Vehículos de Obra
	Seguridad y Salud
	Formación
	Información
	Protecciones Individuales
	Maquinaria
	Protecciones Colectivas
	Servicios
	Servicio Médicos Emplazamiento

	Servicio Protección
	Sistema Control de Accesos
	Servicio de limpieza
	Servicios de vigilancia
	Gestión de residuos
<b>PRODUCTO C: SUBESTACIÓN</b>	
<b>EQUIPOS PRINCIPALES</b>	
	Transformador de Potencia
	Transformadores de Servicios Auxiliares.
	Celdas MT
<b>SUMINISTROS SUBESTACION</b>	
	Interruptor de Potencia
	Apartarrayos
	Transformadores de Corriente
	Transformadores de Potencia
	Seccionadores
	Radio y Microondas
	Tele Protecciones
	Control y Protecciones
	Cables de Potencia y Empalmes
	Botellas Terminales
	Cables de Fuerza y Control
	Estructura metálica o pórticos
	Aisladores, Soportes
	Conexiones y Herrajes
	Sistema de Tierras
	Alumbrado Externo
	Servicios Auxiliares
	Equipamiento de edificios (Aire acondicionado, Protección contra incendio puente grúa
<b>EJECUCION SUBESTACION</b>	
<b>OBRA CIVIL</b>	
	Terracerías y obras de drenaje
	Edificios. Cuarto de Control para tableros MT y Valla Perimetral
	Cimentaciones Mayores, Menores y Transformador
	Sistemas Enterrados. Pluviales, contra incendio, ductos y trincheras
	Urbanización y viales
	Varios Obra Civil. Pisos terminados, sistema de seguridad física, instalaciones
	Edificio de Operación y mantenimiento
<b>MONTAJE ELECTROMECAÁNICO</b>	
	Montaje de estructura metálica
	Cableado aéreo AT
	Transformadores
	Montaje equipos. Transformadores de corriente , potencia, cuchillas y aisladores
	Montaje tableros de Media y baja tensión

	Tendido y conexionado de cables de media y baja tensión
	Montaje de Bandejas y conduits
	Alumbrado
	Red de tierras y pararrayos
	Sistema de comunicaciones , protección y control
<b>PUESTA EN MARCHA SUBESTACIÓN</b>	
<b>PRODUCTO G: PARQUE EOLICO</b>	
<b>EQUIPOS PRINCIPALES PARQUE EOLICO</b>	
	Aerogeneradores
	Transformadores para aerogeneradores
<b>SUMINISTROS PARQUE EOLICO</b>	
	Celdas MT y tableros
	Cable MT
	Cables (fuerza y control, tierras)
	Fibra óptica/Comunicaciones
	Torre meteorológica
	Acero para cimentaciones
	Concreto para cimentaciones
<b>EJECUCIÓN</b>	
	Obra civil (incluyendo Concreto y Acero)
	Caminos del Parque
	Plataforma
	Suministro de Concreto
	Suministro de Acero Habilitado
	Obra Cimentaciones
	Zanjas y canalizaciones
	Drenajes
	OBRA ELECTROMECHANICA
	Montaje de aerogeneradores
	Montaje de transformadores y tableros
	Montaje Línea de media tensión entre aerogeneradores
	Línea de media tensión de aerogeneradores a subestación
	Conexionado comunicaciones o de fibra óptica
	Sistema de tierras
	Torre meteorológica
<b>PUESTA EN MARCHA PARQUE EOLICO</b>	

Figura 3.15 Listado base de compras y contratos para realización de un parque eólico.

Cabe señalar que las dos partes más esenciales en la fase de construcción de un parque eólico son la obra civil y la obra electromecánica. Sin embargo hay actividades adicionales que contribuyen a llevar a buen término la construcción del proyecto. Estas son por mencionar:

- Estudios previos, como los geotécnicos o mecánica de suelos.
- Levantamiento topográfico del sitio del proyecto.

- Laboratorios externos de calidad.
- Servicios de logística para el acopio de equipos y materiales.
- Infraestructura temporal de obra, como son: casetas de obra, accesos, almacenes.
- Servicios médicos.

En las Figuras 3.16, 3.17 y 3.18 podemos ver lo una empresa utilizo para la logística y transporte en el suministro de aerogeneradores y sus componentes, la primera es del transporte utilizado en un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW en el estado de Baja california.



Figura 3.16 Logística de transporte para el suministro de Aerogeneradores de 2 MW en el estado de Baja California.  
 Fuente. GOBIERNO ESTATAL DE BAJA CALIFORNIA.



Figura 3.17 Transporte marítimo de aspas de aerogeneradores  
Fuente. AMDEE.



Figura 3.18 Transporte de tramos de torre de aerogeneradores.  
Fuente. IBERDROLA.

Es importante señalar que la construcción del parque eólico, también incluye alguna subestación eléctrica que recolecta los distintos circuitos de los aerogeneradores y que será a partir de esta subestación de donde se transmitirá la energía a través de las líneas de transmisión de CFE. Sin embargo no ahondaremos en el proceso constructivo ni la ingeniería necesaria para esta subestación ya que este tema es muy extenso y llevaría varios capítulos adicionales el desarrollarlo.

En la subestación eléctrica, Figuras 3.19, 3.20 y 3.21, o en el centro control de operaciones del parque eólico se pueden visualizar los parámetros de funcionamiento del parque eólico en tiempo real, los cuales permiten conocer:

- Energía generada
- Velocidad y dirección del viento
- Temperatura
- Niveles de voltaje
- Valores de frecuencia

Algunas empresas tienen grandes centros de control de parques que pueden estar ubicados desde sus oficinas corporativas y de ahí monitorean todos sus parques eólicos ya sea en un país o de manera internacional.

## Subestación Eléctrica

**CUARTO DE POTENCIA**  
En el cuarto de potencia se realiza la recepción de la energía generada del Parque Eólico, y ésta a su vez es enviada a los centros de consumo a través de las líneas de la Comisión Federal de Electricidad.

**EQUIPOS**

- Interruptores
- Equipos de Protección
- Banco de Baterías
- Cargador de Baterías
- Centros de Carga
- Transformador de Servicios Propios



**LA RUMOROSA I**  
Comisión Estatal de Energía

**energíaBC**

**GobBC**  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.19 Cuarto de potencia para Aerogeneradores 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.20 Subestación de parque eólico.  
Fuente. ELECTRICA DEL VALLE DE MEXICO.



Figura 3.21 Subestación de parque eólico.  
Fuente. ELECTRICA DEL VALLE DE MEXICO

### **3.7 Obra civil, electromecánica.**

#### **3.7.1 Obra civil.**

Los trabajos de obra civil necesarios para la realización de la instalación de un parque eólico son:

- Adecuación de vías públicas de acceso.
- Reformar o ampliar caminos de caminos existentes.
- Ejecución de de nuevos viales.
- Plataformas de izado o montaje de equipos y aerogeneradores.
- Realización de ductos eléctricos.
- Construcción de cimentaciones.
- Edificios auxiliares (control, taller, almacén).

Todo ello condicionado por la orografía del terreno y las características geológicas del emplazamiento

#### **Viales y Caminos Existentes**

Aunque habitualmente se recomienda, con objeto de minimizar la ocupación del terreno, el aprovechamiento de infraestructuras viales que puedan ya existir, bien sea porque éstas no presenten las condiciones requeridas, o bien porque no lleguen hasta el emplazamiento deseado (el correspondiente a cada uno de los puntos de ubicación de los aerogeneradores), casi siempre se hace necesario la habilitación y/o construcción de vialidades.

Los criterios técnicos exigibles para el trazado de viales son extensos: radios de curvatura mínimos que van de 20 a 32 metros, pendientes las cuales no deben ser mayores al 12% en caminos y viales y de 30% para zanjas o canalizaciones de cables, anchos y sobre anchos. Hay que considerar que la torre de un aerogenerador se suministra en dos o tres tramos de longitudes superiores a los 20 metros, al igual que las aspas, que pueden alcanzar hasta los 40 metros de largo o más. Ver Figuras 3.22 y 3.23.

Algunos de los caminos tendrán carácter provisional, limitándose su uso provisional de ejecución de las instalaciones. Otros, sin embargo, constituirán las pistas de acceso para el mantenimiento y control operacional que deban realizarse durante la vida útil del parque.

#### **Plataformas de Montaje**

Al igual que para el transporte de los equipos, en las labores de instalación de los aerogeneradores se requieren infraestructuras auxiliares de ingeniería. Se trata de las plataformas de montaje sobre las que se sustentan las grúas necesarias para el izado de las torres y demás componentes del equipo con gran tamaño. Este emplazamiento destinado a la grúa presenta unos requerimientos de superficie que no suelen ser menores de 24 m x 16 m. Ver Figura 3.24

## Ductos Eléctricos.

Los ductos eléctricos se construyen en base a las normas de CFE y la NOM-001-SEDE 2005 en el artículo 310-60, pues hay que considerar que por ahí se llevarán todos los cables de media potencia y de comunicaciones entre los aerogeneradores y la subestación o cuarto de control. Ver Figura 3.26.

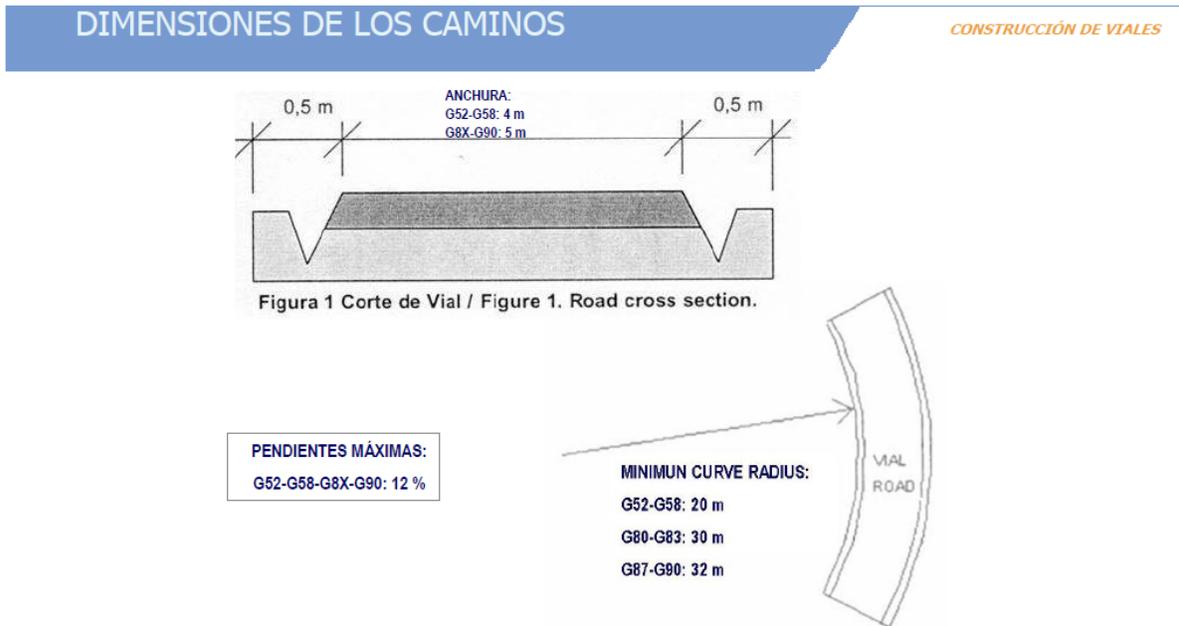


Figura 3.22 Dimensiones de caminos y radios de curvatura de fabricante de aerogeneradores.  
Fuente. GAMESA

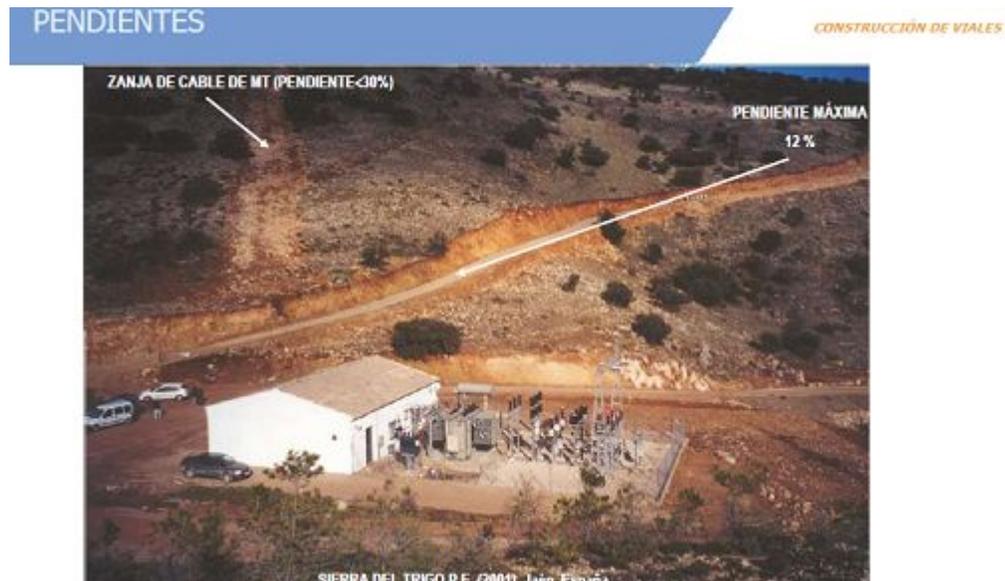


Figura 3.23 porcentaje de pendientes en caminos y zanjas de cableado.  
Fuente. GAMESA



Figura 3.24 Plataforma de montaje para aerogeneradores.  
Fuente. GAMESA

### Obra Civil



LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energíaBC



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.25 Obra civil general de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.

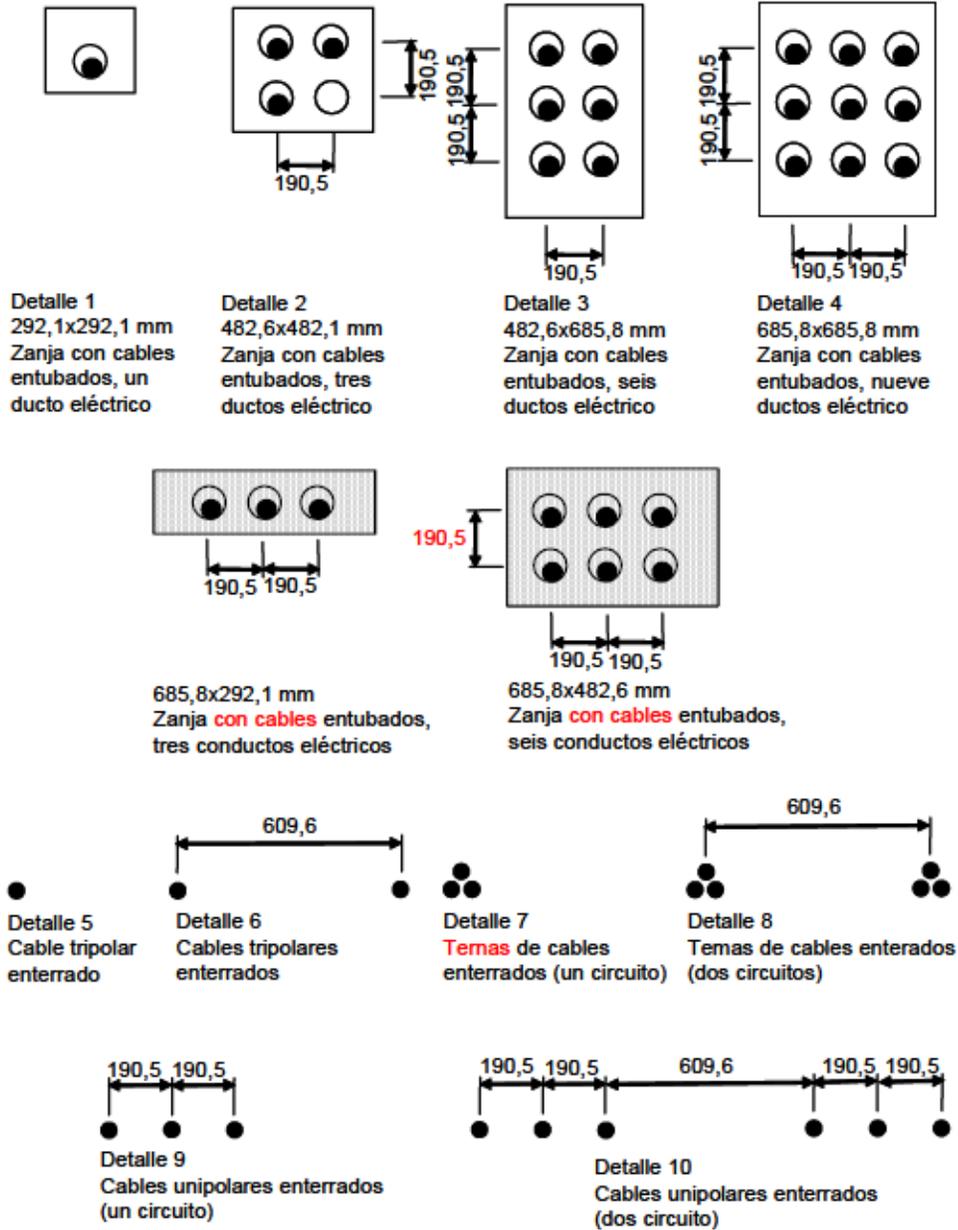


Figura 3.26 Ductos eléctricos para cables de potencia hasta 35 KV.  
Fuente. NOM-SEDE-001-2005

### Cimentaciones

Las cimentaciones deben soportar adecuadamente el aerogenerador bajo las condiciones más extremas a las que puede estar sometido. Normalmente se diseñan para la carga de viento máxima en un periodo de 50 años, también se considera para su diseño el nivel sísmológico de la zona. El fabricante del aerogenerador es quien define, a partir de los datos de viento, sismo y del estudio de la mecánica de suelos, las cargas que deben soportar las cimentaciones, así como sus dimensiones.

En algunos casos cuando la resistencia del terreno es muy baja es necesaria la instalación previa de pilas o pilotes para ahí desplantar la cimentación.

Una cimentación típica puede ser de forma hexagonal o cuadrada, con dimensiones variables según sea el suelo y con una profundidad de 2 metros, ejecutada en concreto y varilla armada.

Para el caso de aerogeneradores de la capacidad de 2 MW como los aquí propuestos se han utilizado cimentaciones diversas que van de unas dimensiones:

1. 19.5x19.5x1.6 metros lo que indica un volumen de más de 600 m<sup>3</sup> de concreto y 65 toneladas de varilla de acero.
2. En otro caso con otro tipo de suelo se tiene una cimentación de 23x23x1.6 mts con un volumen superior a 800 m<sup>3</sup> de concreto y 85 toneladas de varilla de acero.

Esto nos da una visión bastante clara de la cantidad descomunal de concreto y de acero que se utiliza para colocar los 50 aerogeneradores.

Para colocar los 50 aerogeneradores en la primera opción de utilizaríamos más de 30,000 toneladas de concreto y 3,250 toneladas de varilla de acero, para el segundo caso ocuparíamos 40,000 toneladas de concreto y 4,250 toneladas de varilla de acero. Las siguientes Figuras que ejemplifican la construcción de cimentaciones.

## Cimentaciones

**Cuatro zapatas de 19.50 x 19.50 x 1.60 m, volumen = 650 m<sup>3</sup>  
65 toneladas de varilla de acero**



**Una zapata especial de 23 x 23 x 1.60 m, volumen = 900 m<sup>3</sup>  
85 toneladas de varilla de acero**



**LA RUMOROSA I**  
Comisión Estatal de Energía

**energía BC**

**GobBC**  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.27 Obra civil de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.

- El vaciado del concreto duró entre 12 y 18 horas de trabajo ininterrumpido para cada cimentación.



Figura 3.28 Cimentación de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.29 Armado y hormigonado de cimentación para aerogenerador  
Fuente. FUERZA EÓLICA

### **3.7.2 Obra electromecánica.**

Los trabajos de obra electromecánica necesarias para la realización de la instalación de un parque eólico son principalmente:

- Instalación eléctrica de Baja Tensión (BT): puede ser interna a cada aerogenerador, o bien externa.
- La red de tierras
- Red de Media Tensión
- Montaje de los aerogeneradores

Hay que mencionar que la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades. La electricidad demandada en cada momento tiene que producirse de forma simultánea en centros de generación; para ello se necesita un equilibrio complicado y permanente entre generación y consumo y una red de transporte que distribuya esa demanda.

El sistema eléctrico de un parque eólico tiene por objeto la transferencia de la energía producida por cada aerogenerador hacia la red de la compañía eléctrica que suministre a los consumidores.

#### **Instalación Eléctrica De Baja Tensión.**

Consiste en unos circuitos internos al aerogenerador que conectan la salida del generador con el centro de transformación, también interno, y eleva el potencial eléctrico de salida desde Baja Tensión, unos 690 Volts hasta Media Tensión; es común en México que se utilice una Media Tensión de 23 o 34.5 kV. Este transformador suele ser de tipo seco, al estar localizado dentro de la torre o al pie de la torre.

Adicionalmente, existirá otro circuito, de control o comunicaciones y servicios auxiliares, para la alimentación de los equipos de regulación, motores de orientación, unidad hidráulica y otras herramientas de alumbrado y maniobra de la góndola y la torre.

#### **Red de Tierras**

Todas las plantas eléctricas requieren estar conectadas a tierra, lo cual tiene como objetivos fundamentales los siguientes:

- Minimizar los peligros de muerte de personas y animales,
- Establecer un camino de baja impedancia para las corrientes de fallas a tierra y por lo tanto una eficiente operación de las protecciones,
- Mejoramiento del sistema de protección contra rayos o descargas atmosféricas, limitando así los voltajes producidos en las instalaciones eléctricas y evitando la desconexión de circuitos por la acción de los arcos eléctricos.
- Conservar las tensiones de paso y contacto dentro de los límites normados, para prevenir la aparición de elevadas diferencias de potencial, peligrosas para las personas y los equipos.

- Evitar voltajes peligrosos entre los elementos expuestos (equipos, estructuras, etc.) durante la falla y condiciones normales de operación.
- Como puesta a tierra de los neutros de los transformadores.
- Un sistema completo de puesta a tierra del parque eólico

Las turbinas eólicas al igual que el resto de los equipos eléctricos necesitan ser conectados a tierra con la menor impedancia posible. Generalmente, los parques eólicos abarcan grandes áreas geográficas, en ocasiones varios kilómetros.

En cada turbina eólica es construido un sistema de puesta a tierra colocando generalmente un anillo o una retícula de cable de cobre desnudo alrededor de la torre, lo más común y por norma es utilizar el calibre 4/0 del cable enterrados a una profundidad usual entre 0.6 y 0.8 metros y colocando electrodos o varillas de cobre verticales combinados con el anillo.

Es muy común interconectar el sistema de puesta a tierra con los cimientos de la base de la torre de la turbina. En los parques eólicos se interconectan los sistemas de puestas a tierra individuales que posee cada turbina eólica y se suele unir en grupos.

Estos grupos también se conectan después al sistema de puesta a tierra de la subestación correspondiente. Así, desde la red de media tensión se deriva en forma de T a cada turbina eólica, mediante soldadura.

### **Red de Media Tensión**

La red de media tensión conecta a los aerogeneradores entre sí y a la subestación del parque eólico.

Por ello, el trazado de la red de Media Tensión se basa en la disposición o agrupación de los aerogeneradores y es aconsejable que la zanja del cableado transcurra paralela a los caminos de acceso a los aerogeneradores. La instalación es habitualmente subterránea para reducir el impacto ambiental que implicaría un tendido aéreo y reducir el riesgo que implicaría dicha red aérea para las obras de mantenimiento de los aerogeneradores, que para estos trabajos por lo general se usan grúas. Ver Figura 3.30.

El rango óptimo de voltajes para la red de media tensión se sitúa entre los 13.8 y los 34.5 KV. El calibre de la red de media tensión estará definido por el diseño eléctrico, la caída de tensión, el costo del cable y por supuesto las pérdidas de potencia.

Los calibres para la red de media tensión van desde cables calibre 4/0 hasta cables calibre 1,000 KCM. El material más comúnmente utilizado para los cables de media tensión es unipolar de aluminio.

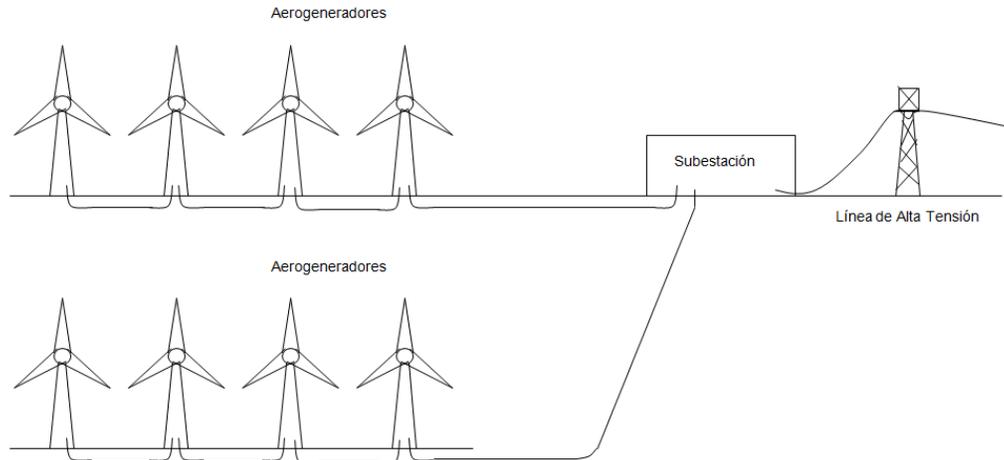


Figura 3.30 Ejemplo básico de la red de media tensión, la subestación y la conexión a la red eléctrica

El diseño de la red de media tensión afecta sensiblemente a la economía del proyecto, tanto en términos de inversión económica como de pérdidas energéticas por efecto Joule. En general, el diseño óptimo responde a uno o varios circuitos con secciones crecientes a medida que se acerca a la subestación eléctrica; cuanto más cerca de la misma, mayor corriente eléctrica circula por el circuito, ya que los aerogeneradores van aportando su potencia al circuito que esté conectado.

Para nuestro caso de un parque eólico de 100 MW con aerogeneradores de 2 MW, utilizaremos un total de 48,870 metros de cable entre calibre 4/0, 500 y 1,000 KCM. Ver Figura 3.31.

Datos del Circuito 1 10 AEROGENERADORES						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)		4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM	
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG1-01	AG1-02	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG1-02	AG1-03	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG1-03	AG1-04	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG1-04	AG1-05	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG1-05	AG1-06	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG1-06	AG1-07	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.046%	0	840	0	
AG1-07	AG1-08	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840	
AG1-08	AG1-09	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840	
AG1-09	AG1-10	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	6.42 kW	0.036%	0	0	840	
AG1-10	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>193.27 V</b>	<b>0.5602%</b>	<b>55.89 kW</b>	<b>0.2794%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
Datos del Circuito 2						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)		4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM	
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG11	AG12	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG12	AG13	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG13	AG14	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG14	AG15	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG15	AG16	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG16	AG17	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.046%	0	840	0	
AG17	AG18	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840	
AG18	AG19	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840	
AG19	AG20	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	6.42 kW	0.036%	0	0	840	
AG20	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>193.27 V</b>	<b>0.5602%</b>	<b>55.89 kW</b>	<b>0.2794%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
Datos del Circuito 3						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)		4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM	
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG21	AG22	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG22	AG23	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG23	AG24	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG24	AG25	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG25	AG26	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG26	AG27	280	211.39 A	1	500 KCM	18.80 V	0.054%	5.52 kW	0.046%	0	840	0	
AG27	AG28	280	246.62 A	1	1000 KCM	13.30 V	0.039%	3.88 kW	0.028%	0	0	840	
AG28	AG29	280	281.85 A	1	1000 KCM	15.20 V	0.044%	5.07 kW	0.032%	0	0	840	
AG29	AG30	280	317.08 A	1	1000 KCM	17.10 V	0.050%	6.42 kW	0.036%	0	0	840	
AG30	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	48.87 V	0.142%	20.38 kW	0.102%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>193.27 V</b>	<b>0.5602%</b>	<b>55.89 kW</b>	<b>0.2794%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
Datos del Circuito 4						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)		4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM	
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG31	AG32	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG32	AG33	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG33	AG34	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG34	AG35	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG35	AG36	280	35.23 A	1	500 KCM	3.13 V	0.009%	0.15 kW	0.008%	0	840	0	
AG36	AG37	280	70.46 A	1	500 KCM	6.27 V	0.018%	0.61 kW	0.015%	0	840	0	
AG37	AG38	280	105.69 A	1	1000 KCM	5.70 V	0.017%	0.71 kW	0.012%	0	0	840	
AG38	AG39	310	281.85 A	1	1000 KCM	16.83 V	0.049%	5.61 kW	0.035%	0	0	930	
AG39	AG40	310	317.08 A	1	1000 KCM	18.94 V	0.055%	7.11 kW	0.039%	0	0	930	
AG40	SE	750	352.31 A	1	1000 KCM	50.91 V	0.148%	21.23 kW	0.106%	0	0	2,250	
<b>Total</b>	<b>2270</b>					<b>166.10 V</b>	<b>0.4815%</b>	<b>46.22 kW</b>	<b>0.2311%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,950</b>	
Datos del Circuito 5						Caída de Tensión (e)		Pérdida de Potencia (P)		4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM	
Tramo	Longitud con cocas	Intensidad	Temas en canalización	Sección	V	e%	kW	P%	4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM		
AG41	AG42	280	35.23 A	1	4/0 AWG	6.43 V	0.019%	0.36 kW	0.018%	840	0	0	
AG42	AG43	280	70.46 A	1	4/0 AWG	12.86 V	0.037%	1.44 kW	0.036%	840	0	0	
AG43	AG44	280	105.69 A	1	4/0 AWG	19.30 V	0.056%	3.24 kW	0.054%	840	0	0	
AG44	AG45	280	140.92 A	1	4/0 AWG	25.73 V	0.075%	5.76 kW	0.072%	840	0	0	
AG45	AG46	280	176.16 A	1	500 KCM	15.67 V	0.045%	3.83 kW	0.038%	0	840	0	
AG46	AG47	280	35.23 A	1	500 KCM	3.13 V	0.009%	0.15 kW	0.008%	0	840	0	
AG47	AG48	280	70.46 A	1	1000 KCM	3.80 V	0.011%	0.32 kW	0.008%	0	0	840	
AG48	AG49	280	105.69 A	1	1000 KCM	5.70 V	0.017%	0.71 kW	0.012%	0	0	840	
AG49	AG50	280	140.92 A	1	1000 KCM	7.60 V	0.022%	1.27 kW	0.016%	0	0	840	
AG50	SE	720	352.31 A	1	1000 KCM	36.36 V	0.105%	26.54 kW	0.133%	0	0	2,160	
<b>Total</b>	<b>3240</b>					<b>136.58 V</b>	<b>0.3959%</b>	<b>43.62 kW</b>	<b>0.2181%</b>	<b>3,360</b>	<b>1,680</b>	<b>4,680</b>	
TOTAL MEDICIONES DE CABLE													
										4/0 AWG	500 KCM	1000 KCM	Total (mts)
Longitudes (cable de potencia) (m)										16,800.00	8,400.00	23,670.00	48,870.00

Figura 3.31 Memoria de cálculo de conductores de Media tensión para un parque eólico de 100 MW y medición de cableado de media tensión.

## Obra Eléctrica



LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.32 Obra Eléctrica de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.33 Ejemplo de montaje de equipos en plataforma de la torre.  
Fuente. GAMESA

## Montaje de Aerogeneradores

Una vez transportados los componentes del aerogenerador hasta el punto de anclaje, se procede a su ensamblaje, haciendo uso de una grúa de grandes dimensiones. De este modo se realiza el izado o montaje de la torre, la góndola y el rotor con las aspas. Las siguientes Figuras muestran la secuencia de montaje de los aerogeneradores.



Figura 3.34 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.35 Montaje de secciones de torre de aerogeneradores.  
Fuente. FUERZA EÓLICA

## Montaje del Nacelle

Una vez montada la torre se procede a la instalación de la nacelle, la cual se acopla al último tramo de la torre y se procede a la conexión eléctrica de todos los componentes (70 toneladas)

LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energía BC

GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.36 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.37 Montaje de Nacelle o Góndola.  
Fuente. IBERDROLA



Figura 3.38 Montaje de Nacelle o Góndola.  
Fuente. IBERDROLA

## Montaje del Rotor



El montaje comienza en tierra, ensamblando las tres palas al buje. Posteriormente se levanta ligeramente el rotor para colocar el cono. Finalmente se levanta el rotor completo, y se ensambla en la parte frontal de la nacelle (36.9 toneladas)

LA RUMOROSA I  
Comisión Estatal de Energía

energía BC



GobBC  
GOBIERNO DEL ESTADO

Figura 3.39 Montaje de un parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.



Figura 3.40 Montaje de rotor y aspas de aerogeneradores.  
Fuente. FUERZA EÓLICA.



Figura 3.41 Montaje de rotor y aspas de aerogeneradores.  
Fuente. IBERDROLA



Figura 3.42 Montaje de rotor y aspas de aerogeneradores.  
Fuente. IBERDROLA

### **Puesta en Servicio**

Una vez que están todos los equipos montados, se realizan las pruebas correspondientes, definidas por cada uno de los fabricantes y una vez realizadas estas pruebas se realiza la puesta en servicio del proyecto.

La puesta en servicio inicia con la energización de la subestación eléctrica, operación que, en condiciones normales suele necesitar entre 5 y 10 días, ya que se realizan comprobaciones de equipos de medida, coordinación de protecciones, pruebas de tele disparos. Una vez realizado esto se continua con la energización de las celdas de media tensión de cada uno de los centros de

transformación de los aerogeneradores, momento a partir del cual ya se tiene voltaje en cada aerogenerador y es posible su puesta en servicio, operación que suele durar entre 1 y 2 días por cada aerogenerador.



Figura 3.43 Parque eólico con aerogeneradores de 2 MW.  
Fuente. Gobierno Estatal De Baja California.