



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**CONSTRUCCIÓN DE LA CENTRAL EÓLICA
“LA RUMOROSA I”
Y
SU IMPACTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A:

MONROY DÍAZ MIGUEL ÁNGEL



**DIRECTOR DE TESIS: ING. ZÁRATE MORALES
MARIDEL**

MÉXICO, D.F. 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A MIS COMPAÑEROS

A MI ASESOR

MARIDEL ZÁRATE MORALES

Sabiendo que no existirá una forma de agradecer todo su apoyo brindado durante el tiempo que pasamos juntos durante el transcurso de la carrera, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes.

Gracias

ÍNDICE

Índice de tablas.....	VII
Índice de gráficas.....	VII
Índice de imágenes.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Resumen.....	X
Objetivos generales.....	1
Objetivos particulares.....	1
Introducción.....	2
Marco histórico.....	4
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	5
1.1.-Definición de viento.....	6
1.2.-Medición de la velocidad y dirección del viento.....	6
1.3.- Tipos de vientos.....	7
1.4.-Formas en que se origina el viento.....	8
1.4.1.- <i>Temperatura</i>	8
1.4.1.1.- <i>Circulación local</i>	9
1.4.1.2.- <i>Circulación mundial</i>	10
1.4.2.- <i>Rotación del planeta</i>	11
1.5.-Definición de energía eólica.....	12
1.6.-Turbinas eólicas.....	12
1.6.1.- <i>Cimentación</i>	13
1.6.1.1.- <i>Cimentación para turbinas eólicas en tierra</i>	13
1.6.1.2.- <i>Cimentación para turbinas eólicas en mar</i>	14
1.6.1.2.1.- <i>Cimentaciones por gravedad</i>	14
1.6.1.2.2.- <i>Cimentaciones monopilote</i>	14

1.6.1.2.3.-Cimentaciones trípode.....	15
1.6.2.-Torre.....	16
1.6.2.1.-Torre de acero.....	16
1.6.2.1.1.-Torre reticulada.....	16
1.6.2.1.2.-Torre con riendas.....	16
1.6.2.1.3.-Torre tubular de acero.....	17
1.6.2.2.-Torre de concreto.....	18
1.6.2.3.-Torre híbrida.....	18
1.6.3.-Rotor.....	19
1.6.3.1.-Rotor a barlovento.....	19
1.6.3.2.-Rotor a sotavento.....	20
1.6.4.-Álabes.....	21
1.6.4.1.-Rotores monopala.....	21
1.6.4.2.-Rotores bipala.....	21
1.6.4.3.-Rotores tripala.....	22
1.6.5.-Buje.....	22
1.6.6.-Góndola.....	22
1.6.6.1.- Eje de baja velocidad.....	23
1.6.6.2.-Caja multiplicadora.....	23
1.6.6.3.-Eje de alta velocidad.....	24
1.6.6.4.-Generador.....	24
1.6.6.4.1.-Generador síncrono.....	25
1.6.6.4.2.-Generador asíncrono.....	26
1.6.7.-Sistema de Frenos.....	27
1.6.7.1.-Sistema de freno aerodinámico.....	27
1.6.7.2.-Sistema de freno mecánico.....	27
1.7.-Proceso de generación de energía eléctrica por medio de una turbina eólica.....	28
1.8.-Regiones con potencialidad eólica en México.....	30
1.8.1.-Sur del Istmo de Tehuantepec.....	30
1.8.2.-Las costas del país.....	31
1.8.3.-Península de Yucatán.....	31
1.8.4.-Peninsula de Baja California.....	31

1.8.5.- <i>Altiplano Norte</i>	32
1.8.6.- <i>Región Central</i>	32
1.9.-Plantas eólicas en México, su capacidad instalada y los esquemas de Producción eléctrica.....	32
1.9.1.- <i>Capacidad instalada</i>	33
1.9.2.- <i>Esquemas de producción de electricidad</i>	33
1.9.2.1.- <i>Autoabastecimiento</i>	33
1.9.2.2.- <i>Productor Independiente de Energía (PIE)</i>	33
1.10.-El sector energético renovable más representativo en México.....	35
1.10.1.- <i>Geotérmica</i>	35
1.10.2.- <i>Eólica</i>	36
1.10.3.- <i>Geotérmica</i>	36
1.10.4.- <i>Mini-Hidráulica</i>	37
1.10.5.- <i>Solar (Fotovoltaica)</i>	37
1.10.6.- <i>Bioenergética (Biomasa y Biogás)</i>	38
1.11.-Energía eólica como medio de mitigar la creciente demanda energética de México.....	39
1.12.-Energía eólica, calentamiento global y las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica.....	41
1.12.1.- <i>Efecto invernadero y calentamiento global</i>	41
CAPITULO II: PARQUE EÓLICO “LA RUMOROSA I” Y LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS DURANTE SU CONSTRUCCIÓN.....	44
2.1.-Ubicación geográfica del proyecto.....	45
2.2.-Características de los vientos de la zona.....	47
2.3.-Dimensiones del proyecto.....	49
2.4.-Desmante.....	50
2.4.1.- <i>Definición</i>	50
2.4.2.- <i>Proceso constructivo</i>	50
2.4.3.- <i>Impacto ecológico</i>	51

2.5.-Caminos de terracería.....	52
2.5.1.-Definición.....	52
2.5.2.-Proceso constructivo.....	52
2.5.3.-Trazo del camino.....	52
2.5.4.-Desmonte y despalme.....	52
2.5.5.-Corte.....	52
2.5.6.-Cuerpo del terraplén.....	53
2.5.6.1.-Extendido.....	54
2.5.6.2.-Humectación.....	54
2.5.6.3.-Compactación.....	55
2.5.6.4.-Impacto ecológico.....	56
2.6.-Cimentaciones.....	57
2.6.1.-Proceso constructivo.....	57
2.6.1.1.-Excavación.....	57
2.6.1.2.-Construcción de la cimentación.....	57
2.6.1.3.-Colocación del anillo de anclaje.....	58
2.6.1.4.-Datos técnicos de las zapatas.....	59
2.6.1.5.-Impacto ecológico.....	60
2.7.-Construcción, transportación y montaje de aerogeneradores.....	61
2.7.1.-Proceso de construcción del aerogenerador G-87.....	61
2.7.1.1.-Torres.....	61
2.7.1.2.-Palas.....	62
2.7.1.3.-Góndola.....	63
2.7.1.3.1.-Ensamblaje del bastidor y de la caja multiplicadora.....	63
2.7.1.3.2.-Ensamblaje del generador.....	63
2.7.2.-Transportación.....	64
2.7.3.-Montaje de aerogeneradores.....	65
2.7.4.-Montaje de torres.....	65
2.7.4.1.-Datos técnicos de las torres.....	66
2.7.5.-Montaje de la góndola.....	67
2.7.5.1.-Datos técnicos de góndola.....	67
2.7.6.-Montaje del rotor.....	68
2.7.6.1.-Datos técnicos del rotor.....	68
2.7.7.- Otras obras.....	69
2.7.8.-Impacto ecológico durante el proceso de construcción, transportación y	

<i>montaje de los aerogeneradore</i>	70
CAPITULO III: IMPACTOS FAVORABLES Y DESFAVORABLES DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA EÓLICA “LA RUMOROSA I”.....	72
3.1.-Sobre el aire.....	73
3.2.-Sobre el suelo.....	75
3.3.-Sobre el agua.....	77
3.4.-Sobre la fauna.....	78
3.5.-Sobre la climatología.....	80
3.6.-Sobre el medio social.....	82
3.6.1.- <i>Efecto auditivo</i>	83
3.6.2.- <i>Aspecto visual</i>	84
3.6.3.- <i>Efecto sombra</i>	86
3.7.-Sobre el aspecto económico.....	86
3.8.-Sobre el medio ambiente indirecto.....	88
3.8.1.- <i>Residuos peligrosos</i>	88
3.8.2.- <i>Residuos no peligrosos</i>	89
Recomendaciones.....	90
Conclusiones.....	91
Bibliografía.....	92

Índice de tablas

Tabla 1.- Escala de la velocidad del viento de Beaufort.....	6
Tabla 2. Plantas eólicas en operación 2014. Fuente Asociación Mexicana de Energía Eólica, A.C. (AMDEE).....	35
Tabla 3.-Emisión de dióxido de carbono generado en una central termoeléctrica por el tipo de combustible que utiliza para la generación de energía eléctrica.....	44
Tabla 4.-Superficie afectada por construcción de obras.....	50

Índice de gráficas

Grafica 1.-Capacidad instalada de energía renovable 2010.....	37
Gráfica 2.-Pronostico esperado para el consumo nacional de energía eléctrica hacia el 2024. Fuente: Sistema Eléctrico Nacional (Servicio Publico), 200 Edición, CFE, Marzo 2009.	40
Gráfica 3.-Proyección de la capacidad eólica instalada proyectada para el 2024. Fuente: Prospectiva del sector eléctrico 2009 - 2024. SENER. México.....	41
Gráfica 4.-Velocidad del viento en la planta eólica “La Rumorosa I”.....	81
Gráfica 5.-Factor de planta en la planta eólica “La Rumorosa I”.....	82
Gráfica 6.-Generación de energía en la planta eólica “La Rumorosa I”.....	87

Índice de Imágenes

Imagen 1.-Localización de la planta eólica en la zona de La Rumorosa.....	47
Imagen 2.-Disposición de las turbinas eólicas respecto a la fuerza del viento.....	48
Imagen 3.-Velocidad del viento en la región del norte de Baja California. U.S Departament of Energy	
Imagen 4.-Localización de la central eólica “La Rumorosa I”.....	50
Imagen 5.-Zona de afectación aproximada de la planta eólica “La Rumorosa I”.....	52

Imagen 6.-Localizacion de zapatas de cimentación dentro de la planta eólica “La Rumorosa I”	60
Imagen 7.-Caseta de vigilancia.....	70
Imagen 8.-Almacen de refracciones y residuos.....	70
Imagen 9.-Mapa hidrológico de la zona de La Rumorosa.....	78

Índice de figuras

Fig. 1.-Anemómetro de 3 cazoletas con veleta montados en un mismo brazo.....	7
Fig. 2.-Flujo de aire, proceso de convección.....	8
Fig. 3.-Circulación local.....	9
Fig. 4.-Desplazamiento del aire en la Zona de Calma Ecuatorial.....	10
Fig. 5.-Células de circulación atmosférica.....	11
Fig. 6.-Estructura típica de una turbina eólica.....	12
Fig. 7.-Cimentación para aerogenerador de concreto reforzado.....	13
Fig. 8.-Tipos de cimentaciones marinas para aerogeneradores.....	15
Fig. 9.-Torres de acero y sus diferentes tipos.....	17
Fig. 10.-Torres de concreto y de concreto-acero.....	18
Fig.11.-Rotor con el viento de frente.....	19
Fig. 12.- Rotor con el viento detrás.....	20
Fig. 13.-Partes que conforman el rotor de una turbina eólica.....	20
Fig. 14.-Tipos de rotores según el numero de palas.....	22
Fig. 15.-Interior de una góndola.....	23
Fig. 16.-Interior de la caja multiplicadora.....	24
Fig. 17.-Esquema representativo del movimiento de giro de un generador síncrono.....	25
Fig. 18.-Esquema de un generador asíncrono doblemente alimentado.....	27
Fig. 19.-Freno mecánico (A) y Freno aerodinámico (B).....	28
Fig. 20.-Partes internas básicas de un generador eléctrico.....	30
Fig. 21.-Mapa 1 de las regiones con potencial eólico en México.....	31

Fig. 22.-Mapa 2 de las regiones con potencial eólico en México.....	32
Fig. 23.-Efecto invernadero.....	43
Fig. 24.-Localización de la planta eólica “La Rumorosa I” dentro del territorio nacional.....	46
Fig. 25.-Desmonte realizado por un tractor buldócer.....	51
Fig. 26.-Composicion del camino de terracería: 1) sub-rasante y 2) nivel de Terreno natural.....	54
Fig. 27.-Extendido del material del terraplén por medio de motoconformadora.....	55
Fig. 28.-Humectacion del material del terraplén por medio de pipa de agua..	56
Fig. 29.-Compactacion de material del terraplén por medio de compactadora.....	56
Fig. 30.-Excavacion para cimentación por medio de excavadora.....	58
Fig. 31.-Colado de una zapata.....	59
Fig. 32.-Anillo de anclaje de la torre.....	59
Fig. 33.-Proceso de fabricación de una torre para aerogenerador G-87.....	62
Fig. 34.-Proceso de fabricación de palas para aerogenerador.....	63
Fig. 35.-Proceso inicial de ensamblaje de la góndola del aerogenerador.....	64
Fig. 36.-Proceso final de ensamblaje de la góndola del aerogenerador.....	65
Fig. 37.-Transportacion de aeroturbinas.....	65
Fig. 38.-Colocación de las secciones que conforman la torre de un aerogenerador.....	66
Fig. 39.-Dimensión de las torres en el parque eólico “La Rumorosa I”.....	67
Fig. 40.-Colocación de la góndola.....	68
Fig. 41.-Colocacion del rotor de un aerogenerador.....	69
Fig. 42.-TEP, valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo.	74
Fig. 43.-Contaminacion atmosférica.....	75
Fig. 44.-Uso compartido de una planta eólica con la agricultura y ganadería.	76
Fig. 45.-Linea migratoria de aves hacia México.....	79
Fig. 46.-Muerte de un ave dentro de un parque eólico.....	80
Fig. 47.-Generación de ruido por una turbina eólica.....	84
Fig. 48.-Contaminacion del paisaje ocasionado por el gran numero de aerogeneradores.....	85

Resumen

Este trabajo esta estructurado de la siguiente forma:

Objetivos, introducción y marco histórico.

En el capitulo 1 se exponen los aspectos generales de la energía eólica, definición y orígenes del viento, características generales de las turbinas eólicas, el proceso para generar energía eléctrica, regiones con potencial eólico, plantas eólicas mexicanas y el calentamiento global.

Capitulo 2 se presenta el proceso constructivo de la planta eólica “La Rumorosa I”, aspectos técnicos y el impacto ecológico ocasionado durante su construcción.

Capitulo 3 se presentan los impactos asociados al medio ambiente, durante el funcionamiento de la planta eólica “La Rumorosa I”

Por ultimo contiene las recomendaciones y las conclusiones obtenidas a partir de este trabajo.

Objetivos generales

Conocer cuáles son los principales daños sobre el medio ambiente durante el proceso constructivo de la planta eólica “La Rumorosa I” y sus impactos favorables y desfavorables durante su funcionamiento.

Objetivos particulares

*Investigar cuales son los tipos de vientos que existen para el funcionamiento de una planta eólica y como se originan.

*Explicar los componentes que conforman una turbina eólica y su funcionamiento para la generación de electricidad.

*Exponer cuales son las zonas con potencial eólico y las plantas eólicas construidas en México.

*Explicar el proceso constructivo y su relación con el medio ambiente en la planta eólica “La Rumorosa I”.

Introducción

La disminución cada vez más de los recursos fósiles como el petróleo y el carbón y sus altos costos de extracción y procesamiento, ha hecho imperante cada vez más el uso de fuentes alternativas para la obtención de energía como es el caso de energía eólica.

El uso de fuentes energéticas limpias no solamente tiene como fin diversificar las fuentes de generación de energía y reducir sus costos de producción, sino como respuesta ante la amenaza del cambio climático.

El aprovechamiento de la energía eólica ha ido incrementándose estando presente esta forma energética en más de 60 países, no solo en los países desarrollados si no cada vez más en los países en desarrollo.

En México la capacidad para producir energía eólica esta aumentando cada vez más ya que cuenta con muchas zonas apropiadas donde se pueden construir centrales para la explotación del recurso eólico.

La industria de la construcción de centrales eólicas siempre esta en la búsqueda y desarrollo de nuevos diseños y materiales que sirvan para sus componentes lo que repercute directamente en la capacidad para generación de energía, en su costo y sobre el medio ambiente.

En las ultimas dos décadas la población del país ha aumentado considerablemente teniendo una demanda cada vez mayor en el consumo energético, modificado la relación con el medio ambiente, siendo necesario considerar los recursos energéticos con que cuenta México como medio para el crecimiento y el bienestar de sus habitantes.

Las características geográficas del norte de México más precisamente en el estado de Baja California, presenta un buen potencial para el aprovechamiento del recurso eólico.

Con el proyecto de la central eólica de “La Rumorosa I” se busca el desarrollo y bienestar de la comunidad cercana, mejorando la calidad en el servicio eléctrico, generando empleos en su construcción, control y mantenimiento y proveyendo a una mayor población de energía eléctrica, y todo esto sin afectar en ningún momento el medio ambiente.

Marco histórico

El viento es una de las más antiguas fuentes de energía conocida, durante milenios los barcos de vela constituyeron una importante utilización de la energía eólica.

En el siglo pasado, los molinos de viento utilizaban la fuerza eólica para moler granos y bombear agua. Durante el siglo XX se utilizaron rotores muy pequeños a fin de suministrar energía eléctrica y calefacción a las granjas situadas en lugares apartados.

En 1977, en México, el desarrollo tecnológico para el uso de este tipo de energía, se inicio con un programa de aprovechamiento del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). La primera planta de energía eólica instalada en México fue “La Venta” situada en la localidad de “La Ventosa”, en el municipio de Juchitán, Oaxaca, puesta en marcha en 1994.

En el año 2006 la Comisión Federal de Electricidad (CFE), pone en marcha la central “La Venta II”. En 2009 entra en funcionamiento la planta “EURUS” en su fase inicial para posteriormente seguir la ampliación de dicha planta en su fase II.

En la actualidad la energía eólica en México ha tenido un aumento considerable en la construcción de plantas eólicas. En 2013 México ocupó el lugar número 21 en el aprovechamiento del recurso eólico con una capacidad instalada aproximada a los 1992 MW. El futuro en la utilización de energía eólica se seguirá incrementado dada la creciente demanda energética que cada día va en aumento.

CAPITULO I
ASPECTOS GENERALES DE LA
ENERGÍA EÓLICA

1.1.-Definición de viento

El viento el cual contiene energía cinética (de movimiento) suele definirse como un flujo a gran escala de los gases contenidos en la atmosfera, es decir es un movimiento de las masas de aire.

1.2.-Medición de la velocidad y dirección del viento

La velocidad del viento se clasifica usando una escala de 0-12 con base en claves visuales desarrolladas originalmente por Sir Francis Beaufort. El desarrollo un sistema de intensidad para determinar en forma precisa la velocidad del viento. Este sistema fue desarrollado por marineros, pero fue modificado por el Servicio Meteorológico Nacional para ser usado también en tierra firme.

FUERZA BEAUFORT	VELOCIDAD m/s	VELOCIDAD Km/h	DENOMINACIÓN
0	0 a 0.2	1	CALMA
1	0.3 a 1.5	1 a 5	VENTOLINA
2	1.6 a 3.3	6 a 11	VIENTO LIGERO
3	3.4 a 5.4	12 a 19	VIENTO SUAVE
4	5.5 a 7.9	20 a 28	VIENTO MODERADO
5	8.0 a 10.7	29 a 38	VIENTO FRESCO
6	10.8 a 13.8	39 a 49	VIENTO FUERTE
7	13.9 a 17.1	50 a 61	VIENTO MUY FUERTE
8	17.2 a 20.7	62 a 74	VENTARRÓN
9	20.8 a 24.4	75 a 88	VENTARRÓN FUERTE
10	24.5 a 28.4	89 a 102	TEMPORAL
11	28.5 a 32.6	103 a 117	BORRASCA
12	32.7 ó más	118 ó más	HURACÁN

Tabla 1.- Escala de la velocidad del viento de Beaufort.

Las mediciones de las velocidades del viento se realizan normalmente usando un *anemómetro de cazoletas*, mientras que la dirección del viento se detecta con una *veleta*.

Anemómetro: Es un aparato meteorológico parecido a un diminuto molino con un eje vertical y tres aspas con cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento haciéndolas girar, donde el número de revoluciones por segundo es leído por un contador electrónicamente.

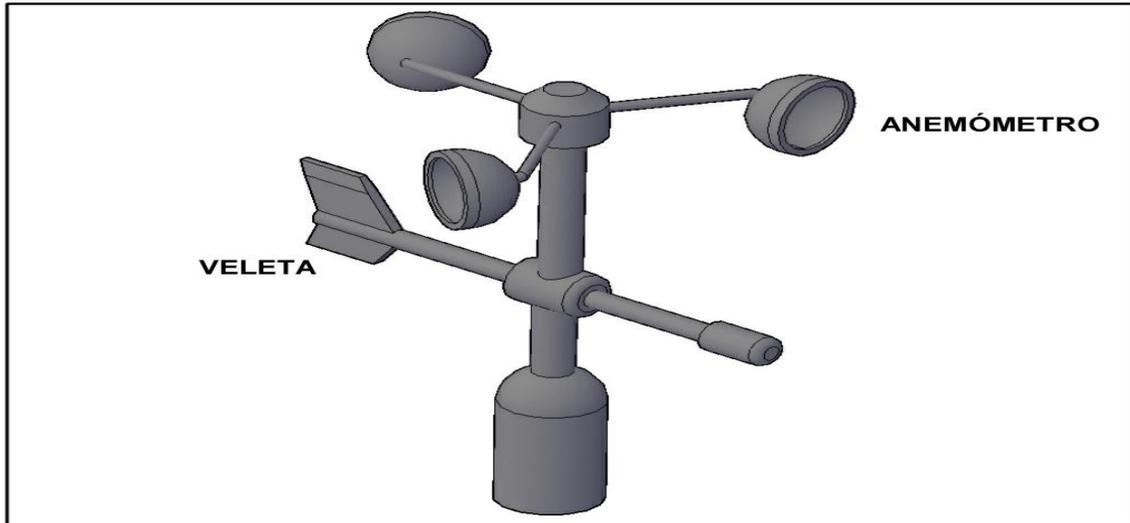


Fig. 1.-Anemómetro de 3 cazoletas con veleta montados en un mismo brazo.

1.3.-Tipos de vientos

- 1) Viento: Movimiento horizontal del aire.
 - 2) Ascendente o calma: Movimiento vertical del aire hacia arriba.
 - 3) Descendente o Convección: Movimiento vertical del aire hacia abajo.
- La combinación de ambos movimientos (ascendente y descendente), da lugar a las perturbaciones atmosféricas (turbulencias).

Existen 3 tipos de vientos:

- 1) Vientos planetarios: Se les llama constantes o regulares y soplan todos en la misma dirección.
- 2) Vientos continentales: Pueden ser periódicos o intermitentes. Una parte del día o del año soplan del mar a la tierra y en la otra de la tierra al mar.
- 3). Vientos locales o irregulares: Son aquellos que solo se producen en cierta época del año y con diferente temperatura, Simun (viento caliente) y Norte (viento frío)

Además los vientos se clasifican como se distribuyen geográficamente:

Alisios: En los trópicos del ecuador.

Contralisios: De los trópicos hacia los polos.

Circumpolares: Que circundan en los polos.

1.4.-Formas en que se origina el viento

El viento se origina por dos factores importantes naturales: *temperatura* y *rotación del planeta*

14.1.-Temperatura

La energía calorífica proveniente del sol al llegar a la tierra calienta su superficie, haciendo que los gases atmosféricos más próximos a ella aumenten la temperatura, provocando que el aire caliente suba hacia capas mas altas de la atmosfera desplazando hacia abajo las capas mas frías a esto se le llama “convección atmosférica”.

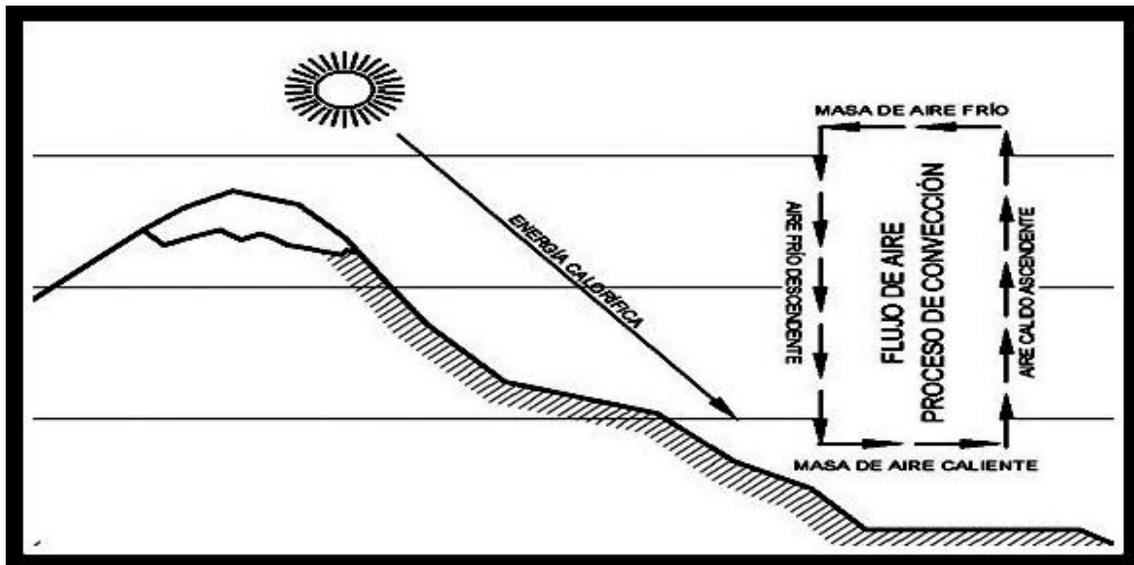


Fig. 2.-Flujo de aire, proceso de convección.

El movimiento básico del aire por temperatura se divide en dos tipos: *circulación local* y *circulación mundial*.

1.4.1.1.-Circulación local

El sol irradia una gran cantidad de energía, provocando que se caliente la superficie de la Tierra. Sin embargo los diferentes materiales que componen la superficie terrestre no absorben esta energía igual; en particular el agua y la tierra absorben y liberan el calor a diferentes velocidades. Este calentamiento desigual produce zonas de alta y baja presión de aire, lo cual provoca el movimiento del aire.

En el día el sol calienta la tierra firme más rápidamente que la superficie del mar provocando que el aire de las costas se expanda y se eleve, provocando que el viento fluya desde el mar hasta las costas. En la noche pasa lo contrario puesto que el agua retiene el calor más tiempo que la tierra.

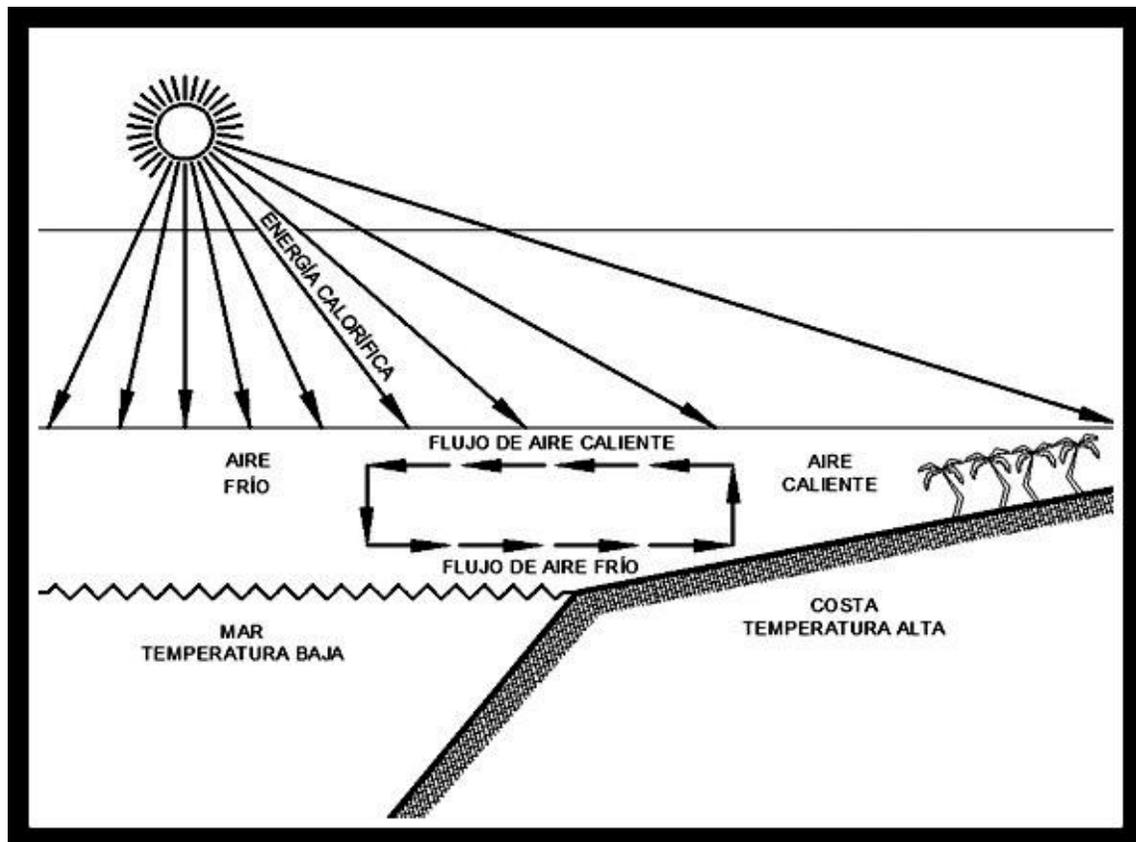


Fig. 3.-Circulación local.

1.4.1.2.-Circulación Mundial

A nivel mundial, el ecuador es la parte del Planeta más cerca del sol y, por lo tanto, más caliente; de ahí se origina el aire caliente y la circulación mundial del viento. Entre aproximadamente los 10° de latitud norte y sur existe la Zona de Calma Ecuatorial, un área de baja presión donde el aire circula principalmente de manera vertical y no se produce el viento. En vez de producir viento (movimiento horizontal del aire), en esta zona el aire caliente sube alrededor de 10 kilómetros de la superficie, mientras que el aire frío lo empuja; al estar en lo alto el aire se enfría y regresa a la tierra.

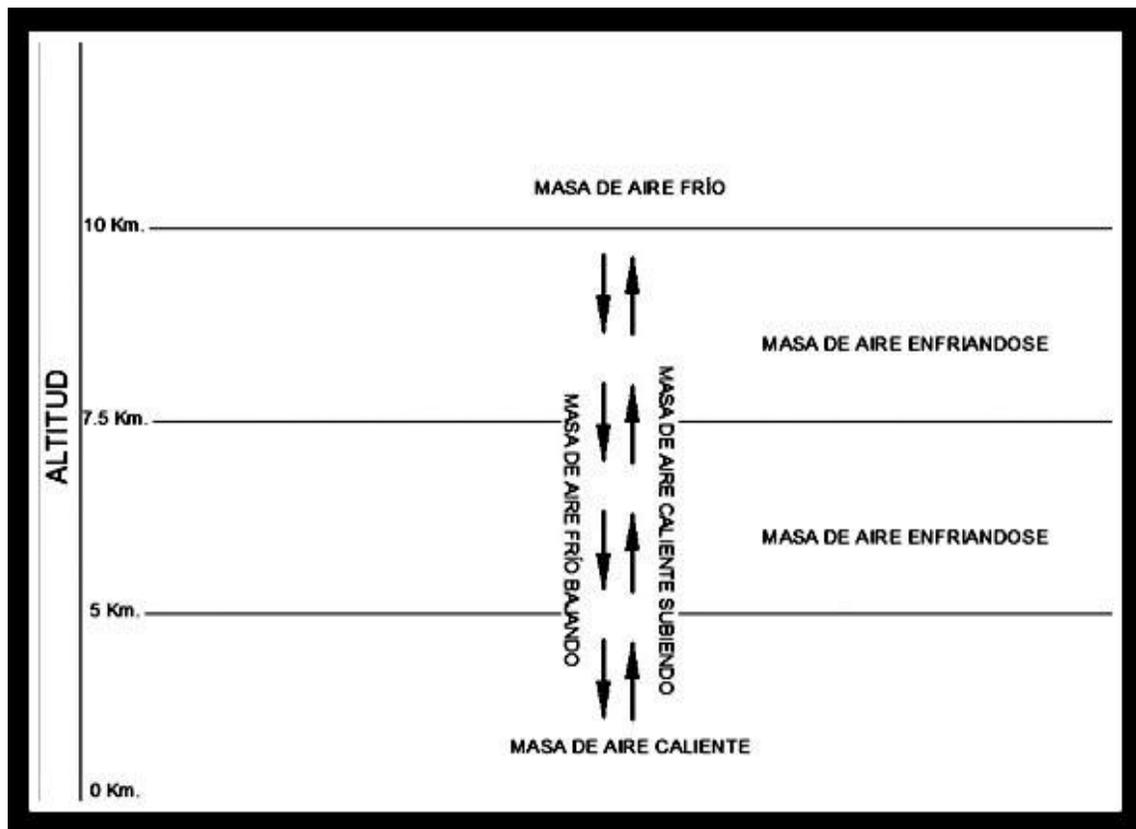


Fig. 4.-Desplazamiento del aire en la Zona de Calma Ecuatorial.

1.4.2.-Rotación del planeta

La rotación del planeta hace que el aire se mueva en un fenómeno llamado efecto coriolis, este es el nombre del movimiento del aire causado por la rotación del Planeta y como resultado el viento sopla del noroeste al suroeste en el hemisferio norte y del sureste hacia el noroeste en el hemisferio sur. El mismo movimiento circular que existe en la zona ecuatorial ocurre en las zonas que se denominan las células Hadley (entre 30° de latitud norte y sur, excluyendo la Zona de Calma Ecuatorial), células de latitud media (30° - 60° norte y sur, respectivamente) y células polares (60° - 90° norte y sur, respectivamente).

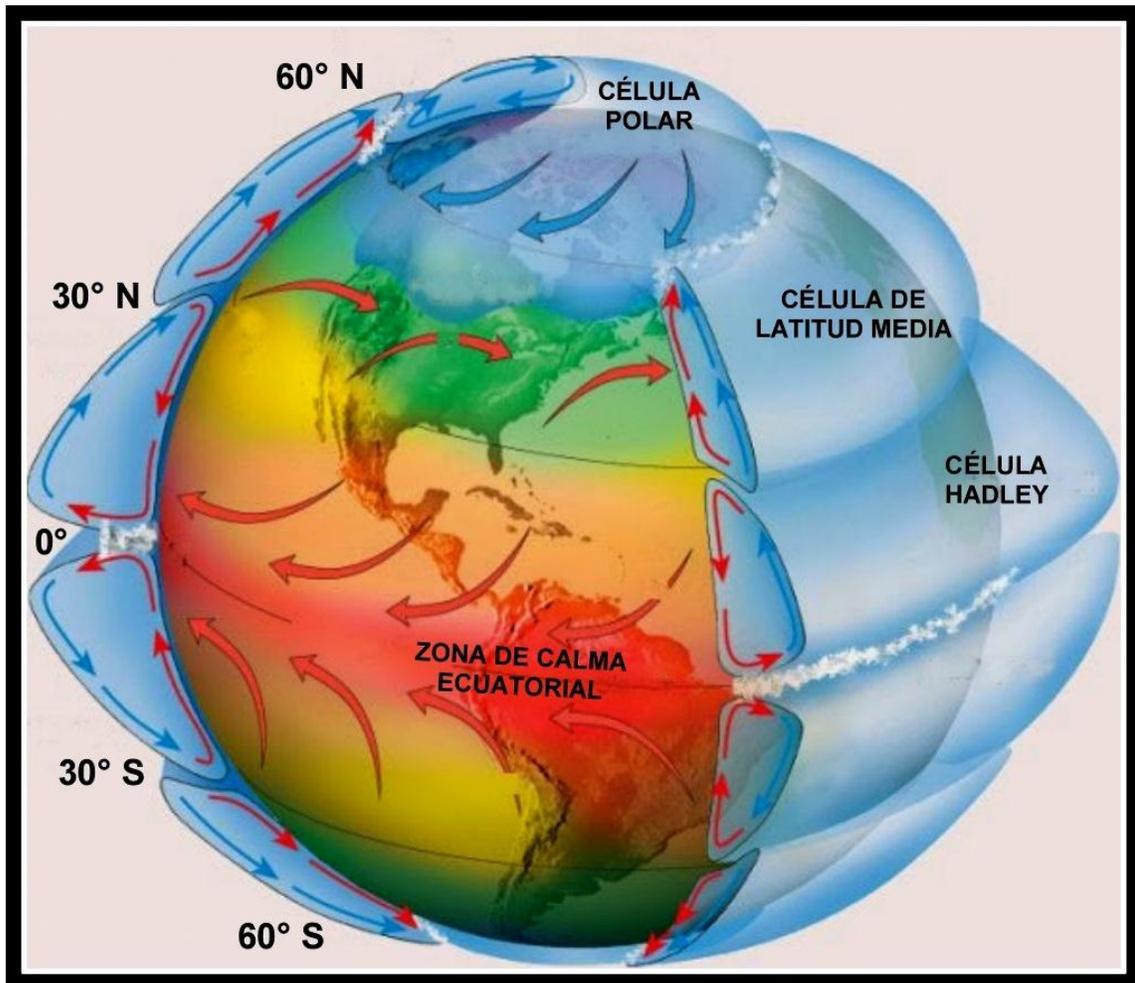


Fig. 5.-Células de circulación atmosférica.

1.5.-Definición de energía eólica

La palabra eólico deriva del griego Eolo, Dios del viento en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento. La energía eólica es la generación de energía eléctrica producida por medio de una turbina, a partir del aprovechamiento de los vientos locales. Perteneció al conjunto de las llamadas energías renovables, limpias o alternativas.

1.6.-Turbinas eólicas

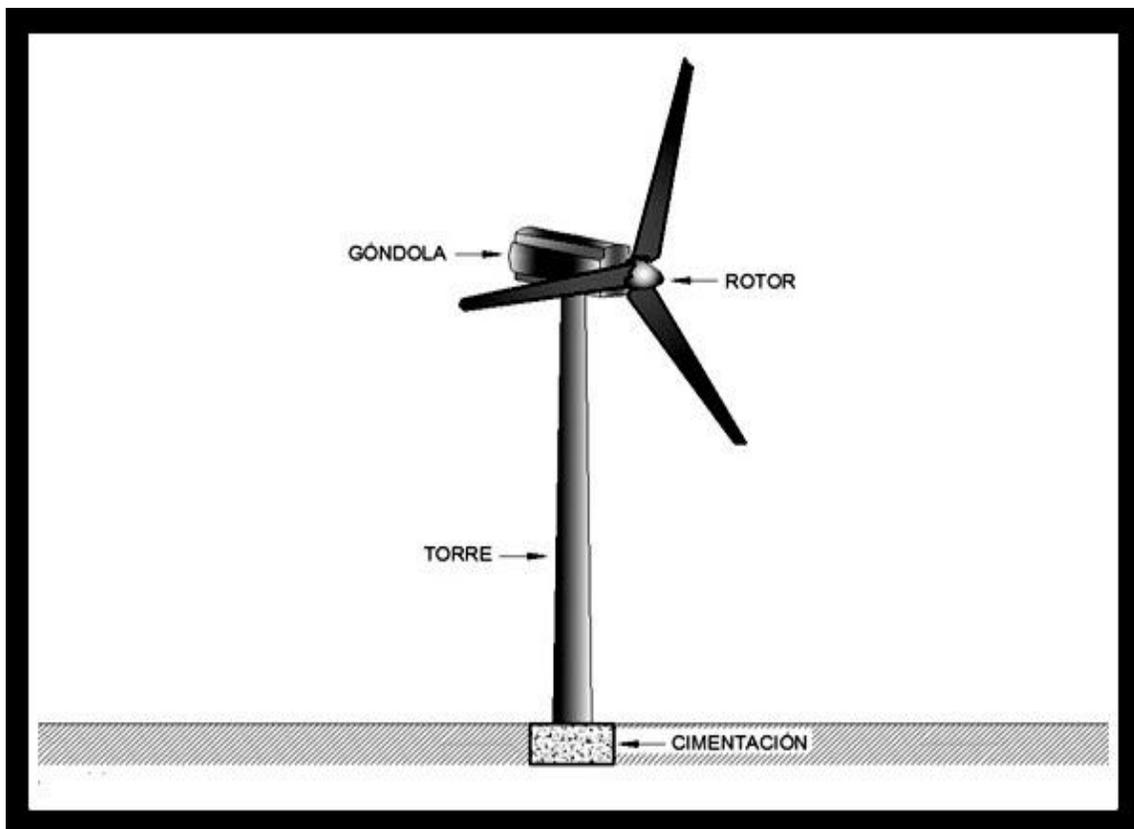


Fig. 6.-Estructura típica de una turbina eólica.

Las turbinas eólicas como las que se instalan en la mayoría de los parques eólicos se componen de: *cimentación, torre, rotor y góndola*.

1.6.1.-Cimentación

Se encarga de darle estabilidad a los elementos que conforman la turbina. El tipo de cimentación dependerá de la consistencia del suelo donde se va a instalar la estructura.

La cimentación puede ser: *cimentación para turbinas eólicas en tierra* y *cimentación para turbinas eólicas en mar*.

1.6.1.1.-Cimentación para turbinas eólicas en tierra

Las cimentaciones para turbinas eólicas en tierra, no son más que un prisma de acero y concreto. Tiene como característica principal sostener el peso de la turbina y transmitir al terreno las tensiones sufridas por ella durante su funcionamiento.

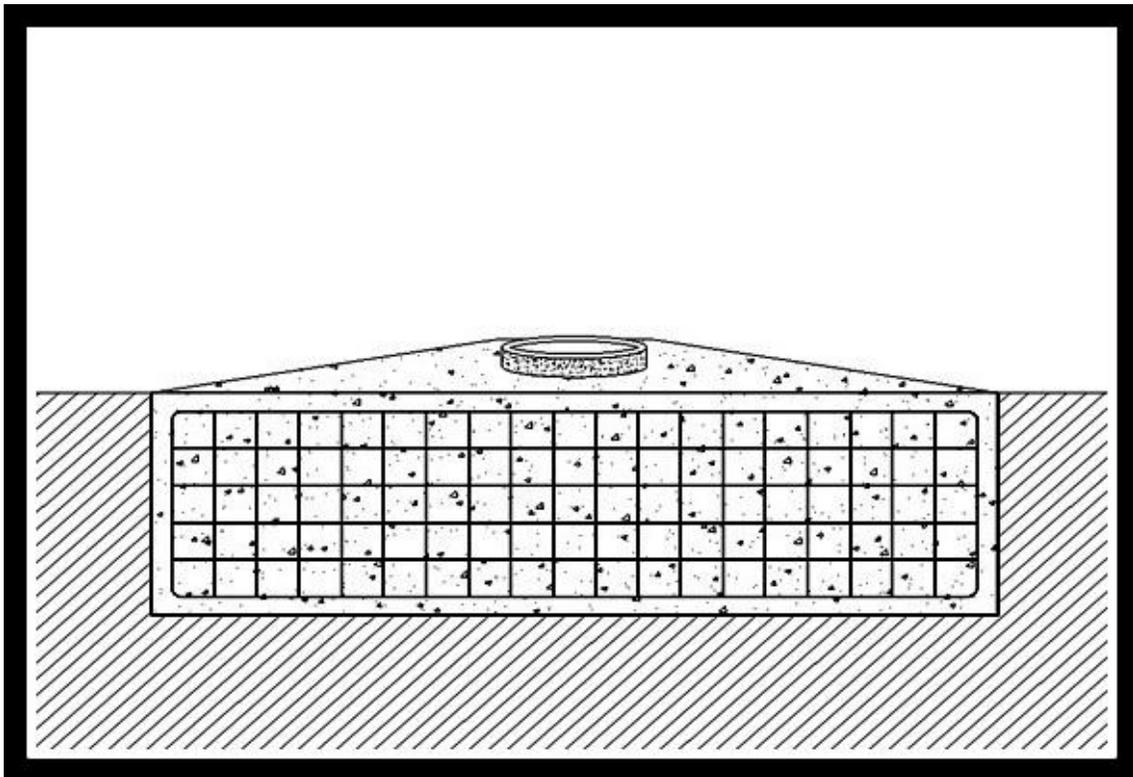


Fig. 7.-Cimentación para aerogenerador de concreto reforzado.

1.6.1.2.-Cimentación para turbinas eólicas en mar

Con la instalación de aerogeneradores situados en el agua, se obtienen mayores regímenes de viento que los que están en la tierra, debido a la escasa rugosidad de la superficie del agua, además de disponer de grandes espacios libres para la colocación de los aerogeneradores.

Las cimentaciones se construyen habitualmente en lugares portuarios o zonas costeras requiriéndose para su manipulación de grúas, las cuales tienen que ser transportadas hasta el lugar de instalación.

Dentro de las cimentaciones marinas para colocación de turbinas eólicas están: *cimentación de gravedad*, *cimentación de monopilote* y *cimentación trípode*.

1.6.1.2.1.-Cimentaciones por gravedad

Son grandes cimentaciones de concreto que aseguran la estructura al fondo marino por su propio peso. Típicamente tienen un diámetro de 12-15 metros y un peso entre 500 y 1000 toneladas. Para su instalación se requiere una preparación previa del suelo marino y un barco especial para su transporte. Se emplea en poca profundidad, ya que su costo es mayor mientras mas profundo se encuentra el fondo marino.

1.6.1.2.2.-Cimentaciones monopilote

Este tipo de cimentación consiste en tres componentes. 1) pilotes de acero de entre 3.5 y 5 metros de diámetro que se clava en el suelo marino mediante perforación de hasta 30 metros de profundidad. 2) una pieza de transición que se asienta en el extremo superior del pilote de acero y que sirve de sujeción de la torre. 3) una plataforma de atraque para el acceso de la torre. La cimentación de monopilote no necesita preparación del fondo marino.

1.6.1.2.3.-Cimentaciones trípode

Las cimentaciones trípode son usadas para profundidades de 30 a 40 metros. Tiene como característica principal tres bases para distribuir la carga de la estructura. Está construida con acero de forma tubular y son ancladas al fondo marino mediante barras de acero.

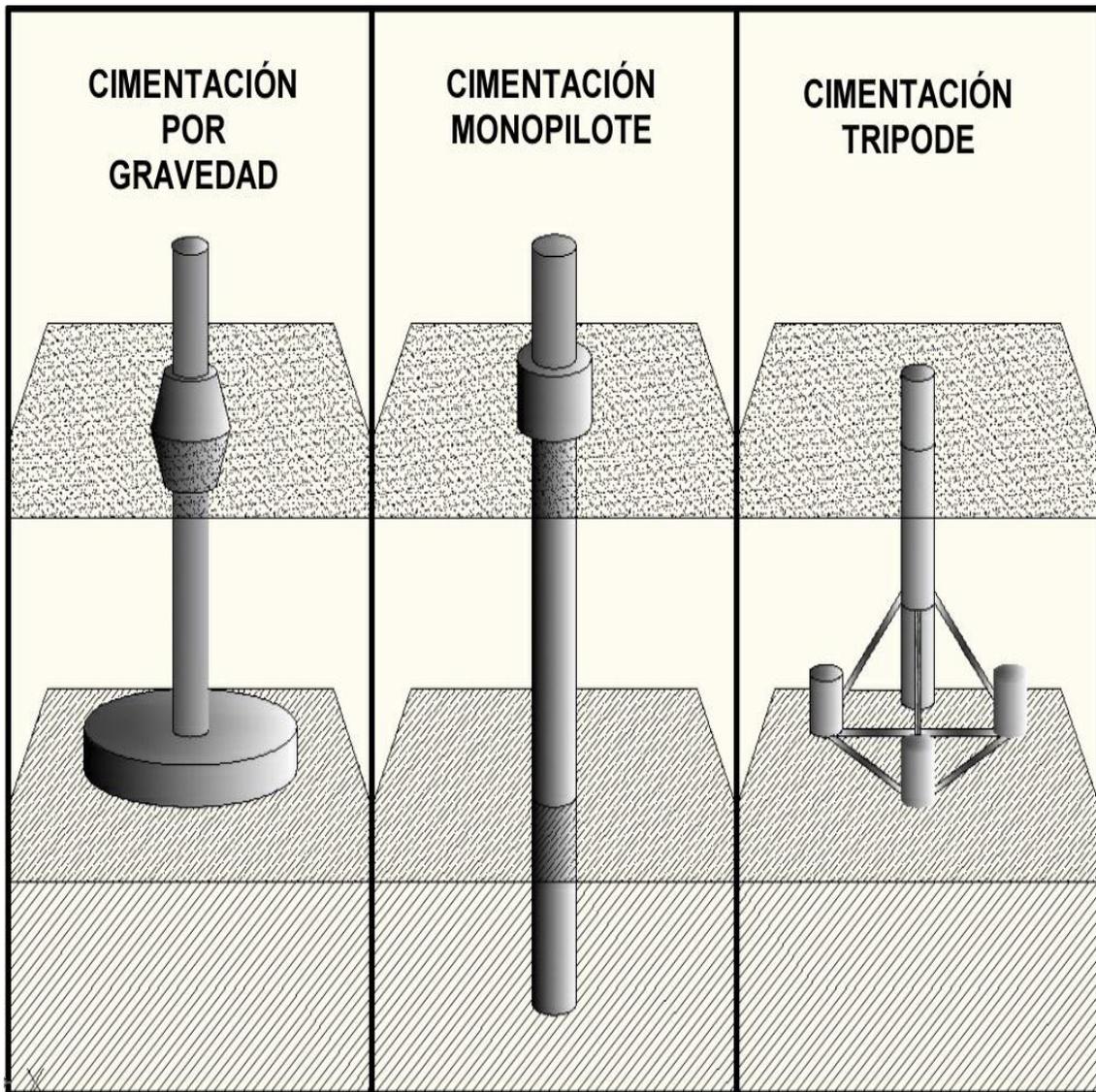


Fig. 8.-Tipos de cimentaciones marinas para aerogeneradores.

1.6.2.-Torre

Es una estructura que soporta su propio peso, el peso de la góndola y el rotor, las cargas del viento, cargas sísmicas de acuerdo a su ubicación y las cargas aerodinámicas provenientes del rotor en funcionamiento.

Para la realización de una torre eólica se deben de analizar varios factores como es el procedimiento constructivo y su montaje, los patrones de carga a los que se vera expuesta la estructura para lograr que sea estable y el tipo de material con que se realizara.

Las torres eólicas se subdividen en: *torres de acero, torres de concreto y torres híbridas.*

1.6.2.1.-Torres de acero

1.6.2.1.1.-Torres reticuladas

Son fabricadas utilizadas de acero soldado y son utilizadas para rotores de baja potencia. Tienen gran impacto visual sobre todo cuando se instalan varias torres juntas. El principal inconveniente técnico radica en su complejidad de ensamblaje y posterior montaje. Estructuralmente los nudos son susceptibles a la corrosión y las diagonales muy sensitivas a las cargas del viento.

1.6.2.1.2.-Torre con riendas

Las riendas se utilizan para rigidizar torres de gran esbeltez. Es un conjunto estructural liviano y económico. Es fácil de montar tanto en terrenos planos como irregulares además permite abatir la torre para bajar el aerogenerador a nivel del suelo y realizar tareas de mantenimiento.

1.6.2.1.3.-Torre tubular de acero

Esta compuesto por tramos prefabricados de acero que cuentan con bridas en cada uno de sus extremos y unidas con pernos “in situ”. Las torres se diseñan con diámetro y espesor creciente hacia la base, con el fin de obtener mayor rigidez en la base, mayor flexibilidad en el tramo superior y al mismo tiempo ahorrar material. Algunos poseen todos sus tramos tronco-cónicos y otras combinan tramos cilíndricos y cónicos.

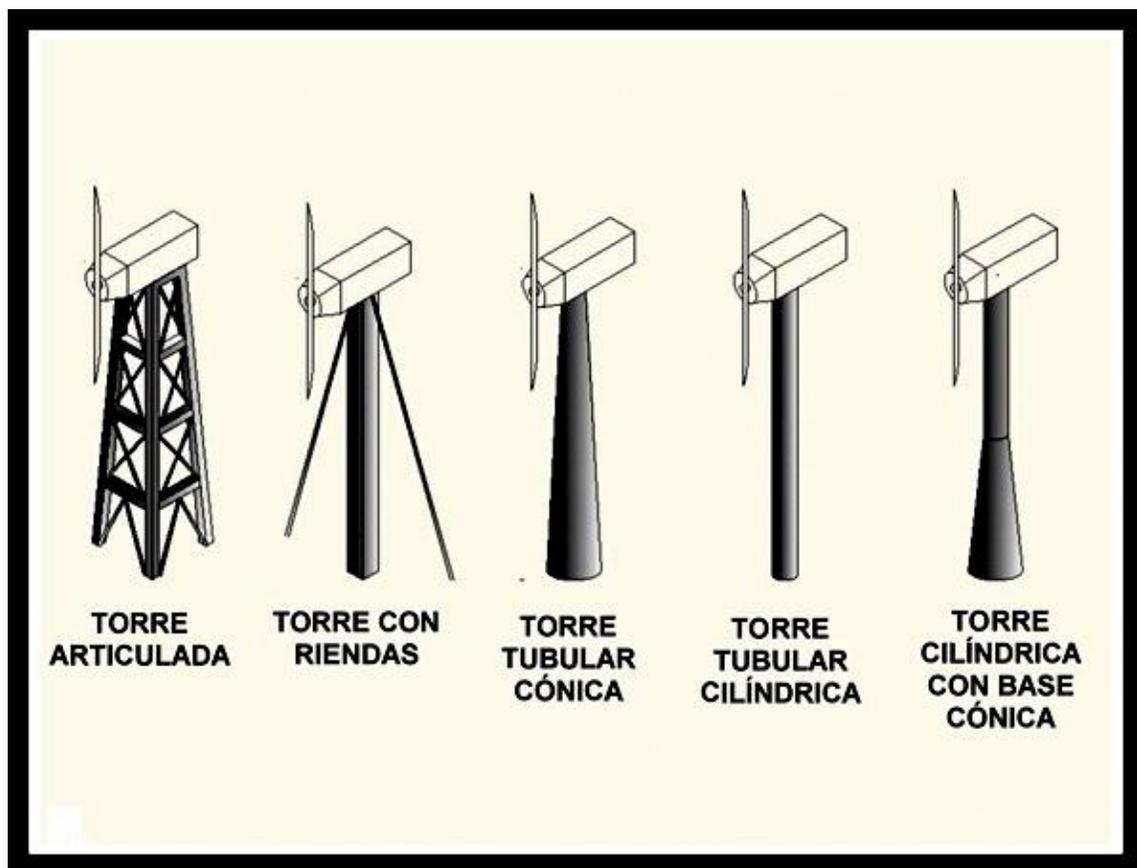


Fig. 9.-Torres de acero y sus diferentes tipos.

1.6.2.2.-Torre de concreto

Son empleados cuando las dimensiones de la estructura imposibilitan el traslado de los segmentos prefabricados. Este tipo de torres permite alcanzar longitudes mayores a 80 metros. Sus ventajas son: libertad de geometría, amortiguación del ruido, gran durabilidad, son más estables gracias a su peso. Generalmente solo se realiza la parte inferior de la torre, dado que es una opción bastante costosa.

1.6.2.3.-Torre Híbrida

Son empleadas para alcanzar alturas mayores de 100 metros. Consiste en un tramo inferior de concreto al que se acopla una estructura metálica. La combinación de materiales logra rigidez en la base de la torre y mayor flexibilidad en la parte superior.

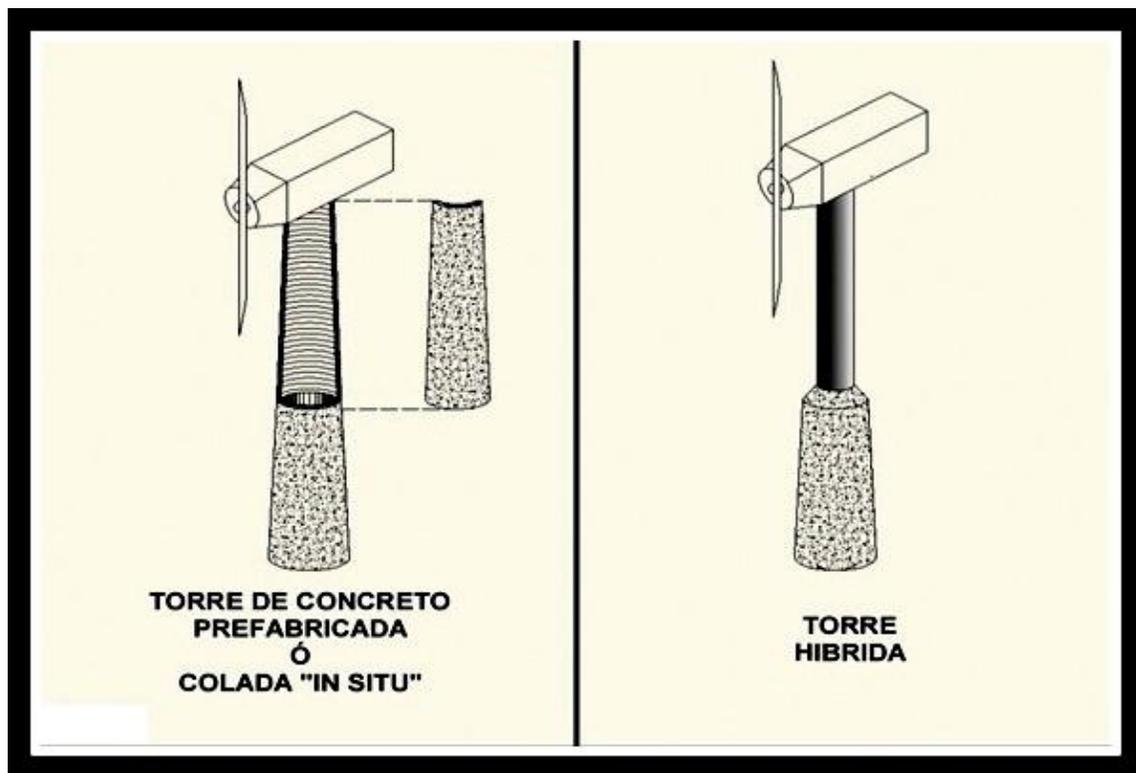


Fig. 10.-Torres de concreto y de concreto-acero.

1.6.3.-Rotor

Es todo el conjunto de elementos de la turbina eólica que gira por delante y fuera de la góndola y se encargan de convertir la energía del viento en movimiento mecánico rotacional. Los rotores se dividen según su disposición respecto al viento en: *c1) rotor a barlovento* y *c2) rotor a sotavento*.

1.6.3.1.-Rotor a barlovento

El viento incide primeramente sobre las palas del rotor y posteriormente sobre la torre, con esto se minimiza el efecto de sombra (resistencia al viento ocasionada por alguna interferencia) sobre el rotor, la aparición de vibraciones y esfuerzos de fatiga sobre las palas. Este tipo de rotor necesita un sistema de orientación que lo mantenga siempre orientado perpendicularmente a la dirección del viento.

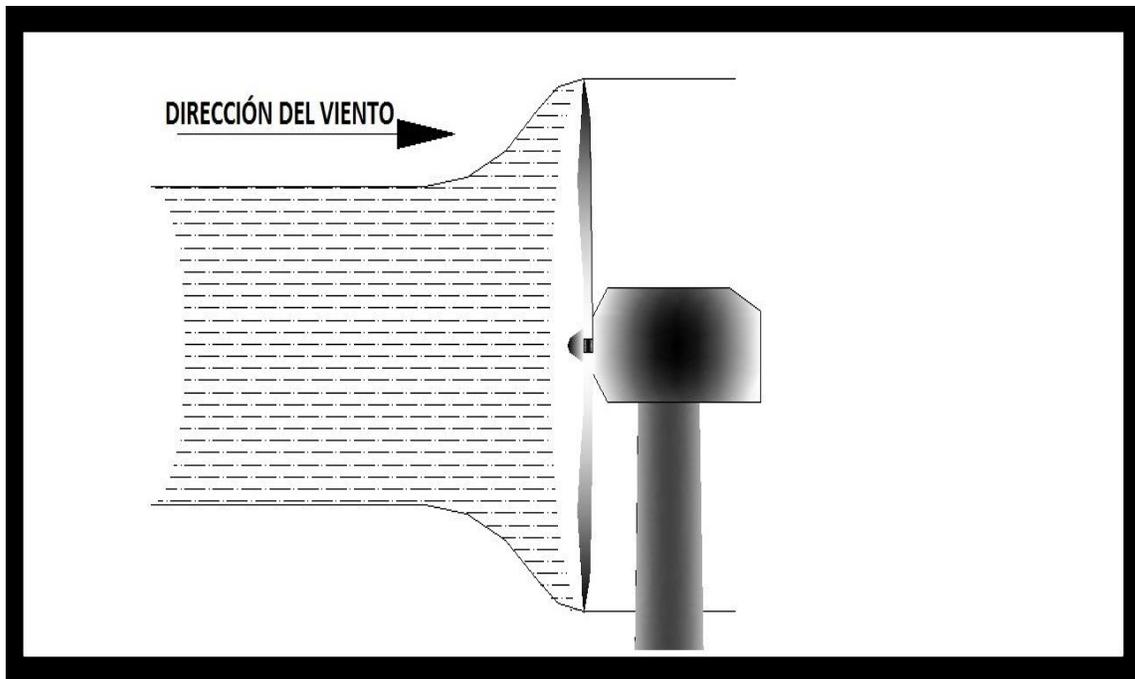


Fig.11-Rotor con el viento de frente.

1.6.3.2.-Rotor a sotavento

No requiere ningún tipo de dispositivo de orientación. Su desventaja radica en los efectos de sombra de la góndola y de la torre que al ser golpeadas por el viento pierde potencia al llegar a las palas, además esta disposición aumenta las tensiones de fatiga en las sobre las palas.

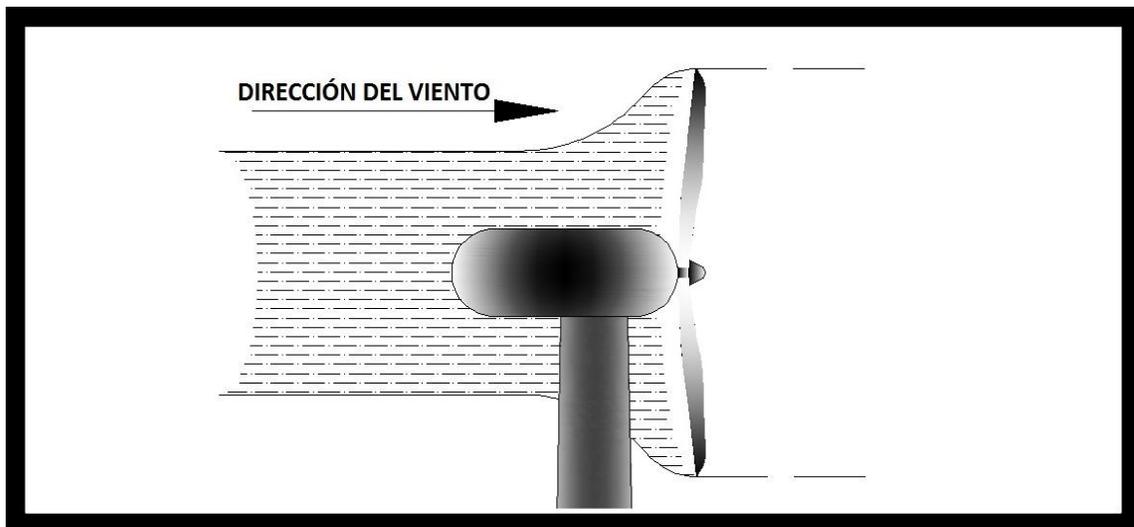


Fig. 12.- Rotor con el viento detrás.

El rotor está compuesto por: *Palas o alabes* y *Buje*.

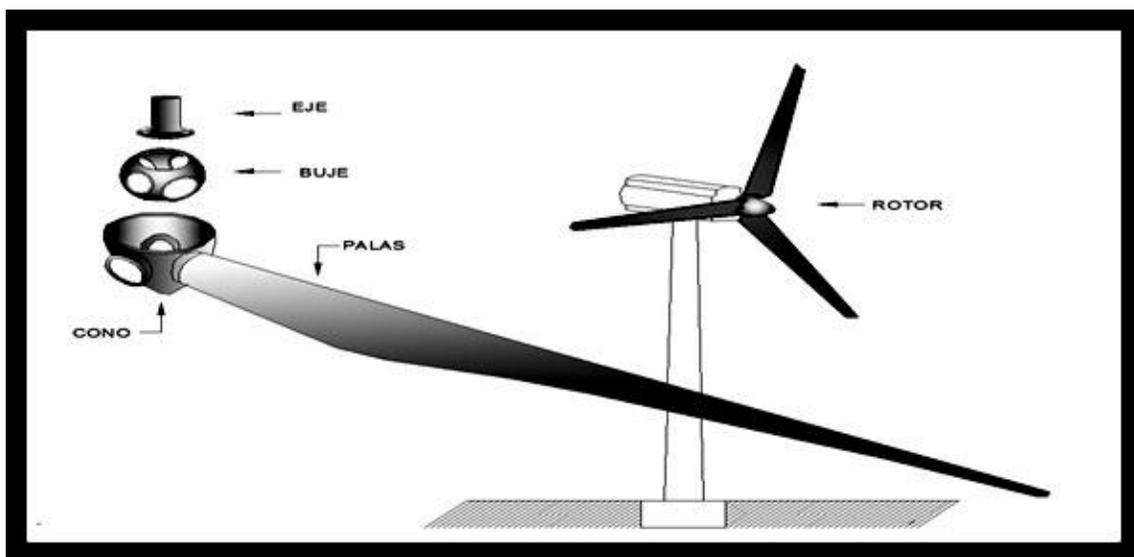


Fig. 13.-Partes que conforman el rotor de una turbina eólica.

1.6.4.-Álabes

También conocidas como palas o aspas, son las encargadas de resistir las grandes cargas a las que van a estar sometidas debido a la acción del viento y su función es la de producir el movimiento rotatorio.

Los álabes se caracterizan por tener muy bajo peso, su fabricación en los grandes rotores es a base de poliéster y resina epóxica reforzada con fibra de vidrio o fibra de carbón.

Generalmente la potencia desarrollada por una turbina eólica depende en gran medida por la geometría de sus alabes por eso su construcción debe de ser aerodinámica semejante a las alas de un avión.

Los rotores se dividen respecto al número de palas en: *rotores monopala*, *rotores bipala* y *rotores tripala*.

1.6.4.1.-Rotores monopala

Sus ventajas son mayor velocidad de rotación, reducción de costos (en palas, en la caja multiplicadora y en el generador). Tiene el inconveniente de necesitar un contrapeso por lo cual existe un mayor riesgo de vibraciones y un desequilibrio aerodinámico, además genera mucho ruido debido a la velocidad de giro.

1.6.4.2.-Rotores bipala

Tiene la desventaja de presentar mayor nivel de esfuerzo, ya que las palas son golpeadas con diferente intensidad debido a la diferencia de altitud del viento, ocasionando un mayor nivel de vibraciones y ruido.

1.6.4.3.-Rotores tripala

Presenta como principal ventaja un giro más suave, lento y uniforme, debido a su momento de inercia, disminuyendo los esfuerzos de la fuerza centrífuga, el nivel de vibraciones y la producción del ruido.

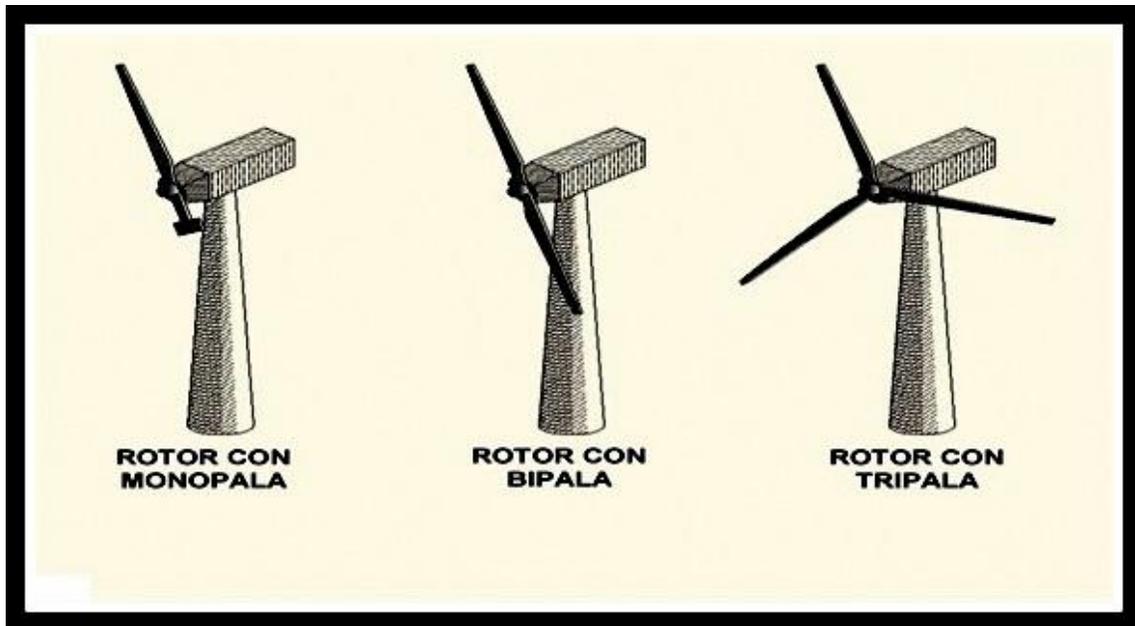


Fig. 14.-Tipos de rotores según el número de palas.

1.6.5.-Buje

Es el centro del rotor fabricado de hierro o acero fundido. Este elemento une las palas con el árbol principal mediante el cojinete principal. Si el aerogenerador tiene caja multiplicadora, el buje se conecta directamente al eje de baja velocidad de la caja multiplicadora y convierte la energía del viento en energía de rotación. Si la turbina no posee caja multiplicadora, la energía se transmite directamente al generador.

1.6.6.- Góndola

Es la carcasa que soporta y protege la maquinaria de la turbina. Esta unida a la torre mediante rodamientos (sistema de orientación), los cuales le da movilidad para seguir la dirección del viento.

Dentro de ella están contenidos: *Eje de baja velocidad con cojinetes, Caja multiplicadora, Eje de alta velocidad con acoplamiento, Generador, Freno.*

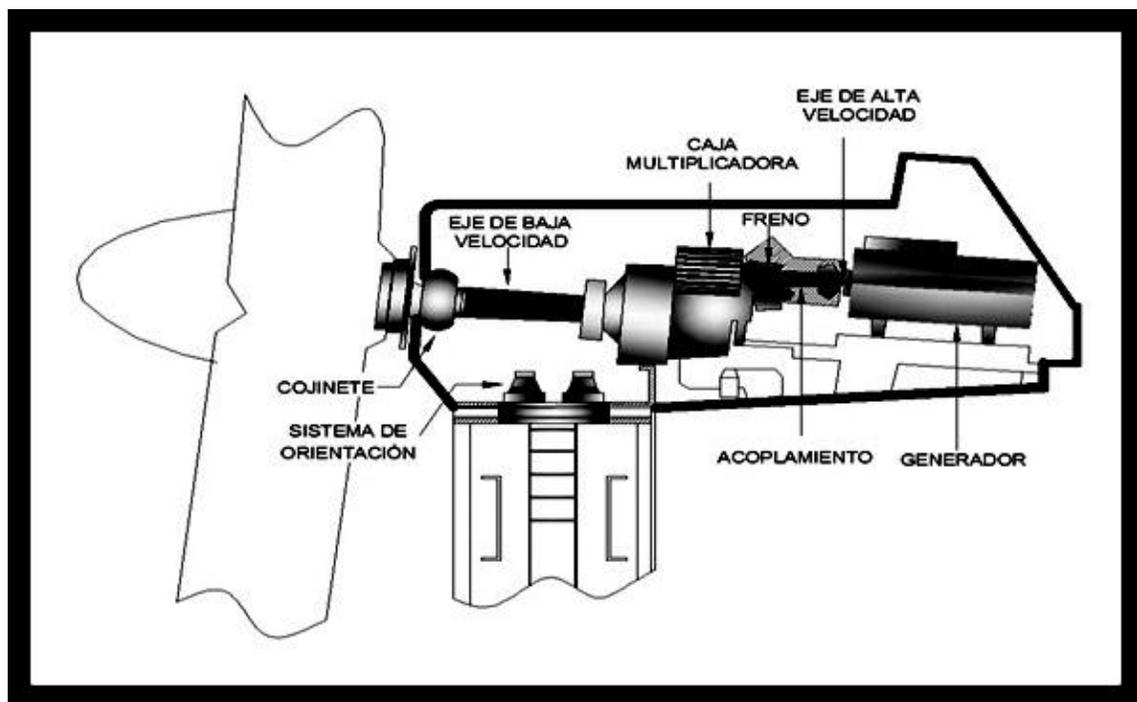


Fig. 15.-Interior de una góndola.

1.6.6.1.-Eje de baja velocidad

Se trata de un eje que conecta al rotor con la caja multiplicadora, su función es transmitirle a esta la energía de rotación provocada por el viento en los álabes.

1.6.6.2.-Caja multiplicadora

Es un tren de engranajes de ruedas dentadas cilíndricas de ejes paralelos, los cuales sirven para aumentar la velocidad rotacional del rotor por medio del *eje de baja velocidad* de 18-50 rpm en aproximadamente 1750 rpm. Hacia el *eje de alta velocidad*.

1.6.6.3.-Eje de alta velocidad

Es un eje que conecta por medio de un acoplamiento a la caja multiplicadora hacia el generador, su función es transmitirle a este la energía de giro aumentada.

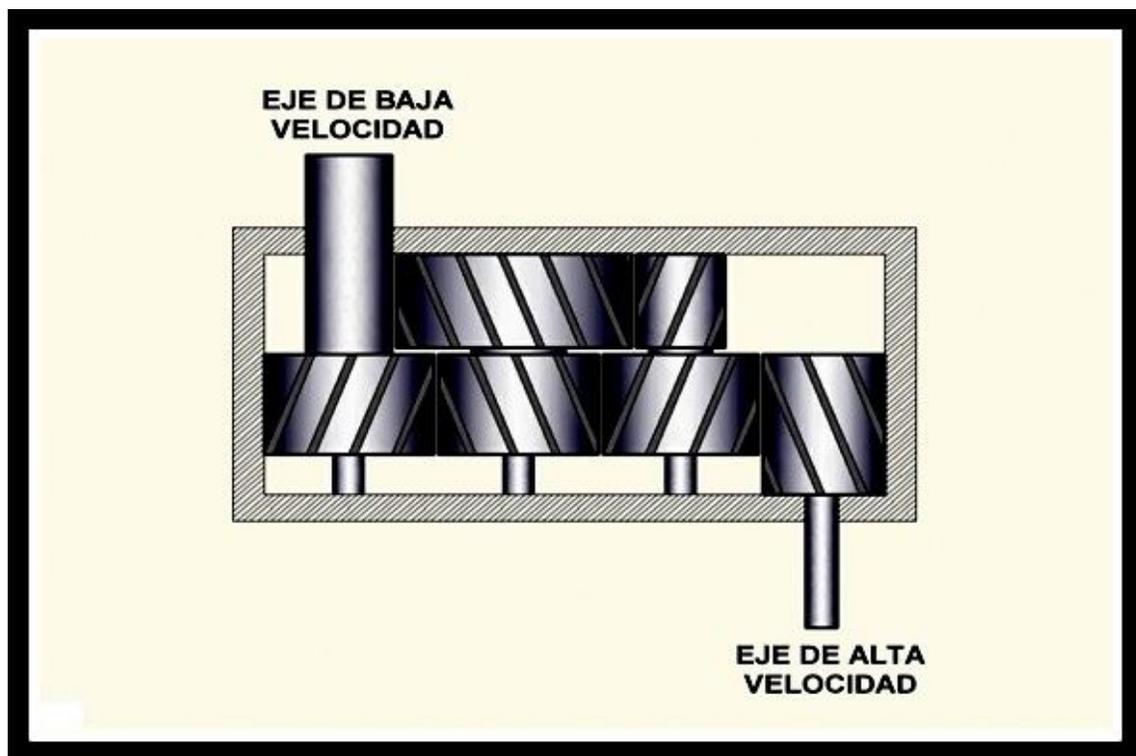


Fig. 16.-Interior de la caja multiplicadora.

1.6.6.4.-Generador

Se encarga de convertir la energía mecánica rotacional transmitida por el eje de alta velocidad en energía eléctrica.

Los generadores de turbinas se dividen en: *síncronos* y *asíncronos*.

1.6.6.4.1.-Generador síncrono

En los generadores síncronos la velocidad del rotor y del campo magnético del estator (es la parte del motor que permanece estática) son iguales durante su funcionamiento, es decir el campo magnético del rotor va siguiendo al campo magnético del estator a una velocidad constante.

Dentro de los generadores síncronos se encuentran entre los más comunes los de imanes permanentes y los de electroimanes, que tienen por objetivo generar un campo magnético en el estator, teniendo la desventaja de tener que estar conectados a una fuente de corriente directa (CD) que alimente su devanado.

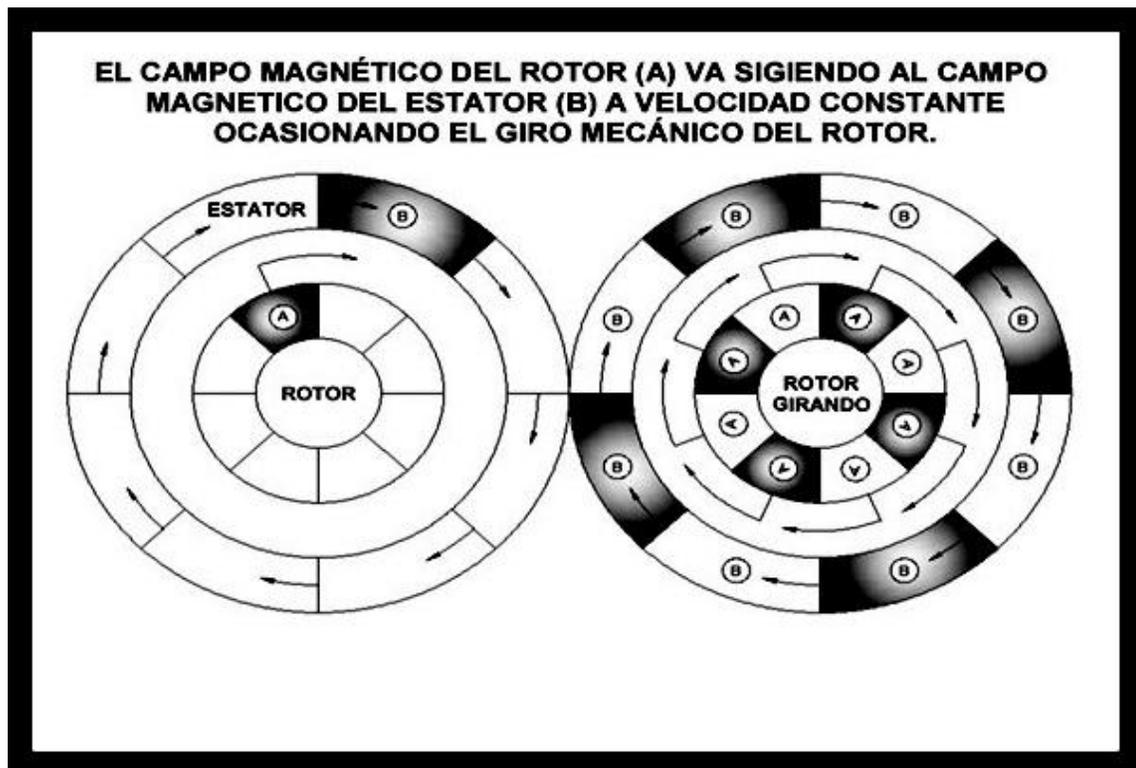


Fig. 17.-Esquema representativo del movimiento de giro de un generador síncrono.

1.6.6.4.2.-Generador asíncrono

En los generadores asíncronos ó inducidos, el rotor se mueve más rápidamente que el campo magnético giratorio del estator, entre más rápidamente se haga girar el rotor mayor será la electricidad producida. Para funcionar el estator debe ser magnetizado por la red eléctrica antes de funcionar.

Dentro de los generadores asíncronos existen además los “doblemente alimentados” que tienen como principal característica las de ser excitados electromagnéticamente tanto del estator como del rotor, es decir los devanados del estator están conectados directamente a la red eléctrica mientras que los del rotor se conectan mediante un convertidor de corriente bi-direccional. El convertidor 1 del lado de la red trabaja siempre a la misma frecuencia de la red, mientras que la del rotor 2 lo hace a frecuencia variable.

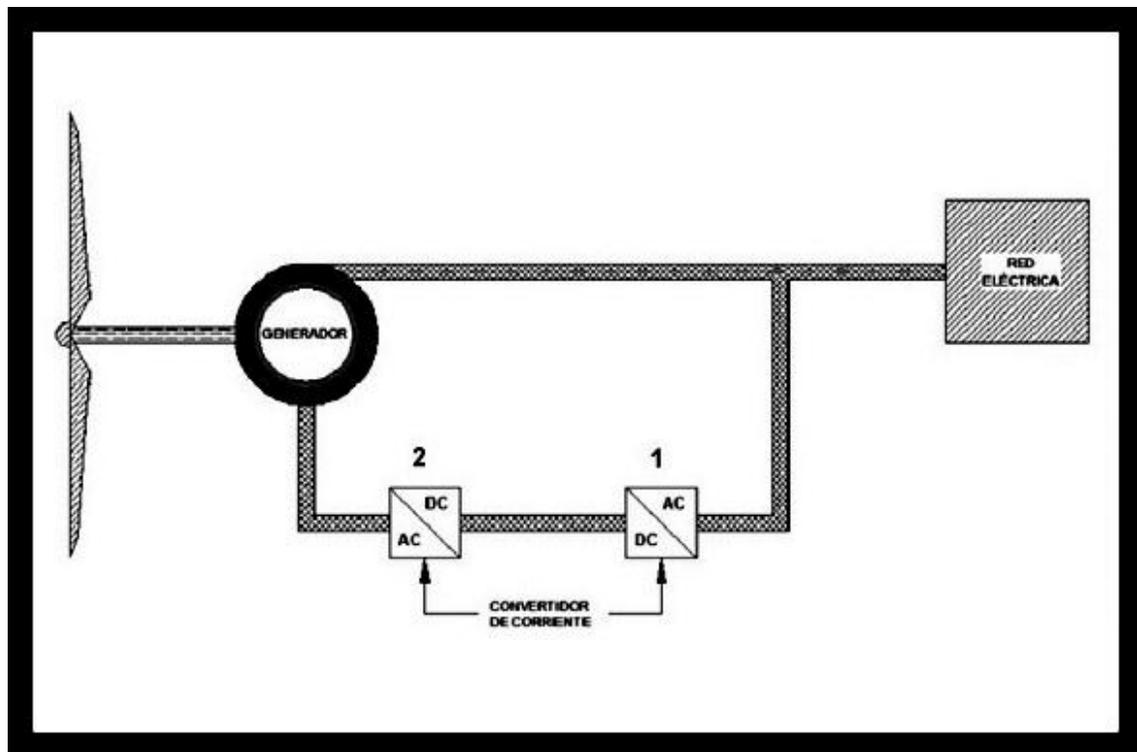


Fig. 18.-Esquema de un generador asíncrono doblemente alimentado.

1.6.7.-Sistema de frenos

Se emplean en el tren de fuerza hay dos tipos de frenos: *Sistemas de freno aerodinámico* y *Sistemas de freno mecánico*.

1.6.7.1.-Sistema de freno aerodinámico

Consiste en hacer girar las palas del rotor aproximadamente 90° a lo largo de su eje longitudinal o girando las puntas de las palas del rotor 90° , por lo general el movimiento giratorio de las turbinas por este sistema lo hacen en un par de rotaciones.

1.6.7.2.-Sistema de freno mecánico

Es un sistema de seguridad secundario que se emplea principalmente en caso de emergencia cuando el freno aerodinámico falla o la turbina esta en reparación. Consiste en una ó más mordazas que por medio de presión hidráulica detiene el disco de frenado y se encuentran junto al eje de alta velocidad.

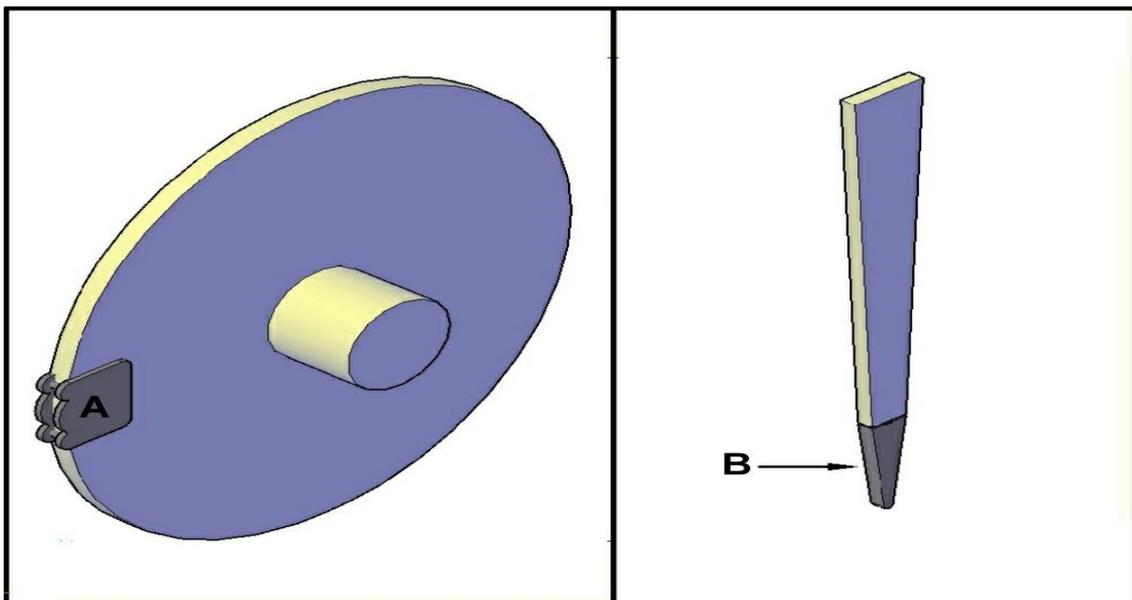


Fig. 19.-Freno mecánico (A) y Freno aerodinámico (B).

Además fuera de la góndola se encuentran sensores o instrumentos que constantemente están midiendo los parámetros siguientes: Velocidad (anemómetro) y dirección del viento (veleta).

1.7.-Proceso de generación de energía eléctrica por medio de una turbina eólica

Cuando los vientos locales soplan llevan consigo energía cinética entendiéndose esto como el movimiento de un cuerpo que puede provocar un trabajo, es decir puede afectar a otro cuerpo.

La energía cinética del viento es captada por las palas de la turbina eólica haciéndolas girar y con ello a todo el mecanismo del rotor, transformando la energía del viento en energía mecánica.

Como la velocidad de giro del rotor es demasiado baja como para poder accionar directamente al generador, este movimiento rotacional debe ser transmitido por medio del “eje de baja velocidad” hacia la “caja multiplicadora” la cual es la encargada de aumentar la velocidad de rotación produciendo una mayor cantidad de energía mecánica.

La energía mecánica aumentada es transmitida por medio del “eje de alta velocidad” hacia el “generador eléctrico” el cual es el encargado de transformar esta energía mecánica en energía eléctrica.

La forma que un generador produce electricidad es a través de un rotor el cual gira en el interior de una bobina inductora la cual produce un campo magnético.

A medida que el rotor gira va cortando el flujo magnético induciendo una fuerza electromotriz, después es dirigida hacia el colector y posteriormente captada por la escobilla.

Una vez captada la fuerza electromotriz por la escobilla es transmitida a un cable conductor en forma de energía eléctrica.

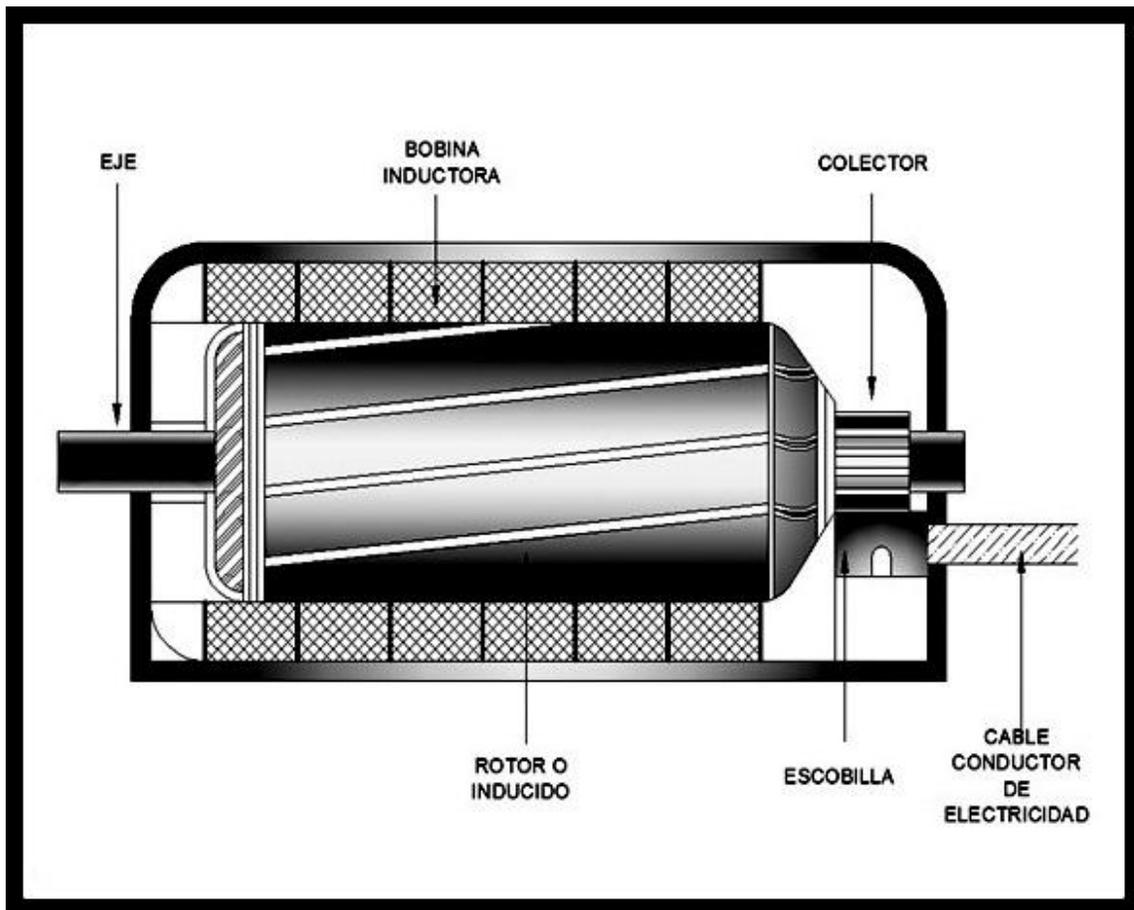


Fig. 20.-Partes internas básicas de un generador eléctrico.

Una vez que el generador ha producido energía eléctrica esta es bajada a través de la torre por medio de cables y conducida a una subestación. Ahí un transformador incrementa de nuevo la corriente eléctrica. Además la subestación esta conectada a la red eléctrica encargada de dotar de electricidad a la población.

1.8.-Regiones con potencialidad eólica en México

El conocimiento del recurso eólico en México realizado por las mediciones puntuales o de pequeñas redes anemométricas que han servido para hacer un mapa a nivel exploratorio y de reconocimiento de la existencia de vientos técnicamente aprovechables y económicamente viables en las siguientes regiones:

1.8.1.-Sur del Istmo de Tehuantepec

El principal recurso eólico en México se localiza en el Istmo de Tehuantepec, en Oaxaca. Esta región contiene un área de alrededor de 1000 Km² expuesta a vientos muy intensos, dado un fenómeno monzónico entre el Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec, donde aflora una corriente marina normalmente caliente, originando un gradiente térmico y de presión que da lugar a un intenso viento del norte desde el otoño hasta la primavera. En las áreas más ventosas el promedio anual de la velocidad del viento a 50 metros de altura excede los 10 m/s.

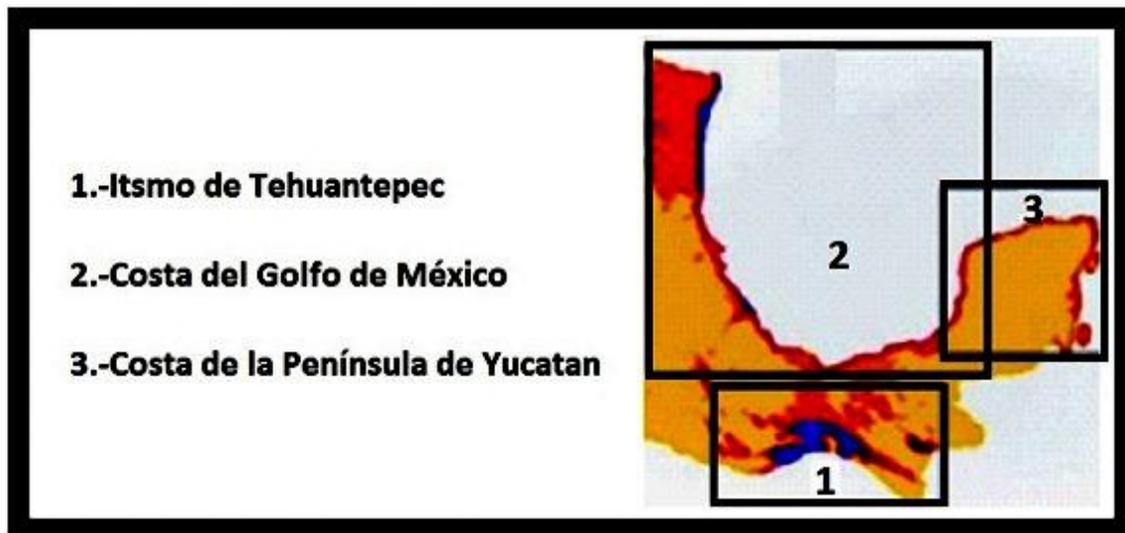


Fig. 21.-Mapa 1 de las regiones con potencial eólico en México.

1.8.2.-Las costas del país

El extenso litoral mexicano y sus islas, presentan condiciones para la generación de plantas eólicas a pequeña escala.

1.8.3.-Península de Yucatán

Los vientos alisios de primavera y verano, incrementados en su costa oriental por la briza marina, y a los nortes en el invierno, hacen de cabo Catoche, la costa de Quintana Roo y el oriente de Cozumel.

1.8.4.-Península de Baja California

Esta península es una barrera natural perpendicular a los vientos occidentales, que en sus montañas e innumerables pasos puede proporcionar muchos sitios con potencial explotable. El poblado de la Rumorosa y zonas aledañas, así como el paso entre la Sierra de Juárez y la Sierra de San Pedro Mártir, por donde cruza la carretera y la línea eléctrica de Ensenada a San Felipe en el Golfo de California, son regiones identificadas con alto potencial eólico, que son indicativas de lo que puede encontrarse en muchos otros lugares de la península.

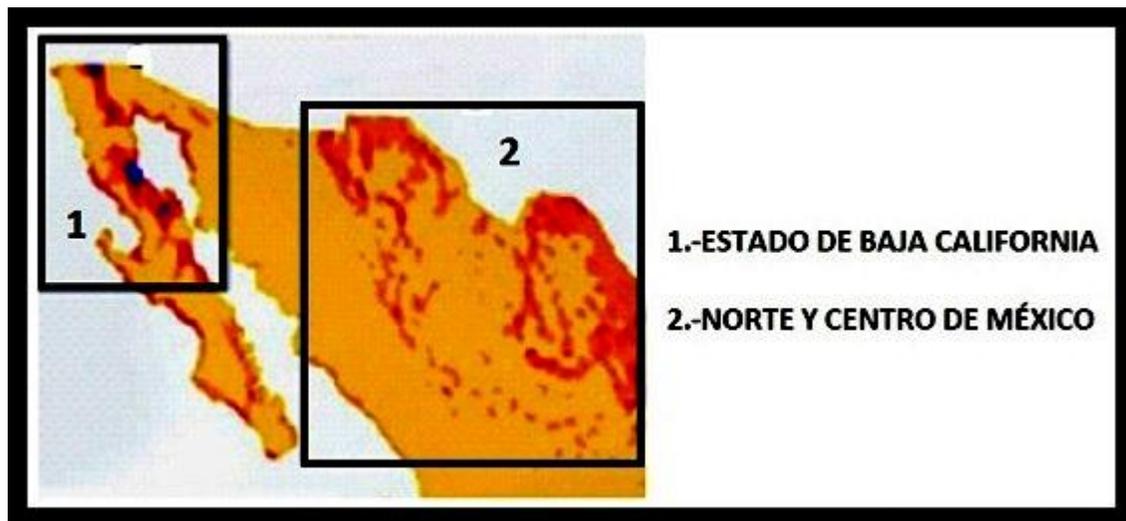


Fig. 22.-Mapa 2 de las regiones con potencial eólico en México.

1.8.5.-Altiplano Norte

Desde la región Central de Zacatecas a la frontera con Estados Unidos, el norte del país se ve influenciado por la corriente de chorro de octubre a marzo, intensa y persistente, que como viento del poniente al impactar la Sierra Madre Occidental da lugar a innumerables sitios con potencial explotable. En la parte norte del estado de Coahuila existen áreas sumamente ventosas.

1.8.6.-Región Central

En la región central del altiplano, prevalecen los vientos alisios de verano, en Tlaxcala, Hidalgo y Guanajuato. Estos vientos complementan estacionalmente, a los del altiplano norte y los del sur del Istmo de Tehuantepec. La complejidad orográfica de esta región, da lugar a la existencia de innumerables pasos y mesetas donde el viento es energéticamente aprovechable.

1.9.-Plantas eólicas en México, su capacidad instalada y los esquemas de producción eléctrica

En México, el desarrollo tecnológico para el uso de este tipo de energía, se inicio con un programa de aprovechamiento del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). En este país, muchas empresas invierten en productos y procesos a favor del desarrollo de la energía del viento.

Hoy en día la industria eólica ha superado la etapa de prueba explotándose de forma industrial, con fiabilidad técnica, rentabilidad económica e impactos ambientales de poco significado.

Las actuales máquinas de serie tienen potencias elevadas, motivo que permite a los parques eólicos alcanzar potencias totales importantes en la producción de electricidad.

1.9.1.-Capacidad instalada

Cuando se habla de la capacidad instalada en una central de generación de energía eléctrica, significa que es la máxima potencia a la cual trabajan las maquinas y esta dada por las especificaciones del fabricante, trabajando bajo ciertas condiciones de uso. En la vida real la capacidad instalada casi nunca se consigue.

Por ejemplo la potencia instalada de una turbina eólica puede ser de de 15 MW, significa que lo máximo que puede desarrollar en un momento dado es 15 MW de electricidad en la mejor hora del día, siempre y cuando el viento alcance velocidades optimas, de no soplar el viento con la intensidad adecuada la turbina eólica alcanzara una potencia menor de 15 MW.

1.9.2.-Esquemas de producción de electricidad

La energía eléctrica generada por una central eólica puede ser producida bajo el esquema de: *autoabastecimiento* y *Productor independiente de energía (PIE)*.

1.9.2.1.-Autoabastecimiento

Tiene por objetivo la utilización de energía eléctrica destinada a cubrir las necesidades del conjunto de propietarios o socios, reduciendo los altos costos en el consumo de energía, además de ser también un respaldo de emergencia ante fallas en el suministro de energía eléctrica en cualquier horario, en caso de que parte de esta sea suministrada por el servicio publico.

1.9.2.2.-Productor Independiente de Energía (PIE)

Es un productor de energía eléctrica que no es parte del servicio público, los servicios públicos compran energía a los PIE para cubrir parte o toda su demanda de electricidad.

PROYECTOS EOLICOS EN OPERACIÓN EN OAXACA				
	PROYECTO	ESQUEMA	CAPACIDAD INSTALADA MW	
1	LA VENTA I	CFE	1.6	
2	LA VENTA II	CFE	85	
3	LA VENTA III	PIE	101	
4	PARQUES EÓLICOS DE MÉXICO	AUTOCONSUMO	80	
5	EURUS ACCIONA	AUTOCONSUMO	250	
6	OAXACA I	PIE	101	
7	OAXACA II	PIE	303	
8	OAXACA III	PIE		
9	OAXACA IV	PIE		
10	ELECTRICIDAD DEL VALLE DE MÉXICO	AUTOCONSUMO	90	
11	BII NE STIPA	AUTOCONSUMO	26	
12	BII STIPA NAYAA	AUTOCONSUMO	70	
13	FUERZA EOLICA DE MEXICO	AUTOCONSUMO	80	
14	PIEDRA LARGA	AUTOCONSUMO	220	
15	GAMESA	AUTOCONSUMO	70	
16	EOLIA TEC DEL PACIFICO	AUTOCONSUMO	140	
17	GAS NATURAL	AUTOCONSUMO	250	
PROYECTOS EOLICOS EN OPERACIÓN EN OTROS ESTADOS DEL PAÍS				
	PROYECTO	ESTADO	ESQUEMA	CAPACIDAD INSTALADA MW
1	LA RUMOROSA I	BAJA CALIFORNIA	AUTOABASTECIMIENTO	10
2	GERRERO NEGRO	BAJA CALIFORNIA SUR	CFE	0.6
3	ARRIAGA	CHIAPAS	AUTOABASTECIMIENTO	28.8

Tabla 2. Plantas eólicas en operación 2014.

Fuente Asociación Mexicana de Energía Eólica, A.C. (AMDEE)

1.10.-El sector energético renovable más representativo en México

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable virtualmente inagotables. Las fuentes renovables pueden dividirse en dos categorías: No contaminantes o limpias y contaminantes.

En 2010 la capacidad instalada en México para la generación de energía eléctrica basada en energías renovables represento solo el 4% de la capacidad total de generación del país lo que equivale a 2365 MW. Se estima que para el 2025 se incrementara la capacidad instalada, liderada por una mayor participación del sector eólico e hidráulico.

México cuenta con un importante potencial de recursos energéticos renovables para la producción de energía eléctrica, entre ellos destacan: *La geotérmica, la eólica, la hidráulica, la solar y la bioenergética.*

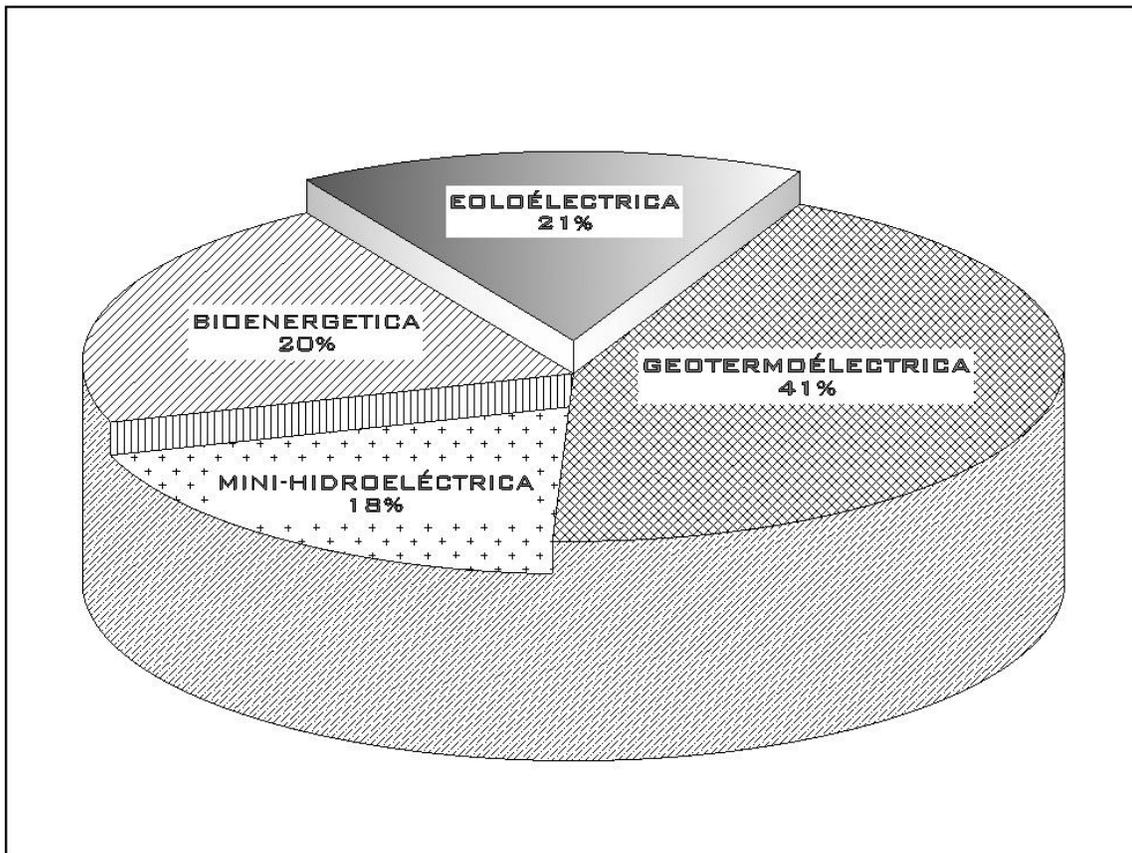
1.10.1.-Geotérmica

La producción de energía geotérmica utiliza calor interno de la Tierra, donde las aguas subterráneas cercanas a la fuente de calor llegan a alcanzar temperaturas de ebullición y por lo tanto, servir para accionar turbinas eléctricas.

En México la presencia de este recurso se extiende por todo el país, siendo especialmente abundante en la parte central. Entre las plantas de producción de energía geotérmica se encuentran el de “Cerro Prieto” en Baja California y el de “Los Azufres” en Michoacán.

1.10.2.-Eólica

En la actualidad este tipo de energía representa una fuente con grandes expectativas de desarrollo para la generación de electricidad, dadas sus ventajas respecto a otras fuentes en términos de abundancia y limpieza en su utilización. Además es la menos costosa de producir.



Grafica 1.-Capacidad instalada de energía renovable 2010.

1.10.3.-Geotérmica

La producción de energía geotérmica utiliza calor interno de la Tierra, donde las aguas subterráneas cercanas a la fuente de calor llegan a alcanzar temperaturas de ebullición y por lo tanto, servir para accionar turbinas eléctricas.

En México la presencia de este recurso se extiende por todo el país, siendo especialmente abundante en la parte central. Entre las plantas de producción de energía geotérmica se encuentran el de “Cerro Prieto” en Baja California y el de “Los Azufres” en Michoacán.

1.10.4.-Mini-Hidráulica

La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento turbinas que mueven a un generador eléctrico para la producción de electricidad.

México cuenta con 64 centrales hidroeléctricas, de las cuales 20 son de gran importancia y 44 son centrales pequeñas. Entre las centrales de energía hidroeléctrica se encuentran “Aguamilpa Solidaridad” en Nayarit e “Infiernillo” en Guerrero.

1.10.5.-Solar (Fotovoltaica)

Este tipo de generación de energía aprovecha la radiación solar por medio de paneles fotovoltaicos que convierten directamente la energía luminosa en energía eléctrica.

La radiación solar en México es en promedio 5 KWh/día/m². Suponiendo una eficiencia de 15%, bastaría un cuadrado de 25 Km de lado en el desierto de sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere el país. Este tipo de energía se considera prácticamente infinito sin embargo el aprovechamiento de la energía solar no se considera todavía a pesar del gran potencial del recurso que se tiene en el territorio nacional.

México inauguró la primera planta de energía solar a gran escala llamada “Central Fotovoltaica Aurora Solar 1” en Baja California Sur.

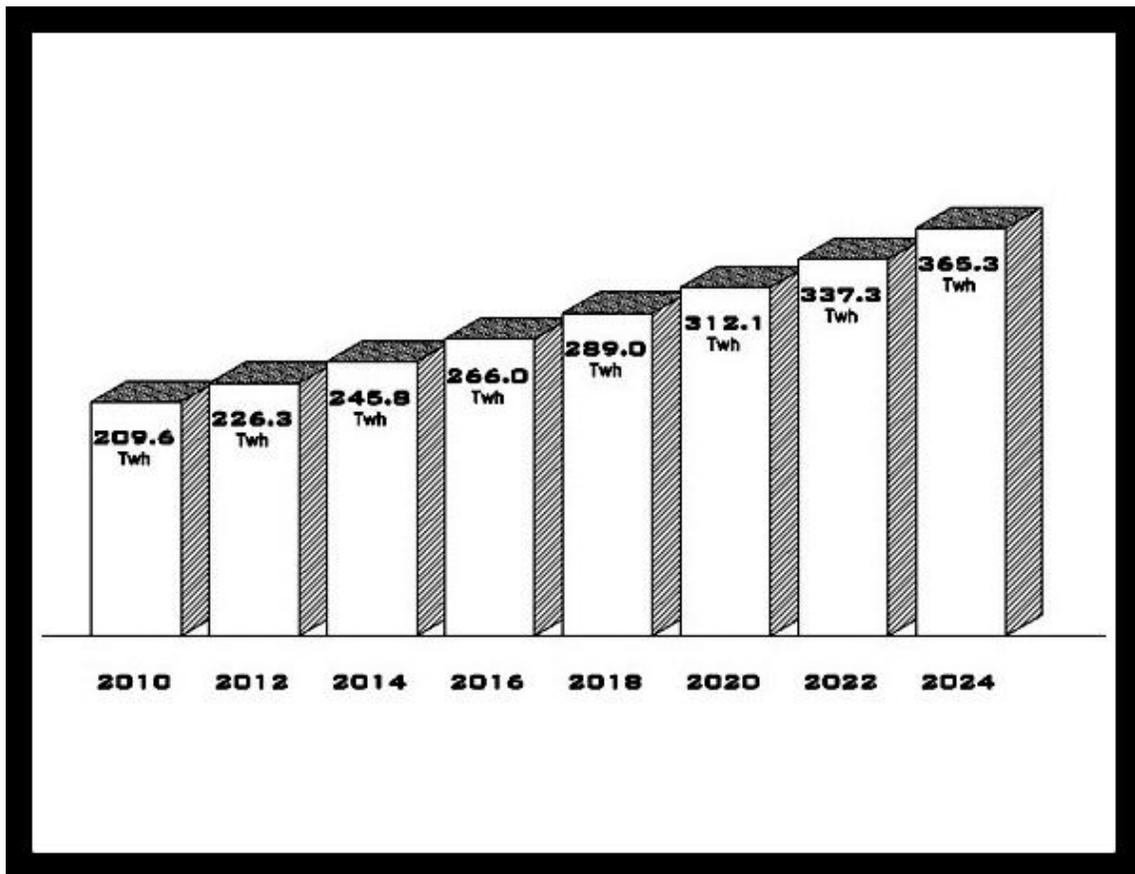
1.10.6.- Bioenergética (Biomasa y Biogás)

En México el bagazo de la caña y la leña es la principal fuente de bioenergía es utilizada en ingenios azucareros para la producción de energía térmica y electricidad de autoconsumo. Este tipo de producción de energía tiene los mismos problemas que los producidos por los combustibles fósiles.

El primer proyecto de energía en México “Bioenergía de Nuevo León, S.A. de C.V. utilizando como combustible el biogás que se forma en el relleno sanitario.

1.11.-Energía eólica como medio de mitigar la creciente demanda energética de México

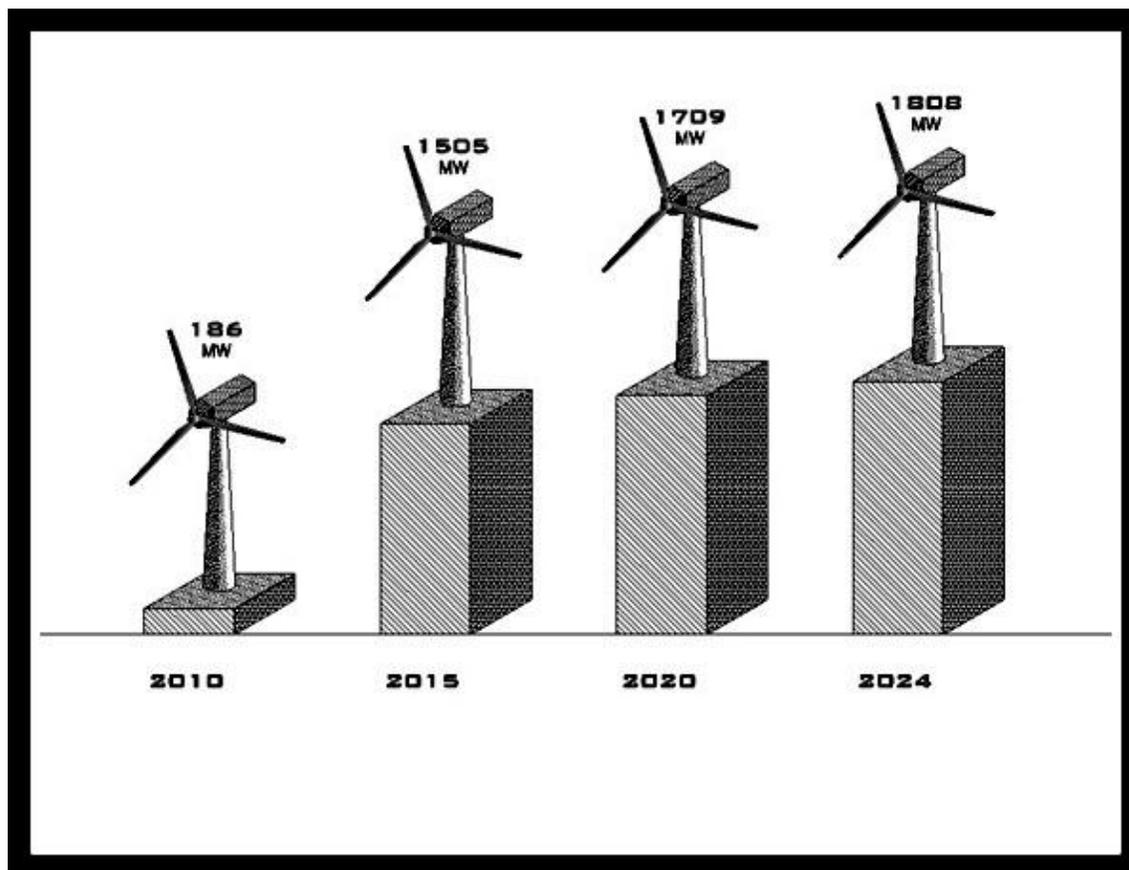
La energía eólica representa una fuente con grandes expectativas de desarrollo para la generación de electricidad, dadas sus ventajas respecto a otras fuentes en términos de abundancia. México ocupa la posición 29 en la generación de este recurso.



Gráfica 2.-Pronostico esperado para el consumo nacional de energía eléctrica hacia el 2024. Fuente: Sistema Eléctrico Nacional (Servicio Publico), 200 Edición, CFE, Marzo 2009.

Como se puede observar en la grafica 2, el consumo nacional de energía eléctrica se elevara mas del doble de lo que actualmente se tiene registrado, esto se deberá al crecimiento en la población y a las necesidades de los sectores industriales que con el paso de los años demandaran más energía.

Una buena forma de solucionar la demanda cada vez mayor de energía eléctrica, es con el aprovechamiento de energías renovables como la eólica.



Gráfica 3.-Proyección de la capacidad eólica instalada proyectada para el 2024.
Fuente: Prospectiva del sector eléctrico 2009-20024.SENER.Mexico.

Como lo muestra la gráfica 3, con el paso de los años el uso de la energía eólica, aumentara su capacidad de manera considerable sin embargo es importante seguir fomentando la construcción de centrales eólicas que puedan contribuir a proveer las demandas cada vez mas crecientes de energía eléctrica.

1.12.-Energía eólica, calentamiento global y las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica

Hoy en día es muy común hablar de los gases de efecto invernadero, del aumento de temperatura, del cambio climático y de las acciones emprendidas para su control.

1.12.1.-Efecto invernadero y calentamiento global

El planeta está cubierto por una capa de gases llamada atmósfera, esta capa permite la entrada de algunos rayos solares que calientan el planeta. La Tierra al calentarse desprende calor hacia la atmósfera y posteriormente este calor es disipado hacia el espacio, pero con el “efecto invernadero” determinados gases que se encuentran en la atmósfera, producto por la quema de combustibles fósiles, actividad industrial, uso doméstico y de transporte, estos gases retienen el calor en la atmósfera calentando cada vez más el planeta y causando el “calentamiento global”.

Entre algunos de los gases de efecto invernadero provenientes del empleo de energías fósiles destacan:

Dióxido de carbono (CO₂), Dióxido de azufre (SO₂) Y Dióxidos de nitrógenos (NO_x).

Metano (CH₄), Proveniente de la descomposición de materia orgánica cuando se produce el biogás.

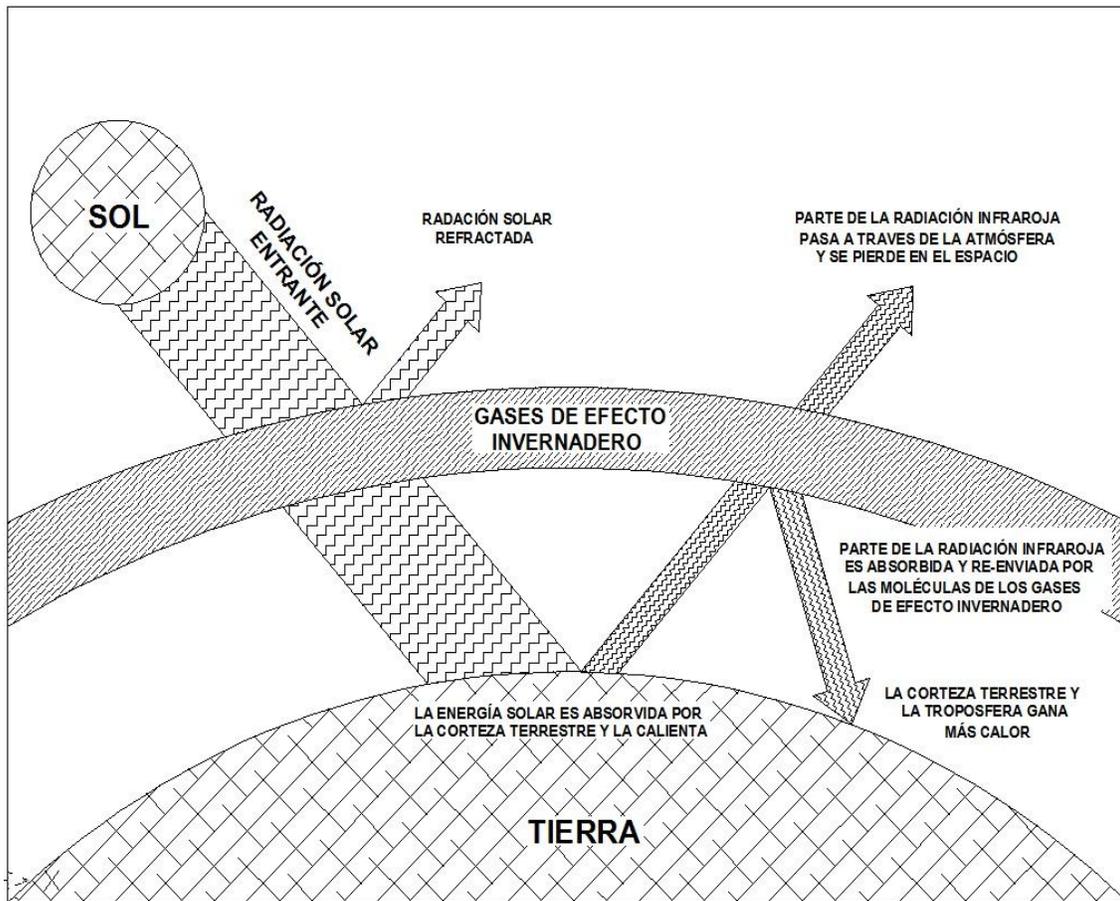


Fig. 23.-Efecto invernadero.

Entre las consecuencias del cambio climático destacan:

El deshielo de los casquetes polares, unido al aumento de la temperatura del mar. Aumento en la frecuencia, duración e intensidad de los fenómenos climáticos como los huracanes y aumento de las lluvias en ciertos lugares del planeta, mientras que otros habrá un incremento en la frecuencia e intensidad de las olas de calor. Extinción de muchas especies de animales y vegetales, que no podrán sobrevivir bajo las nuevas condiciones climatológicas.

Las centrales termoeléctricas, Son instalaciones que se encargan de la generación de energía eléctrica a partir de la liberación en forma de calor, mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. La emisión de residuos a la atmosfera y los propios procesos de

combustión para producir energía termoeléctrica, tienen un impacto importante sobre el medio ambiente mayor o menor dependiendo del tipo de combustible que se utilice para generar energía eléctrica, aun así, siempre emitirán a la atmosfera gas contaminante de dióxido de carbono (CO₂).

COMBUSTIBLE	EMISIÓN DE CO2 Kg/kW
GAS NATURAL	0.44
FUELOLEO	0.71
BIOMASA (LEÑA, MADERA)	0.82
CARBÓN	1.45

Tabla 3.-Emisión de dióxido de carbono generado en una central termoeléctrica por el tipo de combustible que utiliza para la generación de energía eléctrica.

La dependencia casi total de un modelo energético basado en el carbón, el gas y el petróleo, el crecimiento de la población, desarrollo económico e industrialización significa que el consumo mundial de energía continuara aumentando y que las emisiones de gases de efecto invernadero también lo seguirán haciendo.

En el futuro la generación de energía eléctrica seguirá dependiendo de los combustibles fósiles, pero gracias al empleo de energías renovables como la eólica, como un medio para contribuir a reducir la dependencia de este tipo de combustibles. Además de ser una buena opción para mitigar los efectos del efecto invernadero y por lo tanto el calentamiento global, asegurando el abastecimiento eléctrico y proporcionando un futuro sustentable.

CAPITULO II
PARQUE EÓLICO “LA RUMOROSA I”
Y
LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS
DURANTE SU CONSTRUCCIÓN

2.1.-Ubicación geográfica del proyecto

La Península de Baja California es un brazo de tierra que tiene un área de 143,600 km², el espinazo montañoso que divide la península es discontinuo y su altitud variable. Los desiertos yacen bajo estas montañas en ambas costas. Cuatro cadenas montañosas y otras de menor importancia se extienden a lo largo de la península. Permitiendo tener un potencial eólico que aun no ha sido aprovechado y que se encuentra en extensos terrenos.

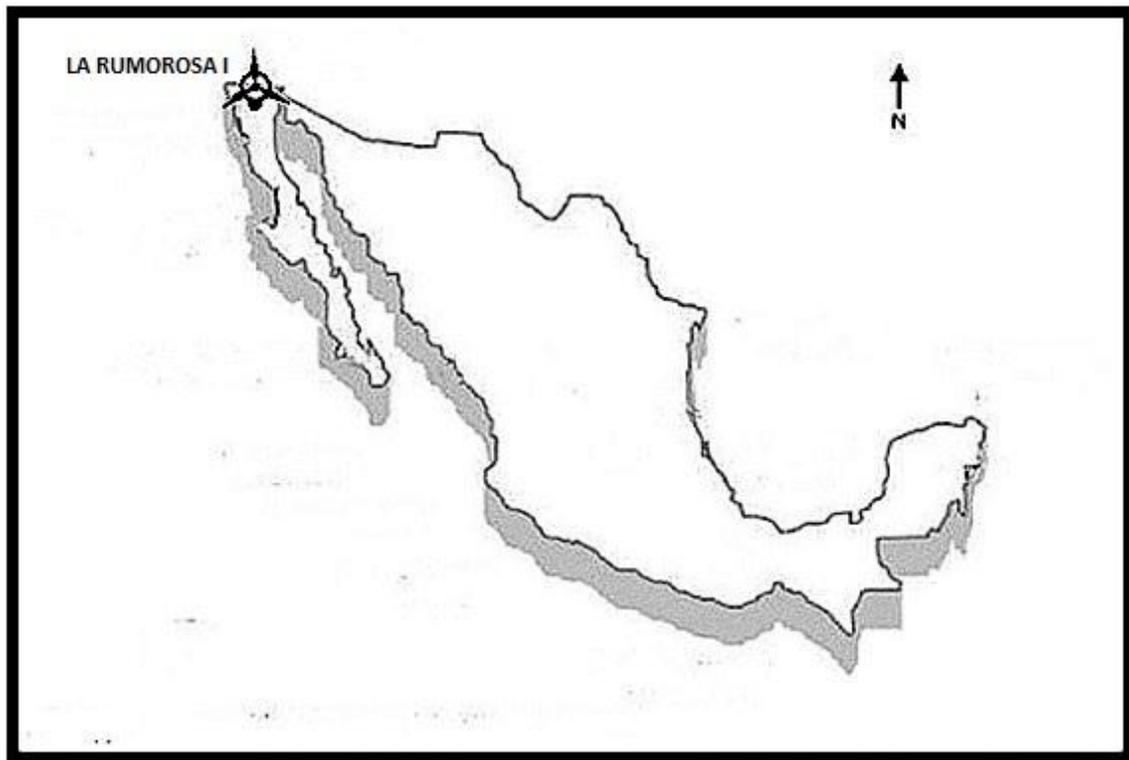


Fig. 24.-Localización de la planta eólica “La Rumorosa I” dentro del territorio nacional.

La planta eólica se encuentra ubicada en la región conocida como La Rumorosa (llamada así por el sonido que produce el viento al estrellarse en las paredes rocosas). Localizada en el Km 75 carretera Libre Mexicali-Tijuana en el área de La Rumorosa, municipio de Tecate en el Estado de Baja California.

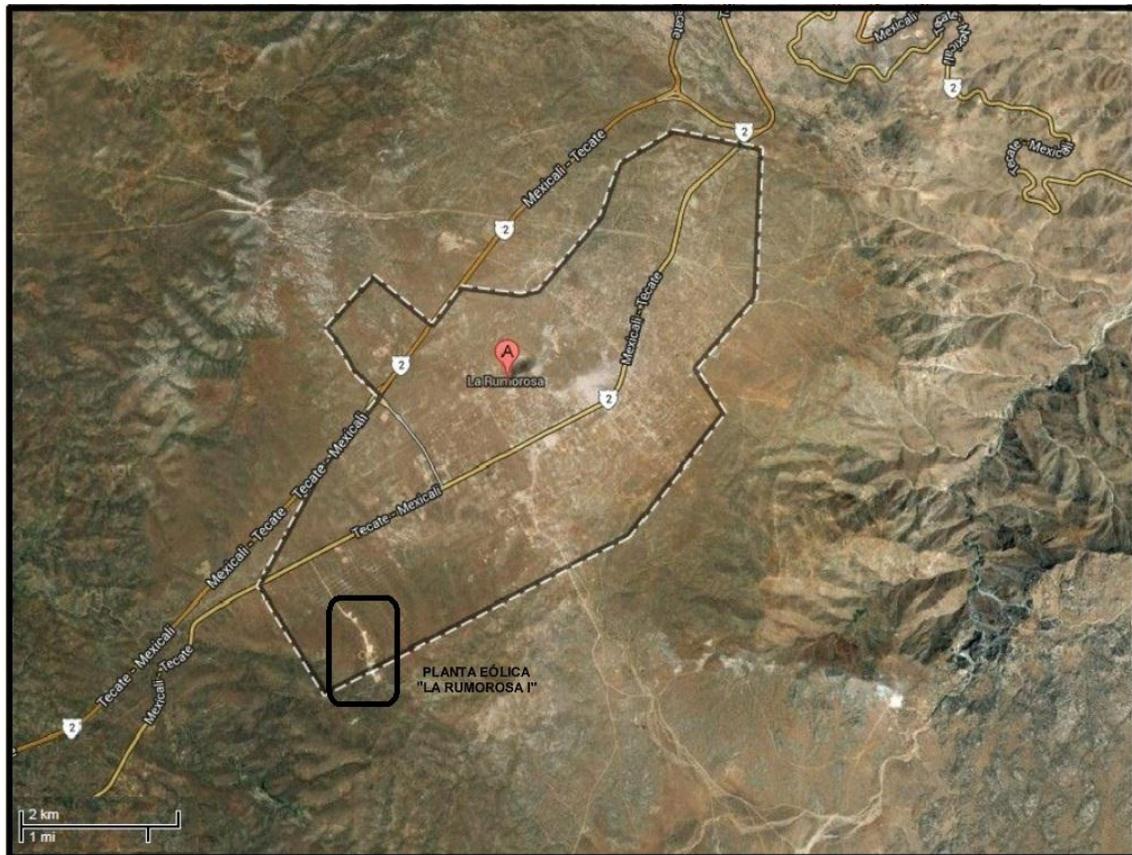


Imagen 1.-Localización de la planta eólica en la zona de La Rumorosa.

2.2.-Características de los vientos de la zona

A diferencia de otros recursos energéticos como el petróleo, el viento no se puede almacenar, ni exportar por lo que debe ser aprovechado en el sitio y al momento que sopla. Los vientos para la generación de electricidad en la planta eólica “La Rumorosa I”, son generados por la influencia de las altas presiones atmosféricas del Océano Pacífico que sopla hacia el interior del continente, por lo tanto son los vientos continentales los empleados en la central eólica.

El clima desértico provoca vientos libres de humedad evitando la corrosión de las estructuras de la planta eólica derivada de ambientes salados. Teniendo vientos predominantes provenientes del suroeste.



Imagen 2.-Disposición de las turbinas eólicas respecto a la fuerza del viento.

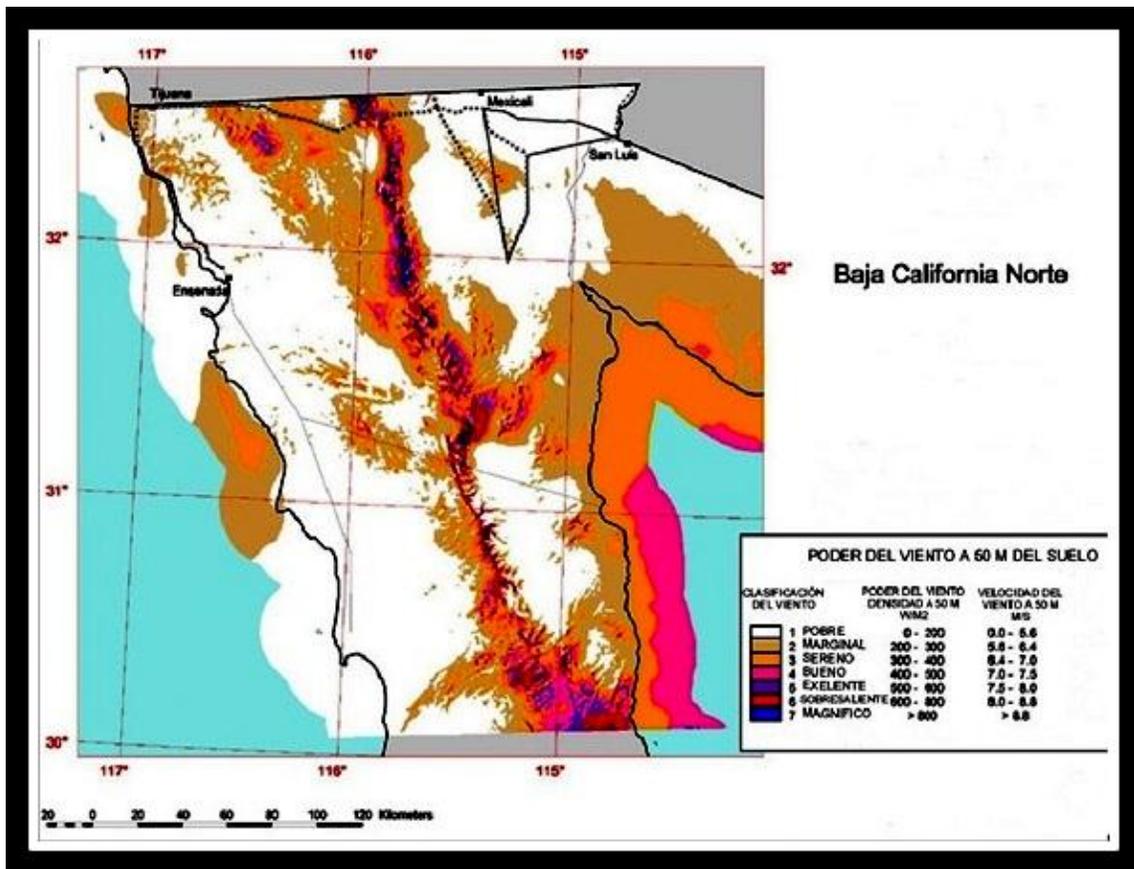


Imagen 3.-Velocidad del viento en la región del norte de Baja California. U.S Departament of Energy

Las velocidades del viento van de 0.5.6 m/s para los lugares con muy baja incidencia de viento hasta una velocidad promedio de los 8 a los 8.8 m/s para los más altos.

Debe considerarse que el contenido energético del viento es mayor cuanto mayor sea la altura, debido al efecto de rugosidad del terreno.

El efecto colina es un efecto común en la región donde se encuentra la planta eólica “La Rumorosa I”. Durante el efecto colina el viento choca en la parte de la montaña, se eleva y comprime aumentando su intensidad.

2.3.-Dimensiones del proyecto

La central eólica “La Rumorosa I” tiene una extensión de 42 hectáreas, el tipo de suelo es semidesértico, de influencia agropecuaria y de agricultura.



Imagen 4.-Localización de la central eólica “La Rumorosa I”.

De las 42 hectáreas solo se alteraron aproximadamente 1416.25 m². Que comprenden:

SUPERFICIE DE OBRAS	ÁREA m ²
CIMENTACIONES (PLATAFORMAS DE LOS AEROGENERADORES, 240.25 M2 PARA CADA UNO)	1201.25
SUBESTACION ELÉCTRICA Y CUARTO DE CONTROL	89.00
ALMACEN DE RESIDUOS PELIGROSOS	6.00
CAMINOS DE TERRACERÍA PARA ACCESO A LOS GENERADORES (24.00 M2 PARA CADA UNO)	120.00

Tabla 4.-Superficie afectada por construcción de obras.

2.4.-Desmonte

2.4.1.-Definición

El desmonte es la remoción de la vegetación existente en la zona que se destine a la instalación o edificación, con objeto de eliminar materia vegetal, impedir daños a las obras y mejorar la visibilidad.

Comprende:

Tala: consiste en cortar árboles y arbustos.

Roza: consiste en quitar la maleza, hierba, zacate o residuos de siembra.

Desenraice: consiste en sacar los troncos o tocones con o sin raíces.

Limpia y disposición final: consiste en retirar el producto del desmonte a un banco de desperdicio.

2.4.2.-Proceso constructivo

La preparación del sitio consistió en un despalme del terreno efectuado con tractor y una motoconformadora, dejando limpia el área de construcción tanto del camino de acceso como de la línea de los aerogeneradores.



Fig. 25.-Desmonte realizado por un tractor buldócer.

2.4.3.-Impacto ambiental

El hábitat no ha sido modificado anteriormente por actividades agropecuarias o industriales, por lo que el proyecto estará induciendo alteraciones o destrucción del hábitat.

El tipo de material extraído consta de pastizales y matorrales, no siendo especies con valor comercial y tampoco son especies endémicas protegidas.

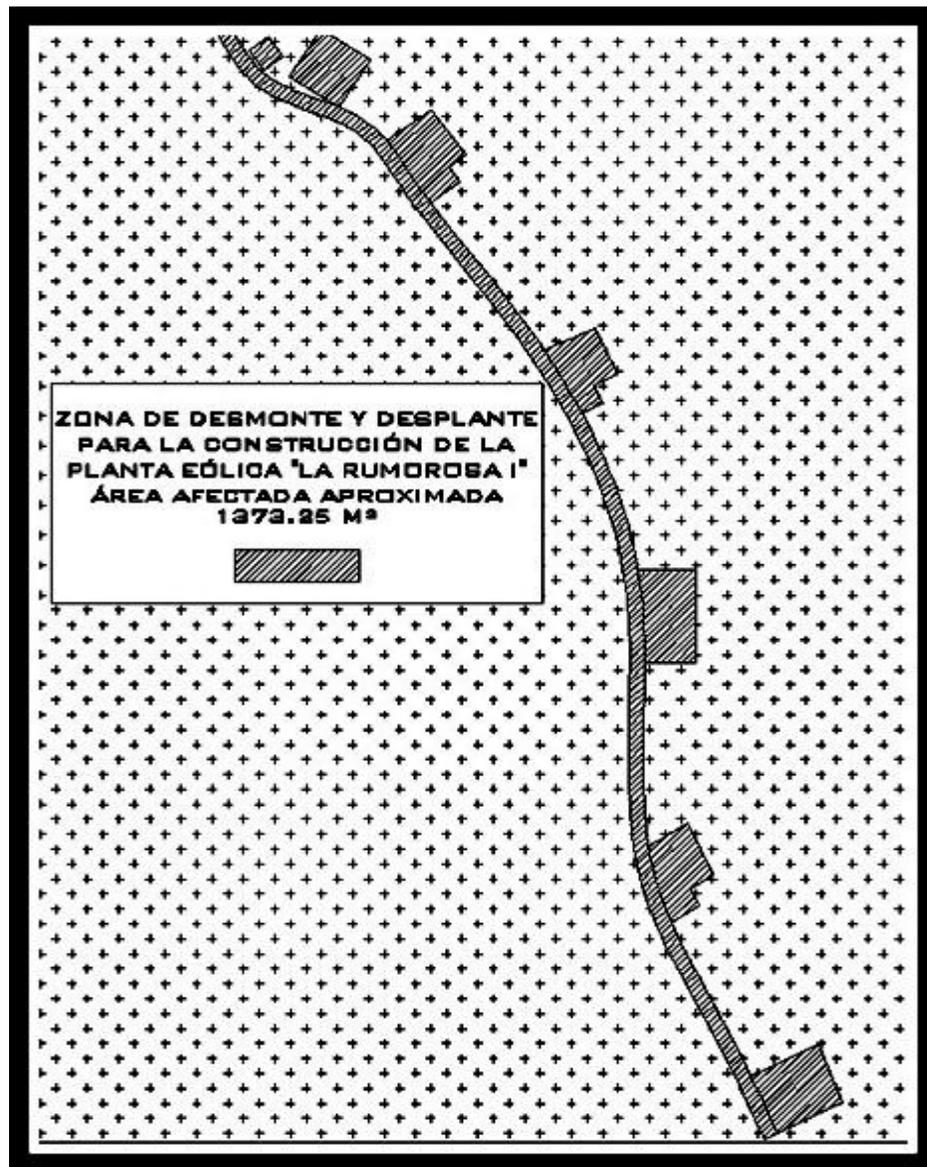


Imagen 5.-Zona de afectación aproximada de la planta eólica “La Rumorosa I”.

2.5.-Camino de terracería

2.5.1.-Definición

Una terracería es un conjunto de materiales que se encuentran en capas niveladas que sirve como camino rústico en caso de no llevar pavimento.

2.5.2.-Proceso constructivo

La construcción de los caminos de acceso e internos de la planta eólica “La Rumorosa I” fueron a base de terracería.

Se realizaron siguiendo las siguientes etapas constructivas: *trazo del camino, desmonte y despálme, corte y terraplén.*

2.5.3.-Trazo del camino

Se realizó con base a la información topográfica y geotécnica.

2.5.4.-Desmonte y despálme

Remoción de la vegetación existente y capa superficial del terreno 30.00 cm aproximadamente utilizando equipo mecánico.

2.5.5.-Corte

Se hicieron excavaciones a cielo abierto en el terreno natural siguiendo la línea del camino del proyecto. El suelo donde se ejecutó la planta eólica “La Rumorosa I” es de tipo de material B, por lo tanto solo fue excavado eficientemente por medio de tractor de orugas con cuchilla de inclinación variable.

2.5.6.-Cuerpo del terraplén

El cuerpo del terraplén es la parte de la estructura de una vía terrestre y su función es la de alcanzar la altura necesaria para satisfacer las especificaciones geométricas y resistir las cargas transmitidas por el tránsito y además distribuir los esfuerzos a través de su espesor para transportarlos en forma adecuada al terreno natural.

Composición del cuerpo del terraplén

- 1) *nivel de terracería*: Es el terreno natural.
- 2) *Sub-rasante*: capa de 30 cm de espesor, conformada con material de corte compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo. Cuya función es la de recibir y resistir las cargas del tránsito.

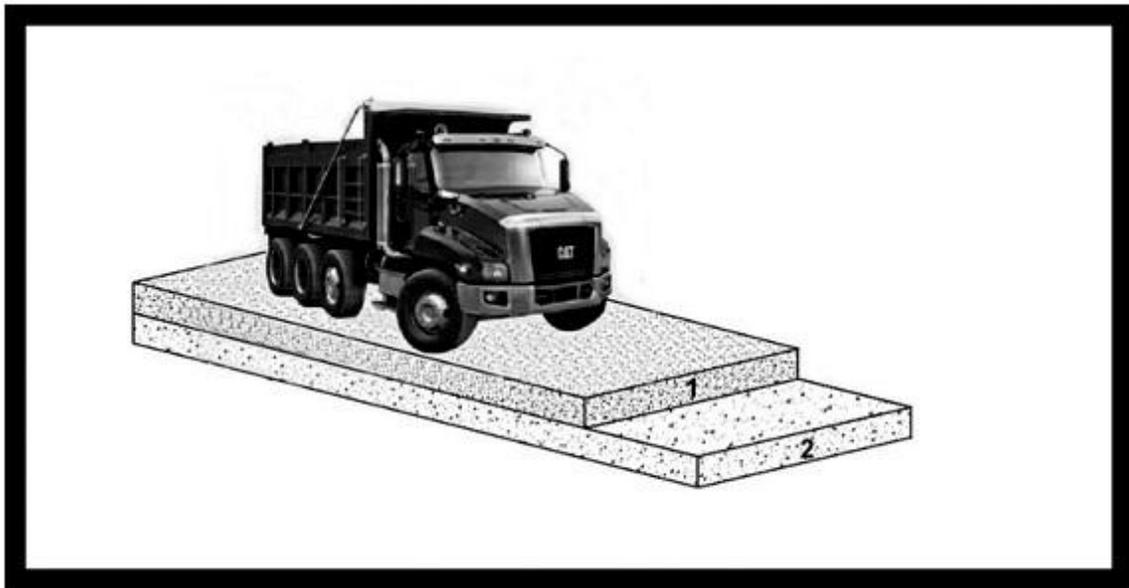


Fig. 26.-Composicion del camino de terracería: 1) sub-rasante y 2) nivel de terreno natural.

El cuerpo del terraplén se construyo con material producto del corte, utilizando para esta tarea el siguiente equipo: tractor, camión de volteo, motonformadora, compactadora y pipa.

El terraplén se compone de tres operaciones cíclicas: *Extendido*, *humectación* y *compactación*.

2.5.6.1.-Extendido

Para la construcción del terraplén que conforman los caminos de acceso e internos, primeramente se extendieron capas de espesor uniforme de tierra homogénea provenientes del mismo sitio, como el material es compactable se tendió por medio de motoconformadora.



Fig. 27.-Extendido del material del terraplén por medio de motoconformadora.

2.5.6.2.-Humectación

Una vez extendido el terraplén del terreno, se procedió a adicionar la humedad al terreno, este proceso cumpliendo con dos funciones:

1) Asegurar una optima compactación del material, asegurando la suficiente resistencia y reduciendo los posteriores asentamientos del terraplén.

2) Evitar que las variaciones de humedad que se produzcan después de la construcción provoquen cambios excesivos de volúmenes en el suelo, ocasionando daños y deformaciones en el firme.

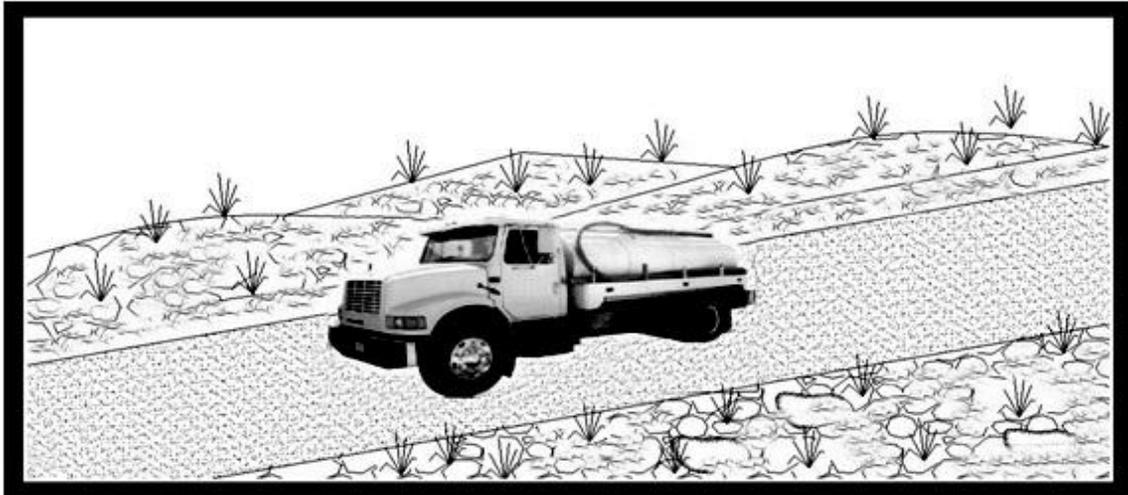


Fig. 28.-Humectación del material del terraplén por medio de pipa de agua.

2.5.6.3.-Compactación

El objetivo de este proceso fue aumentar la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén, se consiguió comunicando energía de vibración a las partículas que conforman el suelo, produciendo una reordenación de estas para adoptar una configuración estable.

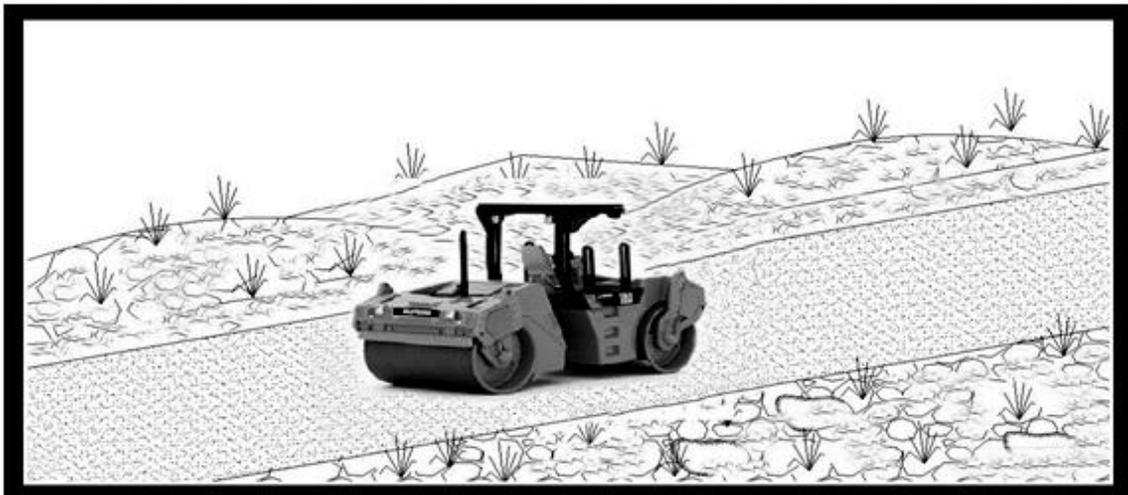


Fig. 29.-Compactacion de material del terraplén por medio de compactadora.

2.5.6.4.-Impacto ecológico

En la construcción de los caminos se realizaron solamente ampliaciones siguiendo los caminos de penetración ya existentes para evitar la afectación a la vegetación del lugar. Además no se construyeron ningún tipo de camino de concreto o de asfalto.

Dado que los aerogeneradores están remetidos aproximadamente a 12 metros del camino principal cuya dimensión es de 9 metros de ancho, para los cinco casos fue necesario hacer un acceso de terracería de 6 metros de ancho por 4 de largo.

Los caminos internos de unión entre los pies de las torres son los accesos necesarios para el desplazamiento de la maquinaria de la construcción, grúas de montaje y mantenimiento posterior.

Durante la realización de los caminos internos, se utilizó maquinaria de excavación para remover el terreno, para desplazar suelos y conformar el terreno para la realización del camino.

Cabe señalar que solamente se dañó la escasa vegetación que había en la zona pero sin significar un impacto ambiental significativo.

2.6.-Cimentaciones

2.6.1.-Proceso constructivo

2.6.1.1.-Excavación

La etapa constructiva inicia con excavación para la cimentación de los aerogeneradores. Durante este proceso constructivo se empleo maquinaria propia para esta tarea realizándose en total 5 excavaciones ó pilas.

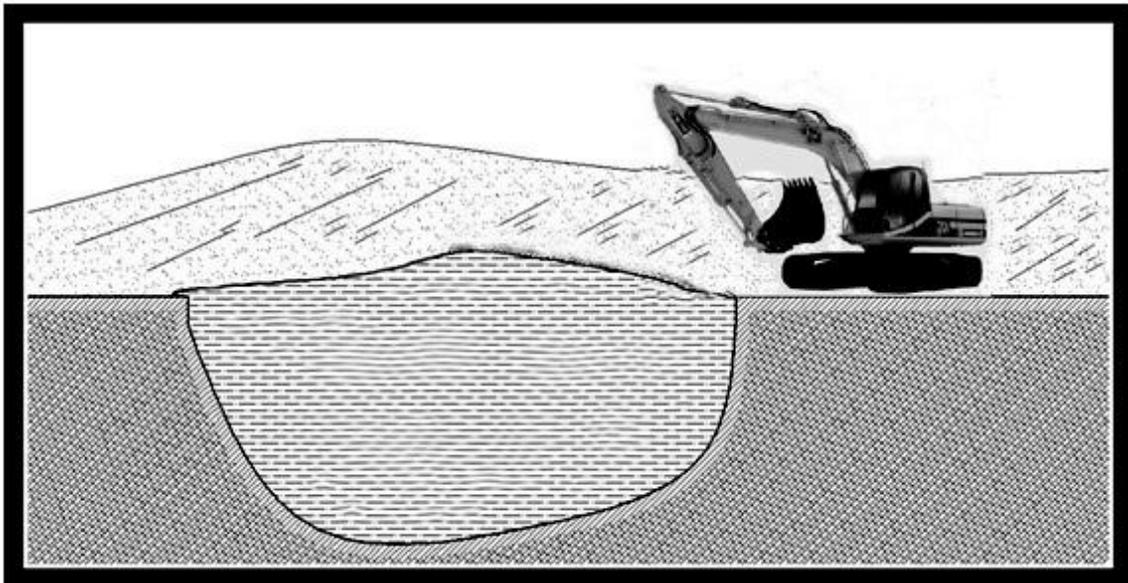


Fig. 30.-Excavacion para cimentación por medio de excavadora.

2.6.1.2.-Construcción de la cimentación

En el fondo de la excavación se coloca una plantilla de concreto y arena de 10 cm de espesor para que sirva como soporte de la armadura de acero. El concreto de tipo premezclado fue colado con bomba y trompa de elefante, asegurándose de que su distribución sea uniforme y que la superficie del dado quede aislada, empleándose para ello un vibrador.

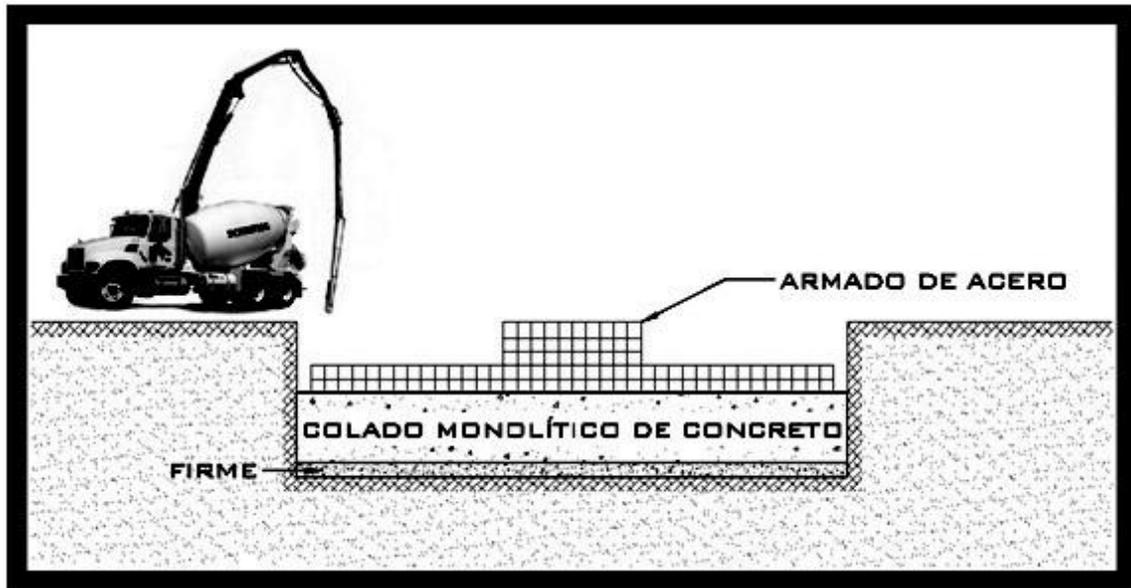


Fig. 31.-Colado de una zapata.

2.6.1.3.- Colocación del anillo de anclaje

Sobre el dado se sitúa la sección de anclaje de la torre en posición correcta soldándose al armado de la zapata de tal manera que no pueda sufrir ningún desplazamiento. Posteriormente el dado es colado con concreto.

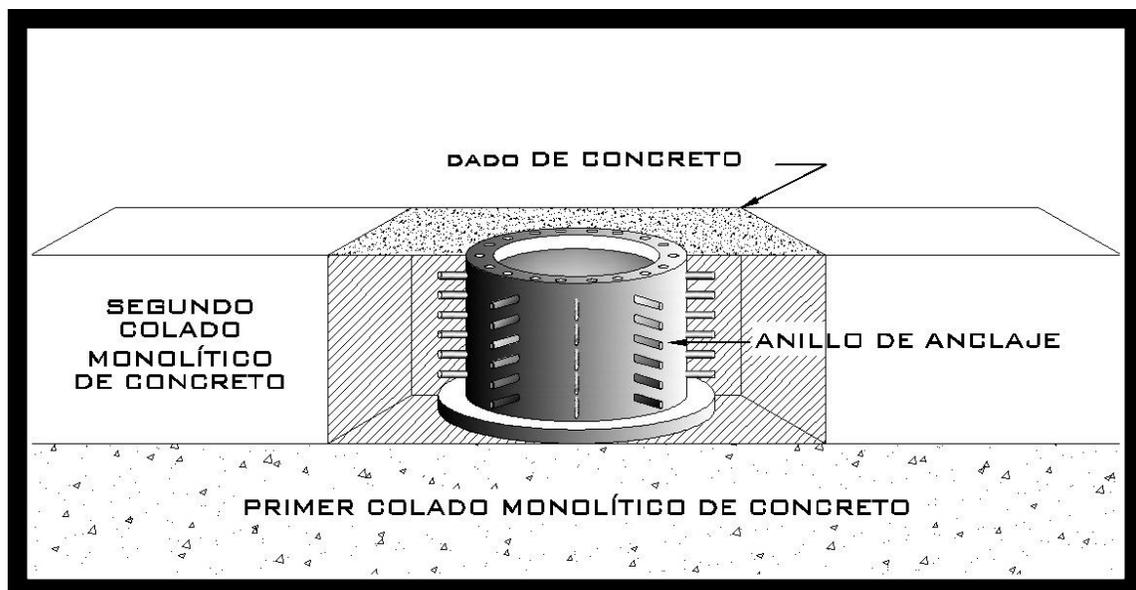


Fig. 32.-Anillo de anclaje de la torre.

Ya terminada esta actividad se procederá a terminar el armado de la zapata por medio de un segundo colado monolítico de concreto premezclado. Descimbrando posteriormente y llevando a cabo la nivelación del lecho superior del dado donde se asentara la torre.

2.6.1.4.-Datos técnicos de las zapatas

Las zapatas se proyectan con dimensionadas para resistir los esfuerzos de vuelco y deslizamiento que producen las fuerzas actuantes sobre las torres. Sus dimensiones son:

Cuatro zapatas de 19.5 x 19.5 x 1.60 m, con un dado de 5.0 x 5.0 x 0.84 m de alto ocupando un volumen de 650 m³ utilizándose 65 toneladas de varilla de acero.

Una zapata especial de 23 x 23 x 1.60 m, con un dado de 5.0 x 5.0 x 0.84 m de alto, ocupando un volumen de 900 m³ utilizándose 85 toneladas de varilla de acero

Resulta condicionante la acción del vuelco lo que implica que se proyecten de grandes dimensiones en planta y canto reducido.

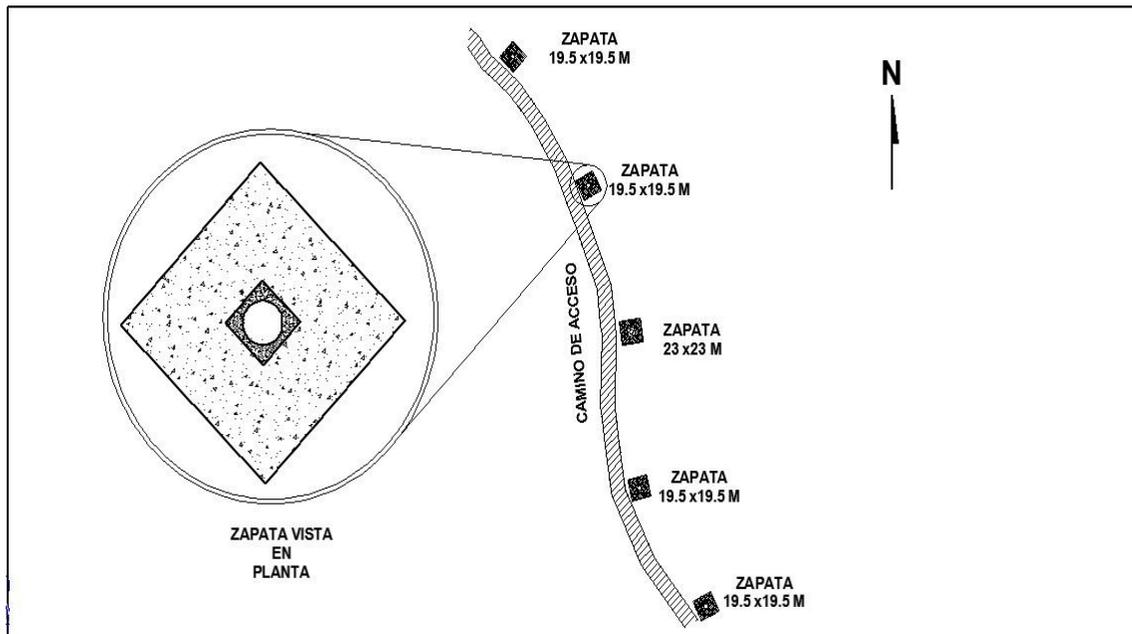


Imagen 6.-Localización de zapatas de cimentación dentro de la planta eólica “La Rumorosa I”.

2.6.1.5.-Impacto ecológico

El diseño de las zapatas fue de tipo superficial empleando concreto con resistencia de 350 kg/cm^2 , monolítica de base cuadrada y reforzada con armadura de acero. En total se vaciaron 501 camiones de concreto, tipo premezclado.

Durante el colado de las zapatas no se tuvo ningún impacto sobre el suelo a pesar que parte del agua con concreto contenido en el firme fue absorbida por el suelo, no represento ningún peligro contaminante.

2.7.-Construcción, transportación y montaje de aerogeneradores

2.7.1.-Proceso de construcción del aerogenerador G-87

2.7.1.1.-Torres

Los cilindros que componen la torre de un aerogenerador G-87 como los utilizados en la planta eólica “La Rumorosa I”, parte de unas láminas de acero. Estas laminas son introducidas en una maquina con tres grandes rodillos que van conformando las virolas. Las virolas se sueldan por arco sumergido hasta formar secciones de diferente longitud. La estructura se introduce en el túnel de pintado y secado. Terminada la torre, se procede al tratamiento superficial, que consiste en un granallado con doble acero y un recubrimiento de tres capas de pintura, consiguiendo una protección de la estructura. Una vez la torre esta seca, se procede al montaje de todos los elementos de servicios, tales como plataformas y escaleras.

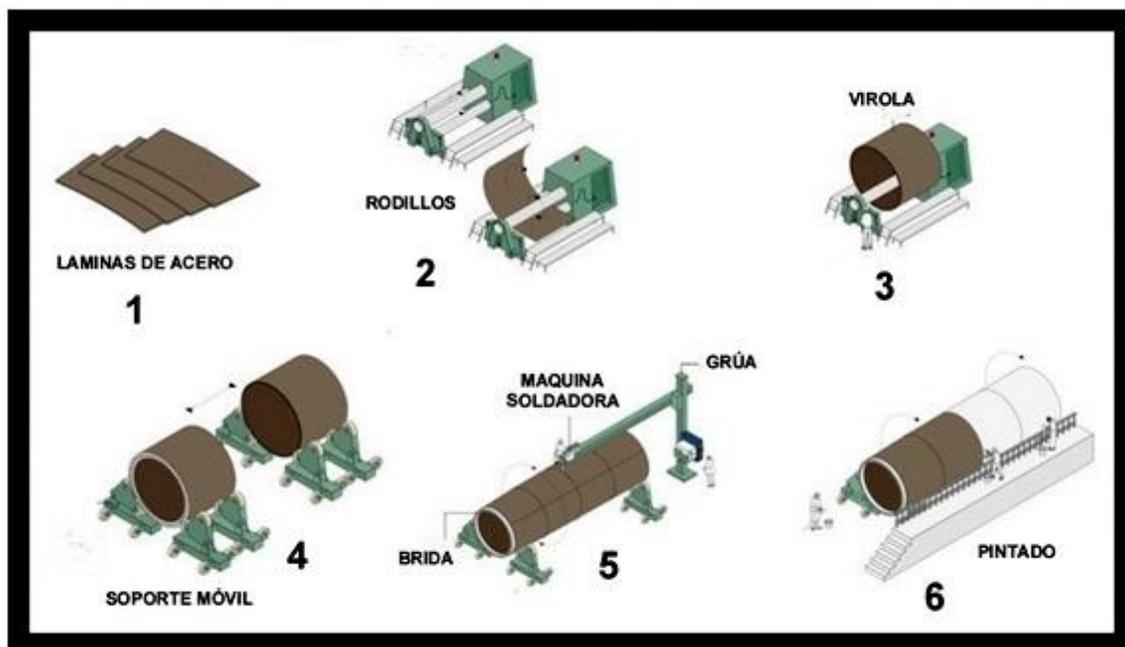


Fig. 33.-Proceso de fabricación de una torre para aerogenerador G-87.

2.7.1.2.- Palas

Las palas que la empresa Gamesa colocó en los aerogeneradores de la planta eólica “La Rumorosa I” son de diseño y fabricación propia e incluye la aplicación de la más moderna tecnología, como la utilización de componentes de fibra de carbono en los modelos G-87.

Tomando como base materiales compuestos por fibra de vidrio y fibra de carbono, preimpregnados con resina epoxy, se cortan en distintas telas que se colocan sobre un molde y posteriormente se someten a un proceso de curado. Tras aplicar una capa de pintura que servirá como protección de la pala, la fibra de vidrio es utilizada para la fabricación de las conchas, siguiendo el mismo proceso de fabricación que la viga. Una vez obtenidas las dos conchas, se procede al ensamblaje y pegado de la viga en las dos conchas. El conjunto ensamblado pasa nuevamente por el horno hasta formar una unidad compacta. Desmoldado el conjunto que constituye la pala, se pasa a la zona de acabado, donde se terminarán los bordes de ataque y salida de las palas.



Fig. 34.-Proceso de fabricación de palas para aerogenerador.

2.7.1.3.-Góndola

2.7.1.3.1.-Ensamblaje del bastidor y de la caja multiplicadora

Ensamblado el sistema de giro con sus motores de orientación, columnas y grupo hidráulico, se ensambla el conjunto con el bastidor trasero.

A continuación, se colocan las vigas raíl, el polipasto de servicio y se cablea el armario de control. Se coloca el conjunto de la góndola dentro de la carcasa inferior y se ensamblan el transformador de potencia y el subconjunto eje principal/multiplicadora.

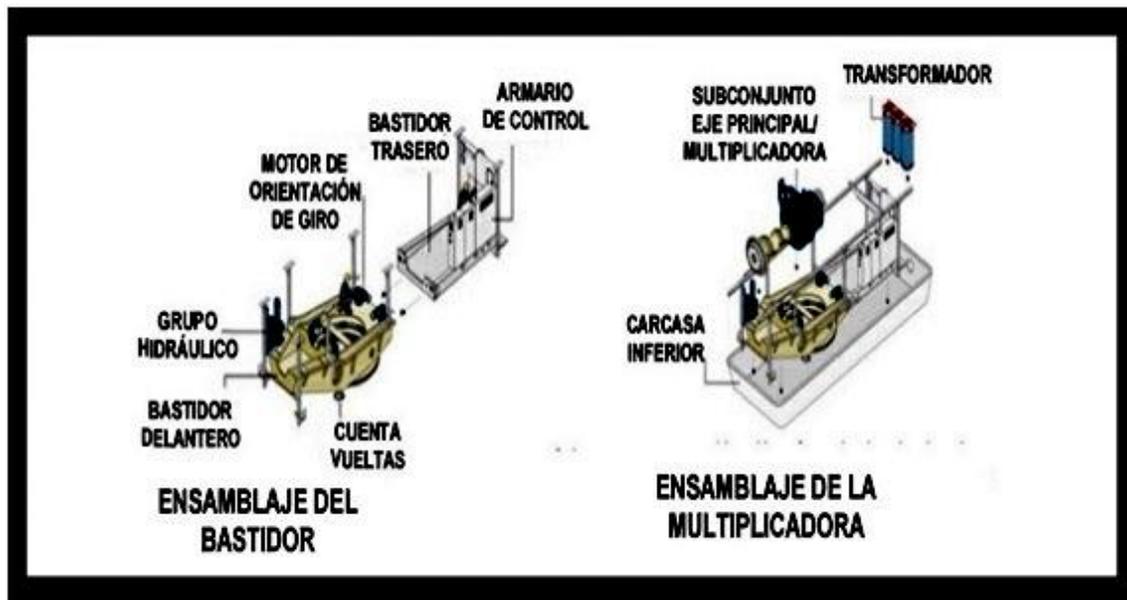


Fig. 35.-Proceso inicial de ensamblaje de la góndola del aerogenerador.

2.7.1.3.2.-Ensamblaje del generador

El proceso continúa con el ensamblaje y alineado del generador y la conexión eléctrica de todos los componentes al armario de control. Una vez conexas, se somete a la góndola a una completa verificación final, simulando su funcionamiento en el parque eólico. Superado con éxito el test

de verificación de la góndola, se ensambla la carcasa superior, y la góndola se encuentra lista para ser enviada al parque eólico “La Rumorosa I”.

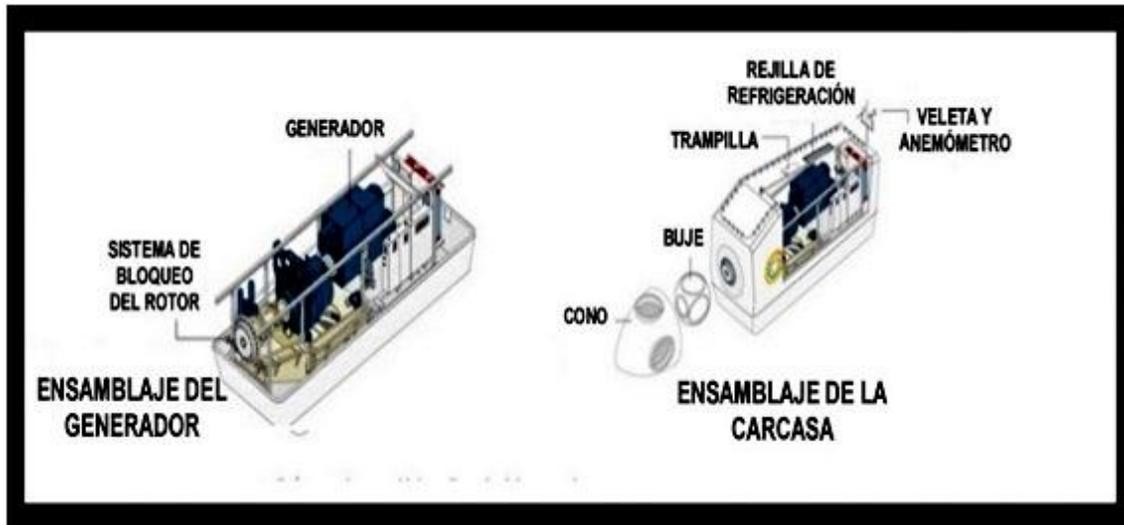


Fig. 36.-Proceso final de ensamblaje de la góndola del aerogenerador.

2.7.2.-Transportación

La empresa constructora, utilizó medios de transporte especializados para trasladar sus aerogeneradores al parque eólico. Estos medios facilitan el acceso a cualquier terreno, incluso a los más complejos, con un impacto ambiental muy bajo.

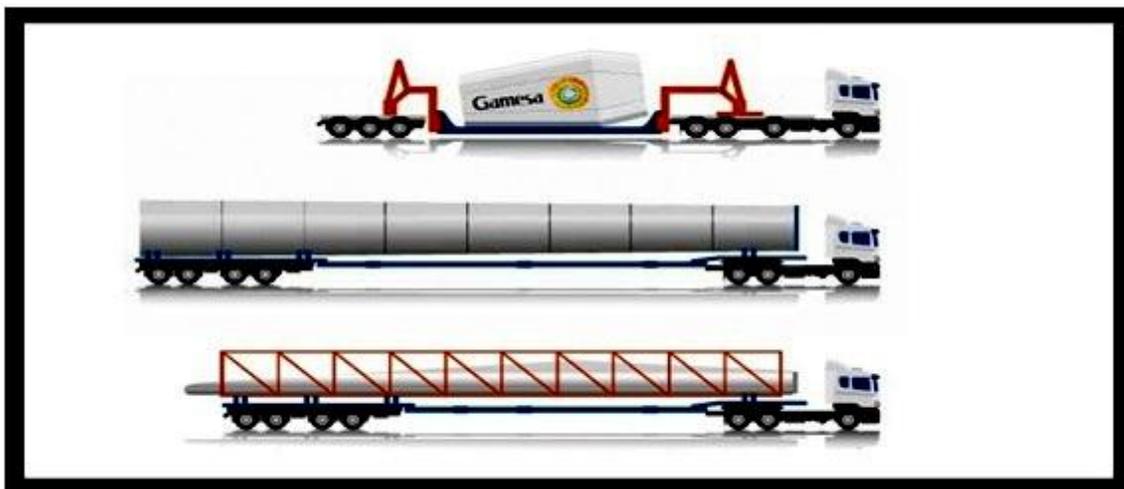


Fig. 37.-Transportación de aeroturbinas.

El traslado de materiales desde la casa proveedora de materiales hasta el sitio de las obras, implica un tráfico de vehículos pesados a través de toda la ruta. Además se tuvieron maniobras de entrada y de salida al área de obras, para las actividades de traslado de material, mismas que aumentaron el flujo vehicular en la zona.

2.7.3.-Montaje de aerogeneradores

2.7.4.- Montaje de torres

Una vez que llega la primera pieza que conformara el aerogenerador, por medio de una grúa con capacidad de 800 toneladas, se inicia el montaje de la primera sección acoplándose al dado de la cimentación.

Una vez colocada la primera sección de la torre en su base, se colocaran las tuercas de las anclas atornillando y apretando con herramienta neumática de tal manera que queden perfectamente atornilladas y con la misma presión en cada ancla.

Posteriormente fueron transportadas las demás secciones de la torre, para terminar de montar las otras tres secciones restantes, la cual llevara los pernos de la otra sección de unión por la parte interior y serán atornilladas sus tuercas con el equipo neumático.

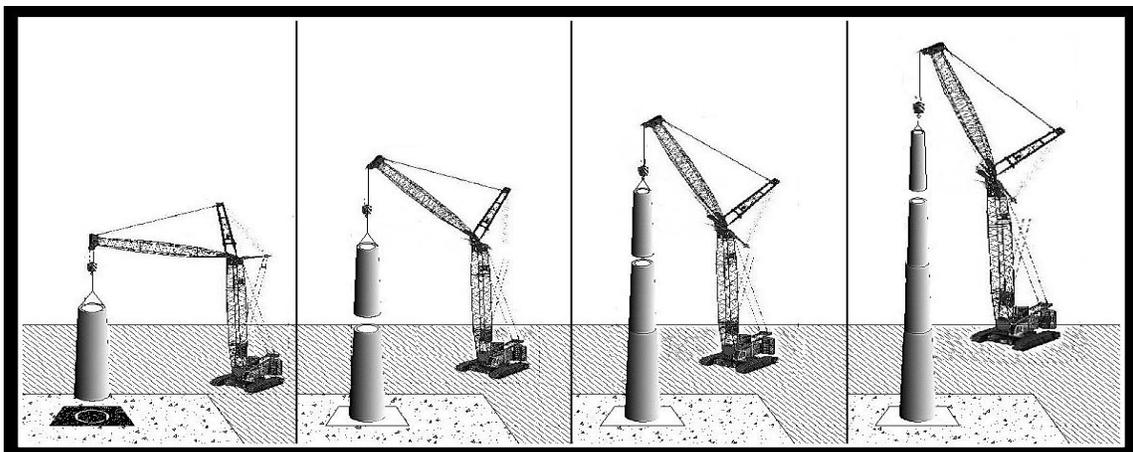


Fig. 38.-Colocación de las secciones que conforman la torre de un aerogenerador.

Terminados los trabajos de montaje y acoplamiento se inicia la colocación de los cables de transmisión eléctrica que iniciaran en el generador bajando al transformador previamente colocado al pie de cada torre. Del transformador se cableara a un registro y de este a un ducto que los conducirá a la subestación.

2.7.4.1.-Datos técnicos de las torres

Se instalaron 5 torres modelo G87-2.0 MW en la planta eólica “La Rumorosa I”, cada torre cuenta con cuatro tramos de una altura total de 78 metros y un peso de 203 toneladas.

El primer tramo mide 15m y pesa 37.95 toneladas, el segundo tramo mide 17m y pesa 46.26 toneladas, el tercer tramo mide 21m y pesa 46.19 toneladas y el cuarto tramo mide 25m y pesa 29.45 toneladas.

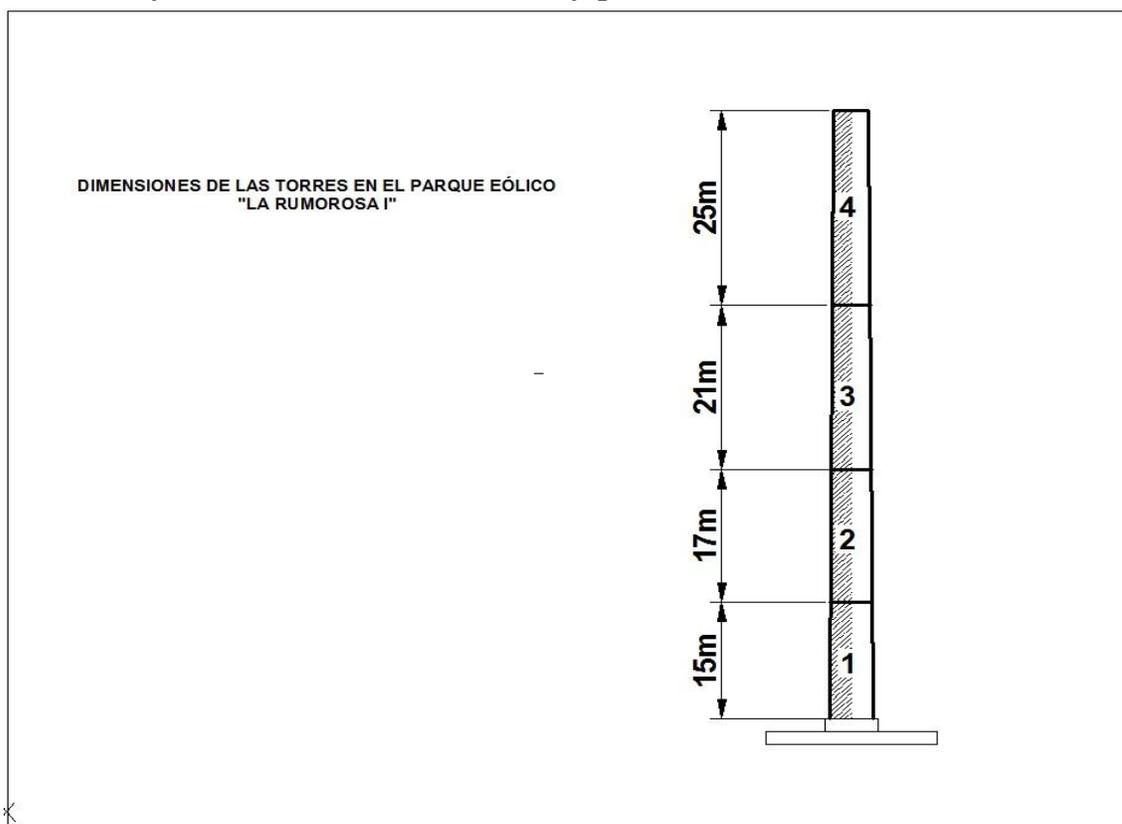


Fig. 39.-Dimensión de las torres en el parque eólico “La Rumorosa I”.

2.7.5.-Montaje de la góndola

Una vez instalada la torre se procede a la instalación de la góndola por medio de una grúa de celosía, la cual es la encargada de acoplar en el ultimo tramo de la torre a la góndola. Después se procede a la conexión eléctrica de todos los componentes.

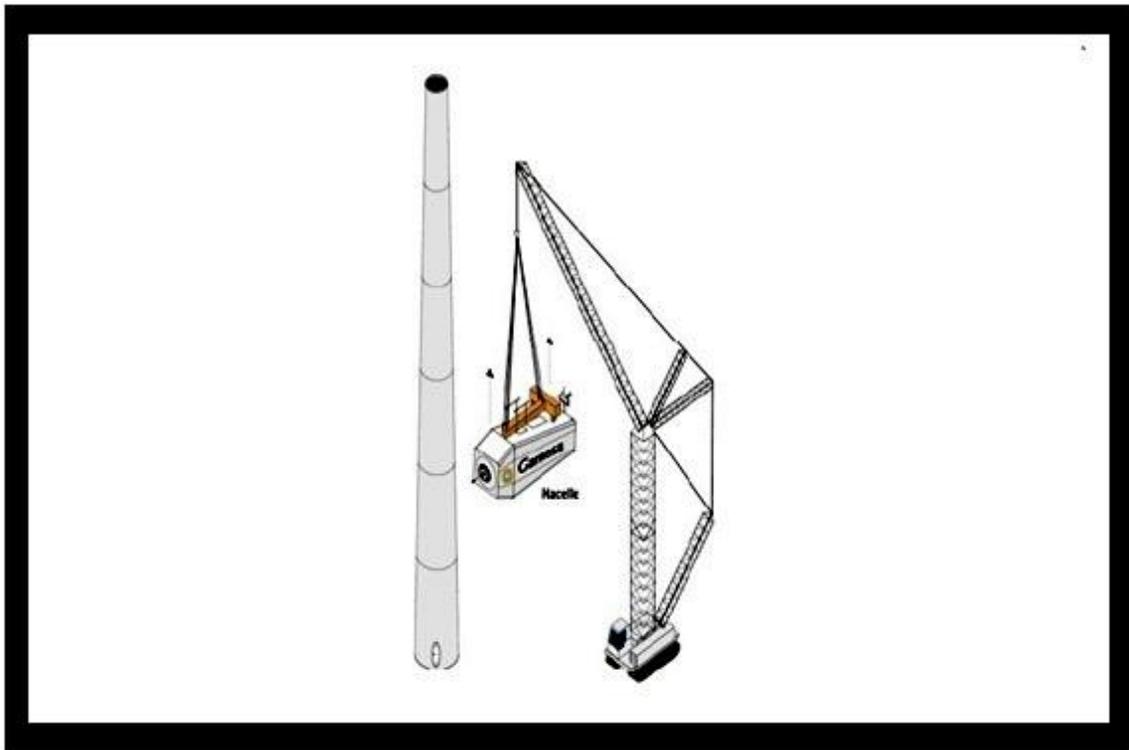


Fig. 40.-Colocación de la góndola.

2.7.5.1.-Datos técnicos de góndola

Se instalaron 5 góndolas modelo G-87 con una capacidad por turbina de 2 MW con las siguientes características:

Altura: 3.7 m, ancho: 3.4 m, largo. 10.2 m y peso: 70 ton.

2.7.6.-Montaje del rotor

El montaje puede realizarse en tierra, primero se acoplan cada una de las tres palas al buje. Posteriormente se levanta ligeramente el rotor. Finalmente se levanta el rotor completo, y se ensambla en la parte frontal de la góndola.

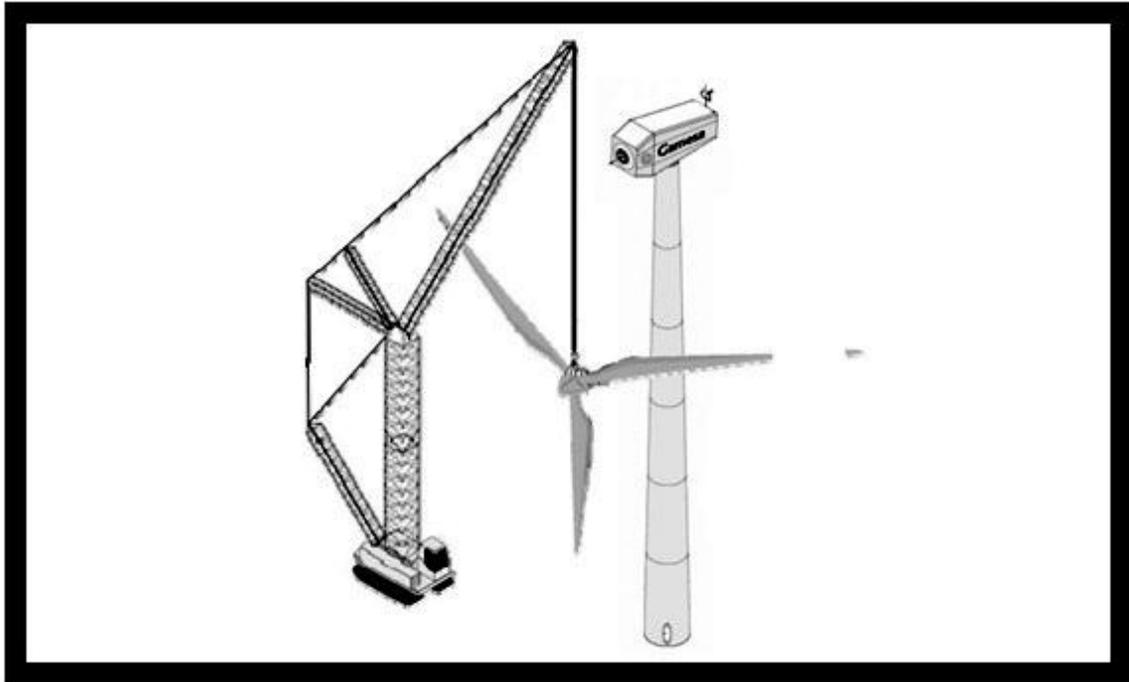


Fig. 41.-Colocacion del rotor de un aerogenerador.

2.7.6.1.-Datos técnicos del rotor

El rotor consta de 3 palas con una longitud de 42 metros cada una, un rotor de 3 metros, todo en su conjunto con un peso de 36.9 toneladas.

2.7.7.-Otras obras

Además dentro de la planta se realizaron obras menores como excavación de zanjas para el cableado conductor de electricidad, una subestación la cual esta constituida por una construcción 89 m² con loza de concreto de 12 cm de espesor, una cimentación de zapata corrida, con contratabes de concreto de 20 x 20 x 40 cm con una altura de 60 cm y muros de bloque de 20 x 20 x 40 cm. y caseta de vigilancia. Este tipo de obras no presento ningún impacto sobre el medio ambiente.



Imagen 7.-Caseta de vigilancia.



Imagen 8.-Almacén de refracciones y residuos.

2.7.8.-Impacto ecológico durante el proceso de construcción, transportación y montaje de los aerogeneradores

Durante toda la etapa constructiva dentro de las 42 hectáreas que comprenden el terreno de la planta eólica, básicamente, las obras que se realizaron para la generación de electricidad con turbinas de viento, fueron: desmonte y limpieza del terreno, construcción de caminos de acceso, construcción de bases de aerogeneradores, construcción de la red subterránea, construcción de la base de la subestación, montaje de la subestación, construcción de caseta y cuarto de control.

Durante lo antes mencionado únicamente se dañó vegetación desértica que se encuentra en grandes cantidades en la zona y dado que no se vio comprometida ninguna especie vegetal o animal en peligro de extinción puede considerarse que la construcción de una planta de generación de energía eólica no implica peligro alguno es decir tiene un bajo impacto ecológico.

En la etapa de construcción, los residuos productos del desmonte que se generaron fueron utilizados para el camino de acceso, como cuerpo del terraplén.

El Gobierno del estado considero el aprovechamiento de las hectáreas que ocupa la planta eólica como un aprovechamiento de las tierras que no están aptas para ningún uso.

La torre de cada aerogenerador es tubular de acero al carbono, de forma tronco-cónica, tratada superficialmente con pintura de protección especial anti-corrosión.

La carcasa o góndola que protege los componentes del aerogenerador, es de material compuesto de resina con refuerzo de fibra de vidrio.

Las tres palas de cada aerogenerador están fabricadas en material compuesto de matriz orgánica con refuerzo de fibra de vidrio y carbono.

La composición de los elementos que componen las aeroturbinas dentro de la planta eólica “La Rumorosa I” son elementos sólidos difíciles de degradar ante los elementos meteorológicos, reciclables y por lo tanto de bajo impacto ambiental.

Durante el ensamble y la transportación de la torre, la góndola y el rotor, no se tuvieron impactos significativos sobre el medio ambiente.

Además cabe señalar que fuera del desmonte para la adecuación del terreno para la construcción de la plataforma de montaje, la cual requirió una compactación de 4 kg/cm^2 para soportar el peso de la grúa y elementos estructurales, no se tuvo ningún daño significativo sobre la zona.

CAPITULO III
IMPACTOS FAVORABLES
Y
DESFAVORABLES DURANTE EL
FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA
EÓLICA “LA RUMOROSA I”

3.1.-Sobre el aire

Este tipo de generación de energía eléctrica no produce gases de efecto invernadero (GEI). En el tema de los problemas ambientales provocados por la generación de energía, el dióxido de carbono (CO^2) es un gas invernadero que contribuye significativamente al calentamiento global. A mayor concentración de CO^2 , mayor será el calentamiento del planeta.

En nuestra época se tiene la necesidad de mitigar el daño a la atmosfera, por el exceso de emisiones de CO^2 , causados por la industrialización y desarrollo tecnológico. Por lo que el uso de energías renovables ha venido aumentando siendo la energía eólica la de mayor crecimiento.

Como ejemplo por cada kW/h de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita aproximadamente:

0,60 Kg. de CO_2 , dióxido de carbono

1,33 gr. de SO_2 , dióxido de azufre

1,67 gr. de NO_x , óxido de nitrógeno

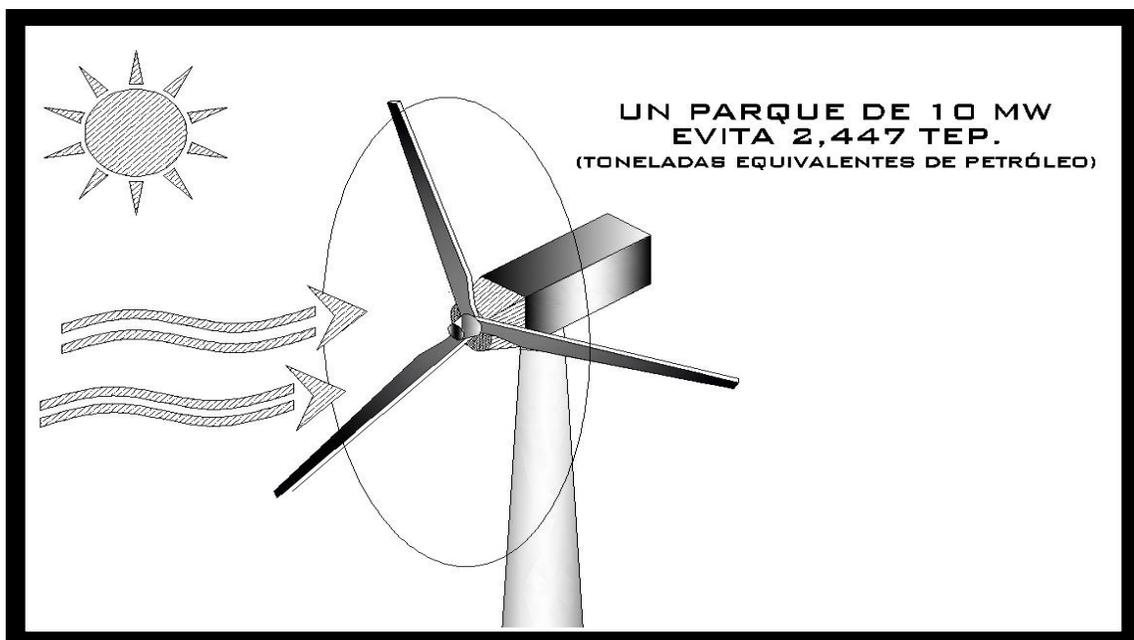


Fig. 42.-TEP, valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo.

La energía eólica podría desempeñar un papel clave en la reducción de emisiones de CO².

La central eólica de “La Rumorosa” cuenta con una capacidad instalada de 10 MW, con una generación estimada promedio anual de 27,156 MWh.

Con este tipo de generación de energía se abaten en Baja California, anualmente, 16,687 mil toneladas de emisiones de dióxido de carbono (CO²) a la atmosfera.

Las acciones susceptibles al medio atmosférico son por el empleo de maquinaria y de movimientos de tierras necesarios en la realización de obras civiles. Los impactos asociados consisten en emisiones de partículas de humo y polvo a cielo abierto, sin embargo son acciones temporales que pueden ocasionar molestias a la población cercana, pero de magnitudes tan reducidas que no deben ser considerados.



Fig. 34.-Contaminacion atmosférica.

3.2.-Sobre el suelo

Las plantas eólicas usan el suelo de manera no muy intensiva. La suma total del área utilizada por las turbinas, mas los caminos de acceso y otros edificios ocupan entre el 1% y 2% de la superficie total de un parque, haciendo que la superficie restante sea conservada en condiciones naturales. Considerando otras alternativas de uso compartido del suelo con la agricultura o la cría de animales.

Aunque la instalación de aerogeneradores eólicos requieren de espaciamiento suficiente entre cada uno de ellos para evitar interferencias en los flujos de aire gran parte del predio de la planta eólica “La Rumorosa I” no sufre afectación en su superficie.

Es importante señalar que el funcionamiento de los aerogeneradores crea flujos de aire que no provocan erosión sobre el suelo, dada la altitud a la que están las turbinas y además que están sobre las cimentaciones de concreto aislándolas del suelo natural.

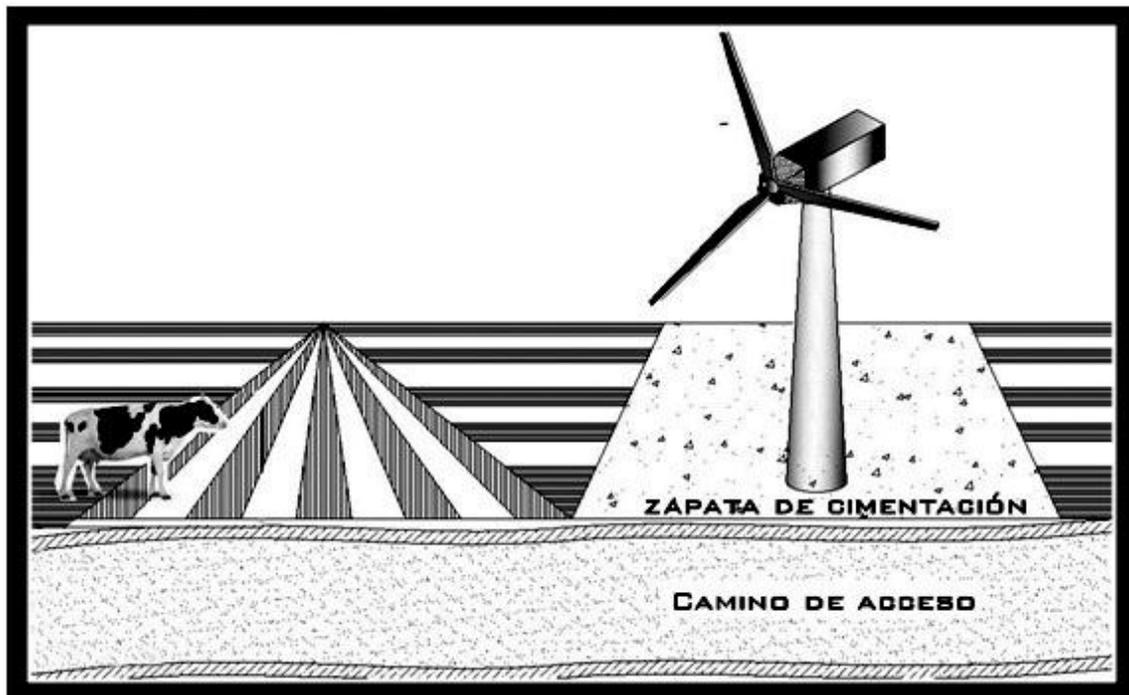


Fig. 44.-Uso compartido de una planta eólica con la agricultura y ganadería.

Dentro del área que se utilizó para la realización del proyecto “La Rumorosa I” el tipo de suelo es monte, siendo las únicas zonas afectadas aquellas en donde se ubicaron físicamente los aerogeneradores y donde se ubicó la subestación, el almacén y la caseta de vigilancia.

El proyecto de generación de energía eólica, es compatible con el hábitat pues no se dañan grandes superficies de tierra y por lo tanto no inducen alteraciones o gran destrucción del hábitat como es el caso en la construcción de centrales termoeléctricas o centrales hidráulicas.

3.3.-Sobre el agua

La zona donde se localiza la planta eólica “La Rumorosa I” en cuanto a la hidrología superficial, cuenta con arroyos intermitentes que sirven de afluentes secundarios de poca importancia y que no tienen continuidad en su caudal en época de lluvias y en materia de hidrología subterránea cuenta con recursos acuíferos de poco potencial.

La planta “La Rumorosa I” no produce residuos producto de la generación de energía eólica, por lo tanto no existe la posibilidad de contaminación de afluentes acuíferos.

La generación de energía eólica de la “La Rumorosa I” evita consumir 14.7 millones de metros cúbicos de agua que sería empleada durante el proceso de generación de otro tipo de energía como la termoeléctrica.

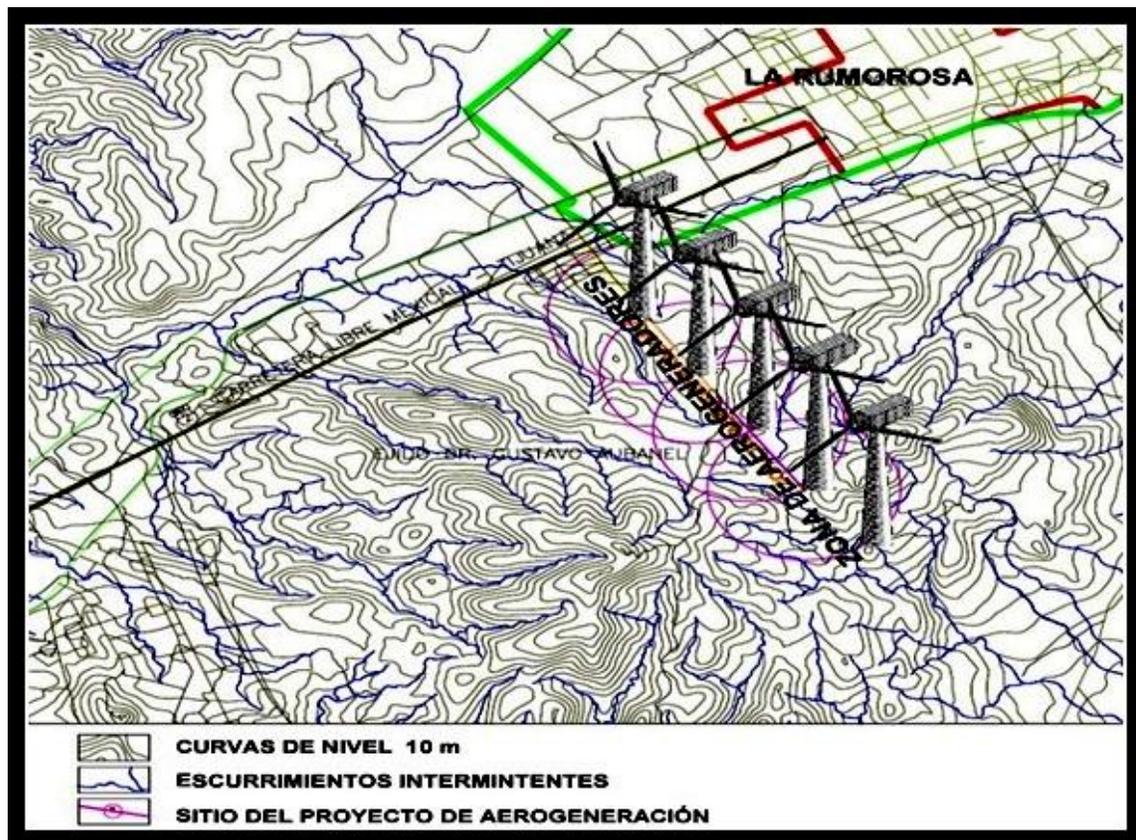


Imagen 9.-Mapa hidrológico de la zona de La Rumorosa.

3.4.-Sobre la fauna

En el lugar donde se localiza la planta eólica “La rumorosa I” las especies animales habitan cerca de los cuerpos de agua y en los alrededores de la zona y consisten en anfibios, reptiles y mamíferos, los cuales no se ven afectados de ninguna forma por el funcionamiento de la planta eólica.

Dentro de la zona de la planta eólica, también existe la presencia de aves de las cuales siete especies son aves rapaces y de las cuales cuatro se encuentran bajo el estatus de protección.

Las turbinas pueden modificar el comportamiento normal de las aves, pudiendo causar también su mortandad por colisiones contra las aspas rotantes. La mayoría de los estudios demuestra que ocasionan un efecto mínimo sobre las colonias sedentarias, afectando principalmente la avifauna migratoria si la localización del parque se encuentra en una ruta, ocasionando además estrés y desorientación, no siendo el caso de la planta eólica “La Rumorosa I”.

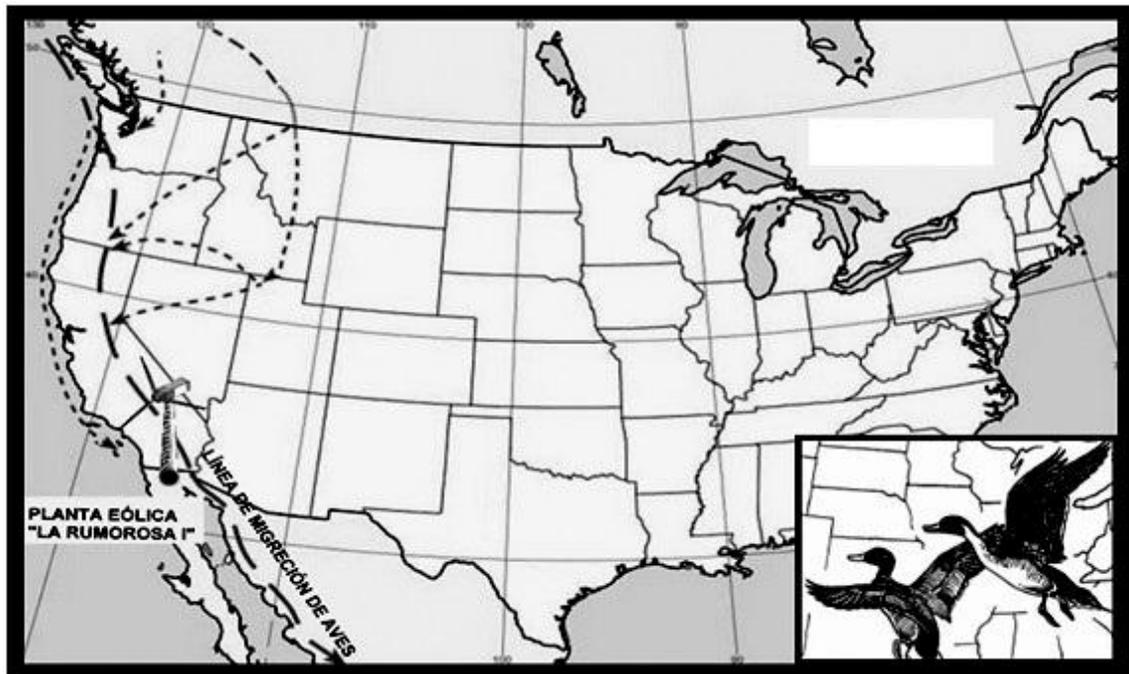


Fig. 45.-Línea migratoria de aves hacia México.

Durante la selección del lugar para la construcción de la planta eólica “La Rumorosa I”, se tuvo especial cuidado por si en las inmediaciones habitaban aves, era zona migratoria ó lugar donde estas aprovechaban los vientos de ladera para realizar su vuelo, por el riesgo de mortandad al impactar con las palas durante el funcionamiento.

Dentro de la zona donde se encuentra la planta eólica no se cuentan con gran cantidad de aves y murciélagos por lo que las afectaciones sobre la vida silvestre son pocas y esporádicas.

Estudios realizados sobre las rutas migratorias de las aves demuestran que estas no colisionan con los aerogeneradores de la planta eólica “La Rumorosa I”. Otros estudios realizados indican que las aves ya sea volando de día o de noche tienden a cambiar su ruta de vuelo unos 100-200 metros antes de llegar a la turbina y pasan sobre ella a una distancia segura. Según datos estadísticos se estimó el número de muertes para las especies combinadas de aves en 2.9 por turbina por año.



Fig. 46.-Muerte de un ave dentro de un parque eólico.

3.5.-Sobre la climatología

Paradójicamente, aunque la generación de energía eólica producida por la planta eólica “La Rumorosa I” pueda contribuir a mitigar el cambio climático, al mismo tiempo es afectada por este. En este sentido, el cambio de la distribución geográfica o variabilidad del flujo del viento en un determinado sitio puede influir de manera significativa en la operación, expectativas de producción de energía eléctrica, vida útil de los aerogeneradores y estimaciones en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La planta eólica “La Rumorosa I” tiene la desventaja sobre otras plantas en este sentido, ya que la zona en donde se localiza presenta graves afectaciones climáticas, periodos muy calurosos que sumado al aumento de la temperatura del aire a nivel local producto del funcionamiento de las turbinas ocasiona una disminución leve de la densidad del aire y por lo tanto de la producción de energía eléctrica.

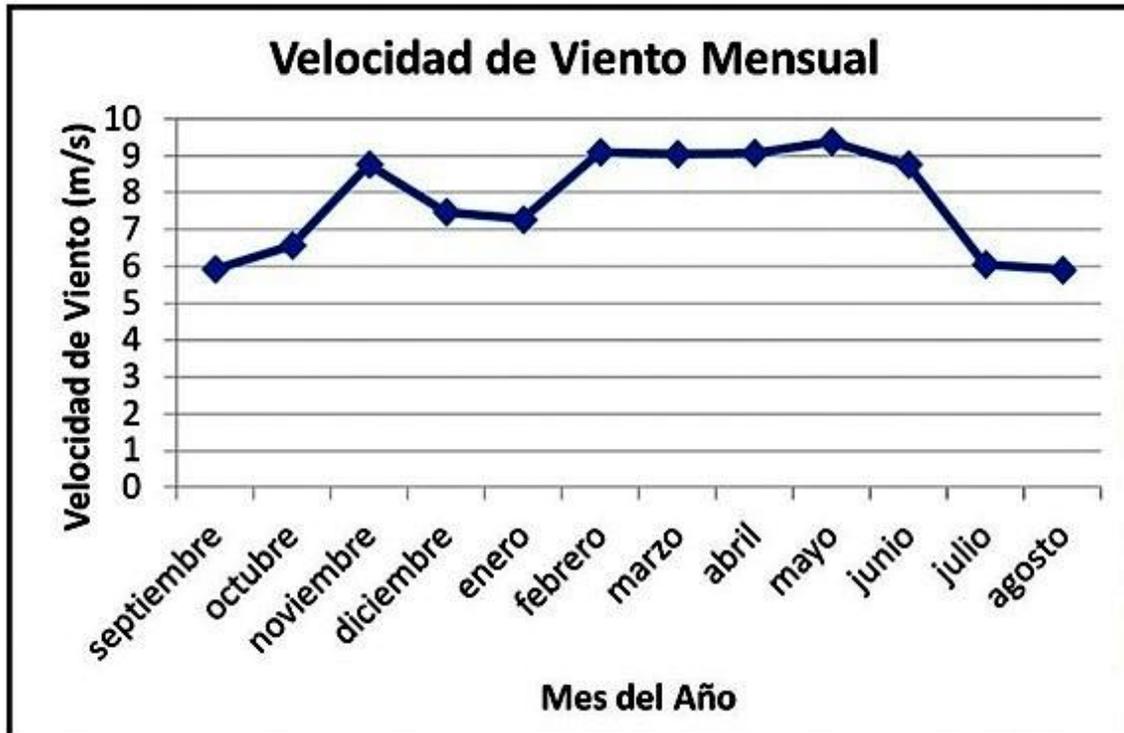
Así mismo existe la posibilidad de que el cambio climático afecte el suministro de energía eléctrica, en especial las líneas de transmisión eléctrica por el incremento de la temperatura.

Mientras que en los periodos de frío extremo, se producen rachas de viento favorables para el funcionamiento de las turbinas eólicas, sin embargo las palas que se encuentran en rotación pierden velocidad al ser impactadas por la nieve, ocasionando también una disminución en la generación de energía eléctrica.

Una de las limitaciones en la generación de la energía eólica de la planta eólica “La Rumorosa I” es sin lugar a dudas la limitada capacidad que tienen los aerogeneradores a las variaciones en las velocidades del viento.

Estas variaciones implican que el viento no sopla siempre a velocidades que permitan la generación máxima de energía, por lo tanto, el porcentaje de la

generación de electricidad total instalada. Por lo tanto, el parque eólico “La Rumorosa I” requiere indudablemente de abastecerse de energía proveniente de combustibles fósiles o procesos térmicos, como respaldo ante la imposibilidad de generar energía cuando el viento deja de soplar.



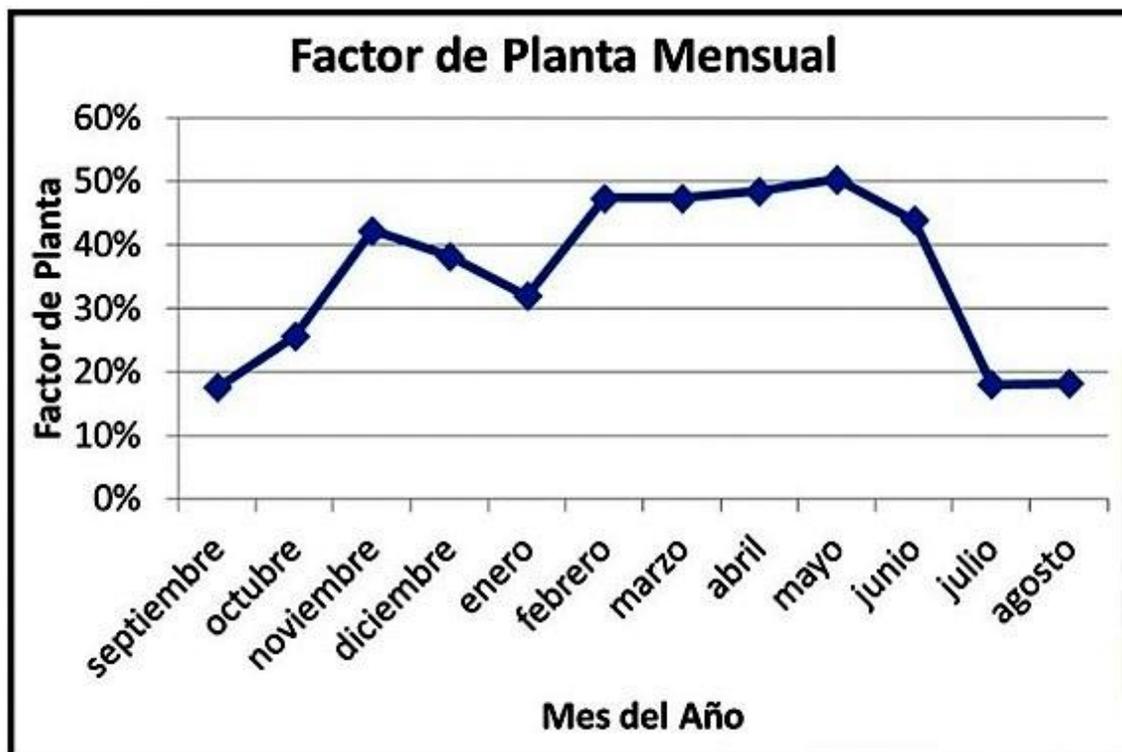
Gráfica 4.-Velocidad del viento en la planta eólica “La Rumorosa I”.

La planta eólica “La Rumorosa I”, produce 27,156 MWh/año para 10 MW instalados. El factor de planta que mide la energía eléctrica generada al año, en relación con lo que se generaría si funcionara el 100% del tiempo a la potencia normal se calcula como:

$$\text{Horas al día de funcionamiento} = \frac{27,156 \text{ MWh/año}}{10 \text{ MW}/365\text{días/año}} = 7.44 \text{ h/día}$$

$$\text{Factor de planta} = \frac{7.44 \text{ h/día}}{24 \text{ h/día}} (100) = 31\%$$

Esto quiere decir que por las variaciones de la velocidad del viento, la planta opera a una capacidad anual promedio de 31% que equivale a que las turbinas solo sean aprovechadas al día 7.44 horas en promedio, perdiendo más de dos tercios de su capacidad de eficiencia diaria.



Gráfica 5.-Factor de planta en la planta eólica “La Rumorosa I”.

3.6.-Sobre el medio social

La opinión que tiene la población sobre los aerogeneradores según estudios realizados indican que las actitudes de la comunidad sobre la construcción de la planta eólica “La Rumorosa I” es positiva, existiendo evidencia también de que solo una minoría de la población cree que traerá problemas su funcionamiento. La experiencia obtenida demuestra que una vez que la población empieza a sentir los beneficios provocados por el desarrollo, disminuye considerablemente lo negativo hacia ella, por lo que si la población es informada adecuadamente sobre los beneficios que ocasiona

esa fuente renovable de obtención de energía, disminuirá mucho más el impacto de percepción social desfavorable.

El régimen de propiedad existente en la zona de mayor potencial eólico, en el estado de Baja California, implicó la adquisición de tierras por partes de los promotores de la empresa eólica, como ocurre en otros lugares de México. Donde se construyó la central “La Rumorosa I” las tierras son propiedad de ejidatarios que rentaron sus tierras con un costo total de 15 millones de pesos en rentas, por lo tanto se presentó ningún tipo de afectación a la población.

La generación de energía limpia por medio de esta tecnología, mejora la calidad de vida de las personas, al ser una fuente no contaminante, que evitara el consumo de combustibles fósiles y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

3.6.1.-Efecto auditivo

Un impacto negativo es el ruido por el giro del rotor, pero su efecto no es mayor que el generado por una instalación de tipo industrial y siempre que se encuentre población cercana a los aerogeneradores.

En esta zona existe un ruido significativo, producido por el giro del rotor. El ruido es aerodinámico, es decir, el sonido “silbante” de las palas del rotor al pasar por la torre, se produce principalmente en las puntas y en la parte posterior de las palas. A mayor velocidad de giro, mayor es el sonido producido.

Por otro lado, el funcionamiento de los aerogeneradores produce ruido mecánico, usualmente la amplitud del sonido es de 90 a 105 decibeles a una distancia de 40 metros y de 35 a 45 decibeles a una distancia de 300 metros.

De este modo se estima que los niveles de ruido de los aerogeneradores no representan un peligro para la salud de las personas y de los organismos que habitan cerca del parque eólico.

La lejanía de los centros de población aproximadamente es de 500 metros de donde se encuentra la planta eólica “La Rumorosa I”.

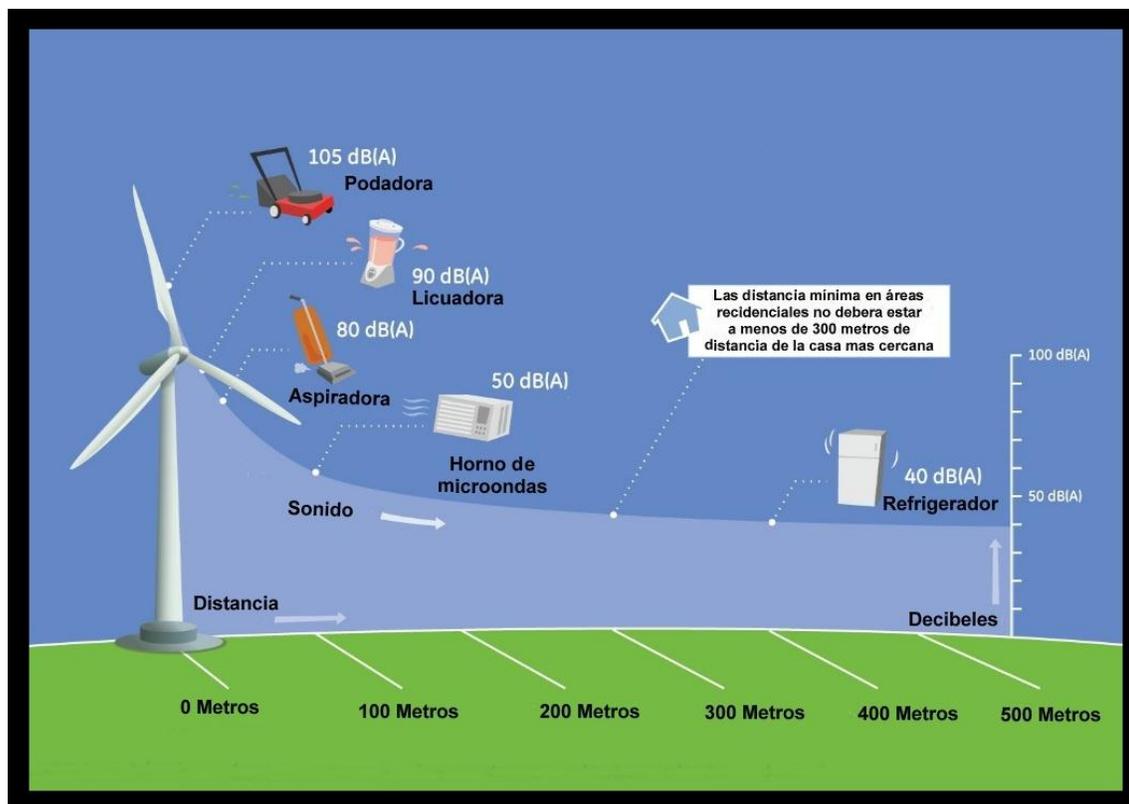


Fig. 47.-Generación de ruido por una turbina eólica.

3.6.2.-Aspecto visual

Desde el punto de vista la construcción del parque eólico “La Rumorosa I” produce un impacto visual inevitable ya que los aerogeneradores se presentan como un elemento estructural ajeno al sitio, lo cual depende de diferentes factores:

*El tamaño del aerogenerador, que determina la zona de influencia visual.

*La distancia entre la turbina y el observador, siendo que el impacto visual es mínimo a distancias mayores de seis kilómetros.

*El número, diseño y disposición espacial de las turbinas dentro del parque eólico.

*Densidad de población en la zona de influencia visual de la planta.



Fig. 48.-Contaminación del paisaje ocasionado por el gran número de aerogeneradores.

Al construirse este tipo de plantas siempre debe considerarse la frecuencia con que serán vistos y la presencia de sitios de recreación o elementos naturales. Sin embargo el sitio donde opera la planta eólica “La Rumorosa I” no se considera como zona habitacional, de conservación ó turística, actividades sobre las que pudiera considerarse un impacto considerable, además no ha sido construida a gran escala como ocurre en otras regiones

del país, lo cual si a futuro se realizara una ampliación entonces si implicaría una alteración clara sobre el paisaje.

3.6.3.-Efecto sombra

Durante el funcionamiento de la planta eólica “La Rumorosa I”, se detecta una posible afectación de sombra, sin embargo, debido a la posición geográfica de la planta y a la distancia respecto del centro poblacional actual y proyectado, no se genera absolutamente nada de sombras sobre dicha superficie. Las sombras se proyectan en el sitio donde se localiza la planta eólica y en las demás tierras ejidales vecinas, en las cuales no existe interferencia con ninguna actividad productiva.

3.7.-Sobre el aspecto económico

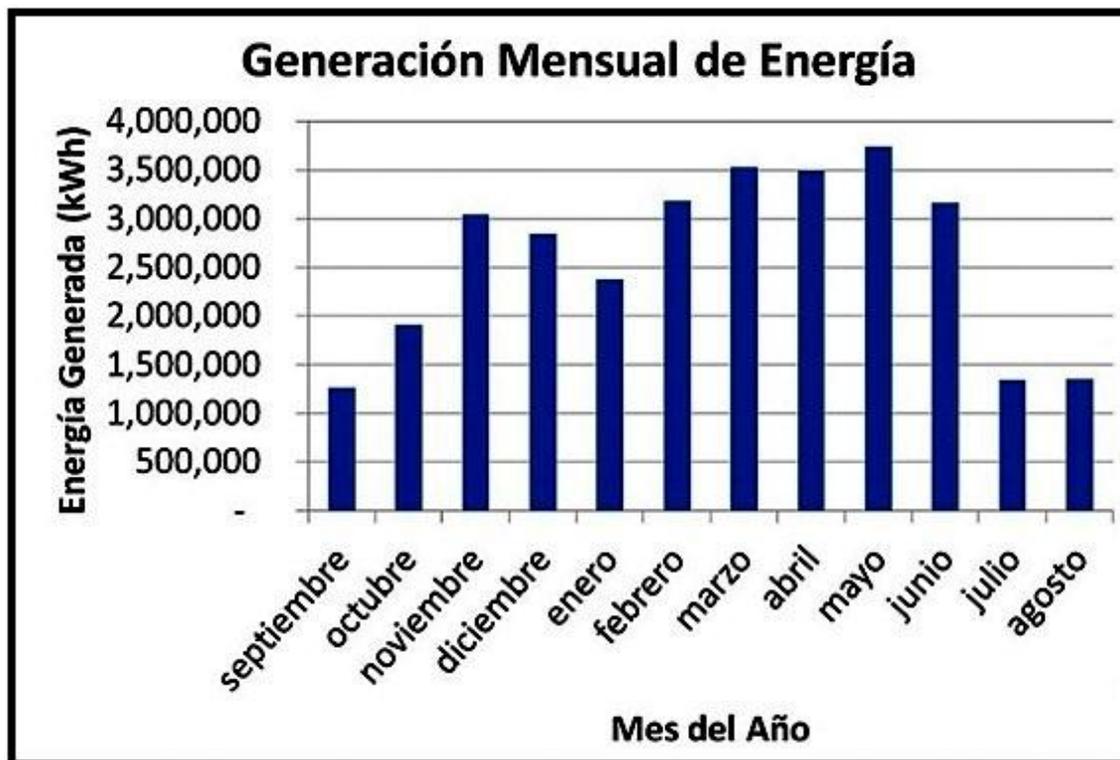
La operación del parque eólico “La Rumorosa I” produce beneficios para el medio socioeconómico circundante, ya que se requiere la contratación permanente de personal para las actividades de control, monitoreo, seguridad y limpieza de las instalaciones.

Con el funcionamiento de la planta eólica “La Rumorosa I” se ha logrado disminuir el alto costo de electricidad comprada para satisfacer las necesidades de iluminación de la capital de Baja California.

Un 80% de la electricidad que produce la planta eólica “La Rumorosa I”, es utilizada por el Gobierno del Estado para cubrir las necesidades de alumbrado público de la ciudad de Mexicali. Con ello se tiene un ahorro anual de 10 millones de pesos en lo referente a alumbrado, dicho ahorro es utilizado para la entrega de un subsidio eléctrico a 35 mil familias de escasos recursos.

La planta eólica “La Rumorosa I”, al generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica por medio

de la utilización de combustibles fósiles como el carbón ó el petróleo, detiene parte del consumo de dichos combustibles, lo que representa un ahorro de dinero y de recursos siendo el equivalente a 34,500 barriles de petróleo al año los cuales no serán utilizados.



Gráfica 6.-Generación de energía en la planta eólica "La Rumorosa I".

El costo de la producción de energía eólica depende no solo en parte de la capacidad de las turbinas. La gestión de tierras es decir si son arrendadas es un factor crucial sobre el costo de la energía. En el caso de la planta eólica "La Rumorosa I", si es el caso ya que la tierra es propiedad de ejidatarios, por lo tanto el costo de la generación y suministro eléctrico baja considerablemente, siendo un aspecto positivo para los habitantes de la región.

3.8.-Sobre el medio ambiente indirecto

3.8.1.-Disposición de residuos peligrosos

El servicio de mantenimiento que se le da a la central eólica “La Rumorosa I” incluye actividades como ajuste de tornillería, aleación de pistón, verificación de seguridad, lubricación de la turbina y repintado de toda la estructura.

Si bien el vertido de aceite, solventes y pintura pueden contaminar suelos y cuerpos de agua superficiales, no ocurre dentro de la central eólica.

Se estima que “La Rumorosa I” genera aproximadamente 155 litros de aceite de residuo por cada aerogenerador, que multiplicado por los cinco que integran las instalaciones, da un total de 775 litros por cada cambio.

Indudablemente existe un derrame en el cambio de miles de litros de aceite lubricante si bien no de manera directa sobre el entorno de la planta, si indirectamente sobre otras zonas lejanas que servirán como deposito final de los residuos contaminantes.

La subestación eléctrica cuenta con un foso justo debajo del transformador, dicho foso cumple la función de recoger el aceite del transformador que se pudiese derramar en caso de avería del mismo y evitar contaminación del subsuelo.

Si bien el vertido de aceite en el suelo y el agua es un impacto que puede resultar pequeño en comparación con otros impactos generados por el uso de otras fuentes de energía, puede afectar los terrenos en donde se desarrollan otro tipo de actividades como agrícolas ó ganaderas y pesqueras.

Los parques eólicos, en especial los aerogeneradores, son intensivos en el uso de energía y materiales durante todo su ciclo de vida, es decir, desde la extracción de materiales hasta su disposición final como residuos sólidos.

En el caso de los materiales, los mayormente utilizados son: hierro, polímeros, gravas y arenas entre otros. La energía y materiales involucrados en el ciclo de vida de la tecnología eólica se relaciona con el costo energético, es decir la energía requerida para fabricar los aerogeneradores es mínima respecto a la que proporcionara durante su vida útil, por lo tanto la capacidad energética dependerá de las características del sitio de construcción, del proceso constructivo y de los componentes tecnológicos.

3.8.2.-Residuos no peligrosos

Una de las ventajas de la generación de energía eólica de la planta “La Rumorosa I”, es el balance energético de los aerogeneradores que es claramente positivo, recuperando el coste de la energía empleada en la producción de sus materiales constitutivos y en su construcción en un periodo de 7 meses a partir de su funcionamiento.

Producto de las actividades involucradas se tiene la generación de residuos, con una composición de material orgánico (residuos de alimentos), papel, vidrio y envases plásticos. Su generación se presenta por la presencia de los trabajadores.

Tomando una tasa de generación de 0.2 kg/trabajador/día, se tiene una generación máxima de 6.4 kg/día. La disposición final de los residuos generados son llevados directamente por el servicio de limpia del poblado La Rumorosa.

La generación de aguas residuales corresponde a los desechos hidrosanitarios de los trabajadores durante su respectiva jornada de trabajo. Para el control de los residuos líquidos sanitarios, se dispone de una fosa séptica.

Recomendaciones

En nuestro país hay un total de 24,006,357 hogares, de los cuales 588,864 no disponen de energía eléctrica, muchas veces es porque las comunidades, se encuentran muy dispersas ó están en terrenos de difícil acceso, sin caminos ni otro tipo de infraestructura, lo que dificulta la extensión de las líneas de electricidad. Se recomendaría la construcción de centrales eólicas pequeñas y con aerogeneradores a menor escala, para beneficiar a comunidades rurales. La energía eólica contribuiría a que los 588,864 hogares que no cuentan con el servicio eléctrico, dispongan de una energía limpia y sin la emisión de contaminantes.

Conclusiones

Todo el proceso de generación de energía por medio del viento, desde su origen provocado por el movimiento de las capas de aire, hasta su transformación de energía eléctrica en un aerogenerador, es un medio que se puede considerar nulo en efectos adversos ecológicos. La construcción de la planta eólica “La Rumorosa I” tuvo muy pocos efectos negativos sobre el medio que le rodea durante su funcionamiento.

Con la construcción de plantas eólicas como “La Rumorosa I”, México esta iniciando una nueva etapa en la energía denominada verde. Con esto crece la necesidad para evaluar el potencial eólico en México. Es importante continuar con el estudio del recurso eólico, ya que es una de las fuentes de energía renovable con mayor crecimiento. Además es necesario buscar alternativas que satisfagan la realización de proyectos eólicos para satisfacer la cada vez mayor demanda de energía eléctrica y al mismo tiempo contribuir a mitigar los efectos del cambio climático, a través de la reducción de los gases de efecto invernadero.

Bibliografía

*Miguel Villarrubia, Energía eólica, España, CEAC, 2007.

*Carlos Gonzales Armada, Cambio climático: causas consecuencias y soluciones, España, ANTONIO MADRID VICENTE, 2010.

*Villarrubia López Miguel, Ingeniería de la energía eólica, MARCOMBO, S.A. 2014.

*Luis Enrique Sánchez, Evaluación del impacto ambiental, ECOE, 2011.

*Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP, Evaluación del impacto ambiental, México, 2000.

*De Lucas Manuela, Aves y parques eólicos: Valoración del riesgo y atenuantes, QUERCUS, España, 2009.

Paginas electrónicas

Google. Internet, 2014, Disponible:

<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/bc/estudios/2006/02B C2006E0013.pdf>

Google. Internet, 2014, Disponible:

*http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wtrb/async.htm

Google. Internet, 2014, Disponible:

*http://www.ingenieria.unam.mx/~luiscr/mt_1608/2.1%20desmonte.pdf

Google. Internet, 2014, Disponible:

*http://www.ingenieria.unam.mx/~luisr/mt_1608/2.2%20Etapas%20de%20Oconstruccion.pdf

Google. Internet, 2014, Disponible:

*<http://www.cliv2.ing.unlp.edu.ar/public/actas%20congreso/20.Apcarian.CLIV2.pdf>