



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Propuesta de Generación de energía eléctrica por medio de un sistema eólico en la comunidad de Santa María del Mar, Juchitán Oaxaca.**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Eléctrica Electrónica**

**P R E S E N T A**

Dulce Guadalupe Sánchez Islas

**DIRECTOR DE TESIS**

Ingeniero David Vázquez Ortiz



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019**



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.

**Jurado Asignado:**

**Presidente:** ING. Cesar Maximiliano López Portillo Alcerreca.

**Vocal:** ING. DAVID VAZQUEZ ORTIZ.

**Secretario:** ING ARMADO GRANDE GONZALEZ.

**Suplente 1:** ING JOAQUIN JORGE TELLEZ LENDECH.

**Suplente 2:** ING. RODOLFO MARTINEZ QUERO.

**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ingeniero David Vázquez Ortiz

# Índice

## CAPITULO 1

<b>PERSPECTIVA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.</b> -----	1
1.1 La energía eléctrica en México. -----	3
1.2 Combustibles fósiles y su problemática. -----	7
1.3 Fuentes de generación de energía eléctrica en México.-----	14

## CAPITULO 2

<b>ENERGÍA EÓLICA.</b> -----	22
2.1 Antecedentes de la energía eólica-----	23
2.2 Que es la energía eólica-----	28
2.3 Ventajas y desventajas de la energía eólica-----	30
2.4 Funcionamiento de los aerogeneradores-----	32
2.5 Tipos de aerogeneradores-----	38

## CAPITULO 3

<b>ESTUDIO DE LA PROPUESTA.</b> -----	49
3.1 Características principales de Santa María del Mar.-----	50
3.2 Instalación de un sistema eólico en Santa María del Mar.-----	54
3.2.1 Análisis del área de instalación.-----	67

## **CAPÍTULO 4**

<b>INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.</b> -----	77
4.1. Selección del proveedor.-----	78
4.2 Instalación del sistema eólico.-----	80
4.3 Operación del sistema eólico.-----	86
4.4 Mantenimiento del sistema eólico.-----	89

## **CAPÍTULO 5**

<b>ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.</b> -----	96
5.1 Costo de instalación.-----	97
5.2 Costo de operación y mantenimiento.-----	100
5.3 Costo de Kw-hora.-----	102
5.4 Conclusiones.-----	103

## **Agradecimientos**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre María Guadalupe Islas Gutiérrez, por ser uno de los dos pilares más importantes, por enseñarme a no rendirme y luchar por mis metas, por demostrarme su apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones, A mi padre, Leonardo Salvador Sánchez Caballero, por enseñarme lo bella que es la vida, por ser mi ejemplo a seguir, por inculcarme ser una buena persona con mi prójimo , que a pesar de la distancia física, siento que estás conmigo siempre y que aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que en este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es por mí, Gracias por todo Papa.

A mi Hermano Cesar Leonardo Sánchez Islas por todos sus consejos, por escucharme, por alentarme cuando más lo he necesitado.

A la mejor Universidad UNAM por educarme con un alto rendimiento académico, por permitirme ser uno más de sus estudiantes, por regalarme este momento tan importante para mí.

A mi director de tesis Ing. David Vázquez Ortiz por compartirme su conocimiento y su valioso tiempo.

A los ingenieros Cesar Maximiliano López Portillo Alcerreca, Armando Grande González, Joaquín Tellez Lendech y Rodolfo Martínez Quero, por todo su apoyo incondicional, por las maravillosas clases que me impartieron, por todo el conocimiento que me han compartido en todos estos años y por inculcarme el amor a esta carrera.

A mis amigas del alma Wendy Cajero Sánchez Y Marina Isabel Méndez Herrera, gracias por estar ahí en los momentos más difíciles, por su tiempo, quién diría que ya llevaríamos 12 años de amistad, son lo máximo.

Atentamente

Dulce Guadalupe Sánchez Islas.

---

## CAPITULO 1

---

### PERSPECTIVA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO.

En este capítulo veremos una perspectiva de la generación de energía eléctrica en nuestro país (México), desde sus inicios, en las postrimerías del siglo XIX, hasta la actualidad. Es importante resaltar que, la explotación de cualquier tipo de energía trae, como consecuencia, un impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que es necesario tomar medidas que minimicen dichos impactos. En el caso de la energía eléctrica el enfoque se dirige a la investigación y desarrollo de energías limpias y renovables.

En este sentido, son importantes las actividades de universidades e institutos, nacionales y regionales, a lo largo y ancho del país. Igualmente, importante es el trabajo de difusión y promoción de asociaciones particulares como la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la cual ha unificado a esta comunidad, particularmente a través de sus reuniones nacionales celebradas anualmente desde 1977. Por otro lado, son igual de importantes las industrias dedicadas a la manufactura y comercialización de equipos y sistemas relacionados con las energías renovables.

La Secretaría de Energía, SENER, promueve el uso eficiente de las energías renovables con el apoyo del Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables, COFER, en este consejo participan dependencias gubernamentales y organismos particulares, todos con el propósito de lograr un desarrollo sustentable en nuestro país y, sobre todo, menos dependiente del petróleo.

Las dependencias gubernamentales y los organismos, participantes son:

- La Secretaría de Energía (SENER),
- La Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL),
- La Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI),
- La Comisión Federal de Electricidad (CFE),
- La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE),
- Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL),
- El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO),
- El Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE),
- La Universidad Nacional Autónoma de México (CIE-UNAM),

La Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)

La Universidad de Guanajuato.

Instituciones internacionales y organizaciones privadas

Agencia para el Desarrollo de los Estados Unidos (USAID)

Banco Mundial.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID),

Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL),

PA Consulting Group, Fundenerg

Winrock International.



## 1.1 La energía eléctrica en México.

La generación de energía eléctrica en México empezó a fines del siglo XIX, la primera planta de generación se instaló en 1879, esta se ubicó en León, Guanajuato, para la fábrica textil "La Americana", continuando con la instalación de plantas en la industria minera y para la iluminación residencial y de alumbrado público (CFE, 2014).

Durante el Gobierno de Porfirio Díaz en 1881, se inició el servicio público de electricidad en la Ciudad de México, cuando la Compañía Knight instaló 40 lámparas eléctricas incandescentes, "de arco", en la Plaza de la Constitución, 100 en la Alameda Central y comenzó la iluminación de la entonces calle de Reforma y de algunas otras vías de la ciudad.

En el año 1889 entró en operación la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua), para abastecer de energía a la ciudad de Chihuahua.

En 1892, se instaló una planta accionada por vapor, para el desagüe del mineral de Catorce en Matehuala, estado de San Luis Potosí. Los bosques que cubrían completamente la sierra fueron talados para usar esa madera como combustible. Por esa época se formó la Compañía de Luz y Fuerza de Pachuca, que abastecía de energía eléctrica las minas de Real del Monte y El Oro.

En 1897 la empresa cuprífera de El Boleo, cerca de Santa Rosalía, en Baja California, instaló un generador eléctrico accionado por vapor destinado a las tareas de bombeo, ventilación, alumbrado y molienda; las ventajas económicas fueron de tal magnitud que, para 1906, la empresa ya contaba con un generador de 1 000 caballos de fuerza, el más moderno y eficiente de esa época. El desarrollo de la producción eléctrica suscitó el auge de la minería: se aprovecharon las vetas de baja ley, se redujeron los costos, se facilitó el desagüe a niveles más profundos y disminuyó la mano de obra.

Alberto Best, regidor del ramo eléctrico, lanzó la convocatoria y la ganó la Compañía Mexicana de Electricidad, filial de la alemana Siemens Halske. La compañía instaló un generador en Nonoalco y dotó a la ciudad de arbotantes semejantes a los que existían en Berlín.

En 1895 el francés Arnold Vaquié adquirió la concesión para utilizar los recursos hidráulicos del río Necaxa, en el estado de Puebla, para generar electricidad, pero la transfirió en 1902 a la Mexican Light and Power Co., empresa canadiense que montó en 1905 una unidad de 5000 kw, a su vez, Weren Beit de Londres constituyó la Compañía Limitada de Tranvías que, a partir de 1900, utilizó energía eléctrica para la tracción de sus vehículos. Entre 1887 y 1911 se formaron en México 199 compañías de luz y fuerza motriz que dieron servicio en diferentes estados de la República. Se estima que en 1911 México disponía de 165 000 kw instalados.

A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% eran propiedad de The Mexican Light and Power Company, incluido el primer gran proyecto hidroeléctrico: la planta Necaxa, en Puebla.

En este período se llevó a cabo el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz.

Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando el gobierno de la república decretó que la generación y distribución de electricidad son actividades de utilidad pública.

En 1937 México contaba con 18.3 millones de habitantes, de los cuales solo siete millones contaban con el servicio de la electricidad, suministrada, con serias dificultades, por tres empresas privadas.

En ese tiempo las interrupciones del suministro de energía eran constantes y las tarifas muy elevadas, pues las empresas solo se enfocaban a los mercados urbanos con mayor poder adquisitivo, sin tomar en cuenta a las poblaciones rurales, donde habitaba más del 62% de la población. La capacidad instalada de generación eléctrica en el país era de 629.0 MW.

Para poder dar una solución a esta problemática que no permitía el desarrollo del país, el gobierno federal se vio obligado a crear La Comisión Federal de Electricidad (CFE) el 14 de agosto de 1937, que tendría como función organizar y dirigir todo lo que englobaba el sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basándose en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro y con el efecto de poder obtener con un costo mínimo, el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales y que pudiese estar al alcance de todos. En la ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937, el Gral. Lázaro Cárdenas decreta la creación de la CFE y se promulga en el Diario Oficial el 24 de agosto de 1937.

Para esto CFE comenzó a construir plantas generadoras y ampliar las redes de transmisión y distribución, con el objetivo de llevar los beneficios de la electricidad a todos los mexicanos.

En Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xíla (Oaxaca), Ures y Altar (Sonora) se realizaron los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE.

En 1938 se inició el primer gran proyecto hidroeléctrico de la CFE con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que sería el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo, en el Estado de México, que posteriormente fue nombrado Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán, para este año CFE tenía la capacidad de 64 KW misma que, en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 kW.

En 1960 CFE aportaba el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa Mexican Light el 25%, la American and Foreign el 12%, y el resto de las compañías 9%. A pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, solo el 44% de la población contaba con electricidad, para ese entonces el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica, acción que se llevó a cabo el 27 de septiembre de 1960.

Con esto, se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con serias deficiencias por la falta de inversión y por los problemas laborales.

1961 la capacidad instalada en el país ascendía a 3,250 MW. CFE vendía 25% de la energía que producía y su participación en la propiedad de centrales generadoras de electricidad pasó de cero a 54% (Eugenio Guzman Soriana., 2011)

En esa década la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura. Se construyeron importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo, construida por ICA, sobre el río Balsas, en el estado de Guerrero y Temascal en el Estado de Oaxaca, alcanzando, en 1971, una capacidad instalada de 7,874 MW.

Al finalizar esa década se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad instalada de 17,360 MW.

En los inicios de la industria eléctrica mexicana operaban varios sistemas aislados, con características técnicas diferentes, llegando a coexistir casi 30 tensiones de distribución, siete de alta tensión para líneas de transmisión y dos frecuencias eléctricas de 50 y 60 Hertz. Esto dificultaba el suministro de electricidad, por lo que CFE definió y unificó los criterios técnicos y económicos del Sistema Eléctrico Nacional, normalizándolas tensiones de operación, con la finalidad de estandarizar los equipos, reducir sus costos y los tiempos de fabricación, almacenaje e inventariado. Posteriormente, entre 1973 y 1976 se unificaron las frecuencias a 60 Hertz y CFE integró los sistemas de transmisión en el Sistema Interconectado Nacional.

En los años 80 la tasa de crecimiento del sector eléctrico disminuyó en relación con la de la década anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE. En 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW.

A inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, con un 94.70% de cobertura del servicio eléctrico a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 kms, y más de 18.6 millones de usuarios, incorporando casi un millón cada año. A partir octubre de 2009, CFE es la encargada de brindar el servicio eléctrico en todo el país.  
(XTREM SECURE, 2015)

Para enero de 2018 se tiene un total de usuarios al sistema nacional eléctrico de 9199368025 con las diferentes tarifas que esta maneja, con una capacidad instalada de MW (CFE, Energía Y Medio Ambiente, 2018)

## 1.2 Combustibles fósiles y su problemática.

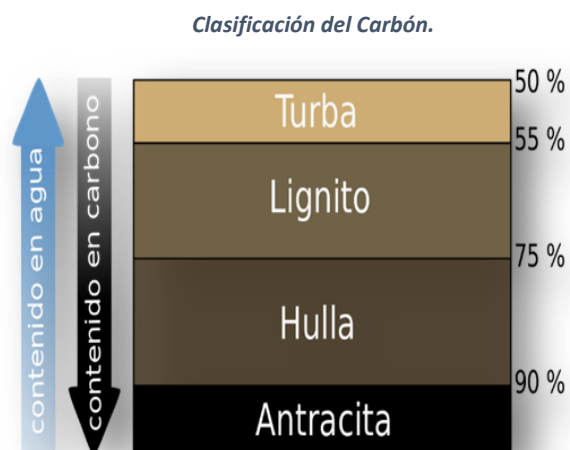
Durante la década de los 70, cuando comenzaron a producirse eventos importantes en el mercado del petróleo a nivel mundial, surgió por primera vez la preocupación sobre el suministro y precio futuro de la energía. Como resultado, los países consumidores de petróleo enfrentados a su alto costo y observando la fuerte dependencia hacia este energético, se vieron obligados a modificar costumbres y buscar opciones para reducir la dependencia de fuentes no renovables (Combustibles Fósiles).

Para mediados de los años setenta, múltiples centros de investigación en el mundo retomaron el estudio de sistemas basados en energías renovables y como resultado de las evidencias en el aumento de gases que provocan el efecto de invernadero en la atmósfera, muchos países, particularmente los más desarrollados, establecen compromisos para limitar y reducir emisiones de gases de efecto de invernadero renovando así su interés en aplicar políticas de promoción de las energías renovables. Hoy en día, muchas de las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables han madurado y evolucionado, aumentando su confiabilidad y mejorando su rentabilidad para muchas aplicaciones.

Los combustibles fósiles proceden de restos vegetales y otros organismos vivos como plancton que hace millones de años fueron sepultados por efecto de grandes cataclismos o fenómenos naturales y por la acción de microorganismos, bajo ciertas condiciones de presión y temperatura.

Uno de los primeros combustibles utilizados por el hombre es el carbón, del cual se cuenta con abundantes reservas, las que representan cerca del 70% de las reservas energéticas mundiales de combustibles fósiles conocidas actualmente y es la más utilizada en la producción de electricidad a nivel mundial (Monroy, 2013).

Sin embargo la disponibilidad del carbón es limitada; ya que es un recurso no renovable; el carbón es una roca combustible con un alto contenido en carbono procedente de la transformación de grandes masas vegetales provenientes del llamado período Carbonífero, estos vegetales enterrados sufrieron un proceso de fermentación en ausencia de oxígeno, debido a la acción conjunta de microorganismos, presión y temperatura adecuados y a medida que pasaba el tiempo, el carbón aumentaba su contenido en carbono, lo cual incrementa la calidad y poder calorífico del mismo, Figura 1.



*Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo.*

*Figura1.*

El carbón se clasifica por su poder calorífico y su contenido de carbono en:

### Turba

Es el carbón más reciente. Tiene un porcentaje alto de humedad, aproximadamente de un 90%, su poder calorífico es bajo más o menos de 2000 kcal/kg y poco carbono, menor a un 50%, para utilizarlo es necesario quitarle la humedad, este tipo de carbón se encuentra en zonas pantanosas y es utilizado principalmente para calefacción, Figura 2.



*Carbón Turba.*

*Figura 2.*



*Carbón Lignito.*

*Figura 3.*

### Lignito

Su poder calorífico es menor de 7000 kcal/kg, con más de un 50 % de carbono y mucha humedad, 30%, lo podemos encontrar en minas a cielo abierto y por esta característica su uso suele ser rentable, este se utiliza en centrales eléctricas, Figura 3.

### Hulla

Este tiene un alto poder calorífico, más de 7000 kcal/kg y elevado porcentaje de carbono de 85% sus usos son para aplicaciones industriales, en centrales eléctricas industrias de fundición de metales, Figura 4.



*Carbón Hulla.*

*Figura 4.*



*Antracita.*

*Figura5.*

### Antracita

Es el carbón más antiguo, tiene más de un 90% de carbono, arde con facilidad y tiene un alto poder calorífico más de 8000 kcal/kg. Se utiliza para centrales térmicas, calefacciones, industria siderúrgica, fabrica goma sintética, colorantes, para la generación de vapor en saunas, piscinas temperadas, baños turcos, fundiciones ferrosas y no ferrosas y en la industria metalúrgica se usa para la fundición de los metales, Figura 5.

## Coque

Este combustible se obtiene de destilar la Hulla a la que se agregan calcitas para logra una mejor combustión, este proceso se realiza en hornos cerrados donde al combustible se le somete a temperaturas muy elevadas, el resultado de este proceso es un carbón con un mayor poder calorífico, a este se le conoce como carbón artificial, Figura 6.



Carbón Coque.

Figura 6.



Carbón vegetal.

Figura 7.

## Carbón vegetal

Se obtiene a partir de la madera, también se le conoce como carbón artificial, una de las ventajas es que se obtiene una gran cantidad de energía de forma sencilla y cómoda, Figura 7.

El carbón se suele consumir cerca de donde se explota con lo cual se ahorran costos de transporte a continuación se muestra en la Tabla 1 donde se muestran las ventajas y desventajas del carbón.

### Ventajas y desventajas del uso del carbón.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• El carbón es la mayor fuente de combustible usada para la generación de energía eléctrica.</li><li>• El carbón es también indispensable para la producción de hierro y acero; casi el 70 % de la producción de acero proviene de hierro hecho en altos hornos con ayuda del carbón de coque.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Su extracción es peligrosa.</li><li>• Al ser no renovable se agotará en el futuro.</li><li>• Su combustión genera problemas ambientales, especialmente si contiene un índice elevado de azufre.</li><li>• Contribuye al efecto invernadero y la lluvia ácida.</li></ul>

Fuente: Artinaid.

Tabla 1.

Por otra parte, el petróleo también es un factor muy importante para el desarrollo de un país, este es un combustible natural líquido constituido por una mezcla de hidrocarburos. Su poder calorífico oscila entre las 9000 y 11000 kcal/kg. El petróleo procede de la transformación, por acción de determinadas bacterias y condiciones de presión y temperatura, de enormes masas de plancton sepultadas por sedimentos; es un combustible fósil, más ligero que el agua, los yacimientos de petróleo se encuentran en lugares con roca porosa y rocas impermeables (arcilla) a su alrededor que evita que se salga.

El transporte del petróleo se lleva a cabo por medio de oleoductos, tubos de acero de 80 cm de diámetro que enlazan yacimientos con refinerías y puertos de embarque y buques cuyo espacio de carga está dividido por tabiques formando tanques. Otra forma de transportar el petróleo es por ferrocarril y camiones cisterna.

Una vez extraído, el petróleo se somete al proceso de refinamiento para la separación de sus componentes. Este procedimiento o esta técnica se realizan en instalaciones denominadas refinerías. Los componentes se separan en la torre de fraccionamiento calentando el petróleo. En la zona más alta de la torre se recogen los hidrocarburos más volátiles (gases) y ligeros y en la más baja los más pesados. (Kraus)

Del proceso anterior se extraen los siguientes productos, comenzando por aquellos más pesados, obtenidos a altas temperaturas en la parte más baja de la torre de fraccionamiento, Figura 8, en la tabla 2 se muestran las ventajas y desventajas del petróleo.

- Residuos sólidos, como el asfalto: para recubrir carreteras.
- Aceites pesados: Para lubricar máquinas.
- Gasóleos: Para calefacción y motores Diésel.
- Queroseno: Para motores de aviación (turbosina)
- Gasolinas: Para motores de vehículos.
- Gases: Butano, propano como combustibles domésticos.

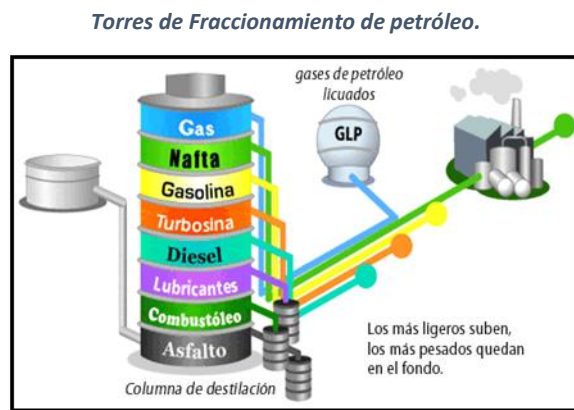


Figura 8.

*Ventajas y desventajas del petróleo*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produce energía de forma regular con buen rendimiento.</li> <li>• De él se obtiene una gran cantidad de productos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Al ser no renovable, sus reservas disminuirán y su precio se encarecerá (aumentará).</li> <li>• Es contaminante y contribuye al efecto invernadero y lluvia ácida.</li> <li>• Su manipulación es peligrosa.</li> </ul>

*Fuente: Instituto Mexicano del Petróleo.*

Tabla 2.



## Combustibles gaseosos

### Gas natural

Se obtiene de yacimientos. Consiste en una mezcla de gases que se encuentra almacenada en el interior de la tierra, unas veces aisladamente (gas seco) y en otras ocasiones acompañando al petróleo (gas húmedo). Su origen es semejante al del petróleo, aunque su extracción es más sencilla. Consiste en más de un 70% de metano, y el resto es mayoritariamente, etano, propano y butano. Una vez extraído, se elimina el agua, su poder calorífico ronda las 11000 kcal/ m<sup>3</sup>; el gas natural es la segunda fuente de energía primaria empleada en Europa (representa un 20% del consumo), su nivel de contaminación es bajo, comparado con otros combustibles y produce energía eléctrica con alto rendimiento; para su transporte se emplea lo siguiente

Gasoductos: Tuberías por las que circula el gas a alta presión, hasta el lugar de consumo.

Buques cisterna: En este caso, es necesario licuar el gas y, al llegar al destino se regasifica. Entre sus aplicaciones están: en centrales termoeléctricas para la generación de energía eléctrica, para obtener gasolina y como combustible doméstico e industrial.

### Gas ciudad o gas de hulla

Se obtiene a partir de la destilación de la hulla. Se distribuye mediante tuberías hasta los hogares, su poder calorífico se encuentra sobre 4000 kcal/m<sup>3</sup>, es muy tóxico e inflamable, por lo que tiende a sustituirse por el gas natural.

### Gases licuados del petróleo o gases GLP

Son el butano y el propano, se obtienen en las refinerías y poseen un poder calorífico que ronda las 25000 kcal/m<sup>3</sup>, se almacenan en buques Criogénicos son del tipo de doble pared, siendo el interior de acero inoxidable austenítico o acero al 95 de níquel y el exterior de acero al carbono, sirviendo de intercámara como elemento aislante, con o sin vacío en el interior de la misma, logrando así un aislamiento térmico adecuado que mantiene el líquido a temperaturas próximas al punto de ebullición a grandes presiones en estado líquido” (Manual De Tipos de Gases, 2016).

El Impacto ambiental causado por el uso de los combustibles fósiles, así como de su extracción enorme ya que, al quemarlos, emiten a la atmósfera residuos como el óxido de azufre, óxido de nitrógeno y dióxido de carbono, estos gases se acumulan en la atmósfera provocando los siguientes efectos (SENER, 2015)

- Efecto invernadero: el aumento del dióxido de carbono hace que la radiación solar entre en la atmósfera atravesando el dióxido sin dificultad; pero cuando el rayo reflejado en la tierra (que emite en infrarrojos) intenta salir, es absorbido por

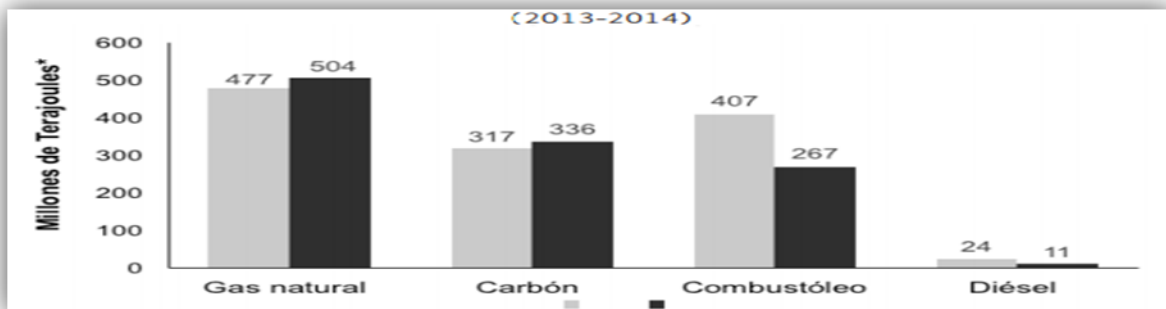
la atmósfera. La consecuencia es el aumento progresivo de la temperatura media.

- Lluvia ácida: provocada por los óxidos de azufre y de nitrógeno. Estos gases reaccionan con el vapor de agua y, en combinación con los rayos solares, se transforman en ácidos sulfúrico y nítrico, que se precipitan a la tierra en forma de lluvia afectando principalmente a los bosques y la consiguiente pérdida de fertilidad de la tierra, a los ríos dañando la vida acuática y deteriorando el agua y al patrimonio arquitectónico puesto que los ácidos atacan la piedra.
- La extracción del petróleo de los pozos petrolíferos y las existencias de refinerías, oleoductos y buques petroleros, ocasionan derrames que afectan al suelo (pérdida de fertilidad) y al agua (que afecta a la vida marina, los ecosistemas costeros y a la atmósfera misma).

### Generación con combustibles

Las tecnologías o tipos de generación de energía que utilizan combustibles para generar electricidad son las siguientes: ciclo combinado, combustión interna, carboeléctrica, turbogás y vapor convencional (combustóleo y gas). (Amador., 2016)

*Consumo de Combustible para generar electricidad*



*Fuente: CFEJoule: Unidad básica de energía. /Terajoule: 1 billón de joules.*

*Gráfica 1*

La Gráfica 1 demuestra la dependencia que se tiene del petróleo, es por eso que Comisión Federal de Electricidad (CFE) se ha dado a la tarea de hacer modificaciones en algunas de sus plantas convirtiendo siete centrales de generación termoeléctrica a combustión dual, para que, además de combustóleo puedan utilizar gas natural. Estos proyectos representaran un aproximado de 4,558 MW. (CFE, 2015)

Termoeléctrica Manuel Álvarez Moreno.



Fuente: Dirección de operación CFE.

Figura 9.

En 2014, los principales avances del programa de conversión de centrales fueron:

- Conclusión de la conversión de las unidades 11 y 12 de la Central Termoeléctrica “Manuel Álvarez Moreno”, en Colima, Figura 9.
- Diseño y preparación de los procedimientos para licitar los proyectos de conversión de las plantas “Juan de Dios Bátiz Paredes” y “José Aceves Pozos”, en Sinaloa.

En el Mapa 1 se muestra de forma general los proyectos de conversión a combustión dual que se llevarán a cabo, con los que se evitará el consumo de aproximadamente 45 millones de barriles de combustóleo al año.



Fuente CFE

Mapa 1.

Tomando en cuenta lo anterior, es importante destacar que, en 2014, la elevada disponibilidad de agua en las presas de las centrales hidroeléctricas permitió reducir el consumo de los combustibles más caros como el combustóleo y el diésel y optimizar el uso de gas natural y carbón.

### 1.3. Fuentes de generación de energía eléctrica en México.

Hoy en día el consumo de energía eléctrica es una necesidad indispensable para cualquier comunidad. La importancia de la electricidad está en que es una de las principales formas de energía usadas en el mundo actual. Las comunicaciones, el transporte, el abastecimiento de alimentos, y la mayor parte de los servicios de los hogares, oficinas y fábricas dependen de un suministro confiable de energía eléctrica. A medida que los países se industrializan consumen grandes cantidades de energía eléctrica, el consumo mundial de energía ha aumentado muy rápidamente en los últimos años; según los estudios realizados, el promedio del consumo de electricidad por habitante es alrededor de diez veces mayor en los países industrializados que en los que están en desarrollo, por lo que podemos decir que el consumo de energía eléctrica está ligado directamente al desempeño de la economía de un país; para que un país logre desarrollarse se necesita energía eléctrica<sup>1</sup>

En 2018 se está generando un total de 79498.95 MW, La capacidad de generación de electricidad a disposición de la Comisión de Federal de Electricidad (CFE) se diversifica en 10 tipos de tecnología: vapor (combustóleo y gas), carboeléctrica, geotermoeléctrica, ciclo combinado, turbogás, combustión interna, hidroeléctrica, eoloeléctrica, nucleoelectrica y solar fotovoltaica, Tabla 3.

Evolución de la capacidad instalada por tipo de tecnología 2018-2019	2018 (MW)	2019 (MW)
<b>Convencional</b>		
Ciclo combinado	30125.44	33726.44
Termoeléctrica convencional	11711.57	11711.57
Carboeléctrica	5378.36	5507.09
Turbogás	5061.7	5061.65
Combustión Interna	2214.524	2236.764
<b>Totales</b>	<b>54491.59</b>	<b>58243.51</b>
<b>Renovable</b>		
Hidroeléctrica	12642.29	12670.97
Eólica	4875.375	6590.875
Geotérmica	950.6	935.6
Solar Fotovoltaica	1970.988	4426.208
Termosolar	14	14
<b>Totales</b>	<b>20453.25</b>	<b>24637.65</b>
<b>Otras</b>		
Nucleoelectrica	1608	1608
Bioenergía	1009.986	1009.986
Cogeneración eficiente	1936.12	1937.119
<b>Totales</b>	<b>4554.106</b>	<b>4555.105</b>
<b>Total general</b>	<b>79498.95</b>	<b>87436.27</b>

Fuente SENER

Tabla 3

<sup>1</sup> Prospectiva del sector eléctrico 2009-2024, México 2009.

Retiro de capacidad de 354.8 MW, de acuerdo con lo siguiente, Tabla 4.

10 MW de la central geotérmica Los Humeros (Puebla), a partir del 1 de enero de 2014. Se retiró esta capacidad para modernizar y rehabilitar la central a través de una nueva unidad de mayor eficiencia y capacidad (26 MW).

300 MW de la central termoeléctrica Altamira (Tamaulipas), a partir del 1 de enero de 2014. Se retiró esta capacidad para convertir la central de combustóleo a coque de petróleo.

30 MW de la central hidroeléctrica General Ambrosio Figueroa “La Venta” (Guerrero). Se retiró esta capacidad para reconstruir la central debido a los daños ocasionados por las inundaciones del huracán Ingrid y la tormenta Manuel en 2013.

8 MW de la central hidroeléctrica Colotlipa (Guerrero), a partir del 1 de abril de 2014. Se retiró temporalmente esta capacidad para reconstruir la central debido a los daños ocasionados por las inundaciones del huracán Ingrid y la tormenta Manuel en 2013.

1.6 MW del central diésel eléctrica Santa Rosalía (Baja California Sur), a partir del 1 de junio de 2014. Se retiró esta capacidad por daño en el motor diésel y por altos costos de rehabilitación.

4.8 MW de tres unidades diésel de emergencia, a partir del 1 de septiembre de 2014. Estas unidades se pusieron a disposición de la Gerencia Regional de Producción Noroeste.

0.4 MW de dos unidades del paquete uno de la central Eoloeléctrica La Venta (Oaxaca), a partir del 1 de octubre de 2014.

*Retiro de Capacidad*

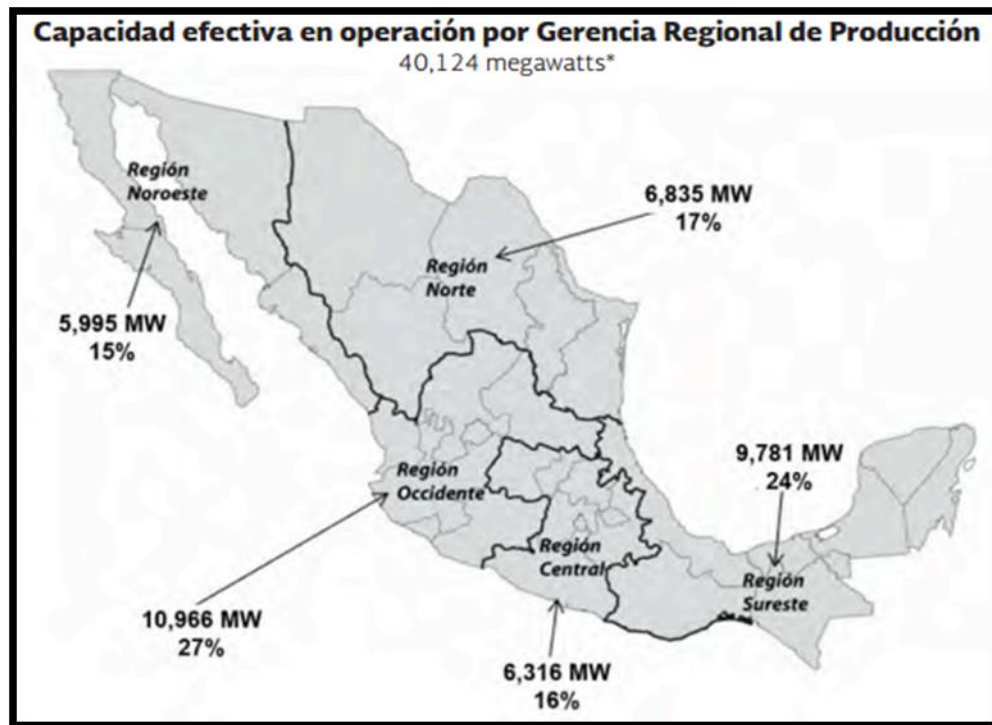
Retirado (MW)		
Nombre de la Central	Tipo de Central	Capacidad MW
Los Humeros (Puebla)	Geotérmica	10
Altamira (Tamaulipas)	Termoeléctrica	300
General Ambrosio Figueroa “La Venta” (Guerrero)	Hidroeléctrica	30
Colotlipa (Guerrero)	Hidroeléctrica	8
Santa Rosalía (Baja California Sur)	Diésel	1.6
Gerencia Regional de Producción Noroeste.	Diésel	4.8
Venta (Oaxaca),	Eoloeléctrica	0.4
Total		354.8

Fuente CFE.

Tabla 4

En cuestiones de energía nuclear tenemos que en junio de 2014 CFE llevó a cabo las acciones y adecuaciones necesarias a la Unidad 2 de la Central Nuclear Laguna Verde CNLV. Como resultado del reforzamiento, CFE demostró que la Unidad 2 cumple con las nuevas especificaciones, por ello, el 19 de diciembre de 2014, La Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) autorizó que dicha unidad pudiera operar a su máxima potencia. Esto significa que la CNLV podrá generar hasta 1,245 MW/horas adicionales diariamente.

CFE tiene distribuidas sus centrales en el territorio nacional en 5 Gerencias regionales (GRP): Noroeste, Norte, Occidente, Central y Sureste. Las GRP con mayor capacidad son la Occidente, con casi 11 mil MW, y la Sureste, con casi 10 mil MW. Estas gerencias representan 27% y 24%, respectivamente, de la capacidad administrada por las GRP en el 2014 Mapa 2.<sup>2</sup>



Fuente FCE/ No incluye 1,400 MW de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde ni a los Productores Independientes de Energía (PIE)

Mapa2

<sup>2</sup> Informe Anual CFE 2014 México.

## Centrales de generación en construcción

En diciembre de 2014, 10 centrales de generación se encontraban en construcción; y tres, en rehabilitación y modernización. Estas obras representan una capacidad adicional de 1,954.9 MW Tabla 5. (CFE, 2015)

*Centrales Nuevas y Modernizaciones en construcción.*

Centrales Nuevas y Modernizaciones en construcción				
Nombre de la Central	Tipo	Capacidad (MW)	Entrada en operación.	Estado
Los azufres III (1ra Fase).	Geotermoeléctrica.	50	feb-15	Ciudad Hidalgo, Michoacán.
Los Humeros II (Fase A).	Geotermoeléctrica.	25	abr-16	Chignautla, Puebla.
Guerrero Negro III.	Combustion Interna.	11	nov-15	Mulegú, Baja california Sur.
Guerrero Negro IV	Combustión Interna.	7.5	dic-15	Mulegú, Baja california Sur.
Baja California Sur V	Combustión Interna.	46.9	jun-16	La Paz, Baja California Sur.
Agua Prieta II (con campo solar 1ra Fase).	Ciclo Combinado.	394.1	ago-15	Agua Prieta, Sonora.
Campo Solar	Solar.	14	ago-15	Agua Prieta, Sonora.
Centro	Ciclo Combinado.	642.3	ago-15	Cuautla, Morelos.
Cogeneración Salamanca (1ra Fase)	Ciclo Combinado.	373.1	sep-15	Salamanca, Guanajuato.
Baja California III	Ciclo Combinado.	294	ago-16	Ensenada, Baja California.
Sureste (2da Fase)	Eoleeléctrica.	102	may-15	Asunción. Ixtaltepec, Oaxaca.
Poza Rica	Ciclo Combinado.	R y M	may-15	Tihuatlan, Veracruz.
Altamira unidades 1 y 2	Carboeléctrica	R y M	jul-17	Altamira, Tamahulipas.
José López Portillo	Carboeléctrica	R y M	feb-19	Altamira, Tamahulipas.
<b>Total</b>		<b>1959.9 (MW)</b>		

*Fuente: CFE / R y M se refiere a Rehabilitación y Modernización/ La tabla está tomando en cuenta a los Productores Independientes de Electricidad y al Banco Mundial.*

*Tabla 5*

## Centrales de generación en licitación

Al cierre de 2014, se encontraban en licitación ocho centrales de generación nuevas y dos centrales en rehabilitación y modernización, con una capacidad conjunta de 5,291.1 MW Tabla 6 (CFE, 2015)

*Centrales en Licitación.*

Centrales en Licitación				
Nombre de la Central	Tipo	Capacidad (MW)	Entrada en operación.	Estado
Valle de Mexico II.	Ciclo Combinado.	543.3	dic-18	Acolman. Estado de México.
Empalme I.	Ciclo Combinado.	704.9	nov-17	Empalme, Sonora.
Norte III (Juarez).	Ciclo Combinado.	788.4	nov-17	Cd. Juárez, Chihuahua.
Empalme II.	Ciclo Combinado.	682.7	feb-18	Empalme, Sonora.
Noreste.	Ciclo Combinado.	888.8	jun-18	El Carmen, Nuevo León.
Noroeste.	Ciclo Combinado.	777.9	jul-18	Ahome, Sinaloa.
Topolompo III.	Ciclo Combinado.	665.9	ago-18	Ahome y El Fuerte, Sinaloa.
Chicuasén II.	Hidroeléctrica.	240	jul-18	Chicuasén, Chiapas.
Tula Paquetes 1 y 2.	Ciclo Combinado	R y M.	sep-17	Tula, Hidalgo.
Temascal Unidades 1 a 4.	Hidroeléctrica(R y M).	R y M.	sep-18	San Miguel Soyaltepec, Oaxaca.
<b>Total.</b>		<b>5291.9 (MW).</b>		

*Fuente: CFE / R y M se refiere a Rehabilitación y Modernización/ La tabla está tomando en cuenta a los Productores Independientes de Electricidad.*

*Tabla 6*



La generación total de la CFE, conocida como generación bruta, fue de 258,245.6 Gigawatts hora (GWh). Este volumen de energía incluye la producción con plantas propias y la energía comprada a Productores Independientes de Energía<sup>3</sup>

Generación neta por tipo de la CFE en el 2014, que es la generación bruta menos la energía que se utiliza en las centrales de generación, fue de 250,870 GWh Tabla 7.

*Generación Bruta 2014.*

Generación Bruta 2014		
Generador	Tipo de Tecnología	Generación (Giga watts hora)
		2014
CFE	Hidroeléctrica.	37491.3
	Ciclo Combinado.	45772.6
	Carboeléctrica.	31229.8
	Eólica.	211.8
	Solar fotovoltaica.	12.4
	Geotermoeléctrica.	5578.6
	Combustión interna.	1343.9
	Turbogás.	2481.4
	Vapor (combustoleo y gas)	30743.9
	Nucleoeléctrica.	9302.7
	Diversas tecnologías.	997.3
Total	165165.3 (GWh)	
PIE	Ciclo Combinado.	83840.3
	Eólica.	1864.4
Total	85704.7 (GWh)	
Total (CFE + PIE)	250870(GWh)	

*Fuente CFE.*

*Tabla 7*

Con todo lo mencionado anteriormente tenemos un extenso panorama sobre las fuentes de generación de energía en nuestro país, la problemática que tenemos con los combustibles fósiles y la dependencia que de estos se tiene para el desarrollo de nuestro país.

<sup>3</sup> Comisión Federal de Electricidad 2014, México.

## Referencias

- ABB. (s.f.). *Manual Plantas Eolicas*. ABB Power and Productivity for a better World.
- Amador., J. A. (10 de Junio de 2016). *slideshare.net*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/JorgeAlbertoAmador/principales-sistemas-de-generacin-elctrica-en-mxico>
- AMDEE. (2014). Obtenido de <http://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2014>
- AMDEE. (2015). Obtenido de <http://www.amdee.org/capacidad-instalada>
- AMDEE. (2016). <http://www.amdee.org/>. Obtenido de <http://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2018>
- Ammonit. (2015). <http://www.ammonit.com/>. Obtenido de <http://www.ammonit.com/es/informacion-eolica/energia-eolica>
- CFE. (10 de Noviembre de 2014). Obtenido de [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/CFE\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx)
- CFE. (2015). *Informe* . CDMX.
- Chile., U. d. (2003). *U Cursos*. Obtenido de [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/EL42C/1/material\\_docente/bajar?id...](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/EL42C/1/material_docente/bajar?id...)
- Eugenio Guzman Soriana. (10 de Diciembre de 2011). Consumo de energia electrica para consumo domestico en San Juan del Rio, Querretaro. *Analisis Economico*. Querretaro: <http://www.redalyc.org/pdf/413/41318401009.pdf>. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/413/41318401009.pdf>
- Guerrero, L. (24 de Marzo de 2016). <http://vidaverde.about.com/>. Obtenido de <http://vidaverde.about.com/od/Ciencia-y-naturaleza/a/El-Origen-Del-Viento.htm>
- Jara, E. C. (12 de Ostubre de 2011). <http://www.eumed.net/>. Obtenido de <http://www.eumed.net/rev/delos/12/ecj.html>
- Kraus, R. S. (s.f.). *Petroleo y Gas Natural*. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/78.pdf>
- Manual De Tipos de Gases. (2016). CDMX.
- Monroy, M. d. (4 de Octubre de 2013). El Carbon. Mexico: I.E.S.
- Pablo., F. M. (2013 ). *Sisema Hibrido Eolico Fotovoltaico, para casa habitacion con tarifa DAC*. Mexico : Facultad de Ingenieria UNAM.
- Parametros de Diseño de un Aerogenerador* . (s.f.). Obtenido de [kimerius.com/app/download/5780666680/Parámetros+de+diseño.pdf](http://kimerius.com/app/download/5780666680/Parámetros+de+diseño.pdf)

PWC, A. /. (2014). Potencial Eolico Mexicano. Mexico: <http://www.amdee.org/Publicaciones/AMDEE-PwC-El-potencial-eolico-mexicano.pdf>.

SEGOB. (2012). *La Energia Eolica en Mexico (Una perspectiva Social sobre el Valor de la Tierra)*. Republica Mexicana : Secretaria de Gobernacion.

SENER. (2015). Obtenido de <https://www.gob.mx/sener>

Voneschen, M. F. (2009). <http://www.amics21.com/>. Obtenido de [http://www.amics21.com/laveritat/introduccion\\_teorias\\_turbinas\\_eolicas.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_teorias_turbinas_eolicas.pdf)

XTREM SECURE. (15 de Agosto de 2015). Obtenido de <http://xtremsecure.com.mx/infraestructura-y-energia-en-mexico/>

<http://www.elombliqodelaluna.com.mx/energia-electrica>

---

## CAPITULO 2

---

### ENERGÍA EÓLICA.

Una de las principales fuentes de energía en México es el potencial eólico, tiene una capacidad instalada de 4935 MW, como lo reportó la AMDEE en 2018, la importancia de este energético es que es una forma de energía renovable y no contaminante.

En la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en la parte de la costa del Océano Pacífico de Baja California, y Baja California Sur, Coahuila, Quintana Roo y Zacatecas existen las características idóneas para el desarrollo de esta forma de generación de electricidad a partir del viento.

En México, uno de los pioneros en el estudio de la energía eólica es el Instituto de Investigaciones Eléctricas, actualmente Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), con más de 20 años de experiencia en el tema, y la CFE, construyeron y operaron dos plantas eólicas piloto en el año de 1994, con el fin de estudiar más sobre esta tecnología, reconocer sus ventajas y limitaciones, así como validar su integración al Sistema Eléctrico Nacional.

En este capítulo se presenta una perspectiva global de la energía eólica, sus ventajas y desventajas, la capacidad instalada, de los tipos de generadores y sus características.

## 2.1 Antecedentes de la energía eólica en México.

Ante la necesidad de limitar el uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, primero porque son contaminantes y segundo porque no son renovables, México enfocó su atención en la utilización de fuentes de energía limpia y renovable, como lo es la eólica, para esto el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) de la mano con el instituto de Geografía de la UNAM, en 1990, elaboraron un mapa de La República Mexicana en el que se delimitan las regiones con potencial eólico.

En la actualidad las instituciones dedicadas a la investigación sobre la energía eólica en nuestro país son los siguientes: Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Azcapotzalco, la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del IPN, Fuerza Eólica, la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) y el Grupo del Sol.

El desarrollo de la utilización de la energía eólica se inició con un programa de aprovechamiento de esta energía realizado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (INEEL) en febrero de 1977, para lo cual CFE cedió los derechos al IIE de la estación experimental el Gavillero, en Huichapan, Hidalgo el cual se habilitó como centro de pruebas de pequeños prototipos de aerogeneradores, como los siguientes:

- Uno de capacidad de 1.5 kW, tres aspas de aluminio, control centrífugo de ángulo de ataque (1977-1978)
- El Fénix de 2 kW, eje horizontal, tres aspas de hierro y control de cola plegable (1981-1983).
- El Albaratros I de 10 kW, eje horizontal 11m de diámetro, tres aspas velas de aluminio y forradas en tela de alta resistencia. (1981-1985).
- El Albaratros II de 10 kW, tres aspas de fibra de vidrio super delgada y con control de torcimiento de aspa (1986-1987).
- La segunda versión del Fénix, con tres aspas de fibra de vidrio (1992-1995).
- La Avispa de 300 Watts, eje horizontal, tres aspas de fibra de vidrio y control por timón de cola pagable (1990-1995). (sinergiasoluciones., 2001)

En el año de 1992 se instaló un sistema híbrido eólico-solar en la comunidad de X-Calak en Quintana Roo, este se mantuvo operando durante 6 años, estaba constituido por 6 aerogeneradores con una capacidad de 10kW y la parte fotovoltaica estaba constituida por un arreglo de paneles con una capacidad equivalente de 11,2kW todo esto para una capacidad total de 71,2kW, pero dejó de operar en el año de 1999 por falta de mantenimiento, este proyecto estuvo supervisado por especialistas de los Laboratorios Nacionales de Sandia (SLN) y por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), ambos estadounidenses.

Para el año de 1993 se desarrolló un proyecto eólico para aplicaciones de la conservación de pescado en el Rancho Salinas en el municipio de San Pedro Tepanatepec en el estado de Oaxaca, este contaba con 2 aerogeneradores de 5 kW, pero, como no se diseñó adecuadamente, este proyecto fracasó; otro proyecto que se realizó en ese mismo año fue en Isla Arenas Campeche donde se instalaron 2 aerogeneradores los cuales ayudaron a impulsar un sistema de bombeo y desalación del agua, el proyecto se malogró por problemas con el aforo del pozo.

*Parque Eólico La Venta*



*Fuente CFE.*

*Figura 11.*

En 1994, CFE puso en operación la central eólica La Venta, Figura 11, en Juchitán, Oaxaca, con una capacidad de 1 575 kW, constituida por 7 aerogeneradores de 225 kW cada uno de origen danés (Vestas), la zona se caracteriza por fuertes vientos, cuya velocidad promedio anual está por los 8 m/s.

En 1995, en el estado de Hidalgo, en la estación El Gavillero, el IIE instaló 2 aerogeneradores australianos Dunlite con una capacidad 2 kW, estos suministraron energía eléctrica a la comunidad de María Magdalena, en este lugar se tienen vientos de 5 m/s, esta estación estuvo en operación hasta 1996 y después fue desmantelada por problemas de calidad de los componentes y falta de mantenimiento.

Entre 1993 y 1995 se desarrolló un proyecto eólico en Santo Domingo, Estado de Oaxaca, para alimentar un sistema de bombeo en el ejido; pero, debido a la velocidad de las rachas de viento de 5 m/s, las aspas no resistieron.

Con el apoyo de FIRCO, en 1996, en Juchitán, Oaxaca, se instaló una turbina de 1.5 KW en el Rancho de la Minerva, este sistema eólico se utilizó para bombeo; en ese mismo año, en Quintana Roo, en el Hotel Ecoturístico Costa de Cocos, con el apoyo de Laboratorios Nacionales Sandia (SLN), se instaló un sistema híbrido eólico- diésel, con capacidad de 7.5 KW.

En 1997, en el puerto de Alcatraz de la Isla Santa Margarita, Baja California Sur, se instaló un sistema híbrido eólico-solar-diésel, el cual operaba con dos turbinas de 5kW cada una, con un generador diésel de 50kW y, de la parte fotovoltaica, 2.3 kW, para un total de 62.3 kW al servicio de aproximadamente 200 personas.

En 1998, en Guerrero Negro, Baja California Sur, la CFE puso en operación un aerogenerador con una torre de 50 m y una capacidad de 600kW. Un año después, en San Juanico, Baja California Sur, se instaló una planta híbrida eólico-solar-diésel con capacidad de kW compuesta por 10 aerogeneradores de 10 kW, celdas solares de 17 KW y un motor Diésel de 80 KW.

Pemex, en 2002, instaló en su plataforma marina Akal-I un sistema híbrido eólico-solar donde se instaló un generador eólico de 400 W tipo grado marino de la Southwest Windpower (PWC, 2014)

En 2007, CFE pone en operación la primera central de gran capacidad, Venta II, en Oaxaca, con 85 MW. Asimismo, en esta zona, se construyó el Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE) administrado por el INEEL y auspiciado por el gobierno de Oaxaca, CONACyT y CFE para capacitar e investigar lo relacionado con la tecnología eólica.

Durante el período 2006-2010 La SENER solicitó a la comisión reguladora de energía CRE propuso un esquema al cual llamaron Temporada Abierta (TA), este esquema fue fundamental para garantizar la expansión de proyectos eoloeléctricos privados en el Istmo de Tehuantepec; la primera temporada se llevó a cabo en el 2006, con 12 proyectos para autoabastecimiento que totalizaban 2000 MW de capacidad autorizada y una generación estimada anual superior a 7500 GWh, posteriormente en la segunda temporada se incluyeron 5 proyectos más como productores independientes de energía (PIE) con una capacidad total a contratar de 507 MW: la Venta III, Oaxaca I, II, III y IV con una capacidad de 101,4 MW cada uno, La CFE definió las características de la infraestructura de transmisión necesarias y en el 2007 licitó las obras correspondientes mismas que serían insuficientes para evacuar la energía generada por los permisionarios, con esto se resolvería el problema de la capacidad limitada de red de transmisión eléctrica.

En la región de La Ventosa, en el Istmo de Tehuantepec, La Venta III y Oaxaca I conformarían el parque eólico Bicentenario, el cual entró en operación en 2010, como parte de estudios de Energías Renovables a gran escala.

La Venta III con una capacidad prevista de 103 MW, producidos por 121 aerogeneradores de 850 kW de potencia y 44 metros de altura cada uno. Este proyecto se adjudicó a la empresa Iberdrola bajo el esquema de productor independiente de energía. El parque entró en operación en noviembre de 2010.

En 2009 se falló la licitación a favor de la empresa norteamericana Turbo Power Servicios para instalar, en la zona de La Rumorosa, financiada con recursos públicos provenientes del gobierno del estado de Baja California, la central Eoloeléctrica La Rumurosa, con capacidad de 10 MW.

Asimismo, en algunos estados de la República tales como Chihuahua y Sonora, se utilizan sistemas eólicos para bombeo de agua denominados Aero Bombas, muy útiles en localidades rurales aisladas de la red de suministro o cuyas condiciones geográficas impiden la electrificación convencional.

En resumen, a diciembre del año 2018, la capacidad instalada en aerogeneradores era de 4934.5 MW, distribuido en 13 estados de la república mexicana, como se muestra en la Tabla 9. (AMDEE, 2018).

<b>Capacidad Instalada en México 2018</b>	
Estado	Capacidad (MW)
Baja California	166
Sonora	2
Coahuila	397
Nuevo León	274
San Luis Potosí	200
Tamaulipas	469
Jalisco	179
Oaxaca	2756
Yucatan	145
Quintana Roo	1.5
Puebla	66
Zacatecas	230
Chiapas	49
Total	4934.5

Fuente: AMDEE

Tabla 9

Para el año 2019 se tiene una capacidad instalada de 6295.5 MW en 14 Estados de República mexicana, distribuidos como se muestra en la Tabla 10 (AMDEE, 2019).

<b>Capacidad Instalada en México 2019</b>	
Estado	Capacidad (MW)
Baja California	196
Sonora	2
Coahuila	397
Tamaulipas	1163
Yucatan	206
Quintana Roo	1.5
Oaxaca	2756
Chiapas	49
Puebla	287
San Luis Potosi	200
Guanajuato	105
Jalisco	179
Zacatecas	230
Nuevo Leon	524
Total	6295.5

Fuente: AMDEE

Tabla 10

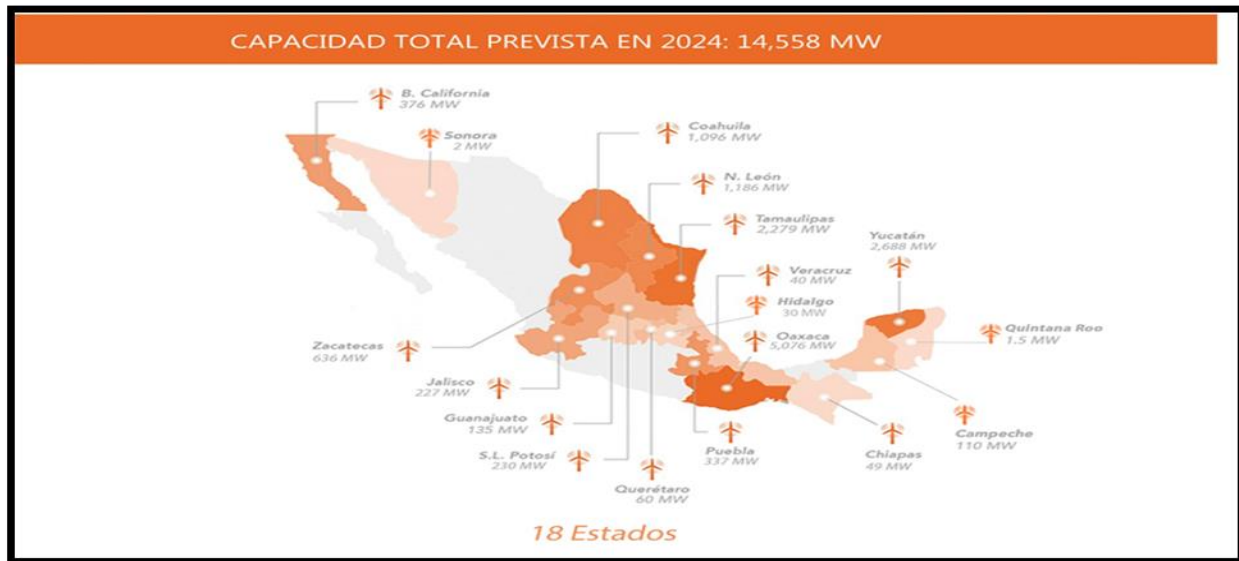
Y para el año de 2024 se tiene previsto extender esta fuente de energía a 18 estados de la República Mexicana, Mapa 3 que cumplan con las condiciones para la instalación de los parques eólicos, para tener una capacidad instalada de 14,558.5 MW, Como se muestra en la Tabla 11. (AMDEE, <http://www.amdee.org/>, 2019).



Previsto para el 2024	
Estado	Capacidad MW
Baja California	376
Sonora	2
Coahuila	1096
Nuevo Leon	1186
Tamaulipas	2279
Veracruz	40
Hidalgo	30
Yucatan	2688
Quintana Roo	1.5
Campeche	110
Oaxaca	5076
Chiapas	49
Puebla	337
Queretaro	60
San Luis Potosi	230
Guanajuato	135
Jalisco	227
Zacatecas	636
Total	14558.5

Fuente AMDEE

Tabla 11.



Fuente AMDEE.

Mapa 3.

Con lo expuesto anteriormente, podemos concluir que nuestro país ha tomado la decisión acertada de aprovechar ampliamente la tecnología eólica, limpia y renovable, para su abastecimiento de energía eléctrica.

## 2.2 Que es la Energía Eólica.

La energía eólica, junto con la hidráulica, son de las primeras formas de energía utilizadas por el hombre; la energía eólica no es otra cosa que la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire y que es transformada en otras formas útiles de energía para las actividades humanas.

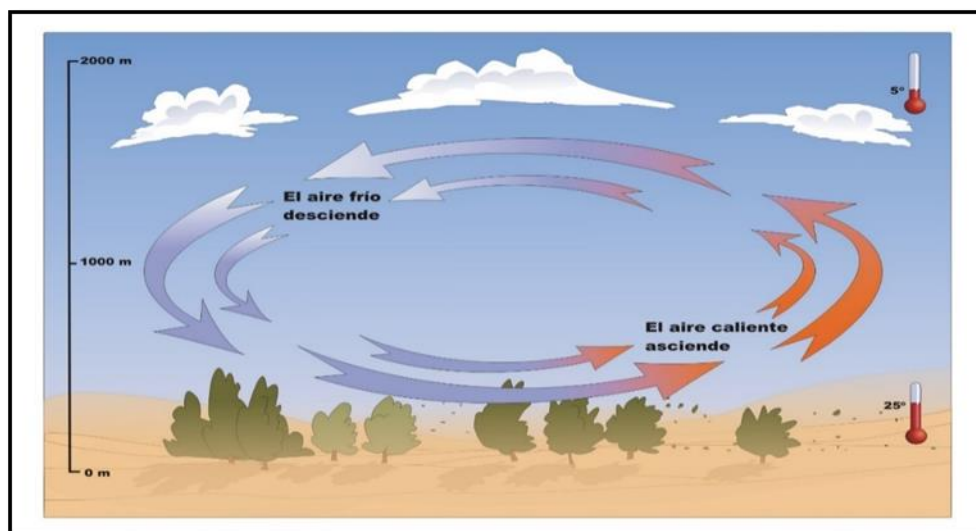
En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores, con la enorme ventaja de que el viento es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El viento es generado por las masas de aire en desplazamiento entre zonas de alta presión atmosférica hacia regiones adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión. (Guerrero, 2016)

Estos gradientes son generados por el calentamiento, no uniforme de la superficie terrestre, por la radiación solar, combinado con el movimiento rotatorio de nuestro planeta. Se estima, que entre 1 y 2 % de la energía solar incidente se convierte en viento como lo menciona, (Geographic, 2010). Es una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la conversión en biomasa o la fijación del carbono por todas las plantas de la tierra (DANIS WIND INDUSTRY ASSOCIATION).

De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías en relación con las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales. Durante la noche, el proceso se invierte, es decir, el mar guarda mejor el calor que la tierra. Es decir, el aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente, Figura 10.

*Desplazamiento del Viento*



*Fuente: renovable*

*Figura 10*

Las máquinas eólicas, son capaces de transformar la energía del viento en energía mecánica de rotación utilizable. La incidencia del viento ejerce una presión sobre la hélice para girar el rotor, que a su vez está conectado a un alternador el cual produce energía eléctrica, a este conjunto es lo que se denomina aerogenerador.

El impulso a la expansión del uso de la energía eólica se debe principalmente a la necesidad urgente de combatir el cambio climático global. Es bien sabido que los sistemas eólicos y otras tecnologías energéticas renovables generan electricidad sin producir los contaminantes asociados a los combustibles fósiles, entre ellos, el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, los cuales forman el gas de efecto invernadero.

### 2.3 Ventajas y desventajas de la energía eólica.

Hoy en día la energía eólica es una de las mejores alternativas para poder disminuir las emisiones de efecto invernadero, que causan el cambio climático, y remplazar el uso de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, sin embargo, el uso de esta tecnología tiene impactos importantes tanto sociales como ambientales.

Los principales impactos sociales y ambientales negativos se ocasionan por la construcción de parques eólicos terrestres a gran escala, los cuales requieren de grandes extensiones de tierra; por ejemplo, el instalado en la zona de la Ventosa, en el Istmo de Tehuantepec, donde se encuentra nuestra zona de estudio. Esto acarrea el conflicto por la propiedad de la tierra donde se ubica el recurso eólico, asimismo la degradación de la calidad del paisaje, la pérdida de biodiversidad, la generación de ruido mecánico y aerodinámico, entre otros más.

Éste es el caso de la instalación de parques eólicos en el Istmo de Tehuantepec Oaxaca, donde comunidades de base campesina e indígena protestan contra dichos parques por impactos como: conflictos sociales, riesgo de pérdida de capacidad productiva de terrenos agrícolas, afectación del paisaje, muerte de aves y murciélagos por colisión con los aerogeneradores, generación de ruido y degradación de ecosistemas, entre otros.

Por otra parte, la electricidad producida en el Istmo de Tehuantepec la aprovechan, principalmente, las empresas extranjeras y nacionales ubicadas en la zona, por lo que la población nativa tiene un escaso beneficio de la misma.

“La desigualdad en el acceso al servicio de energía eléctrica, producida a partir de energía eólica, se explica porque los organismos financieros internacionales definen las pautas generales que orientan los proyectos de energía eólica a gran escala en México en función de sus intereses, guiados más por la obtención de ganancias en el corto plazo que por resolver problemas sociales y ambientales. De este modo, la implementación de parques eólicos no responde necesariamente a los requerimientos energéticos de México a largo plazo” (SEGOB, 2012).

Aunado a lo anterior, el financiamiento de proyectos eólicos ha comenzado a establecer tendencias de dependencia tecnológica y control de los sectores estratégicos de la economía nacional, como el eléctrico. Por ejemplo, la tecnología empleada en los parques eólicos, en particular los componentes más importantes, los aerogeneradores o turbinas eólicas, son propiedad de otros países. Esto implica que México tiene que pagar por el uso de derechos de patentes, licencias, conocimientos técnicos, marcas, franquicias, servicios financieros y técnicos desde la fase de pre inversión hasta la fase de operación de los parques eólicos<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Villavicencio, Arturo (2006). “Mitos y realidades del Mecanismo de Desarrollo Limpio”, en *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, Red Iberoamericana de Economía Ecológica, 14 España, volumen 1, <http://www.redibec.org/archivos/revista/articulo6.pdf>. Consulta: 10 de diciembre de 2012.

Asimismo, el financiamiento externo de los proyectos eólicos prevé la modificación de leyes y reglamentos con el fin de incrementar la participación del capital privado en la conducción y prestación del servicio de energía pública, en contra de las funciones del Estado de garantizar a toda la población este servicio bajo criterios de igualdad. En tal sentido el predominio de intereses privados en la generación de energía eólica representa un problema de seguridad energética para México, ya que ante el creciente descenso de las reservas nacionales de petróleo, producción interna y exportaciones, así como su dependencia de este energético como fuente de energía y de ingresos públicos para el país, necesita diversificar su matriz energética y garantizar el suministro confiable y a largo plazo de electricidad a la población y para el aparato productivo nacional.

En este sentido, si bien todas las formas de producción de energía tienen impactos positivos y negativos, Tabla 8 el problema central es que la magnitud de las afectaciones de los parques eólicos es subestimada, ignorada o incluso desconocida por sus promotores. A pesar de los estudios oficiales de impacto ambiental de cada parque eólico, realizados para determinar su viabilidad ambiental, éstos definen la viabilidad de los parques eólicos con criterios como la cantidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que puede reducir la energía eólica y la cantidad total de energía eléctrica que pueden producir, que si bien son necesarios, resultan insuficientes para una valoración integral de los riesgos e implicaciones de la producción de energía eólica a gran escala (Jara, 2011). De este modo los estudios tienden a proponer medidas de mitigación de impactos basadas en la aplicación mecánica de normas jurídicas o de programas de reforestación que se ven rebasadas por la complejidad e incertidumbre de los impactos.

*Ventajas y desventajas de la Energía Eólica.*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una energía limpia, en su producción no hay emisión de contaminantes a la atmósfera.</li> <li>• Los parques eólicos son fáciles de desmontar, por lo tanto, se puede volver a reutilizar el terreno.</li> <li>• Contribuye a frenar el cambio climático.</li> <li>• Los costos de producción son menores a los de otras tecnologías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para la generación de grandes cantidades de energía se requieren grandes extensiones de terreno.</li> <li>• Los sitios recomendados para la instalación de parques eólicos son a mar abierto, por lo que quedan lejos de la concentración de la demanda de electricidad.</li> <li>• Los periodos de máxima demanda durante el día y de máxima generación por la noche, cuando los vientos están más fuertes no coinciden (No siempre hay viento)</li> <li>• Ruido emitido por las maquinas.</li> <li>• Impacto visual ya que los aerogeneradores alteran el paisaje natural:</li> <li>• Afectación a la fauna del lugar (aves).</li> </ul>

Fuente: Jara, 2011.

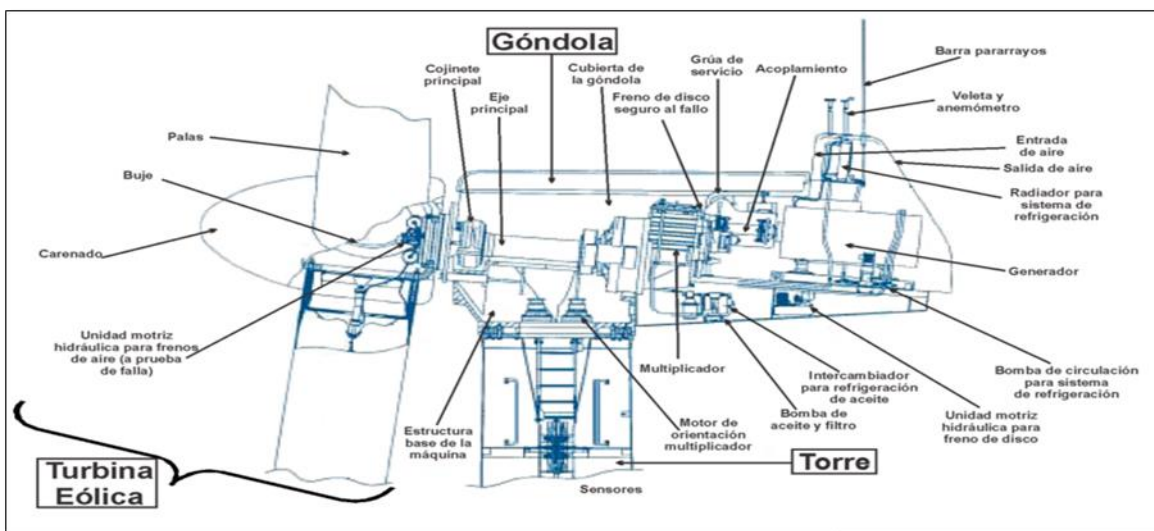
Tabla 8

## 2.4 FUNCIONAMIENTO DE LOS AEROGENERADORES.

Un aerogenerador es un dispositivo que transforma la energía cinética del viento en energía mecánica, El funcionamiento de estas máquinas se basa en el principio de la resistencia de arrastre que ofrecen las palas a la acción del viento, similar al funcionamiento de los molinos de viento El viento hace gira las palas que comenzarán a moverse con velocidades de viento entre los 3.5 m/s y los 4 m/s y proporcionarán la máxima potencia alrededor de los 11 m/s, con velocidades mayores a los 25 m/s el aerogenerador se frena para evitar posibles, Figura 12.

### Elementos de un aerogenerador

Esquema de un Aerogenerador.



Fuente: Asociación Danesa de Energía Eólica

Figura 12.

### Sistema de captación

**Rotor:** Compuesto por las palas y el buje.

**Palas:** Son los elementos encargados de capturar la energía cinética del viento y transmitirla hacia el buje, son de dos tipos las de paso fijo y las de paso variable.

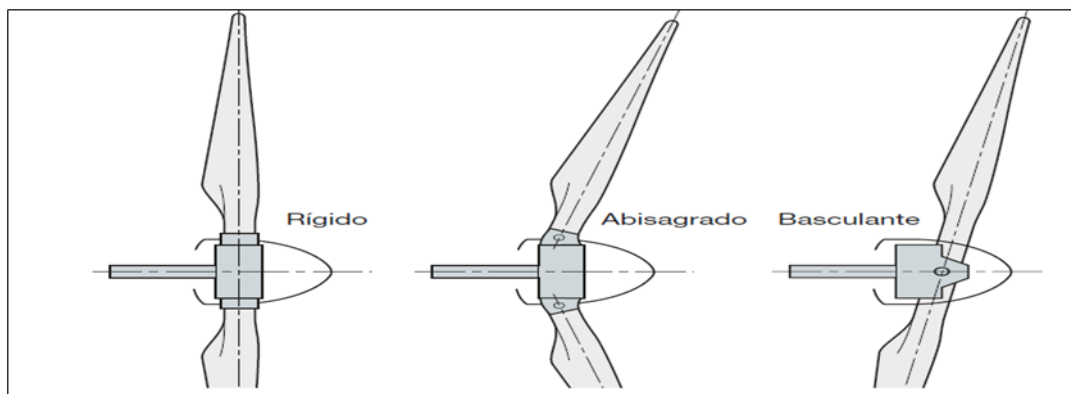
- Paso fijo, como su nombre lo dice, estas se mantienen fijas, su posición permanece invariante, para esta clase de sistemas, cuando la velocidad del viento excede un determinado valor y se hace necesario limitar la energía capturada, el perfil de la pala entra en pérdida aerodinámica provocando turbulencias que mantienen dentro de unos márgenes la energía extraída.

- Paso variable, esta modifica su posición (ángulo de ataque), es decir, pueden modificar el perfil de la pala con la corriente del aire que incide sobre esta, esto permite controlar la energía mecánica suministrada al aerogenerador.

**Buje:** une las palas con el eje lento el cual está acoplado con el eje de baja velocidad del aerogenerador, es la pieza de unión entre las palas y el eje principal y, por lo tanto, es el transmisor de la fuerza del viento, el buje suele ser de acero, se protege con una funda ovalada denominada cubierta, en la actualidad existen tres tipos de bujes, Figura 13. (ABB):

- Rígido, este se diseña para mantener los principales elementos que lo componen en una posición fija en relación con el eje principal, es el más utilizado en rotores de tres o más palas, este deberá ser lo suficientemente fuerte para soportar las cargas dinámicas que transmiten las palas cuando estas se están orientando.
- Basculante (Teetering), es el más utilizado en aerogeneradores de dos palas, este fue diseñado para reducir las cargas aerodinámicas desequilibradas transmitidas por el eje, permitiendo al rotor oscilar algunos grados en la dirección perpendicular al eje principal.
- Para palas abisagradas, este es un híbrido entre los dos modelos anteriores, es un buje rígido con bisagras para las palas que se usa en los aerogeneradores sotavento para reducir las cargas excesivas con vientos fuertes.

*Tipos de Bujes*



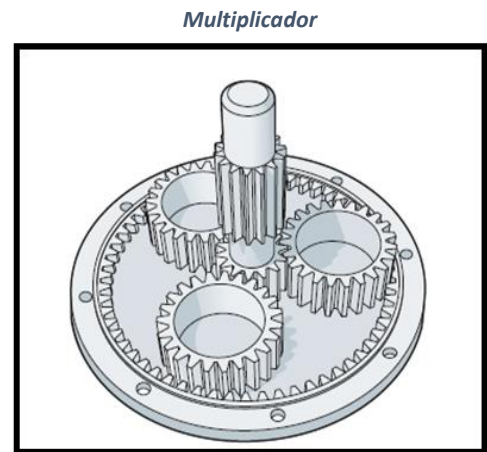
*Fuente: ABB*

*Figura 13*

## Sistema de transmisión

**Eje lento:** Este eje es el de baja velocidad del aerogenerador, conecta el buje del rotor al multiplicador. El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos, del paso variable y del control de los sensores del rotor.

**Multiplicador:** Tiene a su izquierda el eje de baja velocidad. Permite que el eje de alta velocidad, que está a su derecha, gire a mayor velocidad que el eje de baja velocidad mediante un sistema de engranes, esto depende del modelo de la turbina, el multiplicador tiene como misión aumentar la velocidad de rotación del rotor, para adaptarla a los valores requeridos por generadores convencionales, Figura 14.



Fuente ABB.

Figura 14

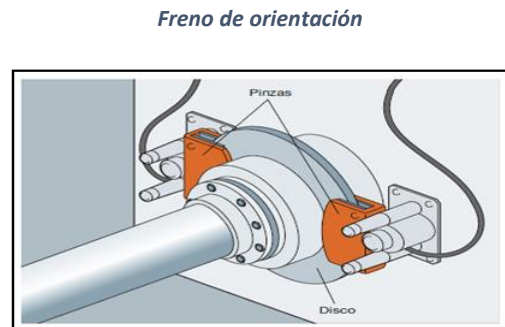
**Eje de alta velocidad:** Gira aproximadamente a 1.500 r.p.m., lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

## Sistema de orientación

Es activado por el controlador electrónico que vigila la dirección del viento utilizando la veleta.

**Motores de giro:** En las turbinas eólicas grandes, es necesario un mecanismo que las posicione enfrentadas al viento. Este movimiento circular, se consigue con unos motores y reductores fijos a la góndola que engranan en un dentado de la parte superior de la torre, llamada corona de orientación. La señal de posicionamiento correcta la recibe del controlador de la turbina, a partir de las lecturas de la veleta y del anemómetro instalado en cada aerogenerador.

**Freno de orientación:** Tienen como misión evitar desplazamientos radiales de la góndola no deseados, bien por efecto del viento incidente o por giro del rotor. Asimismo, reducen el desgaste de los engranajes de orientación. Su accionamiento puede ser hidráulico o eléctrico, actuando en pinzas de freno o motor eléctrico respectivamente, Figura 15.



Fuente ABB.

Figura 15.

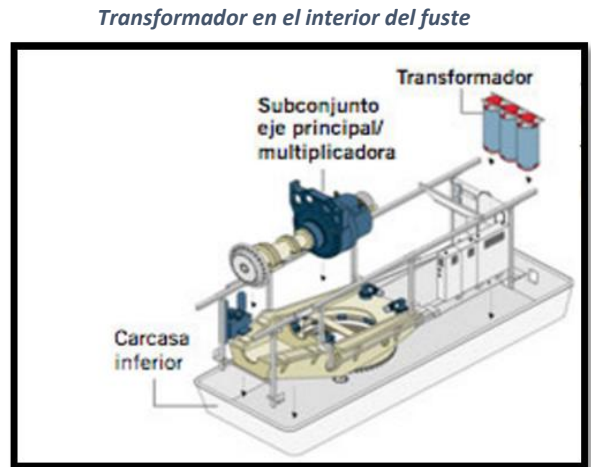


## Sistema de generación

**Generador eléctrico:** Es el elemento del aerogenerador que convierte la energía mecánica (en forma rotatoria) en energía eléctrica, en este caso tenemos dos tipos de generadores: asíncronos y síncronos.

La electricidad producida en el generador se conduce hasta la base de la torre, donde se encuentra un transformador que eleva la tensión al valor requerido y de ahí a la red

**Cableado de potencia:** Transporta la energía eléctrica generada desde el alternador hasta el transformador ubicado en el interior del fuste, Figura 16 que se encuentra adentro de la góndola pasando por las distintas protecciones de máxima o mínima tensión, sobre intensidad o frecuencia, evitando así posibles daños a la red o a la propia turbina en caso de producirse contingencias en el aerogenerador o red de distribución.



*Fuente Gamesa*

*Figura 16*

## Sistema de control

**Controlador de turbina:** El controlador continuamente supervisa las condiciones de la turbina eólica, recoge estadísticas de su funcionamiento y regula interruptores, bombas hidráulicas, válvulas y demás elementos del aerogenerador.

**Sensores de control:** Se utilizan para medir los parámetros físicos de funcionamiento y supervisión de la turbina. Las señales electrónicas son utilizadas por el controlador electrónico para conectar el aerogenerador cuando la señal recibida es correcta. El controlador parará el equipo automáticamente si la información recibida de los sensores es errónea, con el fin de proteger la turbina.

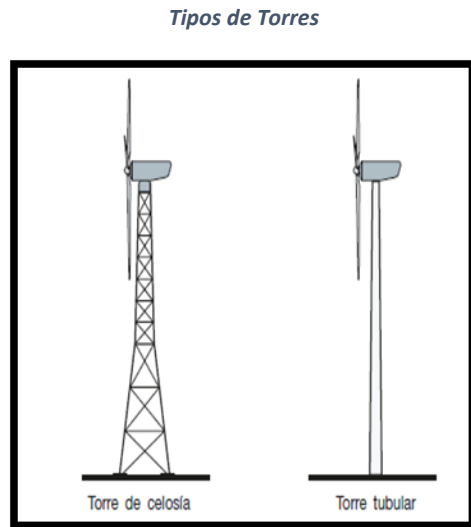
**Señales de control y regulación:** Desde el controlador de turbina, con base en el análisis de la información de los sensores, se generan órdenes que afectan a la operación y funcionamiento del aerogenerador.

### **Sistema de soporte.**

**Góndola:** En esta se incluyen el multiplicador, el generador y los elementos principales de aerogenerador.

**Torre:** Soporta la góndola y el rotor. Puede ser tubular o de celosía, Figura 17 (estas últimas, aunque más baratas, están en desuso ya que las tubulares son mucho más seguras). Tiene varias secciones para facilitar el transporte. La unión de los distintos tramos se realiza mediante pernos en las bridas de unión.

**Cimentación:** Es la parte que permite mantener la verticalidad de la estructura. Su misión es absorber las tensiones del resto de la estructura y transmitirlos al terreno.



*Fuente: ABB*

*Figura 17*

### **Sistema hidráulico.**

**Grupo de presión:** Se encarga de suministrar fluido hidráulico a una presión determinada para permitir el accionamiento de sistemas de captación, orientación o transmisión.

**Conductos hidráulicos:** Canalizan el fluido hidráulico hasta el punto de utilización.

**Válvulas de control:** Adaptan la presión y caudal del fluido a la acción requerida.

### **Sistemas de refrigeración.**

**Ventiladores:** Funcionan a requerimiento del controlador para crear una circulación de aire.

**Intercambiadores de calor:** Disipan el calor del componente a refrigerar (generador, multiplicador o central hidráulica) hacia la corriente de aire creada por los ventiladores.

### **Aerogenerador.**

Cuando la turbina detecta viento en cualquier dirección, por los sensores de velocidad de viento (anemómetros de turbina), el controlador manda las siguientes órdenes al aerogenerador: cuando se detectan corrientes de viento entre 2-3 m/s se envía la orden de posicionarse frente al viento, esta orden se denomina orientación de la turbina; a partir de los 3 m/s se envía una orden para desactivar los frenos y permitir el libre giro de la turbina únicamente por el empuje del viento, posteriormente se envía la consigna de posición de las palas progresivamente de 90° a 0°, a esto se le llama

paso variable, cuando la velocidad alcanza las 1500 rpm, el generador se conectará a la red de una forma suave, haciendo uso de la electrónica de potencia mediante tiristores que se comportan como un interruptor continuo de semiconductor que se controla electrónicamente, la conexión del generador a la red eléctrica tarda unos 3 o 4 segundos, a partir de este momento el generador enviara energía a la red, la velocidad del generador quedara limitada únicamente por la frecuencia de la red<sup>5</sup>.

Cuando la velocidad del viento rebasa la especificada, el diseño aerodinámico de las palas de paso fijo incrementa las turbulencias del flujo de aire esto permite limitar la potencia.

El control de la velocidad del aerogenerador se realiza mediante la variación del ángulo de paso de las palas, a esto se le denomina paso variable.

Hasta este momento se ha comentado la operación del arranque del aerogenerador, a continuación, se tratará lo relacionado con el paro del aerogenerador, este puede ocurrir por varios motivos, ya sea por vientos muy rápidos, por poco viento, por error de funcionamiento o por mantenimiento.

Para el paro de la turbina se tienen los siguientes procedimientos:

- **Paso fijo.** El controlador envía una orden al sistema de captación para desplegar los aerofrenos, simultáneamente desconecta el generador, revisa la disminución de la velocidad y aplica los frenos de forma suave, después de varios segundos, aplica una presión de freno cada vez mayor hasta conseguir la detención total.
- **Paso Variable.** La orden la envía a los actuadores del ángulo de ataque de las palas (pitch) aumentando los grados hasta los 90°. Simultáneamente desconecta el generador y realiza de igual forma un incremento paulatino de presión en el circuito secundario de frenada.
- **Parada de Emergencia.** Se produce ante errores importantes, peligro para personas o integridad de la turbina. Se aplican frenos con la máxima presión desde el primer momento.

---

<sup>5</sup> Fuente [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiii.-las-centrales-eolicas](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/xiii.-las-centrales-eolicas)

## 2.5 TIPOS DE AEROGENERADORES.

En este punto nos enfocaremos en los diferentes tipos de rotores eólicos, pues existen diferencias de rendimiento y esto hace que uno sea más adecuado que el otro en función del viento.

### Clasificación

- Eje horizontal
  - Barlovento.
  - Sotavento.
  - Perpendicular. (Savonius).
- Eje vertical.
  - Resistencia (Savonius, eje vertical)
  - Sustentación (Darrieus)
  - Combinada (Darrieus + Savonius)

### Eje horizontal

En este tipo de aerogenerador el eje de giro es paralelo a la dirección del viento, este tipo es de los más utilizados en los parques eólicos, se dividen en Barlovento y Sotavento por la posición del equipo con respecto al viento.

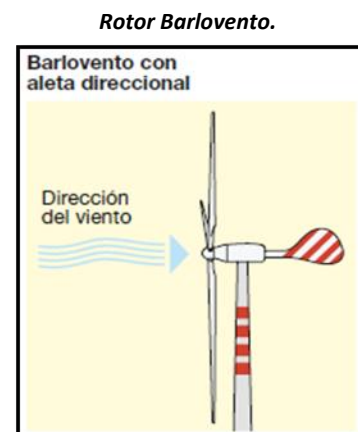
Las ventajas que presentan los aerogeneradores de eje horizontal son las siguientes:

- Su rendimiento (coeficiente de potencia) es mayor que el correspondiente a los de eje vertical.
- Su velocidad de rotación es más elevada que la de los aerogeneradores Darrieus (requieren cajas de engranajes con menor relación de multiplicación).
- La superficie de la pala es menor que en los modelos de eje vertical para una misma área barrida.

### Características del Barlovento.

El rotor se dispone enfrente al viento y antes de la torre que lo sustenta, Figura 18.

- Disposición más común entre los aerogeneradores de eje horizontal para producción de energía en parques eólicos.
- El viento incide con toda su energía sobre las palas del rotor sin salvar ningún obstáculo previo.
- Para orientar la máquina frente al viento, es necesario un sistema activo basado en un motoreductor.

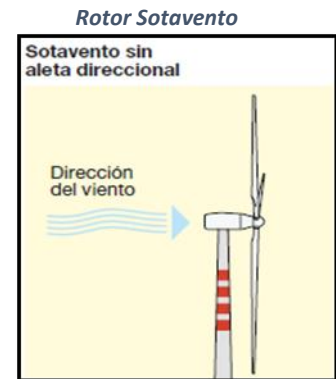


Fuente: ACCIONA

Figura 18

## Características del Sotavento.

- El rotor se dispone orientado con el viento, pero tras la torre; Figura 19.
- La energía del viento se ve reducida por el obstáculo que supone la torre.
- Se emplea en aerogeneradores de baja y muy baja potencia.



Fuente: ACCIONA

Figura 19

## Eje vertical

Su eje de rotación es perpendicular a la dirección del viento, estos no requieren de un sistema de orientación y tienen una mejor accesibilidad para el mantenimiento, sin embargo son poco utilizados.

Máquina de rotor tipo Savonius,

Tiene forma de S en la que la acción fundamental del viento sobre ella tiene el carácter de resistencia, Figura 20. Esta máquina tiene un rendimiento bajo, por lo que únicamente es idónea,

por su simplicidad, para potencias muy pequeñas.

Rotor Savonius.

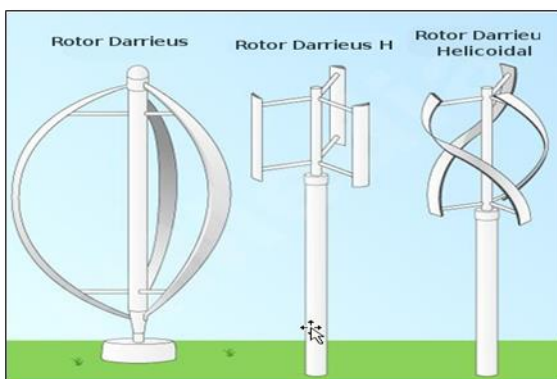


Fuente: Energía Eólica.

Figura 20

## Máquinas de rotor tipo Darrieus

Tipos de Rotores Darrieus.



Fuente: Energía Eólica en Casa.

Figura 21

Esta máquina está integrada por varias palas cuya sección recta tiene la forma de un perfil aerodinámico.

Las palas están unidas por sus extremos al eje vertical, estando arqueadas en una forma similar a la que tomaría una cuerda girando alrededor del eje, Figura 21.

Los sistemas de sujeción de los modelos Darrieus impiden elevar la turbina tanto como en los modelos de eje horizontal.

Para una misma área barrida se obtendrá menor potencia en los de tipo Darrieus por aprovecharse menos el aumento de la velocidad del viento con la altura. Como contrapartida, los aerogeneradores Darrieus tienen las siguientes ventajas:

- Su simetría vertical hace innecesario el uso de un sistema de orientación, como ocurre con las máquinas de eje horizontal para alinear el eje de la turbina con la dirección del viento.
- La mayoría de los componentes que requieren mantenimiento están localizados a nivel del suelo.
- No requieren mecanismo de cambio de paso en aplicaciones a velocidad constante.

Para darnos un panorama de qué máquinas son las más eficientes, en la siguiente gráfica se muestran los rendimientos aerodinámicos de los distintos tipos de las máquinas eólicas, dichos valores están representados en función de la velocidad para distintos tipos de aerogeneradores (Voneschen, 2009).

$$\lambda_0 = \frac{U_0}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\lambda_0$  Velocidad específica que se define como la relación de la velocidad tangencial de la punta de las palas y la velocidad del viento frente al rotor, Figura 22.

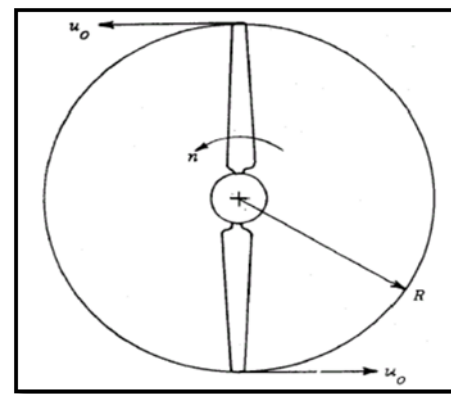
$$U_0 = \text{velocidad de la puntas de las palas [m/s]} = \omega R$$

$$\omega = \text{velocidad angular de la palas [rad/s]}$$

$$R = \text{Radio de la pala. [m]}$$

$$n = \text{velocidad del viento incidente en el rotor. [m/s]}$$

Velocidad específica.



Fuente turbinas eólicas.

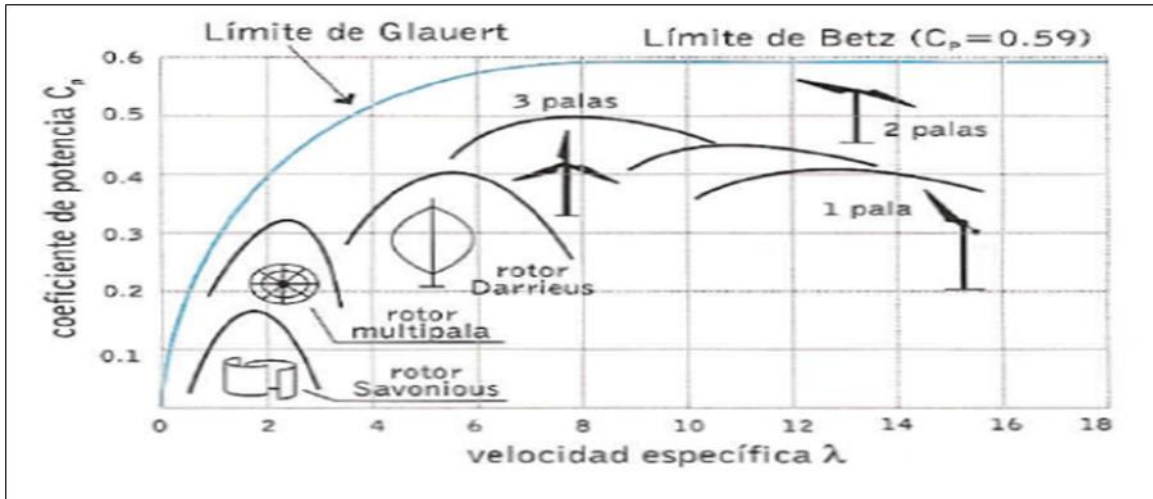
Figura 22

Por medio de la velocidad específica, podemos clasificar los aerogeneradores en lentos y rápidos.

Los lentos tienen la característica de que su coeficiente de potencia es bajo para la generación de energía, se utilizan en aplicaciones mecánicas, por ejemplo, en aerobombas, estos entran dentro de un rango de velocidad específica  $\lambda_0$  menor a 2,

Los rápidos son los que se utilizan para la generación de energía eléctrica ya que cuentan con una velocidad específica  $\lambda_0$  mayor a 2 y presentar curvas con valores altos del coeficiente de potencia  $C_p$ , Grafica 2. (Parametros de Diseño de un Aerogenerador , s.f.)

*Rendimiento Aerodinámico respecto a la velocidad especifica.*



Fuente: Fuentes de Energía Renovable (FER)

Grafica 2.

De los tipos mencionados los más utilizados para parques eólicos son los aerogeneradores de eje horizontal y, por lo tanto, tendremos que profundizar en este tipo de aerogeneradores y su clasificación.

### Clasificación de los aerogeneradores por tamaño.

- **Microaerogeneradores.**

Tienen una potencia menor a 1 KW, por lo regular tienen un radio del rotor menor de 1 m; algunas de sus aplicaciones son: en embarcaciones, en sistemas de comunicaciones, en iluminación, entre otras.

- **Miniaerogeneradores.**

Su rango de potencia está entre 1KW y 10 KW, tienen un radio del rotor de 1m a 3m. Este tipo de aerogeneradores se utiliza en granjas, sistemas mixtos eólico-fotovoltaicos y de bombeo.

- **Aerogeneradores de pequeña potencia.**

Tienen una potencia entre 10KW y 100 KW, tienen un radio de rotor entre los 3m y 9m, este tipo de aerogeneradores se utiliza en las pequeñas empresas, en sistemas mixtos eólico-diésel, drenaje y para tratamiento de aguas.

- **Aerogeneradores de media potencia.**

Tienen una potencia comprendida entre 100KW y 1 000 KW, tienen un radio de rotor comprendido entre 9m y 27m, estos son utilizados para parques eólicos en tierra y en el mar.

- **Aerogeneradores de alta potencia.**

Su potencia es de 1 000 KW a 10 000 KW, el diámetro del rotor va de 27m a 100 m, sus aplicaciones son en parques eólicos en tierra y en el mar, el aerogenerador comercial de mayor potencia es de 10 MW.

### Clasificación por número de palas en el rotor.

**Monopala:** Estos incrementan de una forma muy considerable la velocidad de giro y por eso son poco utilizados, además de que emiten demasiado ruido tiene problemas de estabilidad, Figura 23.

*Aerogenerador Monopala.*



*Fuente: OPEX ENERGY.*

*Figura 23*

*Aerogenerador Bipala Mod-5B*



*Fuente: OPEX ENERGY.*

*Figura 24*

**Bipala:** Estos tienen problemas dinámicos menores a los del monopala, se emplean para la producción de energía eléctrica, pero en muy pocas cantidades, Figura 24.

*Aerogenerador Tripala.*



*Fuente: OPEX ENERGY.*

*Figura 25*

**Tripala:** Son los aerogeneradores más empleados para la producción de energía eléctrica, no presentan los problemas dinámicos de los monopala y bipala, tienen una baja velocidad de punta de pala, evitando problemas de emisión de ruido y con la aplicación de la tecnología se ha llegado a hacer casi imperceptible el ruido en el parque eólico, Figura 25.



**Multipala:** Este tipo de aerogeneradores giran a bajas velocidades y ofrecen un gran par, por esto se emplean en situaciones donde se requiere un gran par, se utilizan para la extracción de agua (aerobombas), pero estos no se emplean en la producción de electricidad, Figura 26.

*Aerogenerador Multipala*



*Fuente: OPEX ENERGY.*

*Figura 26.*

## **Clasificación por generador eléctrico**

### **Generador asíncrono**

Estos generadores eléctricos son los más utilizados en cualquier aplicación industrial. Su elevada robustez y sencillez ha impulsado su empleo dentro de los aerogeneradores. Su mayor inconveniente es la necesidad de un banco de condensadores aplicado a la salida, que permite compensar el factor de potencia y la potencia reactiva generada y el mal comportamiento que presenta frente a los huecos de tensión.

### **Generador síncrono**

La generación de energía eléctrica se produce a una velocidad constante, denominada velocidad de sincronismo. Precisa una corriente de excitación continua, que se ha de generar o bien internamente (autoexcitación) o bien de forma auxiliar mediante una dinamo externa. Se comportan bien frente a los huecos de tensión, esto es la reducción brusca de la tensión en una fase y posterior recuperación de la misma en milisegundos, pero en caso de los parques eólicos se tarda alrededor de 600 milisegundos.

## **Ventajas y desventajas de generadores asíncronos comparados con los generadores síncronos.**

### **Ventajas:**

- La construcción del generador asíncrono es más sencilla, más robusta ningún bobinado giratorio (sin anillos ni escobillas), el rotor es pesado y este puede soportar una sobre velocidad (turbinas hidráulicas, eólicos).
- Simplicidad y seguridad de utilización

Los generadores asíncronos se acoplan con facilidad, sin correr ningún riesgo de alimentación repentina de la red por desacoplamiento. El desacoplamiento involuntario por protección de un generador asíncrono se realiza generalmente por una sobre

velocidad (Embalamiento) de la máquina de accionamiento (Generatriz), al menos cuando no puede ser frenado muy rápidamente<sup>6</sup>.

Una nueva ventaja de los generadores asíncronos sobre los generadores síncronos, es cuando la máquina es desacoplada, es rápidamente desexcitada y no queda ninguna tensión en sus bornes, en la medida en que los condensadores (capacitores) son desconectados simultáneamente sino son desconectados simultáneamente (si no el generador asíncrono será auto excitado por los condensadores. Esta es una ventaja importante para la seguridad.

- No necesita un circuito independiente para su excitación y no tiene que girar continuamente a una velocidad fija.
- Cuando su velocidad sobrepase ligeramente a la de sincronismo, funcionará como un generador con respecto al sistema de potencia al que se encuentre conectado.
- A medida que el par aplicado a su eje sea mayor, tanto mayor será la potencia de salida resultante.
- Además, no necesita regulación de tensión, pues ésta le viene impuesta por la red externa, lo cual hace que este generador sea una buena alternativa en centrales eólicas, donde las velocidades del viento son muy dispares.

## Desventajas

La potencia reactiva  $Q$  que necesita recibir el generador asíncrono que se requiere para mantener el campo magnético de su estator, ya que esta máquina no posee un circuito de excitación como es el caso de los generadores síncronos.

Esta es la principal limitación del generador asíncrono, ya que al necesitar una red que le suministre la potencia reactiva que requiere, no puede funcionar (en principio) como generador aislado, como sucede con los generadores síncronos.

A la potencia reactiva consumida por el generador asíncrono se le añade temporalmente la de ciertas cargas de la red (motores eléctricos), es por esta razón que se incorporan a la red eléctrica una fuente de potencia reactiva (banco de capacitores).

Un inconveniente de cual tenemos que hablar es el acoplamiento de los generadores asíncronos en algunos casos puede ser problemático. El rotor del generador asíncrono, aunque no esté excitado, posee siempre una cierta imantación remanente (capacidad de un material para retener el magnetismo que le ha sido inducido) Esto nos genera problemas al momento de conectarnos al red de transmisión Ya que nos generar un exceso de par y para esto podemos utilizar lo siguiente

- Resistencias de acoplamiento insertadas en serie con las fases del estator durante aproximadamente un segundo en el momento del acoplamiento. Estas son enseguida cortocircuitadas por un contacto temporizador.

---

<sup>6</sup> Fuente [http://www.motiva.fi/myllarin\\_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wtrb/async.htm](http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wtrb/async.htm)

- Utilizando un regulador en serie con las fases del estator, con el fin de efectuar el acoplamiento con una tensión reducida. La tensión es después aumentada progresivamente hasta la tensión nominal, seguidamente el regulador es cortocircuitado.

Los generadores asíncronos pueden ser utilizados para alimentar una red independiente cuando se trata de instalaciones simples (necesidades del hogar, calefacción, cargas resistivas). Al contrario, cuando la red que se va alimentar es compleja, en particular cuando el factor de potencia varía constantemente, el generador síncrono se adapta mejor a estas necesidades. Por tanto, es posible que el generador asíncrono trabaje como generador aislado, independiente de la red externa, siempre que haya condensadores (capacitores) disponibles para suministrar la potencia reactiva que necesita<sup>7</sup>.

Para ello se conecta un banco de condensadores a los bornes del generador que también se unen a la carga eléctrica receptora externa. Se dice entonces que el generador trabaja en régimen de autoexcitación. La frecuencia del generador es algo menor de la que corresponde a la velocidad de rotación.

La tensión en bornes aumenta con la capacidad, que está limitada por la saturación del circuito magnético de hierro. Si la capacidad es insuficiente no aparecerá tensión en el generador. De ahí que la elección de la capacidad necesaria sea un problema difícil y más aún si se tiene en cuenta que los condensadores deben también suministrar la potencia reactiva que requieren las cargas conectadas a la máquina

La elección entre los dos tipos de generadores depende por tanto de las características de la red a alimentar, en la siguiente Tabla 12 se realiza un comparativo entre este tipo de máquinas.

---

<sup>7</sup> Fuente [abfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema18/tema18-5.htm](http://abfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/tema18/tema18-5.htm)

<b>Comparación</b>	
<b>Generador Asíncrono</b>	<b>Generador Síncrono</b>
<b>Estructura del rotor</b>	
Barras de cobre no aisladas	Cable o barras aisladas
Devanados rígidos (alojados en las ranuras)	Alto desgaste de los polos salientes
Conexiones soldadas	Muchas conexiones
Pocos conectores básicos	Muchos componentes básicos
Pocos conductores	Bobinado con muchas vueltas
<b>Excitación</b>	
Requiere de una fuente Externa	Necesita de u medio de excitación de corriente continua.
No existen ni las escobillas ni los anillos rozantes.	Contiene escobillas, anillos rozantes o imanes permanentes.
<b>Señal Generada</b>	
Tendencia a amortiguar los armónicos en la señal del sistema	Tendencia a generar armónicos debido a la relación de inducido a la carga.
	Efectúa control de la frecuencia y la tensión
Se comporta como elemento pasivo	Se comporta como elemento Activo
<b>Señal Generada</b>	
Mínima alteración, pues utiliza un dispositivo que va midiendo la velocidad y este se cierra cuando alcanza la velocidad de sincronismo.	Requiere de un complejo equipo para el control y sincronización.
<b>Costos</b>	
Bajo Precio	Alto precio
No requiere la presencia de personal en la instalación	Se requiere de personal para su operación
Bajo costo de mantenimiento	Mantenimiento regular de las escobillas
Eficiencia baja	Alta eficiencia
Factor de potencia en retraso	Factor de potencia adelantado

Fuente: Universidad de Córdoba España.

Tabla 12

## Referencias

- ABB. (s.f.). *Manual Plantas Eolicas*. ABB Power and Productivity for a better World.
- Amador., J. A. (10 de Junio de 2016). *slideshare.net*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/JorgeAlbertoAmador/principales-sistemas-de-generacin-elctrica-en-mxico>
- AMDEE. (2014). Obtenido de <http://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2014>
- AMDEE. (2015). Obtenido de <http://www.amdee.org/capacidad-instalada>
- AMDEE. (2016). <http://www.amdee.org/>. Obtenido de <http://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2018>
- Ammonit. (2015). <http://www.ammonit.com/>. Obtenido de <http://www.ammonit.com/es/informacion-eolica/energia-eolica>
- CFE. (10 de Noviembre de 2014). Obtenido de [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/CFE\\_y\\_la\\_electricidad\\_en\\_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/CFE_y_la_electricidad_en_Mexico/Paginas/CFEylaelectricidadMexico.aspx)
- CFE. (2015). *Informe* . CDMX.
- Chile., U. d. (2003). *U Cursos*. Obtenido de [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/EL42C/1/material\\_docente/bajar?id...](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/EL42C/1/material_docente/bajar?id...)
- Eugenio Guzman Soriana. (10 de Diciembre de 2011). Consumo de energia electrica para consumo domestico en San Juan del Rio, Querretaro. *Analisis Economico*. Querretaro: <http://www.redalyc.org/pdf/413/41318401009.pdf>. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/413/41318401009.pdf>
- Guerrero, L. (24 de Marzo de 2016). <http://vidaverde.about.com/>. Obtenido de <http://vidaverde.about.com/od/Ciencia-y-naturaleza/a/El-Origen-Del-Viento.htm>
- Jara, E. C. (12 de Ostubre de 2011). <http://www.eumed.net/>. Obtenido de <http://www.eumed.net/rev/delos/12/ecj.html>
- Kraus, R. S. (s.f.). *Petroleo y Gas Natural*. Obtenido de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/78.pdf>
- Manual De Tipos de Gases. (2016). CDMX.
- Monroy, M. d. (4 de Octubre de 2013). El Carbon. Mexico: I.E.S.
- Pablo., F. M. (2013 ). *Sisema Hibrido Eolico Fotovoltaico, para casa habitacion con tarifa DAC*. Mexico : Facultad de Ingenieria UNAM.
- Parametros de Diseño de un Aerogenerador* . (s.f.). Obtenido de [kimerius.com/app/download/5780666680/Parámetros+de+diseño.pdf](http://kimerius.com/app/download/5780666680/Parámetros+de+diseño.pdf)

PWC, A. /. (2014). Potencial Eolico Mexicano. Mexico: <http://www.amdee.org/Publicaciones/AMDEE-PwC-El-potencial-eolico-mexicano.pdf>.

SEGOB. (2012). *La Energia Eolica en Mexico (Una perspectiva Social sobre el Valor de la Tierra)*. Republica Mexicana : Secretaria de Gobernacion.

SENER. (2015). Obtenido de <https://www.gob.mx/sener>

Voneschen, M. F. (2009). <http://www.amics21.com/>. Obtenido de [http://www.amics21.com/laveritat/introduccion\\_teor%C3%ADa\\_turbinas\\_eolicas.pdf](http://www.amics21.com/laveritat/introduccion_teor%C3%ADa_turbinas_eolicas.pdf)

XTREM SECURE. (15 de Agosto de 2015). Obtenido de <http://xtremsecure.com.mx/infraestructura-y-energia-en-mexico/>

<http://torsomardo.weebly.com/energiacut%20eolico.html><http://torsomardo.weebly.com/energiacut%20eolico.html>

<http://energiacut.eolicaencasa.blogspot.es/taqs/generador-eolico/>

<http://new.abb.com/mx>

<http://www.accionamx.com/>

<http://solar-energia.net/energias-renovables/eolica>

<http://es.slideshare.net/ablitas/energia-eolica-ii-2608905>

<https://jasf1961.wordpress.com/category/calculo-aerogenerador/>

---

## CAPITULO 3

---

### ESTUDIO DE LA PROPUESTA.

En este apartado analizaremos las características principales de la zona de estudio, para poder determinar si es apta para nuestra propuesta de generación para la comunidad, especialmente en lo que se refiere a las condiciones del viento y el predio disponible para la instalación, tomando en cuenta los límites aceptables de ruido generado por las aeroturbinas, la distancia mínima de separación de una de la otra para evitar afectaciones entre ellas, asimismo es importante considerar el uso del suelo de la zona, de acuerdo con La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. La zona de estudio, Agencia de Santa María del Mar, se encuentra localizada en el estado de Oaxaca, específicamente en el Istmo de Tehuantepec, en el Municipio de Juchitán de Zaragoza.

### 3.1. Características principales de Santa María del Mar.

El gobierno del estado de Oaxaca gestionó ante los laboratorios Nacionales de Energía Renovable (*National Renewable Energy Laboratories*) de los Estados Unidos, un estudio a profundidad sobre el potencial eólico de la región del Istmo, el cual fue financiado a través de recursos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PUND) y de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El resultado fue el *Atlas Eólico del Estado de Oaxaca*, según información obtenida de la Secretaría de Economía del Gobierno del Estado de Oaxaca.

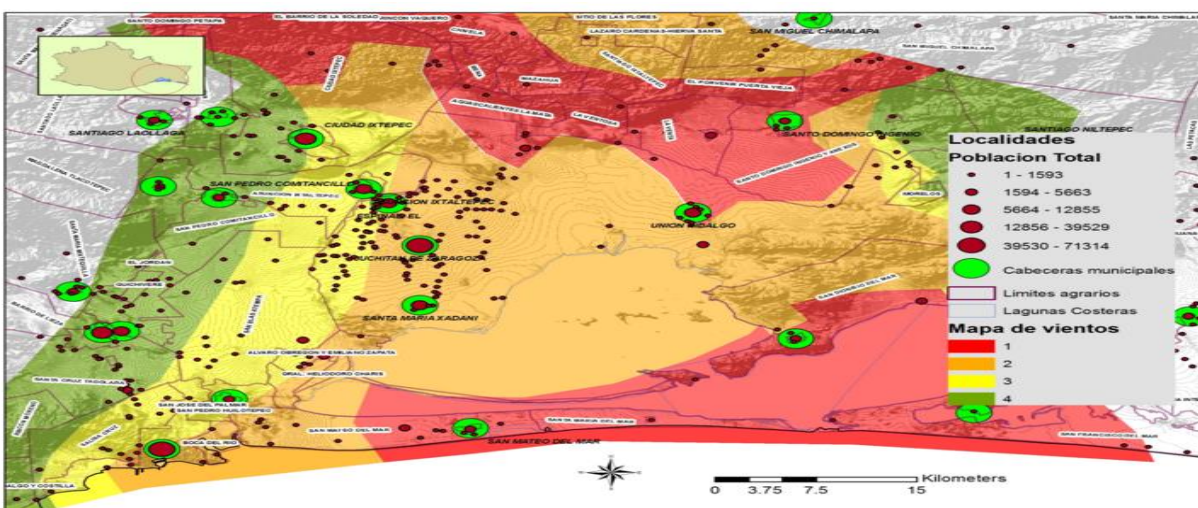
Las condiciones eólicas en el Istmo de Tehuantepec son de las mejores a nivel mundial. En el estado de Oaxaca se tienen zonas con velocidades del viento medidas a 50 metros de altura superiores a 8.5 m/s, con un potencial aproximado de 6,250 MW, y otras con velocidades de 7.7 a 8.5 m/s, con un potencial de 8,800 MW, de acuerdo con un estudio de clasificación de velocidades del viento realizado por los Laboratorios Nacionales de Energía Renovable, Recursos de Energía del Viento de los Estados Unidos (Ricardo Henestroza Orozco, 2007)

Según se señala en el *Atlas de Recursos Eólicos del Estado de Oaxaca*, Oaxaca es barrida por tres flujos eólicos predominantes:

- Un viento de noreste a norte de octubre a febrero.
- Un viento del este de marzo a mayo.
- Un viento alisio de este a noreste de junio a septiembre.
- 

La región con mejores condiciones de vientos se concentra al sur del Istmo de Tehuantepec, se extiende desde la costa hacia el norte, aproximadamente 60 Km, y de este a oeste aproximadamente entre 60 y 80 Km, en el Mapa 4 se muestra la región mencionada

*Mapa de recurso eólico.*



Fuente: *Atlas Eólico del Estado de Oaxaca*.

Mapa 4



Por estas condiciones el Istmo de Tehuantepec es una de las principales zonas para la elaboración de proyectos eólicos. Sin embargo, no todo es miel sobre hojuelas, ya que varios grupos anti-eólicos afirman que los proyectos tendrán un gran impacto sobre el medio y en la economía de la comunidad además de transgredir las tradiciones y costumbres de la misma. No obstante, lo anterior, el desarrollo de los proyectos eólicos ha tenido un avance muy significativo, como puede observarse en la siguiente Tabla 13 en la que se listan los proyectos eólicos que se encuentran en operación, en la actualidad se tiene un total de 26 parques eólicos con una capacidad instalada de 2353.47 MW en el estado de Oaxaca (AMDEE, 2016).

*Capacidad Instalada en Oaxaca*

Oaxaca							
Central	Estado	Fabricante	Año de Operación	Numero de turbinas	Capacidad Cada Generador MW	Capacidad total MW	Localidad
La Venta	Operación	Vestas	1994	7	0.225	1.57	Juchitán
La Venta II	Operación	Gamesa	2006	98	0.85	83.3	Juchitán
LA Ventosa II	Operación	Gamesa	2008	58	0.85	49.3	Juchitán
La Ventosa I	Operación	Gamesa	2008	14	2.2	30.6	Juchitán
Eurus, 1st Phase	Operación	Acciona	2009	25	1.5	37.5	Juchitán
Eurus 2nd Phase	Operación	Acciona	2010	142	1.5	212.5	Juchitán
Bii Nee Stipa I	Operación	Gamesa	2010	31	0.85	26.35	Juchitán
La Mata - La Ventosa	Operación	Clipper	2010	27	2.5	67.5	La Mata
Fuerza Eólica del Istmo	Operación	Clipper	2011	20	2.5	50	El Espinal
La Venta III	Operación	Gamesa	2012	120	0.85	102.85	Juchitán
Oaxaca I	Operación	Vestas	2012	51	2	102	Juchitán
Fuerza Eólica del Istmo	Operación	Clipper	2012	15	2	30	El Espinal
Bii Nee Stipa II (Stipa Nayaá)	Operación	Gamesa	2012	37	2	74	Juchitán
Bii Nee Stipa III (Zopiloapan)	Operación	Gamesa	2012	35	2	70	Juchitán
Piedra Larga	Operación	Gamesa	2012	45	2	90	Unión Hidalgo
Bii Stinú	Operación	Gamesa	2012	82	2	164	Santa Rita
La Ventosa III	Operación	Gamesa	2013	10	2	20	Juchitán
Eoliatec del Pacífico	Operación	Gamesa	2013	122	1.32	160	Unión Hidalgo
Bii Nee Stipa II Fase III El Retiro	Operación	Gamesa	2013	37	2	74	Juchitán
Piedra Larga II	Operación	Gamesa	2014	69	2	138	Unión Hidalgo
Bii Hioxo	Operación	Gamesa	2014	114	2	227.5	Juchitán
Bii Nee Stipa II Fase IV Dos Arbolitos	Operación	Gamesa	2014	35	2	70	Juchitán
Sureste I Fase II (Energías Renovables La Mata)	Operación	Alstom	2014	34	3	102	La Mata
Granja SEDENA	Operación	Vestas	2015	5	3	15	Ixtepec
Pe Ingenio	Operación	Vestas	2015	33	1.5	49.5	Santo Domingo Ingenio

Fuente AMDEE (Asociación Mexicana de Energía Eólica).

Tabla 13

## Impactos ambientales y sociales

Es indispensable que en nuestro estudio consideremos los impactos que pueda causar nuestra propuesta de generación de electricidad al medio ambiente y social.

Aunque los impactos ambientales son menores con el uso de esta tecnología, es conveniente analizarlos; tal es el caso del ruido generado por el movimiento de las aspas de los aerogeneradores. En realidad, no existen normas ambientales que regulen la contaminación por ruido que hayan sido emitidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y que sean específicas para la energía eólica. Por ello, resulta necesario que las instituciones correspondientes generen una normatividad que considere los límites aceptables del ruido producido, no sólo por un aerogenerador sino por un grupo de aerogeneradores que serán instalados en una cierta región.

El siguiente impacto ambiental está relacionado con la avifauna de la región, al chocar las aves sobre las aspas de los aerogeneradores. Con base en un estudio sobre el comportamiento de vuelo de las aves migratorias que cruzan el Istmo de Tehuantepec hacia Centro y Sudamérica, especialistas del Instituto de Ecología propusieron una serie de medidas precautorias para reducir el riesgo de colisión de las aves contra los aerogeneradores de la central eólica La Venta II, que actualmente está en funcionamiento.

El Istmo de Tehuantepec, donde se ubica la central eólica La Venta II, forma parte de la ruta de aves migratorias. Cada temporada pasan por la zona doce millones de aves de 130 especies; entre las especies en peligro de extinción se encuentran la aguililla de alas anchas, la aguililla migratoria mayor y el halcón peregrino, protegidas por las leyes de México, Estados Unidos y Canadá. También señala el Instituto de Ecología (INECOL) que el lugar es una “especie de cuello de botella” por donde miles de aves cruzan, y la posibilidad de choques contra los aerogeneradores es muy alta, por ello es necesario llevar a cabo medidas precautorias, si se quiere evitar un daño ecológico (INECOL, 2016).

Las investigaciones en marcha buscan contrastar dos prototipos de animal teórico: el “pájaro partícula” contra el “pájaro inteligente”. En el primer caso las condiciones de viento hacen imposible al animal maniobrar a voluntad, igual que una partícula arrastrada por el viento; en el segundo, el animal puede decidir cómo sortear los obstáculos, para lo cual se han probado aerogeneradores menos agresivos, por ejemplo, de eje vertical, otra medida es pintar las aspas de colores llamativos para que las aves las puedan distinguir y así evitar el choque. Cada caso implica diferentes soluciones de diseño de los proyectos eólicos para disminuir los posibles impactos ambientales y hacer compatibles la generación eléctrica y la sustentabilidad. Es importante mencionar el otro escenario que ha generado una cierta polémica en el desarrollo del proyecto eólico esto se debe a la falta de información y a una mala comunicación por parte de las empresas eólicas; los habitantes de la comunidad Santa María del Mar nos hacen mención que el día 25 de septiembre del 2005, en

Unión Hidalgo, Oaxaca fue realizado el Foro Regional contra el Proyecto Eólico del Istmo de Tehuantepec, con la participación de ejidatarios, autoridades y ciudadanos de las distintas comunidades que integran la región del Istmo. Allí fue pronunciado lo siguiente, Tabla 14.

<b>Impacto Económico</b>	<b>Impacto Social</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La falta de generación de empleos suficientes, estables y permanentes, en fase operativa del proyecto.</li> <li>• La injusta diferenciación socioeconómica provocada al beneficiar sólo a arrendadores de las tierras.</li> <li>• La baja remuneración ofrecida por las empresas por la reserva territorial antes del montaje y operación, así como el pago por arrendamiento de las tierras con torres asignadas y/o involucradas, por treinta años, los montos son de diez a veinte veces menores a lo que las mismas transnacionales ofrecen en Europa y Estados Unidos.</li> <li>• La pérdida de la vocación agropecuaria de la zona, sobre todo en las tierras del distrito de riesgo, dejando sin empleo a campesinos, obligándolos a emigrar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La ausencia total de información y consulta a los pueblos y comunidades indígenas asentados durante siglos en este territorio, como se establece en el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y en la propia Ley Indígena del estado de Oaxaca.</li> <li>• La desintegración y división de ejidos y comunidades, por la misma falta de información y valoración de consensos en asambleas para la toma de decisiones con relación a los proyectos eólicos.</li> <li>• Derivado de lo anterior, la imposición de los proyectos por parte de las empresas, en contubernio con dependencias gubernamentales estatales y federales.</li> <li>• El aumento de la emigración hacia los Estados Unidos, dada la diferenciación socioeconómica y el aumento de la pobreza en familias que no sean directamente beneficiadas por los parques eólicos.</li> <li>• El cuestionamiento acerca de si la generación y transmisión de energía únicamente compete al Estado.</li> <li>• También han existido demandas de nulidad de contratos de arrendamiento de tierras ante el juzgado civil de Juchitán, Oaxaca, por parte de organizaciones sociales y medioambientalistas que representan a los ejidatarios inconformes, y algunas han prosperado</li> </ul>

Fuente: Foro Regional contra el Proyecto Eólico del Istmo de Tehuantepec.

Tabla 14

## 3.2 Instalación de un sistema eólico en Santa María del mar.

*Oficina de Bienes Comunales de Santa María del Mar.*



*Fuente: Libro Eólico de Oaxaca. Imagen*

*Figura 27*

La Agencia Santa María del Mar pertenece al Municipio de Juchitán de Zaragoza desde 1946, es uno de los 4 pueblos indígenas ikoots o huaves, Figura 27. Los otros pueblos huaves son los municipios de San Mateo del Mar, San Dionisio del Mar y San Francisco del Mar. Santa María del Mar se localiza en la región del Istmo de Tehuantepec al suroeste del estado, en las coordenadas 94° 59' longitud oeste 16° 12' latitud norte, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar, está limitada al norte con Juchitán de Zaragoza y San Pedro Huilotepec, al sur con el Océano Pacífico, al Oriente con San Mateo del Mar, Salina Cruz y San Pedro Huilotepec y al poniente con la Laguna Inferior.

Los habitantes de Santa María del Mar se autodefinen como ikoots; ellos dicen que su denominación es Chikon que significa (Somos nosotros). El término Mareños lo comparten con todos los pueblos huaves, incluidos los pueblos zapotecos de los ejidos de Álvaro Obregón, Emiliano Zapata, Heliodoro Charis y Xadani.

Los cuatro pueblos se encuentran dentro del sistema lagunar Huave, este cuenta con 72 kilómetros de litoral en el golfo de Tehuantepec. Las lagunas se comunican con el mar por medio de la Boca de San Francisco, que tiene una longitud aproximada de 1500 metros. La intercomunicación entre las lagunas superior e inferior se da a través de Santa Teresa, Mapa 5.

*Localización de Santa María del Mar.*



Fuente INEGI.

Mapa 5

Santa María del Mar se localiza en la Barra que separa el sistema lagunar del Océano Pacífico. Este territorio es azotado por los vientos la mayor parte del año, principalmente entre octubre y febrero. Esto se debe a que la geografía y el medio ambiente de la planicie costera del Istmo sur se encuentran frecuentemente influenciados por los vientos que se generan al sur del Golfo de México, por efecto de los vientos fríos procedentes de Canadá y Estados Unidos.

Esta masa de aire, al penetrar al continente en el Istmo de Tehuantepec, se encuentra un estrecho por donde los vientos se encañonan y pasan hacia el Golfo de Tehuantepec, a estos vientos se les conoce en la región como vientos norte y llegan a tener ráfagas de 120Km/h

**Naturaleza del proyecto.**

La propuesta del pequeño parque eólico se está desarrollando bajo la modalidad de autoabastecimiento, este comprende la construcción, puesta en marcha y operación del mismo para dotar de energía eléctrica a los habitantes de la comunidad.

La problemática que actualmente tiene Santa María del Mar se debe a los conflictos por los límites territoriales con la comunidad de San Mateo del Mar, los cuales vienen desde Octubre del 2009, esta problemática se llevó hasta el Tribunal Agrario de Tuxtepec, cuyo veredicto fue que las mil 370 hectáreas en disputa son propiedad de Santa María de Mar y no de San Mateo del Mar, no obstante la problemática continúa aun; en represalia, los de San Mateo del Mar no permiten el paso por su tierra a los de Santa María del Mar, por lo que, para salir, los de Santa María tienen que hacerlo por mar (Laguna superior del Golfo de Tehuantepec) y cruzar tres poblados para llegar a Juchitán (Imparcial, 2015).

Los mil pobladores de la agencia municipal de Santa María del Mar denunciaron que el 26 de noviembre del 2012, los pobladores de San Mateo del Mar cortaron cables de transmisión y derrumbaron algunos postes de distribución de energía eléctrica y, desde entonces, no gozan del servicio de luz eléctrica.

Debido al cierre del camino principal de Santa María del Mar y la falta de luz eléctrica, los habitantes de la comunidad no tienen el servicio de educación y de salud continuo porque, en temporada de viento fuerte, los maestros y médicos no pueden acudir por temor a una volcadura de lancha, Figura 28.

Para solucionar el problema de la luz eléctrica se adquirió una planta de luz eléctrica, lo cual les genera gastos excesivos, Figura 29.

Actualmente Santa María del Mar tiene una población de 1000 habitantes y 270 viviendas, pero el número de los habitantes está reduciendo, pues una solución que han tomado, ante esta problemática, es irse a vivir con algunos de sus parientes a los poblados aledaños; la mayoría de los pobladores se dedican a la pesca y, sin energía eléctrica, no tienen forma de preservar su mercancía (Revista America, 2016).

#### *Cruce de los habitantes de Santa María del Mar*



*Fuente: Periódico Istmeño*

*.Figura 28*

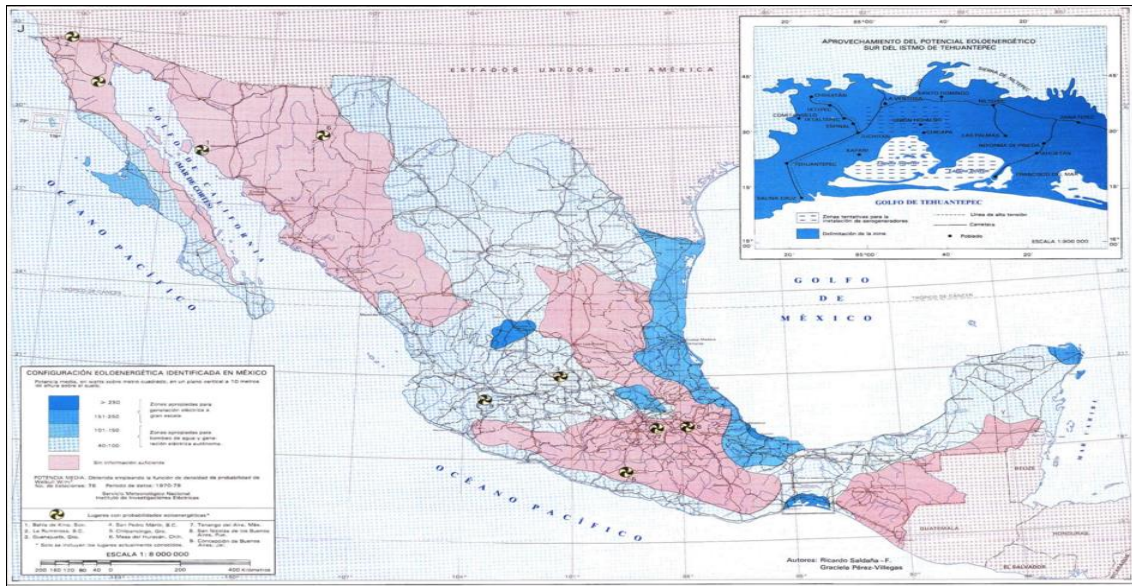


*Fuente Periódico Istmeño*

*Figura 29*

Una solución parcial a los problemas de la comunidad es producir la energía eléctrica mediante un generador eólico, dado que, de acuerdo con los resultados publicados en el Atlas of Oaxaca (Atlas de los recursos eólicos del estado de Oaxaca), Mapa 6 y 7 en agosto del 2003 por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos, Santa María del Mar cuenta con la disponibilidad y comportamiento requerido de los vientos en la zona.

## Áreas Eolo energéticas uso potencial.



Fuente Energía: producción consumo y recursos potenciales UNAM 2013.

Mapa 6

## Aprovechamiento del Potencial Eoloenergético, Istmo de Tehuantepec.



Fuente Energía: producción consumo y recursos potenciales UNAM 2013.

Mapa7

Para profundizar el estudio de la zona, englobaremos los aspectos ecológicos, hidrológicos, biodiversidad, fauna, avifauna, vegetación, clima, geología y análisis sísmológico, para poder determinar si se puede hacer uso del recurso eólico.

## Ecológicos

En la zona de estudio tenemos playas, marismas, estuarios, humedales, además de que se encuentra un área importante de migración de aves, por lo que los aerogeneradores se han venido adaptando para tratar de evitar, en lo posible, daños a las aves que migran de Norte América hasta Sudáfrica (en algunos casos) (Biodiversidad, 2016).

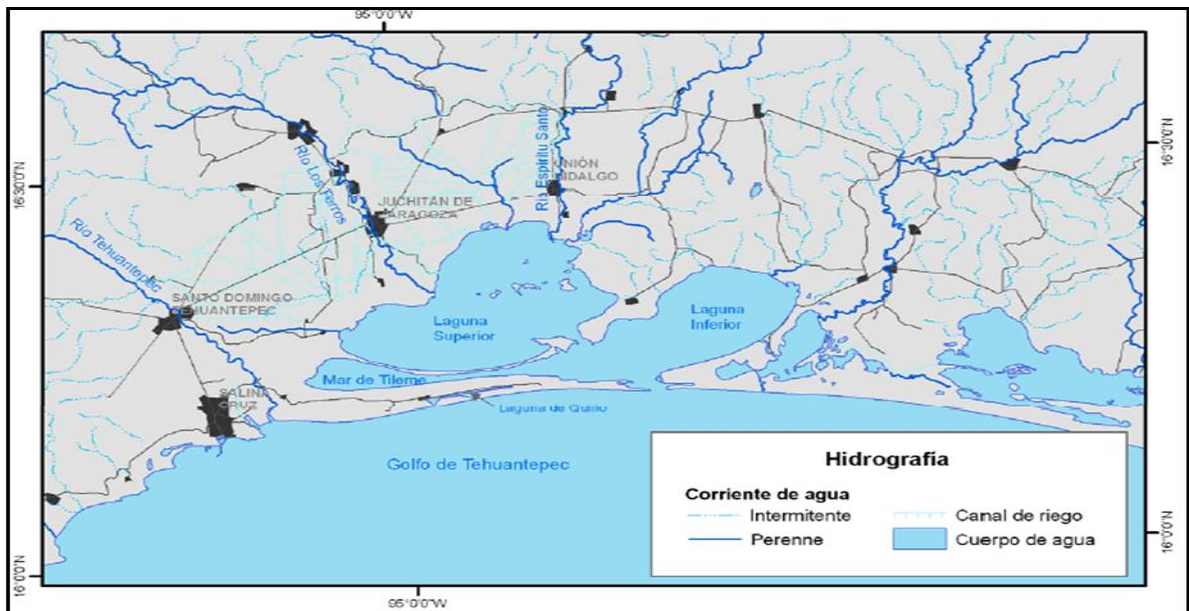
- **Playas:** La línea costera actúa como espacio de transición entre un gran cuerpo de agua y la tierra. Distintos materiales, incluyendo arena, guijarros y grava constituyen una playa. Éstos son depositados por los elementos tales como glaciares que se derritieron hacen miles de años o el agua que erosiona las rocas que hay en la costa o el coral.
- **Marisma:** Terreno pantanoso situado por debajo del nivel del mar, que ha sido invadido por las aguas del mar o de una ría.
- **Estuarios:** Tramo de un río de gran anchura y caudal que ha sido invadido por el mar debido a la influencia de las mareas y al hundimiento de las riberas; en algunos se acumulan extensos depósitos de fango mientras que otros se conservan relativamente libres por el efecto del retroceso de la marea.
- **Humedal:** Los humedales son zonas de transición entre los ecosistemas terrestres y los ecosistemas acuáticos y poseen una baja profundidad. Suelen encontrarse en llanuras inundadas muy próximos a los cursos de agua como los ríos o lagos que les proveen el líquido. No obstante, algunos humedales pueden parecer aislados, sin ningún cuerpo de agua cercano, pero en estos casos están conectados con aguas subterráneas, así que el agua de los humedales puede ser subterránea, cercana a la superficie del terreno o de escasa profundidad.

## Hidrológicos

La zona está rodeada por sus extremos norte y sur por agua lo que representa una zona con alta actividad hídrica, los cuerpos de agua involucrados son la Laguna Superior, la Laguna Inferior y el Mar Tileme en su parte norte y al sur por el Golfo de Tehuantepec, Mapa 8 nuestra propuesta no requiere un estudio hídrico, pues la zona donde se ubicarán los aerogeneradores será en tierra firme, respetando los causes y los cuerpos de agua intermitentes que se formen en el sitio.



## Rasgos Hídricos.



Fuente: Libro Eólico Oaxaca

Mapa 8

## Biodiversidad

Moluscos, equinodermos, crustaceos, peces, tortugas, aves, mamíferos marinos, manglares, plantas, algas, así como especies endémicas de peces como lo son la familia de gobiidae, labrisomidae, tripterygiidae y de aves, como la familia de sulidae.

En aspectos económicos, existe un mínimo de turismo, como ya se había mencionado anteriormente; Santa María del Mar tiene una zona pesquera activa a nivel local, con la explotación de algas (*Gracillaria* spp), peces, ostiones y crustáceos (camarón y langostino) las especies más sobresalientes de la pesca son el huachinango y el camarón.

## Fauna

La fauna es de una gran diversidad y está conformada por aves, peces, mamíferos, reptiles, crustaceos, moluscos, anfibios e insectos, Tabla 15.

Fauna principal de Santa María del Mar.	
Aves	Alcatraz, canario, calandria, carpintero, cenzontle, codorniz, correcaminos, chachalaca, guacamaya, gaviota, garza, gavilán, jilguero, paloma, pato nico, pelícano, perico, tecolote, tortolita, zanate y zopilote.
Peces	Bagre, besudo, blanca, lisa, curvina, mantarraya, mojarra plateada, robalo, pargo, pez globo, pez sapo, popoyote, roncador, sabalote, sierra y tonina
Mamíferos	Ardilla, armadillo, oso hormiguero, conejo, gato montés, comadreja, jabalí, liebre, leoncillo, mapaches, ratón, tlacuache, tuza, zorrillo y zorro.
Reptiles	Culebra, coralillo, escorpión, lagarto, camaleón, lagartija, iguana, tortuga marina, tortuga de agua dulce y salamandra.
Crustaceos	Camarón, cangrejo, calamar, langostino, jaiba roja y jaiba azul.
Moluscos	Abulón, caracol y ostión.
Anfibios	Sapo y rana
Insectos	Araña, tarántula, alacrán, comején y hormigas.

Fuente CONABIO

Tabla 15

## Avifauna

En este caso, como es indispensable tratar de preservar las especies de aves, profundizaremos en la avifauna de Santa María del Mar la cual se clasifica de la siguiente forma: se encontraron 81 especies residentes y 49 especies de categoría invernantes, 33 especies transeúntes y 3 especies como residentes de verano, dentro de las cuales destacan los carpinteros, pericos, faisanes, tucanes, chachalacas, tortolitas, perdices, loros, patos pichichi, palomas, calandrias y sanates y como depredadores aguillillas, gavilanes y zopilotes, Tabla 16.

Avifauna	N° de especies	Descripción.	Especies
Residentes	81	Se reproduce y vive dentro del mismo rango de todo el año.	Buteo albicaudatus.
Invernantes	49	Visitante que no se reproduce y está presente durante el invierno septiembre y mayo.	Accipiter cooperi.
Residente /invernante.	3	Una parte residente todo el año y otra parte durante el invierno	Cathartes aura.
Residente en verano		Se encuentran en la región únicamente durante la primavera y verano (marzo-agosto)	Rosthramus sociabilis.
Transeúntes	33	Visitante no se reproduce solo migración (abril-mayo)	Limosa haemastica.
Vagabundo		Fuera de su rango	Dendroica caerulea.
Total	166		

Fuente CONABIO.

Tabla 16





En la siguiente tabla se listan algunas de las especies que tiene algún tipo de protección especial por estar en peligro de extinción en Santa María del Mar, Tabla 17 y se muestran dos ejemplos en la Tabla 18.

*Especies protegidas.*

Nombre Científico	Nombre Común	Categoría.
Mycteria Americana	Ciguieña Americana	Protección especial
Chondrohierax uncinatus	Gavilan pico ganchudo	Protección especial
Ictinia mississippiensis	Milano de Misisipi	Protección especial
Accipiter striatus	Gavilan pecho rufo	Protección especial
Accipiter cooperi	gavilan de Cooper	Protección especial
Buteo albicaudatus	Aguililla cola blanca	Protección especial
Buteo anthracinus	Aguililla negra menor.	Protección especial
Buteo platypterus	Aguililla alas anchas.	Protección especial
Buteo swainsoni	Aguililla de Swainson.	Protección especial
Buteo albonotatus	Aguililla aura	Protección especial
Buteo lineatus	Aguililla pechiroja.	Protección especial
Falco peregrinus	Halcon peregrino.	Protección especial
Garceta rojiza	Egretta rufescens	Protección especial
Golondrina marina minima	Sterna antillarum	Protección especial
Tachybaptus dominicus	Zbullidor menor	Protección especial
Rosthramus sociabilis	Gavilan caracolero	Protección especial
Sterna antillarum	Golondrina marina menor	Protección especial
Ictinia plumbea	El milano plumizo	Amenazada
Aratinga holochlora/strenua	Perico verde-mexicano	Amenazada
Matraca nuca rufa	Campylorhynchus rufinucha	Amenazada
Oporornis tolmiei	Chipe de potosi	Amenazada
Colinus virginianus	Codorniz cotui	Peligro de extinción.

Fuente CONABIO. Tabla 17

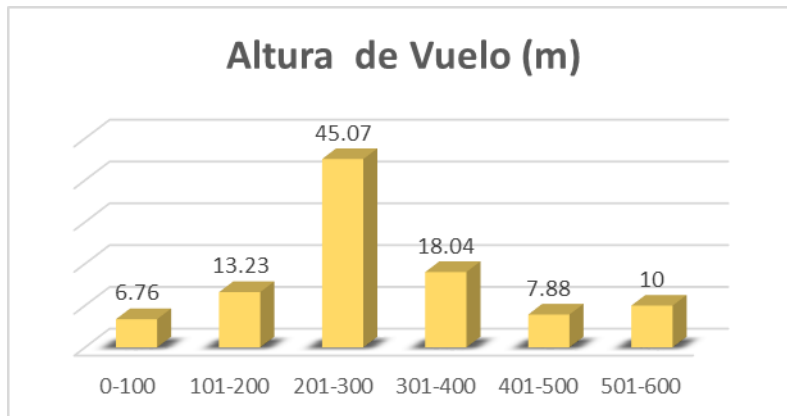
*Especies protegidas.*

Especie	Fotografía	Georeferencia .
Buteo albicaudatus. / Águila Cola Blanca Protección especial No endémica		
Accipiter cooperi / Gavilan de Cooper Protección especial No endémica		

Fuente CONABIO.

Tabla 18

Para proteger a la aves tenemos que determinar la altura de vuelo, para esto la CONABIO instaló 355 blancos de medicion de altura para las aves en Santa María del Mar, obteniendo los siguientes datos: un 6.76% vuelan a una altura menor a los 100m , 13.23 % de 101m a 200 m, un 45.07 % entre los 201m a 500 m, un 27.04% de 501m a 800m y un 7.88% de 801m a 1100 m, Grafica 3, Tabla 19 con este estudio se determinan las carateristicas de la altura del aerogenerador para reducir la mortalidad de las aves en esta zona y con esto ocasionar un menor impacto ambiental. (CONABIO, 2016)



Fuente CONABIO,

Grafica 3.

Altura de vuelo (m)	% de los Blancos.
0-100	6.76
101-200	13.23
201-300	45.07
301-400	18.04
401-500	7.88
501-600	10

Fuente CONABIO

Tabla 19

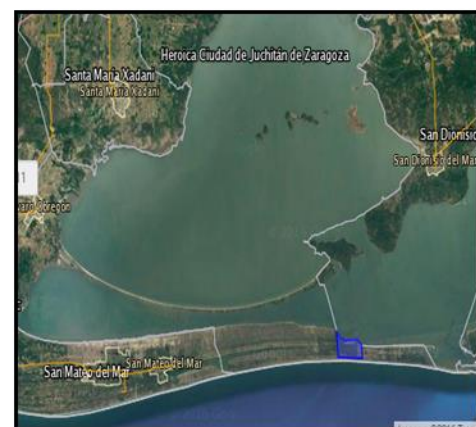
## Vegetacion

La vegetacion del lugar tiene una enorme diversidad, ahí se encuentra, por ejemplo: bosque tropical caducifolio, bosque espinoso, vegetacion halofita, vegetacion acuatica y subacuatica, palmar y manglar.

De acuerdo con el INEGI, tenemos diferentes tipos de suelo en la zona de estudio, tales como: uso agricola de humedal, agricola de temporal y manglar, donde se cultivan: huisache, guamuchil, palma real, guanascastle, mango, tamarindo, limon, cocotero, almendro, entre otros y árboles como gursina, caoba, guayacán, mexquite, cuajilote y brasil (INEGI, 2016).

Cabe destacar que ningun aerogenerador se ubicará dentro del suelo manglar Mapa 9, ya que la distancia más cercana a la que se ubicaría un aerogenerador tiene que ser de 100 metros de acuerdo a la NOM 022 SEMARNAT.





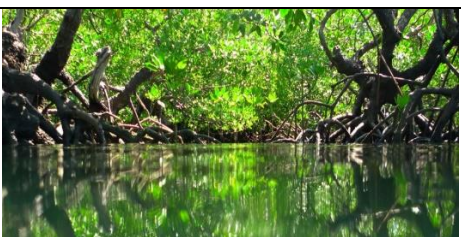
Ubicación del Manglar



Fuente: INEGI.

Mapa 9

En la Tabla 20 se ilustran 5 ejemplos de la vegetación mencionada.

<b>Vegetacion</b>	<b>Descripcion</b>	<b>Ilustracion.</b>
Bosque Tropical Caducifolio	El bosque tropical caducifolio o "selva seca". Áreas de pastoreo extensivo para las poblaciones humanas. Son el hábitat de los parientes silvestres de varios de los principales cultivos de México (maíz, frijol, calabaza).	
Bosque Espinoso	El bosque espinoso se caracteriza porque en su mayoría está compuesto de "árboles espinosos" Se desarrolla a menudo en lugares con clima más seco que el correspondiente al bosque tropical caducifolio	
Vegetación Halófito	Su distribución puede ser tanto terrestre como acuática, algunas de esas comunidades acuáticas halófilas soportan salinidades superiores a las que podemos encontrar en un medio marino.	
Vegetación Subacuática	Prospera bien en áreas de clima muy húmedo, la flora formada por las algas marinas bélicas es tropical con algunos elementos subtropicales que se extienden hacia el sur.	
Manglar	Prospera en las orillas de las lagunas costeras, de bahías protegidas y desembocaduras de ríos, en donde hay influencia de agua de mar	

Fuente CONABIO.

Tabla 20

## Geología.

La zona se le describe por tener, en su mayoría, una topografía predominante plana, que permite por ello la libre circulación de vientos del Golfo de México al Océano Pacífico, más específico hacia el Golfo de Tehuantepec, dentro de esta zona se encuentran rocas ígneas intrusivas, extrusivas y metamórficas Tabla 21.

Tipo de rocas	Ilustración
<p><b>Rocas Ígneas Intrusivas</b></p> <p>Son rocas formadas en el interior de la corteza terrestre cuando el magma se enfría bajo la superficie lo hace lentamente, permitiendo un mejor desarrollo de los cristales y por esto alcanzan tamaños que pueden ser observados a simple vista, generalmente abarcan grandes extensiones de terreno y llegan a la superficie mediante procesos orogénicos (deformaciones tectónicas) o mediante procesos externos de erosión.</p>	 <p>GABRO      PERIDOTITA</p> <p>GRANITO      SIENITA      DIORITA</p>
<p><b>Rocas Ígneas Extrusivas</b></p> <p>Formadas por el rápido enfriamiento de la lava. Las rocas volcánicas típicas son formadas por el rápido enfriamiento de lava, este proceso ocurre cuando en magma es expulsado por los volcanes; ya en la superficie y al contacto con la temperatura ambiental, se enfría rápidamente desarrollando pequeños cristales que forman rocas de grano fino no apreciables a simple vista.</p>	 <p>RIOLITA      TRAQUITA</p> <p>ANDESITA      BASALTO</p>
<p><b>Matamórficas</b></p> <p>Las rocas metamórficas (del griego <i>meta</i>, cambio, y <i>morphe</i>, forma, "cambio de forma") resultan de la transformación de rocas preexistentes que han sufrido ajustes estructurales y mineralógicos bajo ciertas condiciones físicas o químicas, o una combinación de ambas, como son la temperatura, la presión y/o la actividad química de los fluidos.</p>	 <p>PIZARRA      GNEIS</p> <p>ESQUISTO MICÁCEO      FILITA</p>

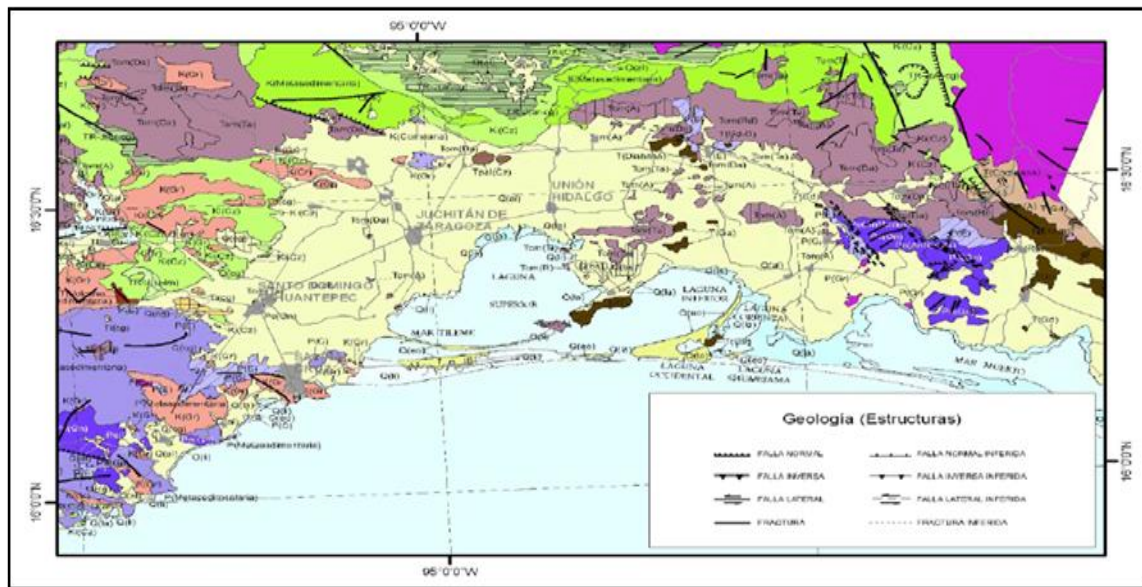
Fuente: Instituto de Geología de la UNAM.

Tabla 21

## Análisis Sismológico.

La región del Istmo de Tehuantepec es considerada como una zona sísmica debido al dinamismo de la Placa de Cocos y la influencia de la Placa del Caribe, para poder realizar cualquier proyecto de ingeniería, es necesario realizar una proyección de peligro (análisis sismológico) para un mejor desempeño del proyecto, Mapa 10.

*Mapa Geológico.*



*.Fuente Instituto de Geología de la UNAM.*

*Mapa 10*

Se define como Peligrosidad Sísmica, la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros: aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados.

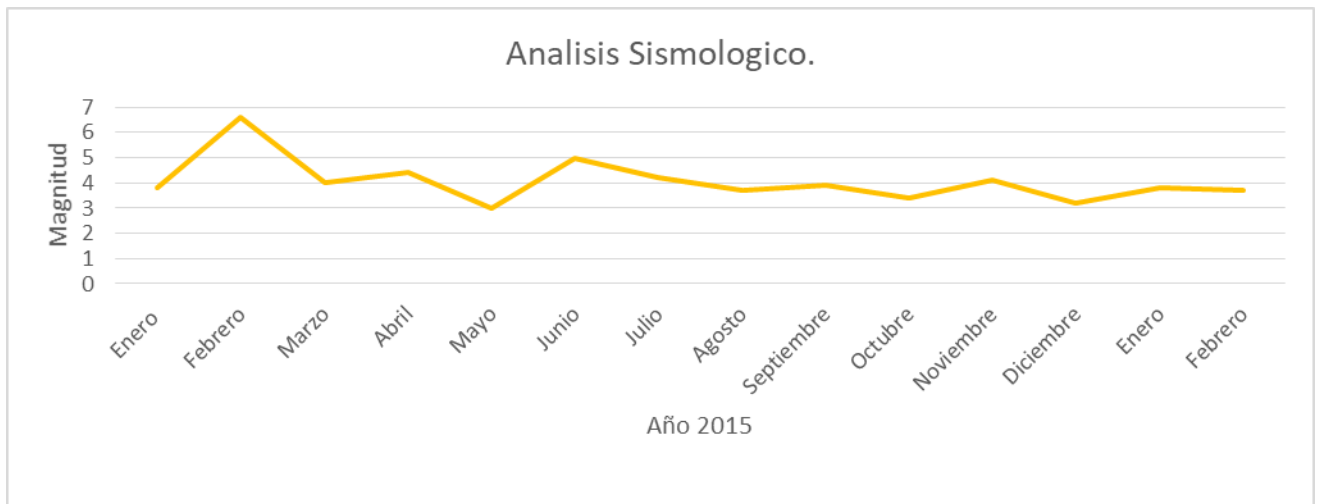
Para el proyecto de Santa María del Mar de la Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza (Oaxaca), de enero del 2015 a febrero de 2016, el Servicio Simológico Nacional reportó un total de 181 eventos, de los cuales 5 de ellos han tenido una magnitud menor a 5, uno de ellos de magnitud 6, y otros de menor intensidad, los cuales pasaron desapercibidos (UNAM, 2016)

En la siguiente Tabla 22 y gráfica 4 se muestran los valores promedio de cada evento, con esto se obtuvo una idea del riesgo de daño sísmico en la región de estudio.

2015-2016														
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Magnitud	3.8	6.6	4	4.4	3	5	4.2	3.7	3.9	3.4	4.1	3.2	3.8	3.7

Fuente: Servicio Sismológico de Oaxaca

Tabla 22



Fuente Servicio Sismológico de Oaxaca

Gráfica 4



### 3.2.1 ANÁLISIS DEL ÁREA DE INSTALACIÓN.

Para poder determinar la capacidad del parque eólico necesitamos analizar detalladamente el consumo que esta comunidad pueda tener, para esto tomamos en cuenta las 270 viviendas, las tres escuelas, la biblioteca, la presidencia, el kiosco y el alumbrado público.

En cada vivienda se tienen 3 luminarias de 100 (Watts), 4 receptáculos de 15 (Amperes) y algunos aparatos eléctricos, en el caso de refrigeradores, solamente 108 viviendas cuentan con uno. El consumo por vivienda se determinó de acuerdo a lo establecido por la NOM--001-SEDE-2012 Instalaciones Eléctricas.

La capacidad máxima en los receptáculos es de

$$P = VI = 127(15) = 1905 (W)$$

El consumo promedio de cada electrodoméstico se tomó de acuerdo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico, conforme lo establece la Comisión Federal de Electricidad, mediante lo siguiente, Tabla 23.

Al cocinar	Potencia (W)	Al convivir	Potencia (W)	Al descansar	Potencia (W)	En el aseo	Potencia (W)
Refrigerador estándar	575	Televisor a color.	150	Ventilador	100	Máquina de coser	125
Horno de microondas	1200	Videocasetera o DVD.	25	Secadora de pelo.	825	Aspiradora	1200
Licuada	350	Computadora	150	Calefactor	1300	Plancha	1200
Horno eléctrico	950	Estéreo	75	*	*	Radio	15
Batidora Manual	140	Aire acondicionada	2950	*	*	Bomba	400
Cafetera	700	*	*	*	*	Lavadora	375
Extractor de Jugos	250	*	*	*	*	*	*
Parrilla eléctrica	850	*	*	*	*	*	*
Tostador eléctrico	900	*	*	*	*	*	*
Exprimidor de cítricos	35	*	*	*	*	*	*
Cuchillo eléctrico	95	*	*	*	*	*	*
Total.	6045	Total.	3350	Total.	2225	Total.	3315

Fuente CFE.

Tabla 23

En este caso no todos los electrodomésticos son utilizados en la comunidad de Santa María del Mar, los utilizados son los siguientes Tabla 24:

Aparatos electrodomésticos	Potencia W
Licadora	350
Televisor a color.	150
Videocasetera o DVD.	25
Plancha	1200
Radio	15
Refrigerador	575

Fuente INEGI / Tabla 24

De acuerdo a la NOM-001, para los aparatos eléctricos fijos se aplica el 75% de la carga total conectada.

En las tablas se muestra el consumo por cada uno de los conceptos mencionados.

Por cada vivienda se tiene 3 luminarias de 100 (W), por lo cual multiplicamos 3 luminarias por 270 viviendas por 100 (W) y esto nos da como resultado de 81000 (W), en este caso no se tiene ningún factor en la NOM-001 para luminarias Tabla 25.

Electrodomésticos	Unidades	W por unidad	NOOM	w totales	Horas	kWh /día
Licadora	270	350	262.5	70875	0.3	21.2625
Televisor a color.	270	150	112.5	30375	5	151.875
Videocasetera o DVD.	270	25	18.75	5062.5	2	10.125
Plancha	270	1200	900	243000	0.3	72.9
Radio	270	15	11.25	3037.5	4	12.15
Refrigerador	108	575	431.25	46575	2	93.150
bombas	270	373	373	100710	0.3	30.213
Luminarias	810	25	20250	20250	8	162

Fuente: Propia.

Tabla 25

En Santa María del Mar hay tres escuelas, una Preescolar, Ricardo Flores Magón, una primaria, Lázaro Cárdenas y una Telesecundaria. Tabla 26.

Escuelas	Electrodomésticos	Unidades	W por unidad	NOOM	w totales	Horas	kWh /día
Prescolar	Luminarias	6	60	360	360	12	4.32
	Radio	1	15	11.25	11.25	8	0.09
Primaria	Luminarias	9	25	225	225	12	2.7
	Amplificador	1	100	100	100	2	0.2
Telesecundaria	Luminarias	6	60	360	360	12	4.32
	Radio	1	15	11.25	11.25	8	0.09

Fuente: Propia.

Tabla 26

También se cuenta con una biblioteca comunitaria, un kiosco y la Presidencia Municipal Tabla 27.

Áreas	Electrodomésticos	Unidades	W por unidad	NOOM	w totales	Horas	kWh /día
Biblioteca	focos	4	60	240	240	8	1.92
Kiosco	focos	2	60	120	120	8	0.96
Presidencia	focos	12	60	720	720	8	5.76

Fuente: Propia.

Tabla 27

Para el alumbrado público, el número de luminarias existentes, su potencia y su ubicación fueron proporcionados por Proyectos de Ahorro de Energía (PAE) en la tabla siguiente se muestra esta información, Tabla 28.

Calles de Santa María Del Mar	Unidades	Potencia (W)
CRISTOBAL COLON	8	150
ACCESO PRINCIPAL A SANTA MARIA DEL MAR	4	150
BENITO JUAREZ	8	150
CALVARIO	8	150
EMILIANO ZAPATA	6	150
FRANCISCO I. MADERO	5	150
GALEANA	6	150
LIMITE NORTE	7	150
LIMITE SUR	8	150
MATAMOROS	5	150
MIGUEL HIDALGO	5	150
NINOS HEROES	5	150
PACIFICO	1	150
VICENTE GUERRERO	8	150
Total	84	2100

Fuente: PAE (Proyectos de Ahorro de Energía).

Tabla 28.

Teniendo en cuenta toda esta información de demanda, se determinó el consumo total de la comunidad, el cual se muestra en la Tabla 29.

Demanda y Consumo de Santa María Mar.								
						Demanda		Consumo
Viviendas	270	Electrodomésticos	Unidades	W por unidad	NOOM	w totales	Horas	kWh /día
		Licuadaora	270	350	262.5	70875	0.3	21.2625
Televisor a color.	270	150	112.5	30375	5	151.875		
Videocasetera o DVD.	270	25	18.75	5062.5	2	10.125		
Plancha	270	1200	900	243000	0.3	72.9		
Radio	270	15	11.25	3037.5	4	12.15		
Refrigerador	108	575	431.25	46575	2	93.15		
bombas	270	373	373	100710	0.3	30.213		
Focos	810	25	20250	20250	8	162		
Escuelas	Prescolar	Focos	6	60	360	360	12	4.32
		Radio	1	15	11.25	11.25	8	0.09
	Primaria	Focos	9	25	225	225	12	2.7
		Amplificador	1	100	100	100	2	0.2
	Telesecundaria	Focos	6	60	360	360	12	4.32
		Radio	1	15	11.25	11.25	8	0.09
Biblioteca	1	Focos	4	60	240	240	8	1.92
Kiosco	1	Focos	2	60	120	120	8	0.96
Presidencia	1	Focos	12	60	720	720	8	5.76
Totales						522032.5		574

Fuente: Propia

Tabla 29

En el caso del alumbrado público se consideraron lámparas de 70 W, pues es lo que se está manejando en la modernización del alumbrado público que se está llevando a cabo por medio del Gobierno del Estado de Oaxaca, Tabla 30.

Luminarias de Santa María del Mar						
Calles de Santa María Del Mar	Unidades	Potencia Instalados (W)	Potencia Propuesta (W)	Horas	Watts-hora/día Instalados	Watts-hora/día Propuestos
CRISTOBAL COLON	8	150	70	12	14400	6720
ACCESO PRINCIPAL A SANTA MARIA DEL MAR	4	150	70	12	7200	3360
BENITO JUAREZ	8	150	70	12	14400	6720
CALVARIO	8	150	70	12	14400	6720
EMILIANO ZAPATA	6	150	70	12	10800	5040
FRANCISCO I. MADERO	5	150	70	12	9000	4200
GALEANA	6	150	70	12	10800	5040
LIMITE NORTE	7	150	70	12	12600	5880
LIMITE SUR	8	150	70	12	14400	6720
MATAMOROS	5	150	70	12	9000	4200
MIGUEL HIDALGO	5	150	70	12	9000	4200
NINOS HEROES	5	150	70	12	9000	4200
PACIFICO	1	150	70	12	1800	840
VICENTE GUERRERO	8	150	70	12	14400	6720
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>2100</b>	<b>980</b>		<b>151200</b>	<b>70560</b>

Fuente: Propia.

Tabla 30.

En resumen, el consumo total de Santa María del Mar es Tabla 31 y 32.

Consumo total de Santa María del Mar	kWh /día
Vivienda	574
Alumbrado publico	70.560
<b>Total</b>	<b>644.5</b>

Fuente: Propia.

Tabla 31.

kWh/d	kWh/SEMANA	MWh/MES	MWh/AÑO
<b>644.5</b>	4511.5	19.335	235.2425

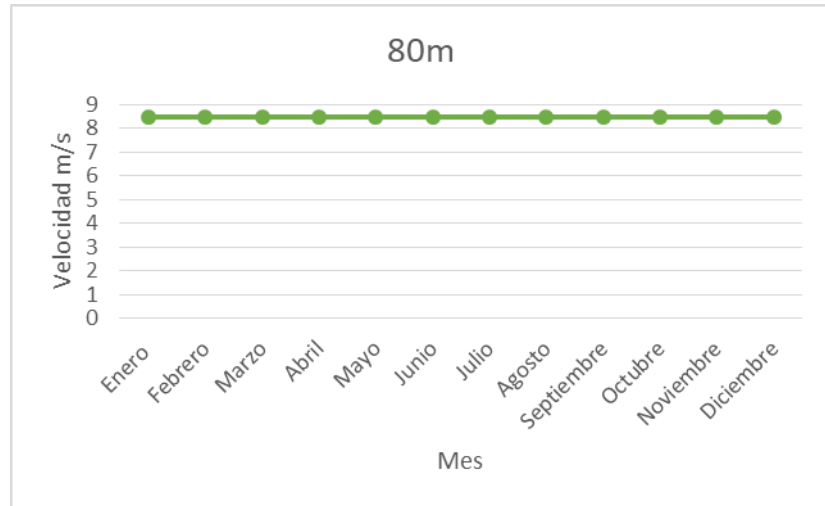
Fuente: Propia.

Tabla 32.

El siguiente paso fue verificar el potencial eólico y el factor de planta, para esto nos apoyamos en el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), que se encargó de analizar el recurso eólico de la zona, a la que este instituto le otorgó la categoría 7 y un factor de planta del 0.42, la información proporcionada se muestra en las siguientes gráficas 5 y Tabla 33.

Velocidad del viento m/s	
Mes	80 m
Enero	8.5
Febrero	8.5
Marzo	8.5
Abril	8.5
Mayo	8.5
Junio	8.5
Julio	8.5
Agosto	8.5
Septiembre	8.5
Octubre	8.5
Noviembre	8.5
Diciembre	8.5

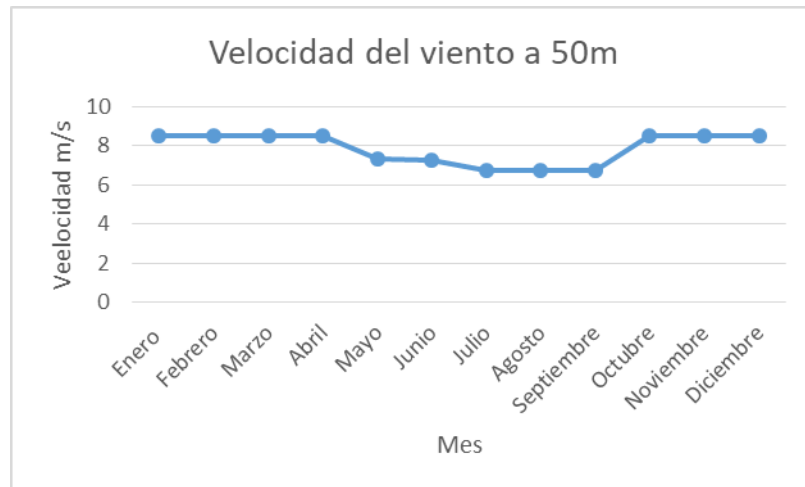
Fuente: INEEL/ Tabla 33



Fuente: INEEL/ Grafica 5

Tabla 1 Velocidad del viento m/s	
Mes	50m
Enero	8.5
Febrero	8.5
Marzo	8.5
Abril	8.5
Mayo	7.3
Junio	7.25
Julio	6.75
Agosto	6.75
Septiembre	6.75
Octubre	8.5
Noviembre	8.5
Diciembre	8.5

Fuente: INEEL. / Tabla 34



Fuente: INEEL. /Grafica 6.

Para determinar la capacidad neta, demanda máxima, se suma la demanda de todos los electrodomésticos o aparatos más utilizados en el transcurso del día, como son los televisores, los refrigeradores, las luminarias y el alumbrado público, la capacidad neta es, aproximadamente, 500 KW, Tabla 35.

Capacidad Neta kW	
Tv	151.875
Refrigeradores	93.150
Focos	181.980
Alumbrado publico	70.560
Totales	497.565

Fuente: INEEL.

Tabla 35

Posteriormente determinamos el factor de consumo, este nos proporciona los horarios máximos y mínimos de consumo en el transcurso del día, en la gráfica siguiente, que nos facilitó el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), se muestra el factor de consumo para la zona sureste. Grafica 7 (INEEL, 2016).

Curva de Demanda Promedio de la zona Sureste de México.



Fuente: INEEL

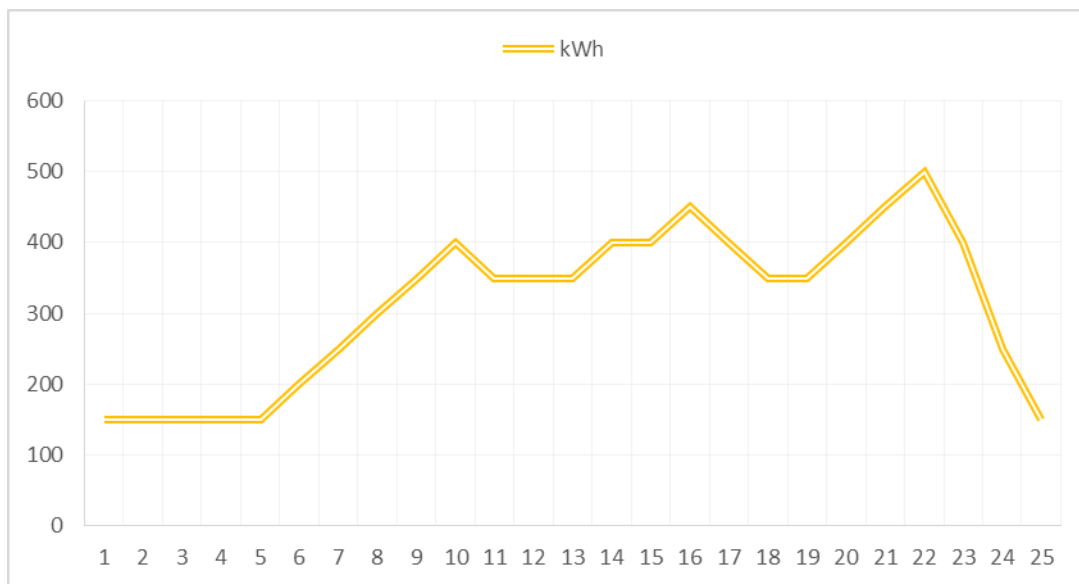
Grafica 7

Los valores del factor de consumo se estimaron, pues no se tiene bien definida la curva de demanda promedio para Santa María del Mar, Tabla 36 con el factor de consumo y la capacidad neta podremos determinar el consumo durante un día de Santa María del Mar, Grafica 8 y con esto podremos seleccionar el aerogenerador más adecuado para el autoconsumo de la comunidad,

Curva de Consumo. kW																									
Horario	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
FC	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1	0.8	0.5	0.3
kWh	150	150	150	150	150	200	250	300	350	400	350	350	350	400	400	450	400	350	350	400	450	500	400	250	150

Fuente: Propia

Tabla 36



Fuente: Propia

Grafica 8

Con todo lo anterior se determinó que, para satisfacer los requerimientos de energía eléctrica de la zona, tanto actuales como los de un futuro cercano, lo más conveniente es un generador eólico de 850 kW. En la curva de demanda, arriba mostrada, se observa que el valor máximo es de 500 kW y ocurre entre las 20 y 21 horas. Las características del aerogenerador se dan en el siguiente capítulo.



## Bibliografía

- AMDEE. (Diciembre de 2016). <http://www.amdee.org/>. Obtenido de <http://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2016>: <http://www.amdee.org/mapas/parques-eolicos-mexico-2016>
- America, P. d. (2016). <http://mexico.pueblosamerica.com/>. Obtenido de <http://mexico.pueblosamerica.com/i/santa-maria-del-mar/>
- Biodiversidad. (2016). <http://www.biodiversidad.gob.mx/>. Obtenido de <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/>
- CONABIO. (2016). <https://www.gob.mx/conabio>. Obtenido de <http://avesmx.conabio.gob.mx/>
- imparcial, E. (2015). <http://imparcialoaxaca.mx/>. Obtenido de <http://imparcialoaxaca.mx/istmo/7iy/problemas-territoriales-merman-educaci%C3%B3n-en-santa-mar%C3%ADa-del-mar>
- INECOL. (2016). <http://www.inecol.mx/>. Obtenido de <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/investigacion>
- INEEL. (25 de Noviembre de 2016). <http://www.ineel.mx/inicio.html>. Obtenido de <http://www.ineel.mx/inicio.html>
- INEGI. (2016). <http://www.inegi.org.mx/>. Obtenido de <http://mapserver.inegi.org.mx/ambiental/map/indexV3FFM.html>
- INEGI. (2016). <http://www.inegi.org.mx/>. Obtenido de <http://mapserver.inegi.org.mx/ambiental/map/indexV3FFM.html>
- INEGI. (2016). <http://www.inegi.org.mx/>. Obtenido de <http://mapserver.inegi.org.mx/ambiental/map/indexV3FFM.html>
- PAE. (2016). *Santa Maria del Mar*. Mexico: UNAM.
- Ricardo Henestroza Orozco. (2007). Centrales Eolicas en el Itsmo de Tehuantepec ,su impacto ambietal y socioecoomico. En Ricardo Henestroza Orozco, *Centrales Eolicas en el Itsmo de Tehuantepec*. Oaxaca: Universidad del Itsmo.
- Sitton, S. N. (2016). *El impacto social del uso del recurso eolico* . Oaxaca: Centro de investigaciones y Estudios Superiores en Antropologia Social, Unidad Pacifico Sur.
- UNAM. (Diciembre de 2016). <http://www.ssn.unam.mx/>. Obtenido de <http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía.*
- <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/>
- <http://qaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jE2LjIwNDk1LGxvbjotOTQuNzk4NzQsejo4LGw6YzExMXNlcnZpY2lvc3x0YzExMXNlcnZpY2lvcw==>

*Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias.*

<http://www.ineel.mx/inicio.html>

*Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, (CONABIO).*

<http://www.conabio.gob.mx/>

*Atlas Eólico del Estado de Oaxaca.*

*Libro Eólico de Oaxaca.*

*AMDEE (Asociación Mexicana de Energía Eólica)*

<http://www.amdee.org/>

*Instituto de Geología de la UNAM.*

<http://www.geologia.unam.mx/>

*Servicio Sismológico de Oaxaca*

<http://www.oaxaca.gob.mx/tag/sismologico/>

*Comisión Federal de Electricidad.*

<http://www.cfe.gob.mx/>

---

## *Capítulo 4*

---

### **Instalación, operación y mantenimiento.**

En este capítulo haremos un estudio de mercado con el fin de conseguir al proveedor que se ajuste más a las necesidades de Santa María del Mar; una vez teniendo definido al proveedor analizaremos los procesos y los requisitos para instalar el generador en la zona de estudio, asimismo los requerimientos para su operación y el mantenimiento para que este tenga un perfecto funcionamiento y cumpla con el objetivo principal que es el de autoabastecimiento para dicha comunidad.

## 4.1. Selección del proveedor.

En la actualidad existe un mercado extenso de fabricantes de generadores eólicos, desatacándose mundialmente los europeos los cuales están enfocados a la fabricación de generadores de capacidad mayor a 1 MW, dado que la demanda de la comunidad de Santa María del Mar es alrededor de 500 kW, fue necesario buscar fabricantes de generadores de pequeño tamaño, localizando un productor en España, especializado en este tipo de aerogeneradores, el generador que seleccionamos fue uno de 850 KW.

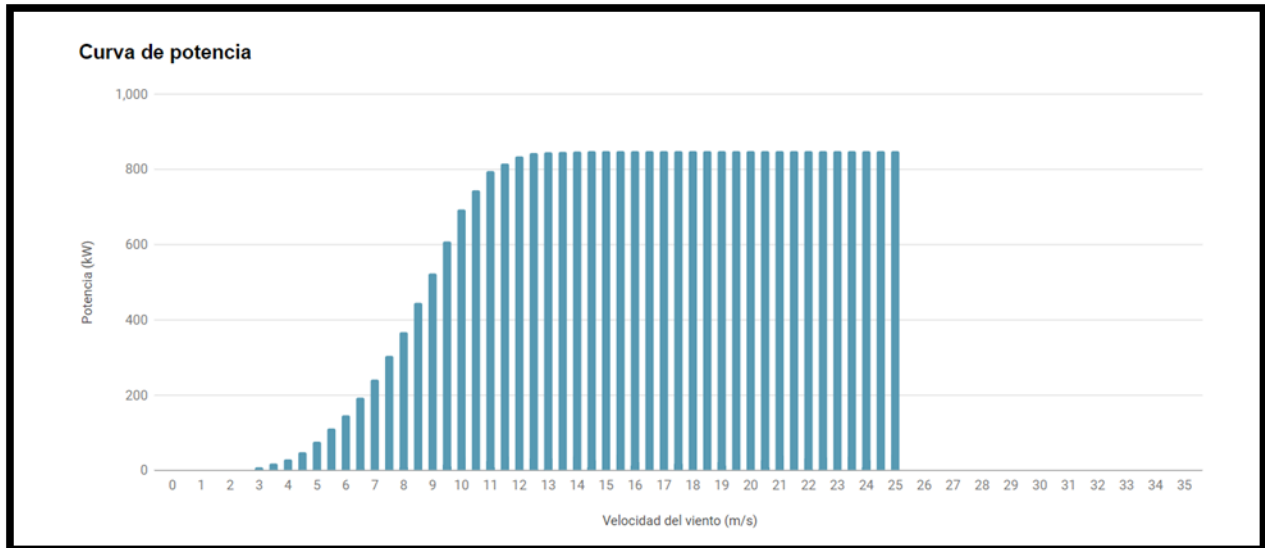
Una vez contactado el fabricante, este solicitó las características del generador requerido: capacidad, condiciones geográficas y climáticas de la zona y velocidad promedio del viento, con esta información propuso un equipo adecuado a tales condiciones, el cual está de acuerdo con las principales normas de diseño establecidas por The International Electrotechnical Commission (IEC) y con la publicación de IEC Wind Turbine Generation Systems, Part 1, Safety Requirements, estas normas se presentan en la Tabla 37.

Normas	Descripción
IEC 61400-1	Design requirements.
IEC 61400-2	Small wind turbines
IEC 61400-3	Design requirements for offshore wind turbines
IEC 61400-4	Design requirements for wind turbine gearboxes
IEC 61400-5	Wind turbine rotor blades
IEC 61400-11	Acoustic noise measurement techniques
IEC 61400-12-1	Power performance measurements of electricity producing wind
IEC 61400-13	Measurement of mechanical loads
IEC 61400-14	Declaration of apparent sound power level and tonality values
IEC 61400-21	Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines.
IEC 61400-22	Conformity testing and certification
IEC 61400-23	Full-scale structural testing of rotor blades
IEC 61400-24	Lightning protection
IEC 61400-25	Communications for monitoring and control of wind power plants
IEC 61400-27	Electrical simulation models

Fuente: IEC

Tabla 37

En la Grafica 9 se observa el comportamiento de la potencia generada en relación con la velocidad del viento el cual muestra que la potencia neta generada por el aerogenerador es de 850 KW.



Fuente: *The wind power*

Grafica 9.

Además, el aerogenerador pertenece a la clase A diseñado para trabajar en un amplio rango de velocidades del viento, con tecnología de paso y velocidad variable; las palas son muy ligeras, ya que están hechas de fibra de vidrio y laminados preimpregnados (fibras de refuerzo impregnadas con una resina termoestable). Cuenta con: un sistema de control para minimizar el ruido emitido, equipo de monitorización y control remoto con acceso a la web (Windnet) y con un sistema de protección contra rayos, de acuerdo con la norma IEC 6124-1, asimismo con los requisitos necesarios para conectarse a la red.

En conclusión, este generador satisface los requerimientos para abastecer de energía eléctrica a la comunidad de Santa María del Mar, por lo que será el que se considere en este trabajo.

## 4.2 Instalación del sistema eólico.

### Obra Civil

Para la realización del proyecto eólico se debe considerar que, para el transporte del equipo y los materiales del generador hasta la zona de implantación se requiere habilitar los caminos, (Figura 30) para esto deben tomarse en cuenta los siguientes criterios técnicos exigibles para el trazado de vialidades: radios de curvatura mínimos, pendientes, anchos y sobre anchos. Y tomar en cuenta el tamaño de la torre del aerogenerador, la cual se suministra en dos o tres tramos



Fuente Vestas

Figura 30

Algunos de los caminos tendrán carácter provisional, limitándose su uso a esta primera fase de ejecución de las instalaciones. Otros, sin embargo, constituirán las pistas de acceso para el mantenimiento y control operacional que deban realizarse durante la vida útil del parque. En ambos casos, las acciones genéricas habitualmente presentes en su proceso de construcción son las siguientes:

- Balizamiento de las zonas de trabajo, restringiendo la circulación de vehículos externos a la obra.
- Adecuación de superficies de acopio de materiales
- Despeje y desbroce: eliminación de la vegetación de porte arbóreo y arbustivo para limpiar la superficie objeto de convertirse en la calzada y las cunetas del vial.
- Explanación y movimiento de tierras: para la adecuación del terreno. Los volúmenes de movimiento de tierras dependerán de la orografía del terreno y de la geotecnia de los materiales en cada caso, siendo habitualmente mayores en las actividades de desmonte y terraplenado.
- Realización del firme: empleo de materiales de construcción no asfálticos.
- Eliminación de los materiales sobrantes y de las instalaciones provisionales.



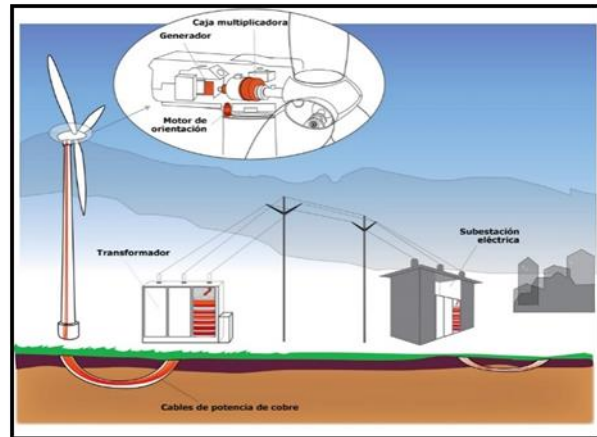
Fuente Vestas

Figura 31

Una acción coexistente con las anteriormente descritas, y partícipe de todas ellas, es la del empleo de maquinaria pesada y de otros vehículos de menor envergadura, Figura 31, para los cuales se requiere el trasiego y almacenamiento de aceites y combustibles.

## Obra Electromecánica

Red subterránea para el monitoreo de los circuitos internos del equipo y que conectan la salida del generador a la caceta de monitoreo donde se instaló en transformador que vamos a utilizar, la red de media tensión la utilizaremos para la puesta en marcha y para la conexión con la subestación de Juchitán. Para esto necesitamos la elaboración de zanjas para el cableado de aproximadamente un metro de profundidad y de 40 cm de ancho con su respectiva cinta de peligro, Figura 32.



Fuente: Vestas

Figura 32

El generador deberá tener un sistema de tierras, con excavación de una zanja de 1 m de profundidad por 0,40 m de anchura, colmada con tierra vegetal y material procedente de la propia excavación. El resto se rellena con diferentes capas de materiales, como arenas, grava y cinta señalizadora.

## Montaje del aerogenerador

Lo primero que se monta es la torre, para lo cual se cava un pozo de planta cuadrada, con unas dimensiones mínimas de 8 m de lado y entre 2,5 y 6 m de profundidad aproximada, en el que se construye un pedestal macizo de hormigón, generalmente de planta octogonal, de unos 3 m de lado y más de 1 m de altura, sobre el que se coloca la torre. Figura 33.



Fuente Vestas

Figura 33

Las torres por su gran tamaño no son fabricadas de una sola pieza, se componen de varias secciones que van desde los 4 a los 16 metros de altura y se acoplan por medio de bridas y unión de pernos, Figura 34. Para las uniones de las distintas secciones es recomendable hacerlas en tierra, para levantar una sola pieza y acoplarla a la base del cemento por medio de una grúa de tamaño apropiado.



Fuente: Vestas

Figura 34

- Montaje de la góndola.

Con la torre en pie se procede a subir la góndola con la grúa adecuada y acoplarla con la torre mediante bridas y con pernos, está instalación la lleva acabo el proveedor.

- Montaje del rotor.

Este componente es el más complicado de instalar, pues el viento representa un factor importante, es por esta razón que el rotor se deberá instalar con el mínimo de viento posible. Para evitar e el movimiento de las aspas, durante el montaje, estas se deberán sujetar por medio de cuerdas.

### Instalación eléctrica

El aerogenerador se ubicará en el sitio señalado en el Mapa 11, es el lugar que los habitantes de Santa María le otorgarán, si es que se realiza el proyecto.



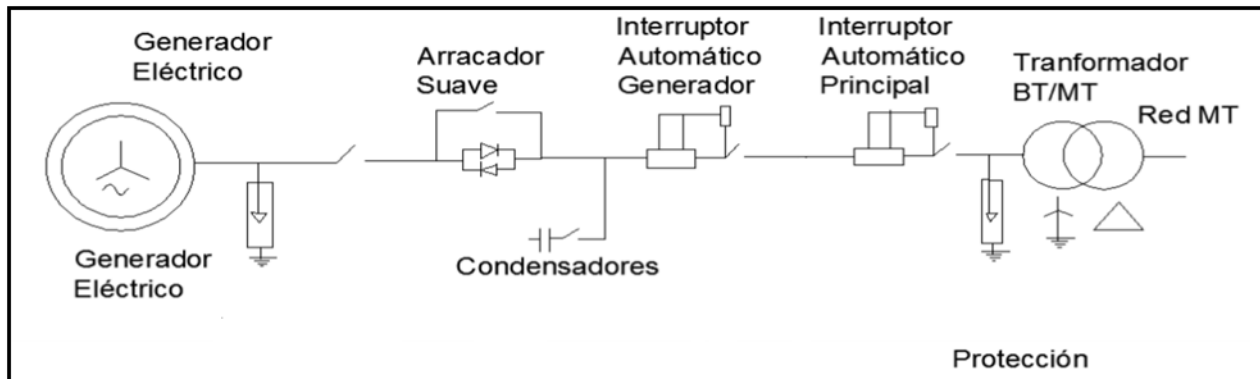
Figure Fuente Maps.

Mapa 11

El generador seleccionado es de inducción (asíncrono), conectado a la red de media tensión, como se muestra en el diagrama de la Fig. 35. La red de media tensión se conectará a la red de CFE por medio de una línea de 23 KV existente que pasa por San Mateo de Mar y esta, a su vez, se conecta a la subestación Juchitán II.



La interconexión del sistema eólico con la línea de 23 kV.



Fuente: Ingeniería de la energía eólica

Figura 35

Generador eléctrico: este genera a una tensión de 690 V entre fases.

Protección de sobretensiones (Apartarrayos) producidas por las descargas atmosféricas o por maniobras en la red.

Arrancador suave: formado por elementos de electrónica (Tiristor o transistor IGBT) esto facilita un acoplamiento entre el generador y la red evitando con esto la puntas de corriente y de par.

Capacitores: Se coloca un banco de capacitores para el suministro de potencia reactiva al generador (regulación de la potencia reactiva).

Interruptor automático principal: Este protege y separa el circuito de generación del circuito de consumo exterior.

Transformador de baja tensión / media tensión: Transformador situado generalmente al pie de la torre del aerogenerador eleva la tensión de 690 V BT a 23 KV MT para poder acoplar con la red de media tensión y esta a su vez transportar la energía de la subestación de media a la de alta tensión. Como la capacidad del generador es de 850 KW y el factor de potencia del generador es de 0.8, la potencia en KVA es:

$$\frac{850 \text{ KW}}{0.8} = 1062.5 \text{ KVA}$$

Tenemos un resultado de 1062.5 KVA, pero como los transformadores comerciales son de 1000 KVA y 1250 KVA se seleccionará el segundo con las características de que soporte las inclemencias de la zona de estudio, como la humedad y la salinidad.

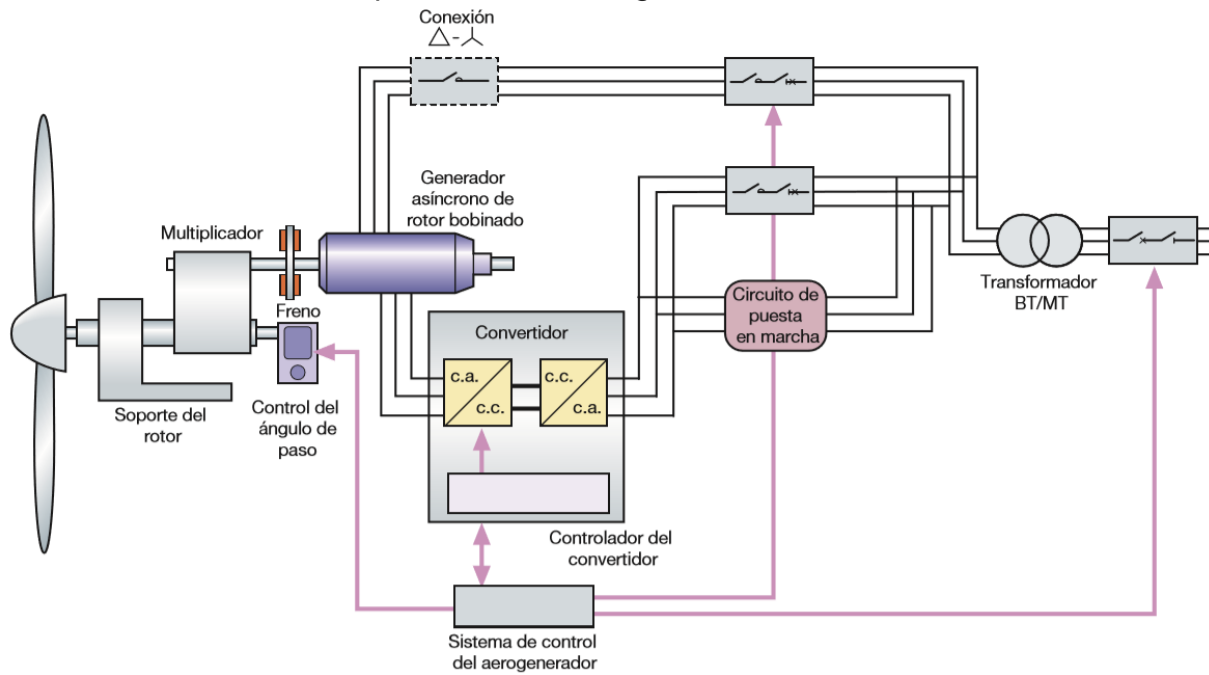
Otro punto importante en el análisis eléctrico del sistema de potencia, es el siguiente, como tenemos un generador de inducción (asíncrono), doblemente alimentado, estos

operan con los mismos principios que un generador de inducción convencional con rotor bobinado (wound rotor), solo que en este caso se le agregan circuitos de electrónica de potencia para su control.

El generador doblemente alimentado tiene la característica que, entre el rotor del generador asíncrono y la red se interpone un convertidor electrónico de potencia, Primero convierte a continua la potencia en corriente alterna en el rotor mediante un rectificador controlado y luego la reconvierte en alterna a la frecuencia nominal mediante un inversor Figura 36.

Los beneficios del manejo de este tipo de máquinas son los siguientes

- Permite el funcionamiento a velocidades variables
- Regulación independiente de la potencia activa y reactiva
- Pérdidas menores que con otras configuraciones



Fuente:ABB / Figura 36

- Protecciones.

Como bien sabemos, el viento es un recurso variable y aleatorio, es por esta razón que los elementos mecánicos y eléctricos que se emplean en este tipo de proyectos deberán tener las protecciones necesarias para garantizar la máxima continuidad del suministro de la energía, estas ya vienen incluidas en el equipo.

Protección total contra rayos, IEC 6124-1 Lightning protección, este sistema conduce el rayo desde la punta de ambas caras de la pala, recorriendo la estructura de la torre, hasta el sistema de puesta a tierra, de esta forma evitaremos que los elementos sensibles se dañen.

Cuenta con un freno primario aerodinámico en las palas, adicionalmente un freno mecánico de disco hidráulicamente activado de emergencia, situado en la salida del eje de alta velocidad de la multiplicadora.

El esquema de protección está compuesto por los siguientes relevadores:

Protección de temperatura de los devanados, 49G

Protección térmica por sobre corrientes de los devanados, 51G

Protección térmica del sistema de excitación del generador, 51F

Protección diferencial del generador, 87G

Respaldo de corto circuito de generador, 50G

Sobretensión del generador, 59G

Sobreexcitación del generador, 24G

Alta y baja frecuencia del generador, 81G

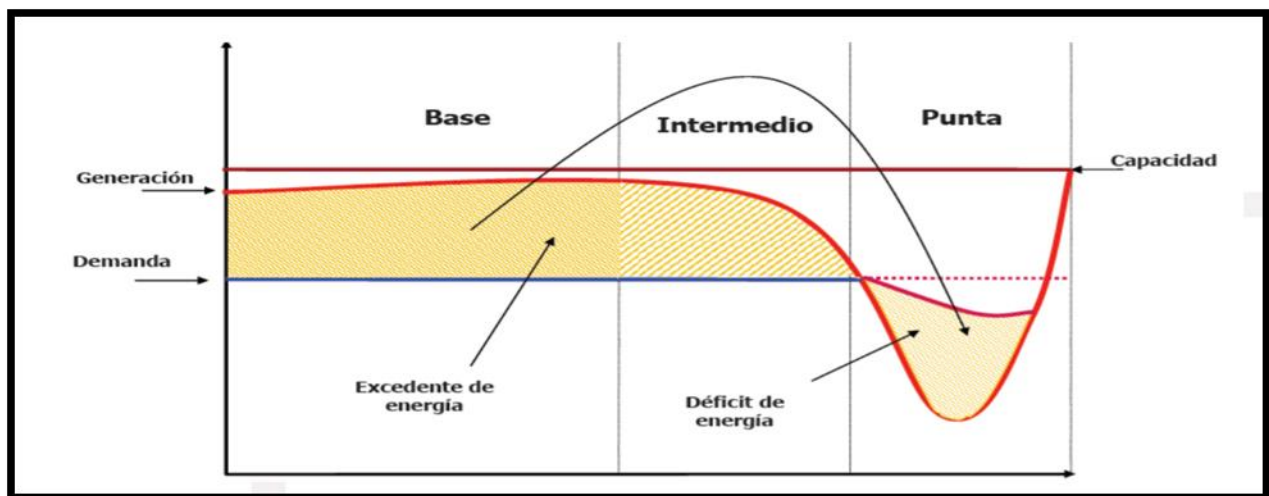
Pérdida de campo del generador. 40G

Falla a tierra del campo del generador, 64 F

### 4.3 Operación del sistema eólico.

La energía generada por productores independientes puede tener cualquiera de las categorías siguientes:

- Energía sobrante: cuando un permisionario produce una cantidad de energía mayor a la comprometida de porteo o cuando la demanda de los centros de consumo sea menor a la producida, la diferencia se vende a la empresa distribuidora en el punto de conexión.
- Energía faltante: cuando una fuente de energía no satisface la potencia de compromiso de porteo con sus centros de consumo.
- Energía aportada al SEN en las horas de máxima demanda.
- Cualquiera que sea la categoría se tiene que hacer un contrato de interconexión para establecer los términos y condiciones de trabajo entre el SEN, el productor y los consumidores.



*Banco de Energía*

*Grafica 10*

El Banco de energía, Grafica 10, permite que el generador (permisionario) pueda acumular energía excedente entregándola al SEN y valuando el precio al momento de la transmisión. El sistema está disponible permanentemente para regresar la energía acumulada al generador, al precio de la energía al momento en que este no genere para satisfacer su carga.

- La capacidad de las fuentes renovables se calcula sacando un promedio real de lo que se genera en un mes a la hora de mayor demanda del SEN
- Costo por porteo se basa en la energía verdaderamente transportada y en la reserva de capacidad de transmisión bajo el criterio de Take or pay (Fuentes Firmes )



## **Aerogenerador en situación de paro**

El paro en el movimiento del aerogenerador puede estar motivado por cuatro causas:

- la velocidad del viento esté fuera del margen de operación del aerogenerador (velocidades de arranque y de corte)
- la red eléctrica se encuentre fuera de servicio
- realización de demostraciones u operaciones de mantenimiento que requieran el paro temporal de las máquinas
- fallas o averías en las instalaciones.

## **Operación del aerogenerador**

El estado productivo del aerogenerador. En esta situación interesa estudiar el funcionamiento de, tanto los elementos internos, como el generador, la unidad de refrigeración del multiplicador, que habitualmente es de aceite, aunque también puede ser de agua o aire, como aquellos componentes exteriores cuyo movimiento pudiera provocar algún efecto en el medio, (es el caso del rotor, por el movimiento de sus aspas).

## 4.4 Mantenimiento del sistema eólico.

Para conservar el equipo en un buen estado es necesario dar mantenimiento a los componentes de cualquier máquina, esto evitará el deterioro prematuro de los equipos y prolongar su vida útil de operación. Para los equipos de generación eléctrica por medios eólicos se tienen 4 tipos de operaciones de mantenimiento que van en función del tiempo.

- Predictivos: Este tipo de mantenimiento nos determina las condiciones técnicas (mecánica y eléctrica) en tiempo real de los aerogeneradores examinándolos en pleno funcionamiento, para realizar este tipo de mantenimiento requerimos de un software que mida los parámetros importantes del equipo, básicamente consiste en aplicación de algoritmos matemáticos vinculados a las operaciones de diagnóstico del equipo, tiene como objetivo disminuir el paro total del aerogenerador por mantenimientos preventivos y de esta manera se minimizan los costos por tiempo improductivo, generalmente la empresa que provee el aerogenerador proporciona el software para el monitoreo del mismo.

En este tipo de mantenimiento se llevan a cabo las siguientes acciones:

### Análisis de aceites

Consiste en tomar muestras de los lubricantes que están siendo utilizados, estos son analizados en laboratorios para determinar sus características y de los residuos depositados, con esto se puede tener un panorama de las partes que se están desgastando y si necesitan ser remplazadas o darles mantenimiento adecuado. Figura 37. Las pruebas a las que se someten los aceites y los lubricantes de los aerogeneradores son los siguientes:

- Punto de inflamación por el método Cleveland de copa abierta (Flash Point).
- Viscosidad cinemática a 40 °C y a 100 °C.
- Densidad relativa.
- Espectrometría de absorción atómica (Determinación de contenidos de aluminio, zinc, cobre, calcio, hierro y magnesio).

Con las pruebas anteriores se pueden establecer los intervalos apropiados para el cambio de aceite, así como de sus filtros, se puede detectar el grado de contaminación, se identifican los patrones anormales de desgaste como también la degradación química del aceite y de los aditivos.

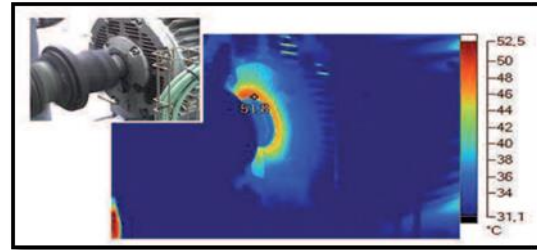


*Fuente Windpower*

*Figura 37*

## Análisis de vibraciones

Este es uno de los métodos más utilizados para diagnosticar el estado de una máquina, el análisis se realiza con el fin de determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración y con esto reducir las fuerzas vibratorias no deseadas, los datos obtenidos son las amplitudes predominantes de la vibración, sus causas y el problema que representan.



Fuente Windpower

Figura 38

Se realiza un análisis de vibraciones a los componentes de aerogenerador para encontrar rodamientos malos, problemas de desbalanceo, desalineaciones, bases y cimentaciones insuficientes, desgaste de piezas internas, interferencia de engranes Figura 38.

Las vibraciones mecánicas tienen como consecuencia el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de los materiales y ruido.

Las vibraciones que nos interesa conocer en el aerogenerador son

- Periódicas
- Choque o transitorias
- Aleatorias o estadísticas.

El equipo utilizado para hacer este tipo de estudio son los sensores de frecuencia, amplitud, velocidad y aceleración, mejor conocidos como acelerómetros, velocímetros y medidores de desplazamiento

Los métodos utilizados para este tipo de monitoreo son muy variados, se manejan desde simples estadísticas, graficas directas, hasta programas conectados con las empresas que respaldan los equipos dando soluciones inmediatas a los problemas que se pudiesen presentar.

Cuando se trata de centrales eólicas grandes los equipos están en constante monitoreo, pero al tratarse de céntrales pequeñas estas son programadas para su control por lo que no se encuentran en constante monitoreo.

Un aspecto muy importante de monitorear es el del balanceo del rotor, esto se verifica mediante la medición de vibraciones de la pieza a controlar, ya que se manejan ciertos rangos en las amplitudes y frecuencias de las vibraciones; por ejemplo, en el caso del balanceo de las palas del aerogenerador se colocan los sensores eje de baja velocidad directamente en el rotor, además se determinará la posición exacta del exceso de la masa por medio de una lámpara estroboscópica, Figura 39.





Fuente Windpower

Figura 39

Los contrapesos que se utilizan en el balanceo del rotor deberán ser colocados lo más cercano al eje, esto es porque si se colocan en las partes más lejanas de las aspas quitaran el efecto aerodinámico para su buena rotación.

Como se comentó anteriormente, por medio de las vibraciones no deseadas se pueden detectar piezas dañadas, como los engranes y los cojinetes.

- Preventivos: tienen lugar antes de que ocurra una falla y bajo situaciones controladas, se realizan periódicamente y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo o por la experiencia del personal a cargo. Es recomendable realizar este tipo de mantenimiento cuando se tengan momentos de baja producción y cuando se tengan las condiciones climáticas idóneas (viento lento), o bien, cuando existan paros planificados siguiendo un programa previamente elaborado, donde se detalla el procedimiento a seguir y las actividades a realizar a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios, para este tipo de mantenimiento se requiere de personal calificado y el equipo adecuado.
- Proactivos: este implica contar con la planificación de las operaciones, la información técnica de los equipos y el historial de los mismos para la programación adecuada del mantenimiento.
- Correctivos: Tienen lugar luego que ocurre la falla, por lo que, en parque eólicos, siempre se debe de contar con el equipo de mantenimiento esencial para poder superar las fallas y reanudar el servicio lo más rápido que se pueda.

Para que los 4 tipos de mantenimiento se realicen de una manera segura se debe tener las herramientas y el equipo de trabajo, set de repuestos (mangueras hidráulicas, cojinetes, aceites, grasas, líquidos hidráulicos que son los que se llevan en los frenos, refrigerantes) y mano de obra calificada.

- Mantenimiento de la góndola

Básicamente consiste en una revisión visual de la cobertura de pintura y del deterioro del metal (oxidaciones y corrosiones). La góndola deberá estar cubierta por una base de pintura anticorrosiva de color oscuro, tanto la superficie exterior como la interior y, sobre esta, una capa de pintura de látex, de preferencia de color claro, esto es para detectar de una forma más sencilla los defectos (golpes o raspaduras) que se puedan encontrar, el periodo del tiempo para el mantenimiento de la góndola va a depender del clima al que este expuesta, al maltrato que tenga o bien por estética de esta, Figura 40



Fuente Windpower

Figura 40

- Mantenimiento a las palas del rotor



Fuente Windpower

Figura 41

Las palas son inspeccionadas cada tres meses y su mantenimiento es similar al de la góndola, en estas se tienen que verificar si no existe un daño que pueda ocasionar un agrietamiento y así provocar el rompimiento de las palas, Figura 41.

- Mantenimiento del buje.

Este se lleva a cabo cuando el análisis de vibraciones demuestre algún tipo de problema en los ejes, se procede a revisar el estado de los bujes y si es necesario, limpiar y engrasar; para este procedimiento es necesario desmontar los ejes, Figura 42.



Fuente Windpower

Figura 42

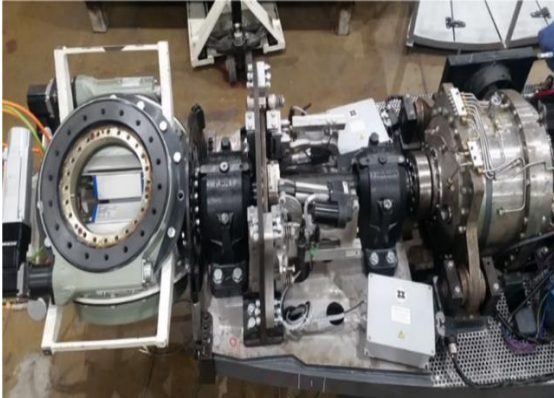


FFuenteWindpower / Figura 43

- Mantenimiento de los ejes.

Estos elementos requieren de especial cuidado, en cada eje se verificará que no esté dañado, que no esté desacoplado, si los ejes se encuentran en buenas condiciones solo se realizará su lubricación, Figura 43.

- Mantenimiento de la caja multiplicadora.



Fuente Windpower

Figura 44

El mantenimiento de este elemento es uno de los más importantes, debido a que su periodo de funcionamiento es prolongado, el mantenimiento se realizará cada 2 meses; consiste en mandar muestras de aceite, para su análisis, a los laboratorios especializados, con este análisis se verá si hay residuos de metales y, de esta forma, determinar si es necesario cambiar piezas, generalmente se realiza cambio de los lubricantes utilizados en la caja multiplicadora y se realiza los ajuste de algunas piezas, Figura 44

- Mantenimiento del freno.

Este se llevará a cabo en el eje donde esté ubicado el freno, en la mayoría de los equipos este se encuentra en el eje de alta velocidad y en una minoría en el eje de baja velocidad, se revisa que no exista fricción sobre el eje en el que está instalado, comprobando que, cuando este no esté accionado, no ejerza ningún tipo de presión sobre el eje, se revisarán las pastillas friccionantes y, si estas están muy desgastadas, se tendrán que cambiar, se verificará que los frenos no provoquen un ruido fuera de lo común, asimismo se verificara el tiempo que transcurre al accionar el freno hasta el paro totalmente del equipo, Figura 45.



Fuente Windpower

Figura 45

- Mantenimiento de los mecanismos de orientación.

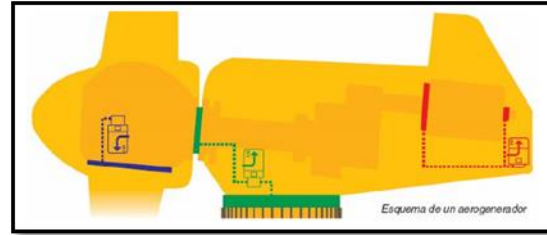


Fuente Windpower / Figura 46

Se realizará la revisión de los anemómetros y de los sensores que indican la orientación a la unidad electrónica, para esta revisión se utiliza un software proporcionado por la empresa que vende el equipo. En la parte mecánica, el mantenimiento consiste en la limpieza y la revisión del funcionamiento del motor (eléctrico) de direccionamiento, así como de la corona dentada, para ver que no exista un desgaste, también se revisa la lubricación correspondiente, Figura 46.

- Mantenimiento del sistema hidráulico

Se deberán revisar los niveles de flujo hidráulico, el debido funcionamiento de las bombas, las fugas en las mangueras y el ajuste de las abrazaderas, Figura 47.



*Fuente Windpower*

*Figura 47*

- Mantenimiento a la unidad de enfriamiento



Consiste en la limpieza del radiador, revisión de los niveles del refrigerante, verificación de que no existan fugas, tanto en el radiador como en las mangueras, revisión del funcionamiento de las bombas refrigerantes, de los sensores e indicadores en los paneles de control, Figura 48.

*Fuente Windpower*

*Figura 48*

## *Bibliografía*

*[http://opex-energy.com/eolica/optimizacion\\_operacion\\_mantenimiento.html](http://opex-energy.com/eolica/optimizacion_operacion_mantenimiento.html)*

*[http://www.rescompass.org/IMG/pdf/RESCompass\\_interview\\_WindpowerTechnician\\_ES.pdf](http://www.rescompass.org/IMG/pdf/RESCompass_interview_WindpowerTechnician_ES.pdf)*

*<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia53/HTML/articulo06N.htm>*

*[http://www.educacion.gob.es/educa/incual/pdf/BDC/ENA193\\_3.pdf](http://www.educacion.gob.es/educa/incual/pdf/BDC/ENA193_3.pdf)*

*<http://es.slideshare.net/rubencanaviri/revistaelectrica-subestaciones-electricas>*

*<http://es.slideshare.net/NicolasBenitez1/subestaciones-electricas-33697164>*

---

## CAPÍTULO 5

---

### ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO.

El análisis de costo-beneficio es importante para la elaboración de un proyecto, nos ayuda a determinar la conveniencia del proyecto mediante el análisis de costos y valoración social. Un proyecto se puede justificar únicamente si los costos son menores a los beneficios.

Cuando se está evaluando un proyecto, sus costos y beneficios se basan principalmente en el punto de vista de la empresa u organización que está haciendo el análisis. Otra consideración importante para el estudio de cualquier proyecto es desarrollar una base de referencia para identificar el impacto del proyecto sobre la sociedad o sobre el medio ambiente.

Los diferentes tipos de costos que se verán en este capítulo serán los costos de inversión, costos de operación, mantenimiento y el costo de KW-H

## 5.1 Costo de Instalacion.

En los últimos años la demanda de los equipos eólicos ha ido creciendo y con esta sus precios, ya que el exceso de demanda y la capacidad limitada de manufactura afectan sensiblemente al mercado.

Las empresas de aerogeneradores ponen mucha atención en la calidad para la construcción de estas máquinas, por lo que, para la elaboración de un equipo, además de las especificaciones técnicas requieren de un estudio del sitio donde se pretende instalar y, de esta manera, adaptarlo al mismo.

Se dificulta la adquisición de estos equipos, porque, el objetivo de las empresas que los producen no siempre es la venta de aerogeneradores, más bien se enfocan en el mercado energético, además de que los precios de los equipos suelen ser demasiado altos, ocasionando que el proyecto se vuelva poco rentable o financiable para los desarrolladores.

En México, específicamente en el Istmo de Tehuantepec, las condiciones de viento son muy variables es por esta razón que se requieren equipos más especializados para poder explotar de una forma más eficiente este recurso, esto implica un aumento importante en los costos.

Determinar la viabilidad económica y financiera de un proyecto requiere de un análisis completo en el que se incluyan los aspectos técnicos, económicos, sociales y de impacto ambiental. En relación con el análisis económico, enseguida se presentan los resultados obtenidos, considerando: el transformador de 1250 KVA, la obra civil incluyendo la cimentación de la torre del generador, los accesos y caminos que se requieren para la transportación de los accesorios, las grúas y plataformas para el ensamble del equipo; en cuanto a la documentación se tomó en cuenta desde la gestorías correspondientes para la realización de este proyecto, el estudio del suelo para diseñar la cimentación viable para el proyecto, las verificaciones correspondientes, tanto eléctricas como estructurales y, por último, la restauración de la vegetación del sitio cuando el tiempo de vida del proyecto termine.

- Costo de inversión de los aerogeneradores
- Costo de la cimentación
- Costo de la preparación de terreno (acceso de vías)
- Costo de conducción de conductores internos de la central.
- Costo de la subestación e interruptores para la conexión a la red.
- Costo de la planeación y preparación

Para proyectos a nivel prefactibilidad se consideró un precio de 1000 USD por KW de capacidad instalado. Se recomienda que se utilice un porcentaje de 76% para el costo de las turbinas (Snell, 2009).

<b>COSTO DE INVERSIÓN DEL PROYECTO</b>		
<b>Apartado</b>	<b>Concepto</b>	<b>%</b>
<b>1. Aerogenerador</b>	1.1 Aerogenerador. Incluye dispositivos de transformación en el interior, la virola de anclaje a la zapata, transporte, montaje, conexionado interno, puesta en marcha de la instalación y sistema de control.	76 %
<b>2. Equipos eléctricos</b>	2.1 Equipos eléctricos adicionales en tierra para hacer la adaptación eléctrica a la subestacion.	7.5%
<b>3. Obra civil</b>	3.1 Cimentaciones para la colocación de los aerogeneradores	5.9 %
	3.2 Accesos y caminos interiores del parque: viales y plataformas, zanjas y sistemas de drenaje	4.6 %
<b>4. Documentación y proyectos</b>	4.1 Proyecto	6 %
	4.2 Estudio geotécnico	
	4.3 Diseño de cimentaciones	
	4.4 Dirección Facultativa	
	4.5 Seguridad y salud preventiva en obra	
	4.6 Control de Calidad	
	4.7 Documentación	
	4.8 Revegetación	

Fuente:wind porwer

Tabla 38



<b>COSTO DE INVERSIÓN DEL PROYECTO</b>		
<b>Apartado</b>	<b>Concepto</b>	<b>Precio</b>
<b>1. Arogenerador</b>	1.1 Aerogenerador 850 KW. Incluye dispositivos de transformación en el interior, la virola de anclaje a la zapata, transporte, montaje, conexionado interno, puesta en marcha de la instalación y sistema de control.	16150000
<b>2. Equipos eléctricos</b>	2.1 Equipos eléctricos adicionales en tierra para hacer la adaptación eléctrica a la subestacion.	1593750
<b>3. Obra civil</b>	3.1 Cimentaciones para la colocación de los aerogeneradores	1253750
	3.2 Accesos y caminos interiores del parque: viales y plataformas, zanjas y sistemas de drenaje	977500
<b>4. Documentation y proyectos</b>	4.1 Proyecto	1275000
	4.2 Estudio geotécnico	
	4.3 Diseño de cimentaciones	
	4.4 Dirección Facultativa	
	4.5 Seguridad y salud Preventiva en obra	
	4.6 Control de calidad	
	4.7 Documentación	
	4.8 Revegetación	
<b>TOTAL</b>		<b>21250000</b>

Fuente: wind Power y Gamesa

Tabla 39

## 5.2 Costo de operación y mantenimiento.

Los costos de los tomamos del Manual de Mejores Prácticas, son:

- Costo del terreno (entre 0.5% y 1% del costo inicial de las turbinas); si se renta el terreno. Usualmente está fijado en un porcentaje (2% a 4%) de la venta de energía.
- Costo del seguro (entre 0.7% y 1% anual del costo inicial de las turbinas)
- Costo del personal dedicado a la operación (0.5% anual del costo inicial de las turbinas)
- Costo de administración (0.5% del costo inicial de inversión)

A grandes rasgos el costo de operación estar dado entre un 2.5 % del costo inicial de las turbinas.

### Costos de mantenimiento

Los costos de mantenimiento se estiman sobre los 20 años de operación. Lo que nos arroja como resultado un costo entre el 2.5 y el 3.5 anual del costo de inversión

### Costos de mantenimiento

- El costo de mantenimiento no está distribuido en partes iguales a lo largo de los 20 años de vida del parque eólico, es por este motivo que el fabricante incluye el mantenimiento preventivo, garantía y posteriormente el mantenimiento correctivo para los primeros 5 años con un costo anual del 1% hasta el 1.5%.
- Costo de mantenimiento por KW Instalado es más bajo para las turbinas más grandes ya que en parte se trata de operaciones por turbina, no por KW

El costo de mantenimiento ha ido modernizando ya que en el transcurso de los años se ha implementado tecnología para la supervisión de las máquinas y poder tener un control de los futuros acontecimientos que se tengan con respecto el equipo.

Para efectos de un estudio de pre factibilidad, se recomienda contar con un costo total de operación y mantenimiento de un 10 % costo inicial de las turbinas (Snell, 2009).

De acuerdo con lo anterior y basado en los casos ya descritos tenemos lo siguiente:

Vida útil y O&M La vida útil se refiere al tiempo en que la turbina puede correr seguramente sin grandes modificaciones. Por supuesto que con su debido mantenimiento anual se puede alcanzar dicho tiempo. Comúnmente el tiempo es de 20 años, aunque se logran alcanzar 25-30 años.

Los costos de O&M son, en general, bajos, van desde el 5 hasta el 7% anual del costo de la turbina aunque, con el paso del tiempo, tienden a incrementarse, es por este factor que le estamos dando el porcentaje del 10 % anual para las partes en movimiento y sujetas a fatiga, ya que son las que se desgastan más rápido por

ejemplo, los engranajes, las aspas y el generador serán probablemente reemplazados después de que la vida útil de la turbina haya terminado.

<b>COSTO DE EXPLOTACIÓN DEL PROYECTO</b>		
<b>Apartado</b>	<b>Concepto</b>	<b>Precio</b>
<b>1. Operation y mantenimiento</b>	1.1 Personal encargado de llevar a cabo la operativa del parque y gastos de mantenimiento	2125000
<b>2. Alquiler de terrenos</b>	2.1 Pagos por concepto de alquiler de los terrenos ocupados por el parque eólico	0
<b>TOTAL</b>		<b>2125000</b>

Fuente:Propia

Tabla 40

### 5.3 Costo de Kw-hora

Los costos de generación eólica están en función de factores muy relevantes:

- Recurso eólico, a mayores velocidades, menores serán los costos de la energía
- Factor de planta
- Tecnología del generador eólico
- Tamaño el parque
- Costo de transmisión (Porteo)
- Costo de financiamientos

Para determinar el costo de la energía producida es necesario estimar la producción anual que se tendrá en el proyecto de Santa María del Mar, está la determinamos sacando el promedio de generación durante un año, Tabla 41, con la velocidad del viento estimada por mes y el comportamiento del generador respecto a las velocidades del viento, Gráfica 9, con el promedio sacamos la generación promedio de un año, que es de 830 Kw, lo multiplicamos por 24 que son las horas del día 19.92 MWh, eso por 365 días genera un total de 7.2708 GWh al año, esto es lo producido durante un año y tenido en cuenta que el costo de producción de una año solo sería el de operación y mantenimiento, esto es 2,125,000 MNX, con lo que podremos determinar el costo del KW-Hora.

Velocidad del viento	m/s	Potencia Generada KW
Enero	12	800
Febrero	12	800
Marzo	12	800
Abril	13	820
Mayo	13	820
Junio	13	820
Julio	14	850
Agosto	15	850
Septiembre	15	850
Octubre	15	850
Noviembre	14	850
Diciembre	14	850
Promedio Anual		830

Fuente:Propia

Tabla 41

$$\text{Costo del KWh} = \frac{\text{Costo de producción en un año}}{\text{Energía Producida en un año}} = \frac{2125000}{7270800} = 0.292264 \left[ \frac{[\$]}{[Kwh]} \right]$$

## 5.4 Conclusiones

La viabilidad de los proyectos eólicos en la zona de estudio, en el Istmo de Tehuantepec, está garantizada, ya que este es un lugar donde se tienen las mejores características de viento al nivel nacional, además de que también involucran un beneficio social y beneficio económico para los habitantes de las comunidades cercanas a los parques eólicos.

Santa María del Mar se caracteriza por tener el recurso eólico, por lo que se planteó la propuesta de generación eólica para que esta pudiera tener electricidad para cubrir sus necesidades de energía, que van desde el uso doméstico hasta la refrigeración industrial, así como para centros educativos y de salud. Estos criterios se relacionan directamente con el crecimiento económico a nivel local, pues promueven el bienestar de la población y las fuentes de empleo para sus habitantes.

El esquema de proyectos energéticos comunitarios es una alternativa para apalancar el desarrollo local de dichas comunidades pequeñas, para las cuales la energía eólica presenta varias ventajas, entre otras se pueden destacar las siguientes:

- Su impacto al medio ambiente es mínimo
- No emite sustancias tóxicas o gases por lo que no causa contaminación del aire, el agua y el suelo,
- No contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global.
- La producción de energía por medios eólicos no presenta incidencia alguna sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ninguna contaminación que incida sobre este medio, ni tampoco vertidos o grandes movimientos de tierra.
- El viento es una fuente de energía inagotable y abundante.
- La tecnología no usa combustibles y el viento es un recurso del propio país

En comparación con otras tecnologías aplicadas para electrificación rural, la operación de un sistema eólico es más económica y simple. El sistema no requiere mayor mantenimiento, aparte de una revisión periódica. Para la comunidad la propuesta es viable ya que tienen las características necesarias para las instalaciones de este tipo de tecnología.

## *Bibliografía*

*Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias.*

<http://www.ineel.mx/inicio.html>

*Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, (CONABIO).*

<http://www.conabio.gob.mx/>

*Atlas Eólico del Estado de Oaxaca.*

*Libro Eólico de Oaxaca.*

*AMDEE (Asociación Mexicana de Energía Eólica)*

<http://www.amdee.org/>

*Instituto de Geología de la UNAM.*

<http://www.geologia.unam.mx/>

*Servicio Sismológico de Oaxaca*

<http://www.oaxaca.gob.mx/tag/sismologico/>

*Comisión Federal de Electricidad.*

<http://www.cfe.gob.mx/>