



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA EÓLICA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

ERIC CHRISTIAN RAMÍREZ VILLASECA

DIRECTORA DE TESIS:

M.I. SUSANA CASY TÉLLEZ BALLESTEROS

SINODALES:

M.I. SILVINA HERNÁNDEZ GARCÍA

ING. HILDA REYNA SOLÍS VIVANCO

ING. VÍCTOR MANUEL VÁZQUEZ HUAROTA

ING. ADOLFO VELASCO REYES





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

INDICE

Objetivos	1
Contexto	1
Alcance	1
Metodología	2
Justificación	2
Antecedentes	2
Resultados Esperados	3
Introducción	4
Capítulo 1	5
1 PANORAMA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	5
1.1 Antecedentes del desarrollo de la energía eólica	5
1.2 Energías renovables en el mundo actualmente	9
1.3 Energías renovables en México	10
1.4 Algunos proyectos eólicos desarrollados en México	13
1.5 Aerogeneradores	16
Capítulo 2	19
2 FACTIBILIDAD DE MERCADO	19
2.1 Definición de Factibilidad de mercado	19
2.2 Energía eléctrica	20
2.3 Demanda	21
2.4 Tipos de combustibles para su generación	25
Capítulo 3	38
3 FACTIBILIDAD TÉCNICA	38
3.1 Definición de Factibilidad Técnica	38
3.2 Disponibilidad del viento	39
3.3 Equipamiento	41
Capítulo 4	42
4 FACTIBILIDAD FINANCIERA	42
4.1 Definición de Factibilidad Financiera	42
4.2 Proyectos aislados	43
4.3 Proyectos conectados a la red	45
4.4 Otras Consideraciones	46
Capítulo 5	49
5 FACTIBILIDAD AMBIENTAL	49
5.1 Definición de factibilidad Ambiental	49
5.2 Impactos Ambientales	50
5.3 Ruido	51
5.4 Uso de Suelo	52

5.5 Consumo de Agua	53
5.6 Fauna	54
5.7 Otros Aspectos Ambientales	54
Capítulo 6	56
6 CONCLUSIONES	56
6.1 Ventajas	56
6.2 Desventajas	57
Bibliografía	59

Titulo:

Guía para la implementación de una planta eólica.

Objetivos:

- Proveer al sector industrial una de una guía para la evaluación de centrales eólicas información actualizada que asegure la operatividad, además mostrar la productividad y la rentabilidad de la misma.
- Mostrar las ventajas que tiene la inversión en estos tipos de proyectos.

Contexto:

Desde hace mucho tiempo la demanda de energía ha sido una preocupación de la humanidad, de cualquier actividad (transporte e industria).

Por tal motivo, si queremos gozar de un mundo con menos contaminación, es necesario que conozcamos nuestro entorno y las nuevas formas de generar energía limpia.

Con este propósito debemos concientizar al sector industrial hacia una reforma energética y sustentable.

Alcance:

En este documento de investigación se pretenden dar los diferentes aspectos que se tienen que tomar en cuenta para la implementación de centrales eólicas; el desarrollo que ha tenido en los últimos años en diferentes partes del mundo, el futuro que se prevé con este tipo de energías renovables, las implicaciones sociales, económicas y ambientales que se pueden llegar al tener.

Metodología.

- 1.** Llevar a cabo una investigación previa del tema y un estudio del arte, para poder tener todos los antecedentes necesarios para poder delimitar la profundidad del tema.
- 2.** Localizar a ingenieros y proveedores dedicados a la instalación de centrales eólicas, para poder recabar información más específica de las centrales eólicas.
- 3.** Elaborar y Organizar el documento con lo indispensable de las centrales eólicas

Justificación:

Después de revisar diferentes documentos sobre la energía eólica, observe que la mayoría de estos documentos son de años anteriores y por lo tanto la información que contienen algunos documentos está un poco obsoleta. Esta tesis surge de la necesidad de crear una guía para contemplar los aspectos que se tienen que tomar en cuenta para la implementación de una planta eólica.

Antecedentes:¹

El viento es una fuente de energía de la cual el hombre tiene conocimiento desde épocas muy antigua, aunque curiosamente se ha volcado al uso de energías menos sanas. El aprovechamiento del viento hoy puede sustituir al combustible fósil, evitar el recalentamiento

¹ Manuales sobre energías renovables
Fortalecimiento de la capacidad en energía renovable para América Central
Focer

terrestre y parar la gran emisión de millones de toneladas de dióxido de carbono.

Solamente cerca del 0.3% de esta energía es producida convirtiendo la energía cinética del viento en energía eléctrica, sin embargo, el uso del viento para la producción eléctrica se ha estado extendiendo rápidamente en años recientes, debido en gran parte a las mejoras tecnológicas, la maduración de la industria y una creciente preocupación por las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles.

A diferencia de otras fuentes de energía sus costos están bajando como consecuencia del avance tecnológico en la producción de los equipos necesarios y la complementación con la más moderna tecnología electrónica, sobre todo, puede ayudar eficazmente a disminuir en forma drástica la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera.

Resultados esperados

El principal resultado que se espera obtener es que al finalizar esta tesis se cuente con una herramienta que sea de gran utilidad para futuros contratistas e ingenieros que se quieran dedicar a la implementación de centrales eólicas, en la cual ellos puedan encontrar con toda la información básica necesaria de la energía eólica.

Un resultado que es importante es; que la gente conozca la factibilidad que tienen proyectos de energía eólica, junto con sus ventajas y desventajas de las centrales eólicas.

INTRODUCCIÓN

2

Más de 15 millones de KV/H de electricidad se generan anualmente en todo el mundo.

De esto, cerca del 65% es producido quemando combustibles fósiles y el resto se obtiene de otras fuentes, incluyendo nuclear, hidroelectricidad, geotérmica, biomasa, solar y el viento.

Solamente cerca del 0.3% de esta energía es producida convirtiendo la energía cinética del viento en energía eléctrica, sin embargo, el uso del viento para la producción eléctrica se ha estado extendiendo rápidamente en años recientes, debido en gran parte a las mejoras tecnológicas, la maduración de la industria y una creciente preocupación por las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles.

Todavía hay oportunidad para crecer, pues solamente una porción pequeña del recurso utilizable del viento está siendo aprovechada.

Mediante las regulaciones a la industria eléctrica, así como con incentivos por parte de los gobiernos, sería un papel determinante para que rápidamente se adoptara la energía eólica.

Las políticas eficaces ayudarán a allanar el camino y asegurarán de que la energía eólica pueda competir con otras fuentes de energía en el mercado de la electricidad.

² TEXTOS CIENTÍFICOS (ENERGIAS ALTERNATIVAS, ENERGÍA EÓLICA)

CAPÍTULO 1

Panorama de las energías renovables

1. PANORAMA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

1.1 Antecedentes del desarrollo de la energía eólica

Los orígenes ³

El viento es una masa de aire en movimiento; esta masa de aire posee energía mecánica que es proporcional a su velocidad y puede ser aprovechada en muchas aplicaciones y es lo que denominamos energía eólica. Sus primeras aplicaciones fueron las velas de los barcos como se puede ver en la figura 1, de las que se tiene noticias en el año 5000 a.C. en Egipto y Mesopotamia; Los molinos de viento son otra aplicación clásica, datan de unos 2000 años y se empleaban para producir sonidos como se puede ver en la figura 2; posteriormente se usan para moler grano, los primeros que se fabricaron tenían el eje vertical como se pueden ver en la figura 3. Otro dispositivo que funciona gracias a la energía eólica son las

³ El rincón de la ciencia
La energía eólica en España
Autor: Fernando Blanco Silva
Web: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-74/rc-74.htm>
Párrafo:1

aerobombas para elevar la presión del agua usando energía del viento.



Figura 1 (fuente: El rincón de la ciencia
La energía eólica en España)
Autor: Fernando Blanco Silva.
Web: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-74/rc-74.htm>



Figura 2 (fuente: El rincón de la ciencia
La energía eólica en España)
Autor: Fernando Blanco Silva.
Web: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-74/rc-74.htm>



Figura 3 (fuente: El rincón de la ciencia

La energía eólica en España)

Autor: Fernando Blanco Silva.

Web: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-74/rc-74.htm>

La energía eólica en la producción de electricidad⁴

A diferencia de las otras aplicaciones citadas el uso del viento para producir electricidad es más reciente, las primeras experiencias datan del final del siglo XIX; Charles F. Brush construyó en Estados Unidos durante 1880 una turbina eólica de 12 kW para producir electricidad en corriente continua; esta energía se almacenaba en 12 baterías.

En Europa el precursor de la eólica fue el danés Paul La Cour que a partir de turbinas eólicas provocaba electrólisis para circuitos eléctricos a principios del siglo XX; durante las primeras décadas de este siglo Dinamarca conservó la tradición eólica e incluso hoy es el cuarto país del mundo en potencia instalada. En la mitad del siglo XX un holandés, Johannes Jull introduce dos variaciones importantes, modifica los

⁴ El rincón de la ciencia

La energía eólica en España

Autor: Fernando Blanco Silva

Web: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-74/rc-74.htm>

generadores para producir electricidad en corriente alterna y además diseña un aerogenerador que cambiaba la orientación en función de la dirección del viento para aprovechar con más intensidad la energía de éste.

El desarrollo de las energías renovables: las crisis del petróleo de 1973 y 1979 y Ley del sector eléctrico de 1997 ⁵

Para el desarrollo de las energías renovables fueron muy importantes las Crisis del Petróleo de 1973 y 1979, los países productores elevaron los precios del barril desde 1.5 a 9 dólares en 1973 y desde 13 a 30 dólares en 1979 causando una profunda crisis económica en los países desarrollados, esto los obligó a implantar políticas energéticas encaminadas a disminuir el consumo de petróleo mediante el ahorro energético, la eficiencia energética y potenciar otras fuentes como la nuclear, el gas natural o las energías renovables. La principal ventaja en este contexto, es que son una fuente que evita la dependencia del exterior y en el caso de nuevas subidas de los precios del petróleo la diversificación energética es un arma que puede disminuir los efectos en las economías.

El primer aerogenerador moderno que funcionó en España fue en 1981 de 100 kW; seis años después entran en funcionamiento los primeros aerogeneradores conectados a la red en Ampurdán (Gerona) y en Granadilla (Tenerife). Hasta 1991 la introducción fue lenta y es el Plan Energético Nacional de este año el que por primera vez marca un

⁵ El rincón de la ciencia
La energía eólica en España
Autor: Fernando Blanco Silva
Web: <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Curiosid/rc-74/rc-74.htm>
Párrafos: 3 y 4

objetivo a alcanzar, 175 MW en 2000, que ya se superaba a mediados de los noventa.

Otra razón que influyó mucho en el progreso de la energía eólica fue el interés ambiental a partir de la década de los ochenta; las energías renovables no tienen fecha de caducidad, a diferencia del carbón, gas natural o petróleo el consumo no emite gases de efecto invernadero, son fuentes seguras y no produce residuos peligrosos como la nuclear.

1.2 Energías renovables en el mundo actualmente ⁶

Más de 15 millones de KV/H de electricidad se generan anualmente en todo el mundo.

De esto, cerca del 65% es producido quemando combustibles fósiles y el resto se obtiene de otras fuentes, incluyendo nuclear, hidroelectricidad, geotérmica, biomasa, solar y el viento.

Solamente cerca del 0.3% de esta energía es producida convirtiendo la energía cinética del viento en energía eléctrica, sin embargo, el uso del viento para la producción eléctrica se ha estado extendiendo rápidamente en años recientes, debido en gran parte a las mejoras tecnológicas, la maduración de la industria y una creciente preocupación por las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles.

Todavía hay mucha oportunidad para crecer, pues solamente una porción pequeña del recurso utilizable del viento está siendo aprovechada. Mediante las regulaciones a la industria eléctrica, así como con incentivos por parte de los gobiernos, sería un papel determinante para que rápidamente se adoptara la energía eólica.

⁶ TEXTOS CIENTÍFICOS (ENERGIAS ALTERNATIVAS, ENERGÍA EÓLICA)

Las políticas eficaces ayudarán a allanar el camino y asegurarán de que la energía eólica pueda competir con otras fuentes de energía en el mercado de la electricidad.

Los recursos energéticos basados en fuentes renovables como la energía eólica son potencialmente ilimitados. La potencia del viento global está creciendo anualmente en un índice de 38 por ciento, es la industria energética de mayor crecimiento actualmente en el mundo. La energía eólica promueve un futuro energético limpio y sustentable, disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles.

⁷A partir del Protocolo de Kyoto de 1997, se requiere una reducción global de las emisiones de gases de invernadero del 5.2 por ciento para el periodo 2008-2012 respecto de los niveles de 1990. Los Estados miembros de la Unión Europea por ejemplo, se han marcado como objetivo conjunto que el 22 por ciento de su electricidad provenga de fuentes renovables en el 2010, tomando como punto de partida la cuota del 17 por ciento existente en 1997

1.3 Energías renovables en México ⁸

En el contexto energético actual, los beneficios económicos de las energías renovables han adquirido una creciente relevancia, pues éstas contribuyen a reducir los riesgos asociados con el crecimiento de

⁷ Revista futuros (No. 6, vol:2 año 2004)

Artículo: costa-viento abundante, gratuito e inagotable

Autor : Marcos Sommer

Web: http://www.revistafuturos.info/futuros_6/eolica_1.htm

⁸ Programa de Energía Renovable en México (MREP)

Web: http://www.senado.gob.mx/internacionales/assets/docs/foros_parlamentarios/parlatino/energia7.pdf

precios, diversificando el portafolio energético; además de reducir el impacto ambiental e impulsar el desarrollo sustentable en el país.

Es especialmente relevante la contribución de estas fuentes al desarrollo social en áreas donde la energía convencional es económicamente inviable, tal es el caso de las zonas rurales que se encuentran apartadas de la red eléctrica.

A pesar de contar con reservas de combustibles fósiles, debemos impulsar el uso de fuentes alternas de energía, aprovechando el importante potencial que tenemos para la generación de energía a partir de fuentes como la solar, la eólica, la minihidráulica y la biomasa.

Las Energías Renovables representan una respuesta importante a la demanda generalizada de un modelo sustentable de progreso que no afecte a las generaciones futuras. Así mismo, su eficaz aprovechamiento contribuirá a la conservación y uso eficiente de los recursos energéticos no renovables. Además, las economías de escala alcanzadas como resultado del mayor aprovechamiento de las mismas, junto con el notable incremento en los precios de los combustibles fósiles observado durante la presente década, han mejorado su posición competitiva, abriéndoles mayores posibilidades.

En los años setentas México realizó El Programa de Energía Renovable en México (MREP), el cual fue administrado por Sandia National Laboratories (SNL), con el financiamiento del Departamento de Energía de los Estados Unidos (USDOE) a través de su Oficina de Tecnologías de Energía Solar, y de la Oficina de la Misión Mexicana de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).

La finalidad del Programa de Energía Renovable en México es el de fomentar el uso apropiado y sostenible de las tecnologías de energía renovable para:

- Mejorar la calidad y reducir el costo de las tecnologías de energías renovables, sistemas y servicios mediante la expansión de los mercados para la industria de energías renovables de Estados Unidos y México, aportándoles la debida retroalimentación.
- Crear el aprovechamiento de fuentes de energía limpia para combatir el cambio climático global, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero y protegiendo nuestro medioambiente natural al reducir los contaminantes; además de elevar los índices económicos, sociales y de salud en las comunidades y los hogares rurales remotos sin acceso a la red eléctrica, aprovechando los sistemas de energía renovable para aplicaciones productivas.

Algunos logros del programa de energía renovable en México son:

- La instalación de más de 400 sistemas modelo, de costo compartido que han creado conciencia de las tecnologías de energía renovable, y han servido para transformar el crecimiento del mercado de energías renovables.
- La capacitación de personal local y el desarrollo de capacidad en el lugar han sido parte integral de la ejecución de sistemas piloto, brindando seminarios y talleres de capacitación, y aportando supervisión y seguimiento.
- Capacitación de más de 2000 ingenieros, proveedores, usuarios y autoridades políticas, en las tecnologías de energía renovable y sus aplicaciones.

- Beneficiar a más de cien mil mexicanos directa o indirectamente de la instalación de sistemas piloto.

El programa se concentró en los siguientes cuatro sectores principales:

- Agricultura
- Educación a distancia
- Áreas protegidas
- Electrificación de zonas rurales que no tengan acceso a la red.

1.4 Algunos proyectos eólicos desarrollados en México⁹

México cuenta con un enorme potencial eólico. Entre los sitios identificados con viento de alta calidad se encuentran sus zonas costeras, especialmente en los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Oaxaca y Yucatán. Desafortunadamente, dicho potencial se ha explotado poco en la figura 4 se pueden observar los sitios con potencial eólico.

En México se han realizado prospecciones del recurso energético eólico a un nivel exploratorio y de reconocimiento puntual, y pequeñas redes anemométricas realizadas por parte de instituciones federales mexicanas han servido para confirmar la factibilidad de áreas para establecer un parque o central eólica así como las zonas con vientos

⁹ Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México

Interciencia abril. Año 2006/vol. 31

Autores: María Eugenia Gonzales Ávila, Luis F. Beltrán Morales, Alfredo Ortega Rubio

técnicamente aprovechables y económicamente viables en las regiones siguientes:

- Sur del Istmo de Tehuantepec. Comprende un área de 1000km² y podría asimilar una capacidad instalada del orden de 2000 a 3000 MW, las zonas más propicias para generar electricidad son zonas aledañas a La Venta en Oaxaca, donde en 1994 se instaló una planta eoloeléctrica con una capacidad 1575kW, conformada por siete aerogeneradores de 225kW. Otra área con gran potencial eólico ubicada en este mismo estado es la denominada como La Ventosa.
- Península de Baja California. Es una zona con una barrera eólica natural perpendicular a los vientos occidentales. Tal es el caso de las áreas cercanas a los poblados de La Rumorosa y zonas aledañas, así como el paso entre la Sierra de Juárez y la Sierra de San Pedro Mártir. En Baja California Sur indican que en la estación denominada El Cardón presenta condiciones favorables de producción de energía eólica rural con un factor de capacidad cercano al 25%. El nivel de costos de producción estimado fue entre 4.5 y 6.2 centavos de US/kWh y un costo de inversión de entre 1000 y 1100 US/kWh, lo que indica que esta zona es una de las más adecuadas para el desarrollo de proyectos eólicos. Otras zonas que también se han considerado con gran potencial eólico son Laguna de San Ignacio, San Juanico y Punta Eugenia, donde se han realizado estudios preliminares de su potencial
- Península de Yucatán. Es un área de vientos alisios de primavera y verano, lo que hace que zonas como Cabo Catoche, la costa de Quintana Roo y el oriente de Cozumel hayan sido consideradas áreas con un gran potencial eólico

- Altiplano Norte. Incluye desde la región central del estado de Zacatecas hasta la frontera con los EEUU
- Región Central. En ella prevalecen vientos alisios de verano, desde Tlaxcala a Guanajuato. Los vientos complementan estacionalmente a los del altiplano norte y en el sur del Istmo de Tehuantepec. La complejidad orográfica de esta zona da por consecuencia que ciertos pasos y mesetas sean apropiados para su explotación energética. En esta región ya se han establecido con éxito pequeños proyectos eólicos e híbridos para electrificar comunidades rurales remotas.



Figura 4. Fuente: Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México
 Interciencia abril. Año 2006/vol. 31

1.5 Aerogeneradores¹⁰

El funcionamiento turbinas de viento

Una turbina eólica es un dispositivo mecánico que convierte la energía del viento en electricidad. Las turbinas eólicas diseñan para convertir la energía del movimiento del viento (energía cinética) en la energía mecánica, movimiento de un eje. Luego en los generadores de la turbina, ésta energía mecánica se convierte en electricidad. La electricidad generada se puede almacenar en baterías, o utilizar directamente como se puede ver en la figura 5.

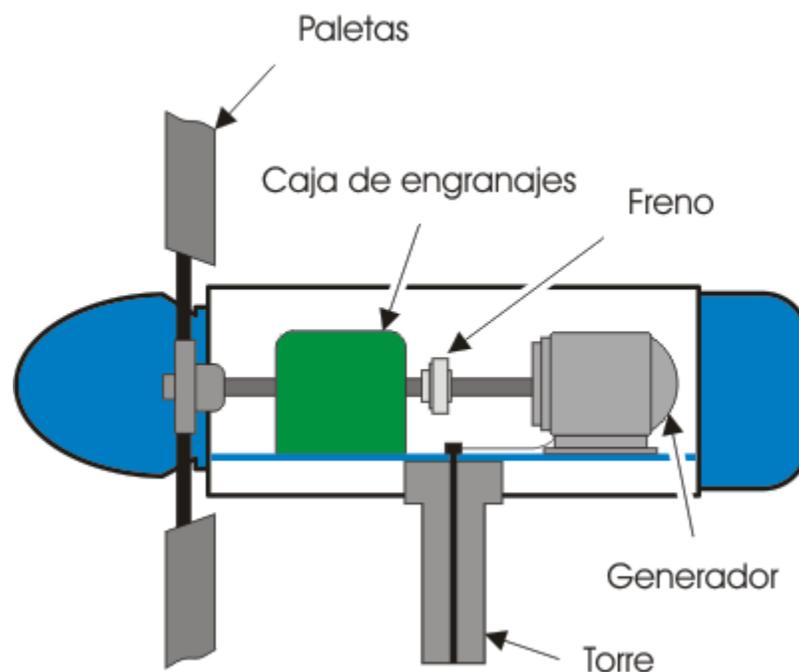


Figura5. Fuente <http://www.textoscientificos.com/energia/turbinas>

¹⁰ <http://www.textoscientificos.com/energia/turbinas>

Rotor

Las palas del rotor se diseñan para que giren con en el viento, moviendo el generador de la turbina. Las turbinas del viento modernas de gran escala típicamente se equipan de rotores de tres palas con extensiones de 42 a 80 metros (138 a 262 pies) de diámetro como se puede observar el la figura 5.

Caja de engranajes

Los engranajes se utilizan para aumentar la frecuencia para la producción eléctrica como se puede observar el la figura5.

Generador

Este es quien genera la electricidad cuando hay suficiente viento como para rotar las paletas. La electricidad se transfiere a la siguiente etapa usando el cableado (para el almacenaje, envió a la red o para el uso directo). Las turbinas de gran escala generalmente contienen generadores con capacidades entre 600 kilovatios y 2 MW como se puede observar el la figura 5.

Torre

La torre eleva el montaje de las turbinas sobre las corrientes de aire turbulentas cerca de la tierra y permite capturar un viento de mayor velocidad. El diseño de torre es particularmente crítico, pues deben ser tan altas como sea económicamente posible (generalmente entre 40 y 100 metros), también deben ser robustas, permitir el acceso a la turbina para su mantenimiento, pero no agregar costo innecesario al sistema. Un aspecto particularmente importante del diseño de torres es la

eliminación de la resonancia entre la gama de frecuencias de las paletas que rotan y la frecuencia de resonancia de la torre como se puede observar en la figura5.

CAPÍTULO 2

Factibilidad de Mercado

2.1 Definición de Factibilidad de Mercado ¹¹

La factibilidad de mercado se puede definir como la función que vincula a los consumidores con el encargado de estudiar el mercado a través de la información, la cual se utiliza para identificar y definir tanto las oportunidades como las amenazas del entorno; para generar y evaluar las medidas de mercadeo así como para mejorar la comprensión del proceso del mismo. Por su carácter preliminar, constituye un sondeo de mercado, antes de incurrir en costos innecesarios.

La Factibilidad de mercado, contribuyen a disminuir el riesgo que toda decisión lleva consigo, pues permiten conocer mejor los antecedentes del problema. la Factibilidad de mercado surge como un problema del marketing que no podemos resolver por medio de otro método. Llevar a cabo un estudio de éste tipo resulta caro, muchas veces complejos de realizar y siempre requieren de disposición, tiempo y la dedicación de varias personas. La Factibilidad de mercado constituye entonces un apoyo para los niveles de decisión correspondientes en la empresa. No obstante, éste no garantiza una solución en todos los casos, más bien es una guía que sirve solamente de orientación para facilitar la conducta en los negocios y que a la vez trata de reducir al mínimo el margen de error posible

¹¹ Análisis empresarial de proyectos industriales
Editorial: cemla
Capitulo:3

2.2 Energía eléctrica ¹²

En México, el sector energético es considerado estratégico para el desarrollo del país y actualmente su operación se encuentra controlada exclusivamente por el Estado.

El sistema eléctrico debe estar perfectamente balanceado en todo momento para evitar interrupciones en el servicio. Esta tarea se cumple a través del despacho eléctrico y constituye una parte central en la industria eléctrica, pues posibilita que el servicio se preste de manera confiable, segura y a bajo costo. Estas características hacen indispensable que, para asegurar la estabilidad del sistema, esta función se lleve a cabo de manera centralizada.

De la misma forma, se debe considerar que el sector eléctrico en México cuenta con un subsidio que en el año 2003 ascendió a 57, 774 millones de pesos para su funcionamiento (29 por ciento, aproximadamente, de los ingresos totales de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)).

Además, la generación de energía eléctrica se reparte en cuatro sectores: CFE participa con 90 por ciento, Luz y Fuerza del Centro (LFC) con 2.3 por ciento, Pemex con 4.4 por ciento y generadores privados con el restante 3.3 por ciento. La red de transmisión es operada en 98 por ciento por CFE y en 2 por ciento por LFC.

¹² El sector eléctrico en México: evaluación y alternativas de privatización
Autor: Daniel Hernández Soto
Carta Económica Regional, Año 17, núm. 92, abril-junio, 2005

2.3 Demanda¹³

Antecedentes del sector eléctrico y manejo de la demanda.

El manejo de la demanda se puede subdividir 3 épocas en los últimos 20 años. La época antes de la crisis del petróleo de 1973, donde en los países aumenta la demanda de energía al aumentar el PIB. En esta primera época, los Estados Unidos tienen una alta dependencia energética de otras regiones del mundo. La segunda época es después del choque petrolero, donde la crisis causa la optimización de la oferta para una demanda dada. El impacto de 1978 y 1979 en el proyecto de sustitución de petróleo a otros combustibles al igual que los criterios de selección y seguridad en el abastecimiento del petróleo de la AIE, estaba encaminado a impactar en el rendimiento energético al igual que en los riesgos financieros. Por último, la tercera época del manejo de la demanda, es de 1980 en adelante, cuando se promueve la planeación integrada de recursos, al considerar en la optimización todas las opciones del sector, donde se tienen presiones a los órganos gubernamentales para mejorar la eficiencia y tomar en cuenta las nuevas técnicas de ahorro de energía. En este último período el manejo de demanda se considera a nivel mundial como una opción viable para reducir el creciente consumo de energía, no sólo para el sector eléctrico sino también para otros sectores energéticos como el gas y el carbón, además de sectores no energéticos como en transporte o salud. Con la crisis energética encima los responsables de la política energética tuvieron que definir variables y escenarios, a través de criterios de seguridad. Pero las dificultades de estimación de la demanda, al ser una

¹³ Prospectiva de sector energético 2007-2016
www.serner.gob.mx
Capítulo 3

variable en función del desarrollo, con otras variables exógenas que no podían definir, al igual que la errática evolución de los precios de los energéticos, ocasionaron un pobre desarrollo de modelos de demanda y un desarrollo más amplio de modelos de oferta que podían utilizar las técnicas de programación lineal. Por lo que las empresas eléctricas invirtieron en grandes plantas de generación como las nucleares. Sin embargo, las grandes fluctuaciones de la demanda, los incrementos en los costos de electricidad, al igual que los prolongados períodos de maduración, causaron la búsqueda de nuevas formas de satisfacer la demanda. Con la gestión de la demanda eléctrica aparecen otras opciones, por lo que se muestra que no todo es la expansión de plantas generadoras. Se observó que con el manejo de demanda, el dinero se emplea en programas que mejoran la eficiencia, desplazando las inversiones en nuevas unidades.

En México, en los últimos 25 años (de 1967 a 1993), la población prácticamente se duplicó al aumentar de 45 a 85 millones de habitantes. En ese mismo período, la capacidad instalada de energía eléctrica aumentó en más de 500%, al pasar de 4,600 a 27,000 MW, el número de usuarios se quintuplicó al pasar de 3.9 a 19 millones, mientras que la producción de electricidad se sextuplicó al incrementarse de 17.4 a 116 millones de KWh. Los beneficios del manejo de demanda se comprueban al observar el ritmo de crecimiento del consumo de este recurso. En la década de los 80's fue del 6.13%, con un incremento de la población de 2.5%. Durante la administración del presidente Salinas se amplió el servicio a 21 millones de mexicanos, y se incrementó la capacidad de generación en un 35%. Mientras que la tasa de crecimiento de 1990 a 1993 fue del 3.77%. Actualmente el servicio de electricidad llega a 84 millones de mexicanos, cerca del 95% de la población, pero las

necesidades de cobertura a futuro son mucho mayores. En los últimos tres años, las acciones de manejo de demanda han permitido ahorrar la generación, de por lo menos 3485 gigawatts hora de energía, que significan el 3.8% del consumo, lo que equivale a dejar de emitir a la atmósfera un promedio de 5000 toneladas de bióxido de azufre, 1847 de óxido de nitrógeno y 3579 toneladas de partículas suspendidas. La CONAE y el FIDE son las instituciones encargadas de impulsar los programas de ahorro de energía. Los proyectos de manejo de demanda realizados entre 1990 y 1996, como el Horario de Verano lograron ahorrar más de 2300 GWh, equivalentes al 1.87% de la demanda de 1996. En México, existen aproximadamente 2000 empresas que pueden instalar sistemas de cogeneración rentables, sin embargo solo el 30% de las empresas están conscientes de los ahorros de estos sistemas. A través de la cogeneración las empresas eléctricas pueden reducir el precio de la electricidad entre 6 y 10 centavos de dólar el KWh, en lugar de lo que actualmente pagan las industrias, que se encuentra entre 15 y 30 centavos de dólar por KWh. Al instalar los mecanismos de sistemas de cogeneración en 2000 plantas, con un costo de 10,000 millones de dólares, significa un potencial de ahorro de 20,000 MW, que se pueden comparar con los 31,000 MW instalados en el país. Los requerimientos de inversión del sector eléctrico en lo que resta de la década se encuentran entre los \$16,000 y \$25,000 millones de dólares, que sólo podrán cubrirse con la participación de los particulares en la construcción y operación de infraestructura eléctrica en más del 60%. Por lo que, en lugar de aumentar los recursos presupuestales destinados a la CFE para la ejecución del programa de duplicación de generación y distribución de energía eléctrica entre 1998 y el año 2000, se puede considerar un mayor énfasis en los programas de manejo de demanda.

En la próxima década se tendrán que instalar entre 1500 y 2000 MW anuales para responder adecuadamente a la demanda de energía del país. Para el año 2002, la energía consumida por México ascenderá a 211,094 Gigawatts-hora, lo que representaría un incremento de 5.54%, mientras que se tendría una capacidad instalada en el orden de 44,832 GW, una demanda bruta de 36,075 MW y una reserva bruta de 19.53%. Para el año 2005 México deberá aumentar en 27 GW su capacidad generadora de electricidad, de los cuales, 5 serán resultado del ahorro de energía. Esta disminución proyectada en el consumo de energía significaría un ahorro de casi 5000 millones de dólares, que de otra forma deberían ser invertidos para instalar capacidad generadora de electricidad adicional.

Perspectiva internacional del manejo de la demanda energética

Estos programas son conocidos como programas de planeación integrada de recursos. La planificación integrada toma en cuenta los costos de la sociedad como un todo al considerar a las empresas y los clientes. La planeación integrada de recursos incentiva a usar tecnologías más eficaces, con una evaluación continua de los planes y coordinando las variables a modelar. Por el lado de la oferta, se tienen que tomar en cuenta los proyectos de inversión en capacidad instalada, la operación y el mantenimiento de las plantas, al igual que tomar en cuenta el combustible, y las consideraciones de tipo ambiental. Por el lado de la demanda, se busca un crecimiento estratégico de la carga, la conservación, el ahorro de recursos, las reducciones de demanda pico y tarifas apropiadas. Los partidarios de la planeación integrada de recursos mencionan que se puede romper con la verticalidad al igual

que los monopolios en la distribución y generación, para tener un mejor desarrollo del mercado eléctrico en un futuro.

En esta década, la experiencia internacional muestra el mayor interés por la eficiencia energética alrededor del mundo. La reestructuración económica en los países de Europa del este, al igual que la desregulación y liberalización del sector eléctrico, con una menor intervención gubernamental y mayor acción de las fuerzas del mercado, motivan la implantación de los programas de manejo de demanda.

2.4 Tipos de combustibles para la generación de energía ¹⁴

En el entorno internacional, el uso de energía primaria y combustibles fósiles para generación de electricidad depende de diferentes factores, que varían de una región a otra así como de la disponibilidad de fuentes económicamente competitivas. Adicionalmente, dependen de las restricciones imperantes por la volatilidad en los precios de los energéticos, la disponibilidad de los combustibles, así como por la normatividad ambiental.

Las estimaciones indican que durante los próximos años los combustibles de mayor utilización para generación eléctrica serán el carbón y el gas natural, en detrimento de la utilización de combustibles derivados del petróleo, tal es el caso del combustóleo. Esto obedece a los altos precios del combustible y a la disponibilidad de tecnologías de mayor eficiencia y con un impacto ambiental sensiblemente menor que las plantas convencionales que utilizan derivados del petróleo. Se estima

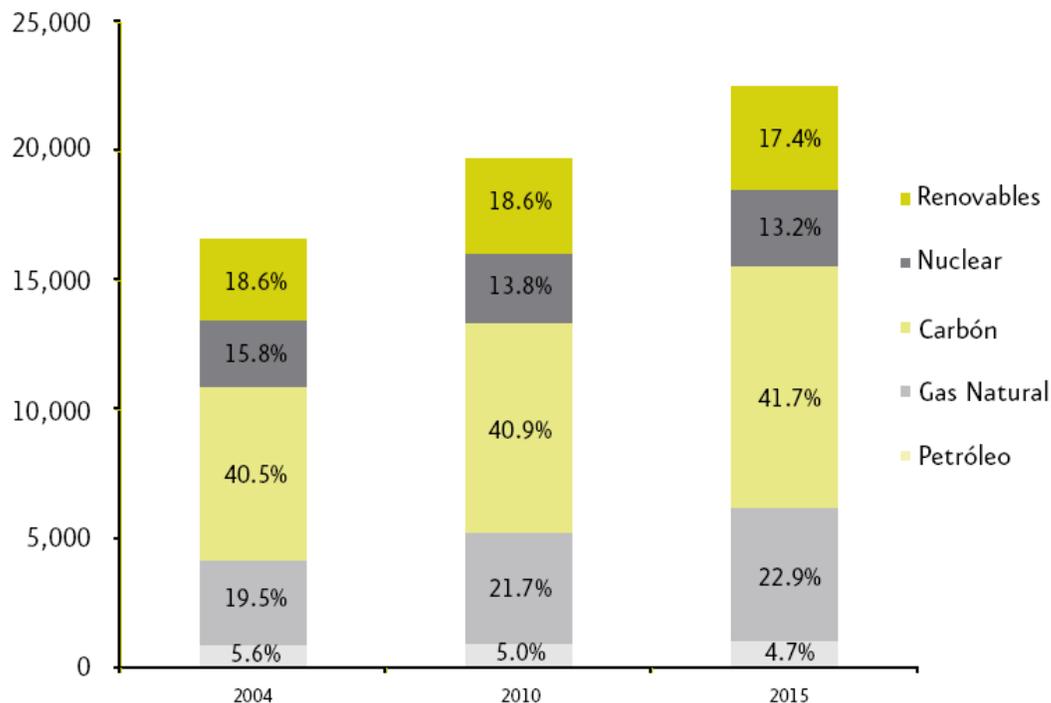
¹⁴ Prospectiva de sector energético 2007-2016
www.sener.gob.mx
Capítulo 1

que durante 2004-2015, el combustible de mayor crecimiento en la generación eléctrica será el gas natural el cual pasará de 19.5% en 2004 a 22.9% en 2015, lo cual complementará la participación mayoritaria del carbón.

Hacia el final del periodo la energía nuclear reducirá ligeramente su participación en la generación mundial, como resultado del incremento del uso de gas natural.

Mientras que la participación de las energías renovables permanecerá estable en alrededor del 18% de la generación mundial. En la gráfica 1 se puede observar que hacia 2015 y sólo después del carbón, el gas natural tendrá la mayor participación en la generación mundial de energía eléctrica, seguido por las energías renovables incluyendo la hidroeléctrica.

Combustibles y fuentes de energía para la generación eléctrica mundial, 2004-2015



Grafica 1. Fuente: Energy Information Administration e International Energy Outlook 2007.

Carbón¹⁵

La generación mundial de energía eléctrica a partir de carbón seguirá siendo la de mayor participación entre el resto de las fuentes de energía, al estimarse un crecimiento de 3.1% anual para el periodo 2004-2015.

En 2004 el 40.5% del suministro mundial de energía eléctrica se generó a partir del carbón. En circunstancias de altos precios de los hidrocarburos líquidos y el gas, este combustible se hace más atractivo

¹⁵ Prospectiva de sector energético 2007-2016
www.serner.gob.mx
 Capitulo 1

para generar electricidad, sobre todo en países con grandes reservas como China, India y EUA. En este último durante 2004, las centrales que utilizan carbón representaron el 33.0% de la capacidad total instalada, y aportaron el 52.0% de su generación de electricidad total. La utilización de estas plantas se orienta para atender carga base, operando sobre periodos largos para producir la mayor cantidad de electricidad por unidad de capacidad instalada. EUA, China e India fueron los países con la mayor capacidad instalada para utilizar carbón en 2004, con 315 GW, 271GW y 82 GW respectivamente, y los planes de crecimiento anual hacia 2015 son mayores para China, con 5.2%, mientras que para India es de 4.1%, y se espera que en EUA la expansión de capacidad crezca con ritmo de 0.4% en promedio anual. Por otra parte, de un total de 909,064 millones de toneladas en 2006, las mayores reservas mundiales de carbón se encuentran en EUA (27.1%), Rusia (17.3%), China (12.6%), India (10.2%) y Australia (8.6) (véase en tabla 1).

Este hecho les confiere cierto grado de seguridad energética a la mayoría de estos países en el suministro del combustible para la generación de electricidad, lo cual se refleja en la dominante proporción de capacidad de generación con base en el mismo instalada en EUA, China e India, como ya se ha mencionado.

En el caso de México, el consumo de carbón en 2006 representó el 0.3% del consumo mundial, el cual se concentró básicamente en la industria siderúrgica y en el sector eléctrico. El uso de carbón resulta atractivo tomando en cuenta que las centrales carboeléctricas constituyen una tecnología madura, existen grandes reservas de este energético a nivel mundial y es un combustible estable en sus cotizaciones. Sin embargo,

dado que México no posee yacimientos carboníferos con un costo de extracción competitivo, de intensificarse su uso se incrementaría su importación.

Reservas y producción mundial de carbón, 2006
(millones de toneladas)

País	Reservas mundiales de carbón, 2006			Relación reservas/producción	
	Bitumen y antracita	Sub-bituminoso y lignita	Reservas totales	Producción	R/P (años)
Total mundial	478,771	430,293	909,064	6,195	147
1. Estados Unidos de América	111,338	135,305	246,643	1,054	234
2. Rusia	49,088	107,922	157,010	309	>500
3. China	62,200	52,300	114,500	2,380	48
4. India	90,085	2,360	92,445	447	207
5. Australia	38,600	39,900	78,500	374	210
6. Sudáfrica	48,750	-	48,750	257	190
7. Ucrania	16,274	17,879	34,153	81	424
8. Kazajstán	28,151	3,128	31,279	96	325
9. Polonia	14,000	-	14,000	156	90
10. Brasil	-	10,113	10,113	6	>500
11. Alemania	183	6,556	6,739	197	34
12. Colombia	6,230	381	6,611	66	101
13. Indonesia	740	4,228	4,968	195	25
14. México	860	351	1,211	11	109
15. Otros	12,272	49,870	62,142	566	110

Tabla1.Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2007.

Gas natural

El gas natural es el combustible que presentará la tasa de crecimiento más alta en la generación mundial de electricidad, con 4.3% promedio anual durante el periodo 2004-2015, su participación al final del mismo seguirá siendo alrededor de la mitad de la correspondiente al carbón. La creciente dependencia en algunos países respecto a este combustible responde a las ventajas y versatilidad que ofrecen las plantas que lo utilizan, dada su alta eficiencia en ciclo combinado, a los menores costos de inversión respecto a otras tecnologías, a periodos de construcción

más cortos, a un arranque rápido para entrada en servicio, así como por la reducción de emisiones de óxidos de azufre, entre otros factores.

Al cierre de 2006, las reservas probadas mundiales de gas natural se ubicaron en 6,406 billones de pies cúbicos, de las cuales Rusia concentra el 26.3%, Irán el 15.5% y Qatar 14.0% (véase en la tabla 2). Se estima que la generación de electricidad a partir de gas en EUA crezca a un ritmo de 3.3% en promedio durante el periodo. Sin embargo, no se debe perder de vista que la volatilidad en los precios del gas podría incentivar la construcción de nuevas centrales de carbón y nucleares.

En países no miembros de la OCDE, la participación del gas natural en la generación total se incrementará mientras que otros combustibles reducirán su participación. Este comportamiento se observará principalmente en países asiáticos y de Europa Oriental, como también en países de África, Medio Oriente, así como Centro y Sudamérica.

En años recientes, en diversos países, entre ellos México, se ha impulsado una mayor utilización del gas natural para generación eléctrica, lo cual ha sido el principal estímulo al crecimiento en la demanda del combustible. Una de las ventajas en la utilización de este energético es que se derivan del desarrollo tecnológico en las turbinas de gas, lo que ha dado como resultado la puesta en operación comercial de equipos de mayor potencia y eficiencia. Por lógica propia, la mayoría de las plantas de ciclo combinado son diseñadas para operar en condiciones de máxima eficiencia. Para tal fin, frecuentemente dichas instalaciones integran sistemas regenerativos y de interenfriamiento que permiten mejorar la eficiencia al reducir el flujo de combustible requerido para alcanzar la temperatura óptima de combustión, así como

disminuir el trabajo requerido para la compresión, lo cual se traduce en una mayor potencia entregada por la turbina. En la actualidad, como resultado de éstas y otras estrategias de optimización, con la integración de ciclos de potencia se pueden alcanzar eficiencias del orden de 50% a 60% utilizando las turbinas más avanzadas y quemando gas natural.

Reservas y producción mundial de gas natural, 2006¹

País	Reservas totales (bpc)	Relación reservas/producción	
		Producción (mmpcd)	R/P (años)
Total mundial	6,406	277,227	63
1. Rusia	1,682	59,224	78
2. Irán	993	10,159	>100
3. Qatar	895	4,789	>100
4. Arabia Saudita	250	7,131	96
5. Emiratos Árabes	214	4,585	>100
6. Estados Unidos	209	50,707	11
7. Nigeria	184	2,728	>100
8. Argelia	159	8,172	53
9. Venezuela	152	2,773	>100
10. Irak	112	n.s.	>100
11. Kazajstán	106	2,315	>100
12. Noruega	102	8,477	33
13. Turkmenistán	101	6,020	46
14. Indonesia	93	7,160	36
15. Australia	92	3,762	67
40. México	14 ²	4,195	9
Resto del mundo	1,048	95,029	30

Tabla2.Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2007

Petrolíferos¹⁶

A nivel mundial se espera que la participación de los petrolíferos en la generación eléctrica se mantenga en un nivel moderado. Los destilados ligeros del petróleo tienen un mayor valor en el sector transporte, mientras que en el sector eléctrico básicamente tienen aplicaciones en instalaciones de respaldo o emergencia y en otros casos para generación distribuida utilizando diesel.

En años recientes, China ha experimentado un fuerte crecimiento en su capacidad instalada debido a la necesidad de satisfacer los picos de demanda en verano.

Se espera que esta situación continúe en el corto plazo; sin embargo, se prevé que cuando la nueva capacidad planeada inicie operaciones y la red de distribución madure, el uso de petrolíferos para la generación de electricidad se moderará.

Energía renovable¹⁷

Se estima que la penetración de las fuentes renovables en la generación eléctrica, se verá estimulada por la persistencia de altos precios del petróleo y del gas natural, lo cual, mediante los incentivos y políticas públicas adecuadas, podrían contribuir al incremento de la utilización de energía limpia. En este contexto, la energía eólica representa una fuente

¹⁶ Prospectiva de sector energético 2007-2016
www.sener.gob.mx
Capítulo 1

¹⁷ Prospectiva de sector energético 2007-2016
www.sener.gob.mx
Capítulo 1

de energía con grandes expectativas de desarrollo para la generación de electricidad basada en energías renovables, dadas sus ventajas respecto a otras fuentes en términos de abundancia, limpieza en su utilización, economía, entre otras.

Durante los años recientes, la capacidad mundial instalada en sistemas para la generación de electricidad a partir de la energía cinética del viento (aerogeneradores), ha crecido de manera vertiginosa al pasar de 6100 MW a 74,223 MW durante el periodo 1996-2006 (véase en la Grafica3)

Al cierre de 2006 se tenían instalados 74,223 MW de capacidad eólica alrededor del mundo, de los cuales destaca en primer lugar Alemania con el 27.8% (20,622MW), en segundo España con 15.6% (11,615 MW), luego EUA con 15.6% (11,603 MW), India con 8.4% (6,270 MW), Dinamarca con 4.2% (3,136 MW) y China con el 3.5% (2,604 MW). Mientras que México ocupa la posición 28 con el 0.1% (88 MW), (véase la tabla3 y la grafica2).

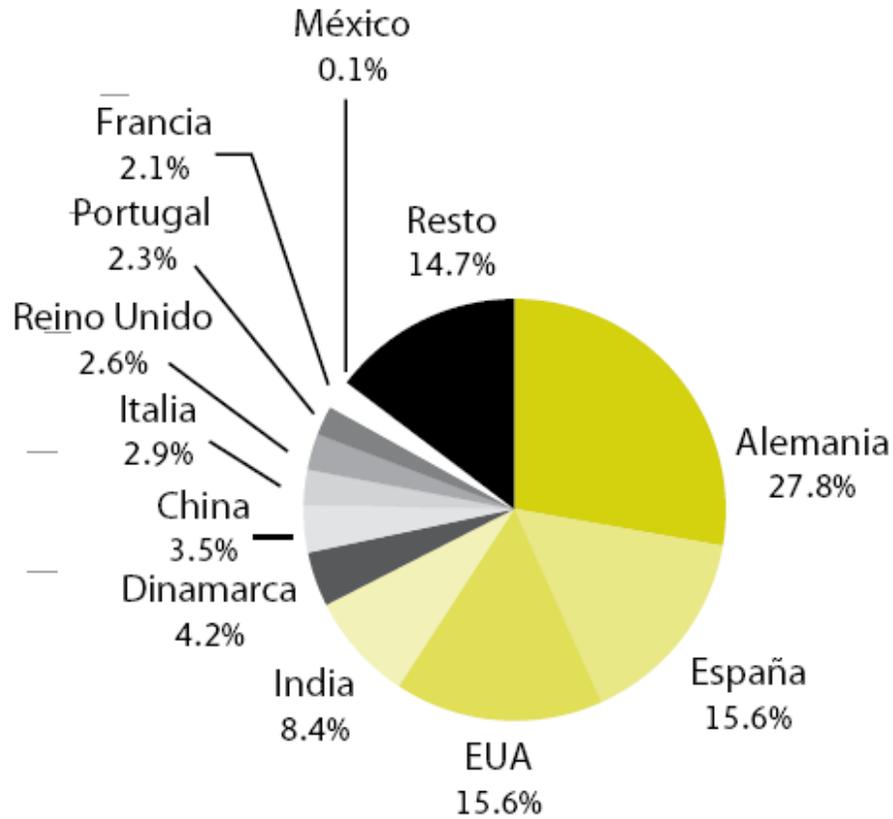
Asimismo, como se pudo observar en la grafica3, el rápido crecimiento en centrales eólicas refleja el hecho de que en muchas regiones del mundo se han tomado decisiones de gran relevancia considerando los beneficios que se pueden obtener de la energía eólica como una estrategia de generación de energía eléctrica sustentable.

No obstante, en muchos países aún se requiere fortalecer el marco regulatorio y las políticas públicas en torno a esta tecnología, con la finalidad de aprovechar de la mejor manera su potencial.

En el contexto internacional, gran parte del crecimiento estimado para la generación eléctrica a partir de fuentes renovables proviene de expectativas de realización de grandes proyectos hidroeléctricos en Asia. China tiene ambiciosos planes para incrementar su capacidad hidroeléctrica, incluyendo el proyecto de la Presa de las Tres Gargantas, el cual está planeado para concluirse en 2009 y contará con 2 centrales eléctricas y 26 unidades generadoras con capacidad de 700 MW cada una, lo que resultará en una capacidad total de 18.2 GW. Se espera que ese país incremente su capacidad de energías renovables de 95 GW en 2004 a 109 GW en 2015.

Por otra parte en Centro y Sudamérica, específicamente en Brasil, donde en 2004 el 83% de su generación de electricidad provino de energía hidráulica, se estima un crecimiento de 4.0% anual en la capacidad de generación a partir de fuentes renovables. En cuanto a los países miembros de la OCDE, no se espera un crecimiento sustancial en la capacidad hidroeléctrica, y sólo en Canadá se planea completar proyectos hidroeléctricos durante los próximos años.

Distribución de la capacidad eólica mundial por país, 2006 (%)



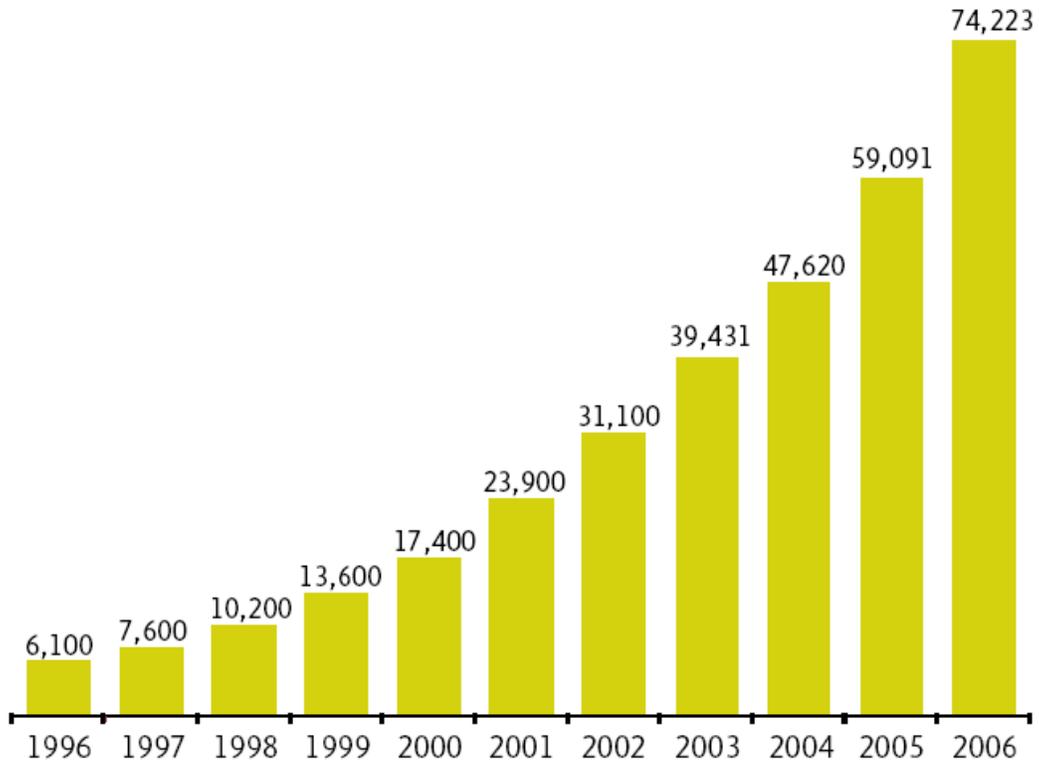
Grafica2.Fuente: Global Wind Energy Council (GWEC).

Capacidad eólica mundial instalada, 2006

	MW	Participación (%)
Total	74,223	
1. Alemania	20,622	27.8
2. España	11,615	15.6
3. EUA	11,603	15.6
4. India	6,270	8.4
5. Dinamarca	3,136	4.2
6. China	2,604	3.5
7. Italia	2,123	2.9
8. Reino Unido	1,963	2.6
9. Portugal	1,716	2.3
10. Francia	1,567	2.1
28. México	88	0.1
Resto del mundo	10,916	14.7

Tabla3.Fuente: Global Wind Energy Council (GWEC).

Evolución histórica de la capacidad eólica mundial, 1996-2006 (MW)



Grafica3.Fuente: Global Wind Energy Council (GWEC).

CAPÍTULO 3

Factibilidad Técnica

3.1 definición de Factibilidad Técnica ¹⁸

Es una evaluación que demuestre que el negocio puede ponerse en marcha y mantenerse, mostrando evidencias de que se ha planeado cuidadosamente, contemplado los problemas que involucra y mantenerlo en funcionamiento.

Algunos aspectos que deben ponerse en claro son:

- Correcto funcionamiento del producto o servicio (número de pruebas, fechas).
- Lo que se ha hecho o se hará para mantenerse cerca de los consumidores.
- Escalas de producción (es posible ampliar o reducir la producción).
Proyectos complementarios para desarrollar el proyecto; ¿cómo se obtuvo o se obtendrá la tecnología necesaria?; ¿cómo se

¹⁸ Evaluación de proyectos
Editorial: McGraw-Hill
Autor: Gabriel Baca Urbina
Capítulo:1

capacitará al personal del plantel?, ¿si existen proveedores alternativos a los seleccionados?.

3.2 Disponibilidad del viento¹⁹

Las estimaciones exactas de la velocidad del viento son críticas al momento de evaluar el potencial de la energía eólica en cualquier localización. Los recursos eólicos son caracterizados por una escala de clases de viento según su velocidad, que se extiende de la clase 1 (la más bajo) a la clase 7 (la más alta). Los desniveles de la superficie a través de la cual sopla el viento antes de llegar a una turbina determina la cantidad de turbulencia que ésta turbina experimentará. Los vientos turbulentos ejercen mayores tensiones sobre el rotor y se elevan, reduciendo consecuentemente la expectativa de vida de la turbina. Así, la mayoría de granjas del viento están ubicadas en localizaciones rurales, lejos de edificios, de árboles y de otros obstáculos.

¹⁹ Textos científicos
www.taxtoscientificos/eolica

Clase	a 30 m de altura		a 50 m de altura	
	Velocidad del viento m/s	Potencia del viento W/m ²	Velocidad del viento m/s	Potencia del viento W/m ²
1	0-5.1	0-160	0-5.6	0-200
2	5.1-5.9	160-240	5.6-6.4	200-300
3	5.9-6.5	240-320	6.4-7.0	300-400
4	6.5-7.0	320-400	7.0-7.5	400-500
5	7.0-7.4	400-480	7.5-8.0	500-600
6	7.4-8.2	480-640	8.0-8.8	600-800
7	8.2-11.0	640-1600	8.8-11.9	800-2000

Tabla 4. Fuente: Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México

Interciencia abril. Año 2006/vol. 31

Autores: María Eugenia Gonzales Ávila, Luis F. Beltrán Morales, Alfredo Ortega Rubio

Mientras que las características técnicas del viento en una localización específica son muy importantes, muchos otros factores también contribuyen en la decisión del emplazamiento. Una localización alejada de la red de distribución eléctrica puede llegar a ser poco rentable, pues se requerirán nuevas líneas de transmisión para conectar la granja eólica con la red. La infraestructura de transmisión existente puede llegar a necesitar una ampliación para poder manejar la fuente de energía adicional. Las condiciones del suelo y del terreno deben ser convenientes para la construcción de las fundaciones de las torres. Finalmente, la elección de una localización puede estar limitada por regulaciones sobre el uso de la tierra y la capacidad de obtener los permisos requeridos de las autoridades locales, regionales y nacionales.

3.3 Equipamiento²⁰

Los principales componentes de un proyecto eólico son:

- Uno o varios aerogeneradores
- Cables internos subterráneos entre los aerogeneradores y hasta el punto de conexión a la red eléctrica o sub estación
- Subestación eléctrica
- Caminos de acceso
- Caseta de control
- Estación meteorológica con una mas equipos de monitoreo de viento

Un proyecto eólico puede estar constituido de uno o más aerogeneradores colocados a una distancia adecuada los uno de los otros, para que no se interfieran entre sí, desde el punto de de vista aerodinámico y para optimizar el uso del terreno disponible en función de la exposición al viento, llegando a conformar un parque eólico.

²⁰ Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México

Interciencia abril. Año 2006/vol. 31

Autores: María Eugenia Gonzales Ávila, Luis F. Beltrán Morales, Alfredo Ortega Rubio

CAPÍTULO 4

Factibilidad Financiera

4.1 definición de Factibilidad financiera²¹

Sintetiza numéricamente todos los aspectos desarrollados en el plan de negocios.

Se debe elaborar una lista de todos los ingresos y egresos de fondos que se espera que produzca el proyecto y ordenarlos en forma cronológica. El horizonte de planeamiento es el lapso durante el cual el proyecto tendrá vigencia y para el cual se construye el flujo de fondos e indica su comienzo y finalización. Es importante utilizar algunos indicadores financieros, tales como:

- Periodo de recuperación indica el tiempo que la empresa tardará en recuperar la inversión con la ganancia que genera el negocio (meses o años).
- La factibilidad financiera se calcula sumando los resultados netos al monto de la inversión inicial hasta llegar a cero, en este caso no se estaría considerando el "valor tiempo del dinero", por esto también es útil calcular el periodo de repago compuesto en el que se incorpora una tasa al flujo de fondos que refleja las diferencias temporales.

²¹ Evaluación de proyectos
Editorial: McGraw-Hill
Autor: Gabriel Baca Urbina
Capítulo: 1

- El valor actual neto (VAN) es el valor de la inversión en el momento cero, descontados todos sus ingresos y egresos a una determinada tasa. Indica un monto que representa la ganancia que se podría tomar por adelantado al comenzar un proyecto, considerando la " tasa de corte" establecida (interés del mercado, tasa de rentabilidad de la empresa, tasa elegida por el inversionista, tasa que refleje el costo de oportunidad).

4.2 Proyectos aislados²²

El costo de un proyecto eólico eléctrico y aislado puede variar considerablemente dependiendo de varios factores, entre los cuales se destacan la capacidad eléctrica a instalar en kW, la inclusión de baterías, el uso de un inversor y aspectos relacionados con la instalación, como la distancia del centro de venta y el acceso al proyecto.

El costo de una pequeña turbina eólica oscila entre US\$ 1500 y \$3000 por kilovatio (kW) con puede verse en la tabla 5. A esto hay que agregarle los costos de los otros componentes, como la torre, las baterías, el inversor, los materiales eléctricos y la instalación en el sitio. El costo de la turbina representa del 25 al 50% del valor total del sistema, dependiendo de su capacidad eléctrica y de la inclusión de otros componentes. Un sistema completo típico cuesta entre US\$ 2,000

²² Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 6

y US\$ 4000 por kW. La vida útil de un sistema eólico completo se estima entre 15 y 20 años, con un mantenimiento adecuado.

Adicionalmente, hay que considerar el valor de la operación y del mantenimiento, y reemplazo de algunos componentes que tengan una vida útil más corta. La inversión en operación y mantenimiento es necesaria para conservar el sistema en buenas condiciones; representando de un 3% a un 5% del costo total a lo largo de toda su vida útil. Los costos por reemplazo se refieren más que todo al cambio de las baterías, las cuales, generalmente, tienen una vida útil de entre tres y cinco años.

La energía eólica, muchas veces, es la opción más barata para sitios remotos no conectados a la red eléctrica, en comparación con otras opciones como plantas de diesel, sistemas fotovoltaicos o extensión de la red. Sistemas híbridos, en que se combina la energía eólica con otra fuente de generación como, por ejemplo, sistemas fotovoltaicos o generadores diesel, pueden proveer la opción técnica y económicamente más eficiente, porque explotan las ventajas de la disponibilidad del recurso energético con la curva de demanda.

Costos de una turbina en un proyecto aislado

Costo de una turbina	US \$1500 a \$3000 por (kW)
otros componentes	Torre, baterías, inversor, material eléctrico, instalación en sitio
Sistema completo	US \$2000 a 4000 por (kW)

Tabla 5

4.3 Proyectos conectados a la red²³

El costo para producir electricidad generada por el viento en sistemas grandes se ha reducido en más de un 80% en los últimos 20 años. Los avances en la tecnología, la fabricación a gran escala y una mayor experiencia han jugado un papel muy importante para disminuir el costo de la producción de energía eólica.

Bajo las condiciones actuales, las plantas de energía pueden generar electricidad con precios de entre US\$ 0.03 y \$0.05 por kilovatio-hora producido. Este monto incluye costos de operación y mantenimiento, seguros y el capital de inversión. Cuando se compara con los precios de la energía eólica de hace veinte años, encontramos que han ido disminuyendo: en 1981 eran de, aproximadamente, 25 centavos de dólar por kWh. Se espera que el costo de generación baje aún más, entre un 10% y un 20% en los próximos 5 años. Los de operación y mantenimiento son bastante bajos: en parques eólicos, conjunto de molinos que trabajan en red, en operación van de 0.008 a 0.02 centavos de dólar por kilovatio-hora.

El precio promedio por kilovatio instalado de aeroturbinas de tamaño grande bajó de unos US\$3000, en 1980, a \$950, en el 2000 como se puede observar en la tabla 6. En general, las turbinas, incluyendo la instalación, equivalen al 80% del costo inicial; el resto incluye la obra

²³ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 6

civil, la conexión a la red, la propiedad o constituyen alquiler de los terrenos y los caminos de acceso, entre otras cosas. Estos últimos pueden variar considerablemente de un proyecto al otro.

Costos de la energía eólica.

	1980	1990	2000
Disponibilidad	60%	97%	98%
Cost. Inv. Us\$ kW	3000	1000	950
Potencia típica por unida	100	500	1500
Cost. Produc. en centavos de US/KWh	30	5.7	3-5

tabla 6. Fuente: Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7 Capitulo: 6

4.4 Otras Consideraciones²⁴

En comparación con otras fuentes de generación eléctrica, tanto plantas térmicas como renovables, la energía eólica puede ser muy competitiva. Sin embargo, existen algunos aspectos que hay que tomar en cuenta al evaluar el costo relativo de esta tecnología

²⁴ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7 Capitulo: 6

- El valor es afectado, significativamente, por la velocidad promedio del viento, porque la cantidad de energía generada aumenta exponencialmente con la velocidad del viento: pequeñas diferencias en ésta significan grandes diferencias en la generación y en consecuencia, en los costos. Por ejemplo, un parque eólico que pueda generar a un costo de 4.8 centavos/kWh, con una velocidad del viento de 7.2 m/s, generaría a 2.6 centavos/kWh con una velocidad de 9,3 m/s, o sea, habría una reducción del 45% con se puede observar en la tabla 7. El tamaño del parque eólico también afecta el costo de generación; por ejemplo, una planta de 3 MW generando a 5.9 centavos/kWh, generaría, considerando todos los otros factores iguales, a 3.6 centavos/kWh, si la capacidad fuera 51 MW como se puede observar en la tabla 8.
- La energía eólica es muy demandante en capital, es decir, su valor principalmente es definido por el capital requerido para la fabricación y la instalación de las turbinas. Consecuentemente, los costos de generación dependen mucho de la inversión inicial; es decir, la ingeniería financiera del proyecto.
- Actualmente, los proyectos eólicos suelen financiarse a plazos relativamente cortos y a tasas de interés comerciales, lo cual implica, generalmente, una elevada carga de deuda en los primeros diez años; por ello se busca que los arreglos financieros cuenten con un financiamiento a largo plazo, como los de proyectos energéticos convencionales. Se ha estimado que, si los parques eólicos se financiaran con condiciones iguales a las plantas de gas natural, por ejemplo, el costo de generación bajaría en casi un 40%.

- El precio de la energía eólica se está reduciendo más rápido que el de la generación convencional, por ejemplo en la última década el precio se redujo en un 15% cada vez que se duplicó la capacidad instalada mundial.
- Si los costos de generación internalizan los costos ambientales, la energía eólica sería aún más competitiva por los bajos impactos que produce. Los parques eólicos no generan emisiones ni impactos en la etapa de exploración, transporte de combustibles o transformación del recurso.

Como afecta la velocidad del viento al costo de producción de energía eólica

Costo Centavos US/kWh	Velocidad viento m/s	Reducción %
4.8	7.2	
2.6	9.3	45

Tabla 7

Como afecta la capacidad de planta eólica al costo de producción

Potencia MW	A que costo es generado Centavos US/KWh
3	5.9
51	3.6

Tabla 8

CAPÍTULO 5

Factibilidad Ambiental

5.1 definición de Factibilidad Ambiental ²⁵

Factibilidad ambiental cuando se planea la ejecución de un proyecto determinado, considerando las condiciones y los efectos ambientales del sitio y las regulaciones, condiciones, restricciones y oportunidades en un para un determinado proyecto y terreno o zona. Esta factibilidad se refiere a un análisis previo del sitio en cuanto a factores físicos y ambientales como ubicación, flora, fauna, clima, suelos, geología, grado de conservación o alteración; así como un análisis de tipo social como área de influencia y población; sin olvidar los aspectos legales y normativos ambientales y de uso de suelo, Planes Regionales y Locales de Desarrollo, entre otros, con el objeto de evaluar todas las posibilidades de desarrollo y las condicionantes, oportunidades y restricciones que pudiera tener un determinado proyecto en un lugar seleccionado,.

Estos estudios permiten determinar si el proyecto que se pretende desarrollar es factible o no, si requiere modificaciones o adecuaciones o si definitivamente no puede llevarse a cabo en el sitio.

²⁵ Evaluación de proyectos
Editorial: McGraw-Hill
Autor: Gabriel Baca Urbina
Capitulo: 1

Los estudios de factibilidad ambiental que realiza Eco Red, proporcionan elementos fundamentales para las decisiones en cuanto a aprovechamiento, ubicación y diseño definitivo de los elementos que conforman cualquier proyecto; así como la oportunidad de diseñar las estrategias que permitan lograr el cumplimiento de la normatividad ambiental y del proceso de Manifestación de Impacto Ambiental.

De igual forma, se puede determinar la Factibilidad Ambiental de sitios destinados a restauración ambiental o reforestación, sitios con vocación para ser establecidos zonas de conservación, o bien para ser decretados como áreas naturales protegidas.

El objetivo principal de un estudio de factibilidad ambiental realizado por Eco Red, es proporcionar una total certidumbre de que el proyecto planeado para un sitio determinado, es posible llevarlo a cabo, sujeto o no adaptaciones, agilizando su tramitología, facilitando el planteamiento de estrategias de desarrollo, mejorando su diseño, y optimizando los tiempos de realización.

5.2 Impactos ambientales ²⁶

Existe un amplio consenso en nuestra sociedad sobre el alto grado de compatibilidad entre las instalaciones eólicas y la capacidad de carga de los ecosistemas naturales. En comparación con las fuentes de energía convencionales, los impactos ambientales de la energía eólica son

²⁶ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 7

locales y, por lo tanto, se pueden monitorear y mitigar con relativa facilidad. Las turbinas eólicas no emiten sustancias tóxicas o gases, por lo que no causan contaminación del aire, del agua y del suelo, y no contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global. Aún así, existen ciertos impactos derivados del aprovechamiento de la energía eólica que no deben obviarse en el diseño de un proyecto eólico.

En proyectos grandes, las acciones que generan mayor número de impactos son las referidas a obras civiles: vías de acceso, cunetas, edificaciones de control y subestación. Todas estas intervenciones causan una alteración del suelo y de la cubierta vegetal y, en ocasiones, pequeñas modificaciones geomorfológicas por desmontes o aplanamientos. No obstante, en la mayoría de los casos, el acceso principal son carreteras ya existentes.

5.3 Ruido ²⁷

Otro aspecto que se considera como impacto es el ruido, tanto el producido por las máquinas, como el aerodinámico, producto de la rotación de las aspas. Sin embargo, mejoras en diseños recientes, por ejemplo en la calidad de los sistemas mecanizados y los tratamientos superficiales de los materiales que forman las aspas, el ruido producido por una turbina se ha disminuido significativamente. Una turbina grande

²⁷ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 7

a 250 metros de distancia produce un ruido equivalente al compresor de un refrigerador doméstico estándar.

5.4 Uso de suelo²⁸

El uso de los suelos a menudo es tema de discusión con respecto al desarrollo de plantas eólicas, instalaciones que han sido criticadas por usar terrenos extensos. La experiencia de campo en los Estados Unidos indica que la mayoría de los proyectos ocupan menos de ocho hectáreas por megavatio; sin embargo, es importante observar, cuando se habla de las tierras usadas por los parques eólicos, que muy poca de ella realmente se ocupa: la tecnología hace que se preste, perfectamente, para compartirla con otras actividades como el pastoreo y la agricultura. En términos de ocupación real de la tierra, un parque eólico, requiere de un 1 a un 5% del terreno para las turbinas y vías de acceso. El resto del terreno se puede utilizar en otras actividades tradicionales.

Los parques eólicos, por lo general, están ubicados en áreas montañosas, en posiciones próximas a las partes altas, en donde se suele manifestar un alto potencial del recurso. En estas zonas el grado de conservación natural suele ser bueno y, en ocasiones, con alto poder paisajístico, por lo que la ocupación del terreno por las instalaciones del parque eólico es un factor de importancia por su posible impacto en los recursos naturales, paisajísticos o culturales de la zona. El "oscurecimiento" ha sido un efecto que ha requerido estudios

²⁸ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 7

específicos, ya que las personas que residen cerca de los parques eólicos manifiestan tener menor disponibilidad de luz en sus viviendas. Sin embargo, su incidencia es de escasa importancia, puesto que la ocupación irreversible del suelo por efecto de la instalación de los aerogeneradores representa un porcentaje muy bajo en relación con la superficie total ocupada por el parque, quedando prácticamente todo el terreno disponible para aquellos usos que habitualmente se daban en el área del emplazamiento.

5.5 Consumo de agua ²⁹

Con respecto al consumo de agua, la energía eólica necesita mucha menos comparada con otras fuentes de generación. Mientras que las plantas térmicas ocupan mucha agua para el ciclo termodinámico, las turbinas eólicas sólo necesitan agua para limpiar las aspas en áreas secas, cuando la lluvia no lo hace.

Se estima que la energía eólica consume 0.004 litros por kWh, frente a 1 ó 2 litros/kWh por las plantas térmicas.

²⁹ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 7

5.6 La Fauna ³⁰

La construcción hace que la fauna (mamíferos superiores principalmente), durante la fase de construcción, se desplace temporalmente pero se ha comprobado que, finalizada la obra, vuelve al área del parque eólico a pesar del ruido y de las labores de mantenimiento en la instalación. Esto incluye a las aves locales, no así a las migratorias que, en caso de transitar, son previsiblemente más afectadas por el riesgo de colisión contra las aspas, torres y tendidos eléctricos; si bien, esto depende de su tamaño, tipo de visión y agilidad de vuelo. Los datos disponibles indican que, aún en zonas de paso de grandes bandadas de aves migratorias, los impactos observados son pequeños y los riesgos para aves locales o animales voladores nativos casi nulos.

5.7 Otros Aspectos Ambientales ³¹

Otro aspecto que ha sido tema de discusión son las aeroturbinas con aspas de acero, ya que han sido señaladas como causa de interferencia electromagnética en ciertos casos, al interrumpir los sistemas de televisión, radio, microondas y de navegación. Debido a esto, los

³⁰ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 7

³¹ Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002.
ISBN: 9968-904-00-7
Capítulo: 7

constructores han tenido que demostrar que ellas no causarán interferencias significativas en los nuevos sitios. No se espera que esto sea un serio impedimento para el desarrollo de las aeroturbinas, dado que la mayoría de las aspas en la actualidad, son de fibra de vidrio o de madera laminada, por lo cual no producen el mismo efecto.

CAPÍTULO 6

Conclusiones

6.1 Ventajas

La energía eólica presenta varias ventajas, entre las cuales 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, y 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. Se estima que, teóricamente, existe el potencial eólico para suplir 15 veces la demanda actual de energía en el mundo.
- La tecnología no usa combustibles y el viento es un recurso del propio país, por lo que es una de las fuentes más baratas: cuando existe potencial comercialmente explotable puede competir en rentabilidad económica con otras fuentes tradicionales como las centrales térmicas de carbón (consideradas el combustible más barato) ó, incluso, con la energía nuclear, la cual tiene un impacto ambiental mucho mayor.

- En comparación con otras tecnologías aplicadas para electrificación rural, la operación de un sistema eólico es muy barata y simple. El sistema no requiere mayor mantenimiento, aparte de una revisión periódica de las baterías, en caso de tenerlas, y una limpieza de las aspas en épocas secas.

6.2 Desventajas

Como toda fuente de energía, la eólica tiene sus desventajas también:

- La variabilidad del viento: para proyectos aislados se requiere de un mecanismo de almacenamiento en batería de la energía generada, para poder disponer de energía cuando no haya suficiente viento. Esto representa un costo adicional al sistema. Para parques eólicos la variabilidad del viento impacta en la calidad de la electricidad que se pueda entregar a la red eléctrica, la estabilidad del voltaje y la frecuencia. A pesar de los buenos avances en el diseño de las turbinas eólicas para disminuir el impacto de la variabilidad del viento, ésta representa un riesgo en la inversión al no poder suplir los compromisos; adicionalmente, no se puede disponer de energía siempre que el sistema lo demande.
- El alto costo inicial: en comparación con fuentes térmicas de generación, un proyecto eólico tiene un alto costo inicial. Si bien, a lo largo de su vida útil puede resultar más económico por sus bajos costos de operación y mantenimiento, la inversión inicial requerida puede ser una barrera para la realización del proyecto, sobre todo en zonas rurales aisladas.

- Cantidad de viento: es una opción factible y rentable sólo en sitios con suficiente viento, lo cual significa que no se puede aplicar en cualquier lugar.
- El impacto visual: desde el punto de vista estético, produce un impacto visual inevitable, ya que, por sus características, precisa emplazamientos físicos que normalmente evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, el desarrollo del parque eólico puede producir una alteración sobre el paisaje.

BIBLIOGRAFIA

- Secretaria de Energía “Prospectiva del sector energético 2007-2016”
www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Programa%20Sectorial%2e%20Energia%202007-2012.pdf
- Manual sobre la energía renovable (eólica)
www.bun-ca.org/publicaciones/EOLICA.pdf
- Guía eólica conae
www.conae.gob.mx
- Balance general de energía, SENER 2008, México
- Borja M. A., Huacuz, J., Estudio de pre factibilidad de una central eoloeléctrica de 150 MW para la zona de La Ventosa, México, Instituto de investigaciones Eléctricas, México´, junio de 1977.
- Energía eólica, Oscar A Jaramillo Salgado, CIE, UNAM, mayo 2006
- Energías Renovables para el desarrollo Sustentable en México, SENER-GTZ 2006
- Perspectiva del sector eléctrico 2006-2015. SENER 2006, México.
- Escudero López, José María, “Manual de energía eólica: investigación, diseño, promoción, construcción y explotación de distinto tipo de instalaciones”, Madrid; México: Mundi-Prensa, 2004.
- Documentos Científicos
www.textoscientificos.com/energia/eolica

- **Proyectos SEMARNAT**
www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Documents/MDL/eolica.html
- **Siemens México**
www.siemens.com.mx/SPG/Siemens/1_8.aspx
- **CFE**
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/eoloelectrica/>
- **Comisión Nacional para el Ahorro de Energías**
www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_620_tecnologia_de_la_ene
- **Energía Alternativa de México**
www.enalmex.com/paginas/eolicos/eolicos.htm
- **European Wind Energy Association (EWEA) Reporte que brinda un resumen detallado del estado actual de la energía eólica y sus tendencias a futuro en cuanto a; tecnología, costos, precios, industria, empleos, impactos ambientales y desarrollo de mercado.**
http://www.ewea.org/06projects_events/proj_WEfacts.htm
- **British Wind Energy Association (BWEA) Breve resumen de las actitudes del público en general hacia proyectos eólicos**
<http://www.bwea.com/energy/attitudes.pdf>
- ***Financial Times* Renewable Energy Report Mercados de Energía Renovable**
http://www.gefweb.org/ResultsandImpact/Experience_and_Lessons/FT_RER_Feb2000.pdf

- Energía Renovable en Latinoamérica
<http://library.iea.org/dbtw-pd/textbase/work/2003/budapest/mexico.pdf>
- The Institution of Engineers La Evolución de la Tecnología Eólica
<http://www.ieindia.org/publish/id/0503/may03id2.pdf>