

TJ820  
RG



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN  
DE ENERGÍA EÓLICA  
EN EL MUNICIPIO SUCRE DEL ESTADO MÉRIDA**

Br. Zugey Endrina Rodríguez Vallejo

**DONACION**

**SERBIULA**  
*Ingeniería*

Mérida, junio 2008

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN  
DE ENERGÍA EÓLICA  
EN EL MUNICIPIO SUCRE DEL ESTADO MÉRIDA**

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Electricista

Br. Zugey Endrina Rodríguez Vallejo  
Tutor: Prof. José Gregório Contreras Dávila  
Asesor: Ing. Gustavo Adolfo Duque

Mérida, junio 2008

## AGRADECIMIENTOS

Resulta muy difícil poder expresar con palabras todo el agradecimiento que siento por tantas personas que han creído o creen en lo que hago.

En primer lugar quiero agradecer a Dios todo poderoso que me ha conservado con vida, con salud, me ha dado inteligencia y me ha guiado y cuidado hasta hoy.

A la Ilustre Universidad de Los Andes, por abrirme sus puertas para formarme académicamente.

A la Escuela de Ingeniería Eléctrica, por brindarme la formación y humanidad, para éste y los próximos proyectos que alcanzaré.

A todas las personas que conforman parte de la dirección y el departamento de potencia, por brindarme su apoyo y colaboración durante la realización de esta investigación.

A mi tutor, prof. José G. Contreras D., por su paciencia y dedicación de este proyecto que hoy culmina satisfactoriamente.

A todos aquellos profesores de esta Universidad en especial al Ing. Yvan Ramírez, Prof. Francisco Vilorio, Ernesto Mora, Rafael Uzcategui, Oswaldo Cáceres, José Contreras, desinteresadamente compartieron sus conocimientos, estuvieron a mi lado cuando más los necesite en mi carrera, gracias por el cariño y el apoyo dado.

Al Dr. Cesar A Guillen L, por depositar en mí su confianza otorgándome la responsabilidad de ejecutar este trabajo, y por su valiosa colaboración en todos los aspectos tanto económicos y de orientación siempre que fue necesario.

A los trabajadores de Guillen & Lamus en especial Gustavo por su tiempo y cooperación a lo largo de este trabajo, sin su apoyo no hubiese sido posible esta tarea.

A todos mis amigos y amigas de clase por su amistad sincera, su ayuda en los momentos difíciles, por sus bromas que cada día hicieron cálida mi vida estudiantil

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso que me ha protegido y ayudado en mi vida, me ha dado aliento en los momentos más difíciles y ayudarme a culminar esta meta.

A mis padres: Rosamary y Ender, por su amor y gran paciencia. Solamente les estoy devolviendo una parte muy pequeña de lo que me han dado. Son lo más importante en mi vida, quiero decirles que los amo...

A mis hermanos: Yhonder y Emilio, por ser parte de mi, yo cumplí unas de mis metas, espero ver las de ustedes también realizadas y disfrutarlas juntos. Los quiero mucho

A mi Abuela Ana, con su cariño, amor y apoyo, ha hecho de mí una persona de bien, gracias por tus oraciones para salir adelante en los momentos que mas las necesite. Te Quiero Muchísimo.

A mi Abuela Celsa (+), aunque no estés aquí se que estas viendo mi logro por el que tanto me preguntabas, ya lo logre abuela, pero me duele mucho y me destroza el alma que no estés en este momento tan importante de mi vida a mi lado.

A todas mis tías y tíos, por creer en este logro tan importante en mi vida, tener fe en mí, darme palabras de aliento y cariño. Gracias...

A todos aquellos compañeros y amigos de quienes he aprendido, y con quienes he compartido momentos inolvidables a lo largo de mi carrera.

**A todos muchísimas gracias !!!**

**Br. Zugey Endrina Rodríguez Vallejo. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA EN EL MUNICIPIO SUCRE DEL ESTADO MÉRIDA.** Universidad de Los Andes. Tutor: Prof. José Gregorio Contreras Dávila. Junio 2008.

## RESUMEN

En varias regiones del mundo le han dado un importante desarrollo a las energías alternativas, como opciones energéticas a los combustibles fósiles, altamente contaminantes y agotables a mediano plazo. El objetivo de este trabajo es determinar la factibilidad de una participación importante de la energía eléctrica con generadores eólicos, en el municipio Sucre del Estado Mérida (Venezuela), en base a su potencial de explotación, siendo esta una de las fuentes con mayor posibilidad de desarrollo en esta región. Los resultados indican que el país tiene un potencial de las mismas, que la hidroenergía en gran escala es la única con una participación importante en el sistema energético, pero la energía eólica tiene una gran posibilidad de desarrollo en el país. En este trabajo se analiza el potencial eólico de un lugar, a partir de los datos disponibles sobre el viento, y por otra parte se hace una revisión de la tecnología de las maquinas eólicas y se evalúa las posibilidades de utilización para ponerlo en práctica como un sistema de generación de energía en el municipio.

**Descriptorios:** Energía renovables, Energía Eólica, Maquinas eléctricas,

# ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN	v
INTRODUCCIÓN	1
<b>Capítulo</b>	<b>pp</b>
<b>1 EL PROBLEMA</b>	<b>3</b>
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos de la propuesta	4
1.3.1. Objetivos Generales	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance	4
1.5. Metodología	4
<b>2 MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
2.1. Fuentes de energía primaria	6
2.2. Energía eólica	6
2.3. Objetivos de la energía eólica	8
2.4. Tipos de sistemas de conexión y usos que ofrece	9
2.5. ¿Por qué elegir el sistema de energía eólica?	9
2.6. Tamaño de los aerogeneradores	10
2.6.1. Microturbinas	10
2.6.2. Pequeños aerogeneradores	10
2.6.3. Grandes aerogeneradores	11
2.6.4. Aerogeneradores multimegavat	11
2.6.5. Diámetro del rotor	11
2.7. Ventajas competitivas del bombeo de agua por medio de energía renovables	12
2.8. Tipos de instalaciones eólicas	12
2.8.1. Aisladas	12
2.8.2. Parques eólicos	13
<b>3 ESTUDIO DEL SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA A SER IMPLEMENTADO</b>	<b>14</b>
3.1. Estudio del sistema para adaptar a las condiciones del lugar	14
3.2. Sistema operando en forma aislada	15
3.2.1. Acoplamiento directo entre el aerogenerador	16
3.2.2. Acoplamiento a través de un sistema de acumulación de energía	16
3.3. Bombeo de agua mediante energía eólica	19
3.3.1. Equipo de bombeo eólico	20
3.3.2. Selección de la bomba	21

3.4	Sistemas principales de un aerogenerador	24
	3.4.1 Sistema de captación (exterior)	24
	3.4.2 Sistema de transmisión	25
	3.4.3 Sistema de orientación	25
	3.4.4 Sistema de generación	26
	3.4.5 Sistema de control	26
	3.4.6 Sistema de soporte	27
	3.4.7 Sistema hidráulico	27
	3.4.8 Sistemas de refrigeración	28
3.5	Tipos de torres	28
3.6	Perfiles de palas	29
3.7	Góndola	29
3.8	Funcionamiento de arranque de un aerogenerador	30
3.9	Parada del aerogenerador	31
	3.9.1 La parada de turbina	32
3.10	Ventajas y desventajas de la energía eólica	32
	3.10.1 Ventajas	33
	3.10.2 Desventajas	34
<b>4</b>	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS ASPECTOS FÍSICOS NATURALES DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	<b>36</b>
4.1	Localización y extensión	36
4.2	Suelos	38
	4.2.1 Fondos de valle	38
	4.2.2 Vertientes	39
4.3	Topografía y pendiente	39
4.4	Geomorfología	39
4.5	Hidrografía	40
4.6	Clima	41
4.7	Vegetación	42
4.8	Vientos	42
	4.8.1 Tipos de adquisición de datos	42
	4.8.2 Mediciones del viento, Hacienda Santa Ana	47
<b>5</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO SOBRE LA RECUPERACIÓN DE INVERSIÓN EN EL TIEMPO</b>	<b>52</b>
5.1	Análisis económicos del sistema eólico aislado	52
	5.1.1 Costo de inversión	53
	5.1.2 Vida útil	54
5.2	Tramites para instalar	55
	5.2.1 Presupuesto	56
	CONCLUSIONES	57
	RECOMENDACIONES	58
	REFERENCIAS	59
	ANEXO	60
	GLOSARIO	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>pp</b>
2.1 Sistema de energía eólica	8
2.2 Tamaño de las máquinas eólicas según el diámetro del rotor	11
2.3 Esquema de conexión de una instalación aislada	13
2.4 Sistema de un parque eólico	13
3.1 Selección de la zona	15
3.2 Sistema eólico autónomo con acumulación por baterías eléctricas (sistema serie)	16
3.3 Sistema eólico autónomo con acumulación por baterías eléctricas (sistema paralelo)	17
3.4 Sistema eólico para el bombeo de agua	17
3.5.a Configuraciones que se usan en aplicaciones de pequeñas turbinas-Modelo 1	18
3.5.b Configuraciones que se usan en aplicaciones de pequeñas turbinas-Modelo 2	19
3.5.c Configuraciones que se usan en aplicaciones de pequeñas turbinas-Modelo 3	19
3.6 Esquema de la zona de montaje del pozo de agua	22
3.7 Curva de rendimiento de la bomba	23
3.8 Palas	24
3.9 Buje	25
3.10 Tipos de torres	28
3.11 Góndola	30
3.12 Partes interna de una góndola	30
4.1 Ubicación de la zona en estudio	37
4.2 Ubicación específica del terreno	38
4.3 Hidrografía del área de estudio río chama	40
4.4 Distribución espacial de los climas presentes en el área de estudio	41
4.5 Vientos de cañón	43
4.6 Vientos en el área de estudio	43
4.7 Mapa de potencial eólico	45
4.8 Anemómetro digital de mano	46
4.9 Portón de la hacienda (Punto 1)	48
4.10 División de la carretera (Punto 2)	48
4.11 División de la carretera interna (Punto 3)	49
4.12 Árbol de mango (Punto 4)	49
4.13 Loma (puno 5, 6 y 7)	50
4.14 Vientos medidos en el mes de enero	50
4.15 Vientos medidos del punto siete (7)	51

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>pp</b>
3.1	Perfiles de palas	29
4.1	Evaluación visual de los vientos y sus velocidades	44
4.2	Escala Beaufort	47

# INTRODUCCIÓN

La energía es de vital importancia para el desarrollo rural en cualquier país. Con ella es posible llevar a cabo los trabajos que el hombre por sí solo es incapaz de hacer. Existen diversas fuentes de energía, entre ellas están los combustibles fósiles y las fuentes de energía renovable como el sol y el viento. La energía eólica se denomina renovable debido a que se trata de un recurso limpio, abundante e inagotable. De una manera u otra podríamos mejorar la calidad de vida de las personas con este tipo de energía que es limpia, renovable.

La aplicación más común que es utilizada en este tipo de tecnología, del sector agropecuario, es el bombeo de agua. Este tipo de energía renovable tiene mucha utilidad especialmente en el medio rural (por Ejemplo: en el sector del Municipio Sucre al que se le está haciendo el estudio), donde el suministro de energía eléctrica convencional y el transporte, es difícil, costoso y escaso. Para la comprensión del contenido de este trabajo, se ha distribuido de la manera siguiente:

Capítulo I: En este se trata la exposición del problema y justificación correspondiente para realizar este proyecto. Se presentan también los objetivos generales y específicos o metas a alcanzar con el desarrollo del mismo.

Capítulo II: Contenido del marco teórico, una explicación sencilla de lo que son las energías alternativas, energía eólica, tamaño de aerogeneradores y tipos de instalaciones. Los beneficios que le da al medio ambiente la utilización de este tipo de generación de energía eléctrica.

Capítulo III: Comprende todo lo que es el área de investigación del estudio de la zona, aspectos físicos naturales y medidas de los vientos. Con la realización de dichos estudios se procede a la determinación de los equipos que se necesitarán para la implementación del sistema.

Capítulo IV: Selección del mejor lugar para adaptar este sistema de energía, tipo de conexión eólica, tipo de motores y aerogeneradores. Explicación interna de un aerogenerador.

Capítulo V: Análisis económico sobre la recuperación de inversión en el tiempo. Y las ventajas y desventajas sobre este tipo de tecnología en la zona, el país, en la atmósfera, etc.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

En este capítulo se expone el problema que en la actualidad presenta esta zona del municipio sucre del estado Mérida “Hacienda Santa Ana”, con respecto al suministro del agua y la energía eléctrica, y la justificación correspondiente para el planteamiento y desarrollo del presente trabajo. También se presenta los objetivos o metas a alcanzar, la importancia de esta solución y la metodología que va a presentarse.

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema que se plantea en el Municipio Sucre del Estado Mérida “Hacienda Santa Ana”, es la gran escases del suministro de agua y electricidad que existe en el lugar, por lo cual se plantea una alternativa para esta solución, la cual sería bombear agua por medio de un aerogenerador y así cubrir las necesidades que dicha zona necesita.

### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación y estudio, se hace para satisfacer las necesidades humanas y teniendo en cuenta una visión futurista, para quienes se encarguen de implementar y poner en funcionamiento esta propuesta, por lo menos lo que se trata es de ser lo más preciso y real a la hora de la selección de equipos, de acuerdo a los datos y medidas suministradas.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA**

**1.3.1 *Objetivo General:*** Estudio de la factibilidad de generación de energía eléctrica con generadores eólicos en el municipio Sucre del Estado Mérida

### **1.3.2 *Objetivos Específicos***

- Realizar mediciones de velocidad del viento en el municipio sucre utilizando un anemómetro.
- Estudiar algún tipo de sistema de generación de energía eólica que se adapte a las condiciones del lugar.
- Analizar la capacidad de generación del sistema propuesto.
- Adaptar este sistema para bombear agua con motores eléctricos.
- Analizar las ventajas y desventajas del sistema y la posibilidad de utilizarlo en la cuenca del Chama.
- Realizar un estudio económico sobre la recuperación de inversión en el tiempo

## **1.4 ALCANCE**

El alcance del estudio de esta propuesta, es llevar a la realidad dicha investigación que es factible en el municipio para una mejora de los servicios de agua y electricidad que son tan vitales para el suministro humano.

## **1.5 METODOLOGÍA**

La metodología se va a utilizar, es de tipo bibliográfico y de campo, en la de tipo campo, se van a tomar muestras de las velocidades del viento (instrumento “el anemómetro”), las mediciones en los puntos más factibles son las que se van a escoger para la aplicación del tipo de sistema, además se selecciona el sistema de energía más adecuado, que es el sistema de energía eólica, y por último se escoge el aerogenerador más adecuado para accionar algún tipo de bomba de agua.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Las energías alternativas comprenden todas aquellas energías de origen no fósil hoy en día en nuestro país. Estas energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten. Se tiende a usar indiscriminadamente los términos renovables, nuevas y no convencionales como sinónimos, no siendo totalmente correcto. Así, el término no convencional no significa necesariamente nuevo, como es el caso de la energía solar, conocida desde hace mucho tiempo. Tampoco se debe confundir el concepto de energía renovable con el de energía no convencional, pues entre las fuentes energéticas convencionales se encuentran algunas con característica de renovables, como la hidráulica o la bioenergía. Existen además fuentes no renovables y no convencionales como la energía geotérmica o la fusión nuclear.

Las energías no agotables, como la eólica, comúnmente se incluyen entre las renovables. De manera que el término alternativo, es el más adecuado para englobar todas estas opciones energéticas y será el utilizado en este trabajo de grado.

Las energías renovables podrían solucionar muchos problemas en nuestro país, como problemas ambientales, cambios climáticos, residuos radioactivos, lluvias acidas y la contaminación atmosférica. Este tipo de energía es la única alternativa a largo plazo de cambiar todos los problemas climáticos (<http://www.textoscientificos.com>).

## 2.1 FUENTES DE ENERGÍA PRIMARIA

Las fuentes de energía primaria se clasifican en:

Fuentes de energía no renovables: son los recursos que una vez consumidos por el hombre no vuelven a regenerarse. (Carbón, petróleo, gas natural, uranio, etc.).

Fuentes de energía renovables: son los recursos que están en el globo terrestre y se regeneran a una velocidad similar que el hombre la consume. (Energía solar: fotovoltaica y térmica, energía eólica, biomasa, energía geotérmica, fuerza hidráulica, celdas de combustible (hidrógeno), Hidro-oceánicas:(mareo-motriz: mareas y olas, termo marinas: Gradientes de temperatura.) (Villarrubia, 2004).

La energía eólica es una de las fuentes de energías renovables, para la que se dispone de una tecnología madura, por lo que su explotación es técnica y económicamente viable, en unas condiciones de producción y de costos competitivos, con las fuentes de energías tradicionales.

## 2.2 ENERGÍA EÓLICA

El término eólico deriva del griego EGLO, que era el Dios del viento en la mitología griega. La energía eólica es una energía renovable. Eso quiere decir que nunca se acaba, es una variable de la energía solar ya que esta nace del calentamiento terrestre. También se conoce como energía eólica al aprovechamiento por el hombre de la energía del viento. Hace años se utilizó para mover naves marinas y molinos. Hoy se utiliza sobre todo para generar energía limpia y segura.

Esta energía es causada por los vientos generados en la atmósfera terrestre. Se puede transformar en energía eléctrica mediante el uso de turbinas eólicas o aerogeneradores que basan su funcionamiento en el giro de aspas movidas por los vientos. Bajo el mismo principio

se puede utilizar como mecanismo de bombeo de aguas subterráneas o ciertos tipos de molinos para la agricultura.

La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni a la lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes. Cada KWh. de electricidad, generada por energía eólica en lugar de carbón, evita la emisión de un Kilogramo de dióxido de carbono a la atmósfera. Cada árbol es capaz de absorber 20 Kg de CO<sub>2</sub>; generar 20 Kilowatios de energía limpia, tiene el mismo efecto, desde el punto de la contaminación atmosférica, que plantar un árbol (Villarrubia, 2004)

La energía eólica forma parte de las energías renovables, que proceden del sol. La energía procedente de la radiación solar, que la Tierra absorbe en un año, equivale a unas 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles del mundo (carbón, petróleo y gas). Si se pudiera aprovechar tan solo el 0.005% de dicha radiación mediante aerogeneradores, turbinas, paneles solares y otros procedimientos tecnológicos " renovables " obtendríamos más energía útil en un año que la que conseguimos quemando carbón, petróleo y gas. Con la diferencia de que las energías renovables no se agotan.

Durante los últimos años se ha promovido la creación e instalación de parques eólicos en otros países para impulsar las energías renovables, muchos de ellos empleando turbinas extranjeras, la mayoría europeas, pues estos países tienen una mayor cultura eólica y una tecnología más avanzada.

Además de la instalación de grandes parques eólicos, se están popularizando la instalación de pequeños aerogeneradores para producir energía para el consumo en granjas y hogares situados en lugares donde el viento es muy fuerte, y el diseño de proyectos para construir parques eólicos mar adentro.



**Figura 2.1: Sistema de energía eólica**

## **2.3 OBJETIVOS DE LA ENERGÍA EÓLICA**

Determinar las necesidades energéticas a satisfacer en el uso de la energía eólica puede llevar a varios factores que se deben tener en cuenta; estos son:

- Interconexión a la red de transmisión o instalación aislada.
- Instalación (micro, pequeña, mediana o grande).
- Mejorar el medio ambiente, con esta energía limpia e inagotable.
- Disminuir la quema de combustible.
- Elevar la calidad de vida de las comunidades locales
- Apoyar otros servicios básicos: saneamiento, educación, salud, agua, etc.
- Aprovechamiento de la energía cinética del viento

## **2.4 TIPOS DE SISTEMAS DE CONEXIÓN Y USOS QUE OFRECE**

Los usos que ofrece este tipo de generación de energía es el surtir energía eléctrica a micro, pequeña, medianas y grandes poblaciones y empresas.

Los tipos de conexiones son:

- Sin conexión a la red eléctrica: pequeñas turbinas (50 W a 10 W), electricidad para redes eléctricas interconectadas, redes eléctricas aisladas turbinas típicas de 10 a 200 kW., carga de baterías, bombeo de agua.
- Conectado a la red aislada: que reduce los costos de generación en áreas remotas. También ofrece apoyo para redes débiles, reducción de la exposición a la volatilidad del precio de la energía y reducción de las pérdidas de transmisión y distribución.
- Conectado a la red central: turbinas típicas de 200 kW a 2 MW y granjas de viento de múltiples turbinas.

## **2.5 ¿POR QUÉ ELEGIR EL SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA?**

Los sistemas de energía eólica cuentan con una de las mejores relaciones costo/beneficio para aplicaciones de energías renovables en los hogares. Una turbina eólica puede reducir la facturación eléctrica y ayudarle a escaparse de los altos costos de extender las redes a sitios remotos, evitar interrupciones de energía y además es limpia, inagotable y no es contaminante.

Los sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad pueden proporcionarle una fuente práctica y económica de electricidad siempre y cuando:

- Su propiedad cuenta con un buen recurso eólico.
- No le disguste invertir a plazos largos
- Las normas permiten la instalación en su localidad de turbinas eólicas.
- Su hogar o actividad productiva está ubicada en un área rural muy lejos de la red.
- Su facturación al mes es muy alta.

## 2.6 TAMAÑO DE LOS AEROGENERADORES

El tamaño de los aerogeneradores depende a su respectiva utilización. Los podemos clasificar según su potencia nominal y por el diámetro del rotor:

**2.6.1 Microturbinas (<5 kW):** Usadas para pequeños consumidores de energía, producen electricidad que sirven para la carga de baterías de almacenamiento. El generador es de imanes permanentes y se acciona directamente por la turbina eólica sin que haya caja multiplicadora de velocidad entre el eje del rotor del aerogenerador y el generador eléctrico.

En general son eólicas rápidas de eje horizontal preferentemente de tres palas con pequeños diámetros, que trabajan a velocidad de rotación elevada y generalmente variable. La electricidad producida en forma de corriente alterna de frecuencia variable es rectificadas y almacenada en las baterías para ser convertida en corriente continua a alterna a frecuencia constante, mediante un ondulator o inversor. Un transformador eleva la tensión a la requerida por el servicio (230 V).

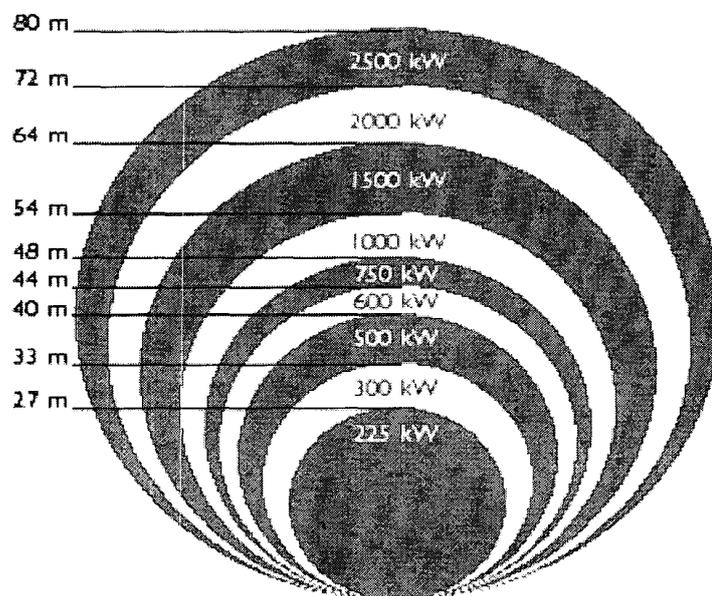
A este tipo de microturbinas pertenecen a las eólicas lentas de eje horizontal con multipalas, cuya curva par-velocidad es adecuada para el accionamiento directo de bombas hidráulicas para la extracción de agua de pozos.

**2.6.2 Pequeños aerogeneradores (<50 kW):** Pertenecen al mismo grupo anterior pero con una mayor potencia. En el rango de 2 kW a 10 kW, el sistema de accionamiento sigue siendo igual al anterior. A partir de los aerogeneradores de alta potencia, se introducen cajas de engranajes entre el eje del rotor y el del generador eléctrico para amplificar la velocidad del rotor. El generador eléctrico es sincrónico, pero funcionando con una velocidad mucho mayor que la del rotor de la turbina. Los aerogeneradores suelen trabajar en régimen de velocidad de rotación constante. (Villarrubia, 2004)

**2.6.3 Grandes aerogeneradores (<850 kW):** Son aerogeneradores rápidos de eje horizontal preferentemente con rotor tripala. La mayoría de ellos están comprendidos entre 200 y 850 kW, con diámetros de 25 a 55 m. Van dotados de caja de engranajes para amplificar la velocidad y accionar el generador eléctrico. Las palas del rotor van provistas de algún sistema de regulación mediante la cual se controla la potencia del rotor en función de la velocidad del viento estos aerogeneradores son utilizados para parques eólicos. (Villarrubia, 2004).

**2.6.4 Aerogeneradores multimegavat (1 a 3 MW):** Estos aerogeneradores tienen diámetros entre 50 a 90 m y altura de buje entre 60 y 100 m. Son grandes máquinas que han iniciado su introducción comercial hacia el 2000 y en particular en instalaciones marinas.

**2.6.5 Diámetro del rotor:** Las máquinas también suelen clasificarse por el rotor a mayor magnitud del diámetro del rotor será mayor su tamaño y la potencia de la máquina eólica (Small wind guide spanish PDF)



**Figura 2.2: Tamaño de las máquinas eólicas según el diámetro del rotor**

## **2.7 VENTAJAS COMPETITIVAS DEL BOMBEO DE AGUA POR MEDIO DE ENERGÍAS RENOVABLES.**

Las energías renovables cuentan con tres clases de competidores sobre los cuales presentamos las ventajas competitivas; los competidores son: bombeo con combustible fósiles como el diesel y la gasolina, el bombeo con energía eléctrica y el bombeo con energía fotovoltaica. Con respecto a los equipos de bombeo convencionales ofrece la siguiente ventaja:

Las aerobombas utilizan la energía del viento, las cuales son gratuitas y limpias, evitando el uso de combustibles no renovables que son de acceso restringido en la mayoría de zonas rurales y su costo se eleva progresivamente a medida que se agotan las reservas. Además, el hecho de no consumir combustible reduce los costos de mantenimiento haciendo que el equipo satisfaga su costo inicial rápidamente y hace que el costo del metro cúbico bombeado sea más barato.

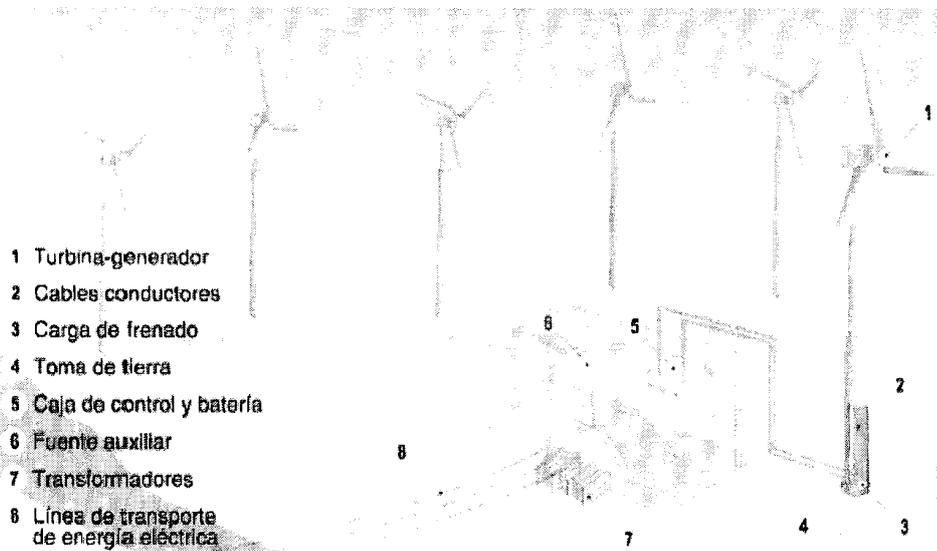
Las aerobombas son productos ecológicos, no contaminantes, no utilizan combustibles, ofrece al usuario la posibilidad de hacerle mantenimiento y reparaciones personalmente, reduciendo costos y reduciendo el tiempo muerto por no funcionamiento.

## **2.8 TIPOS DE INSTALACIONES EÓLICAS**

La energía eólica sólo es rentable en lugares con vientos constantes y relativamente moderados; es necesario una velocidad media para el buen funcionamiento de dichos aparatos.

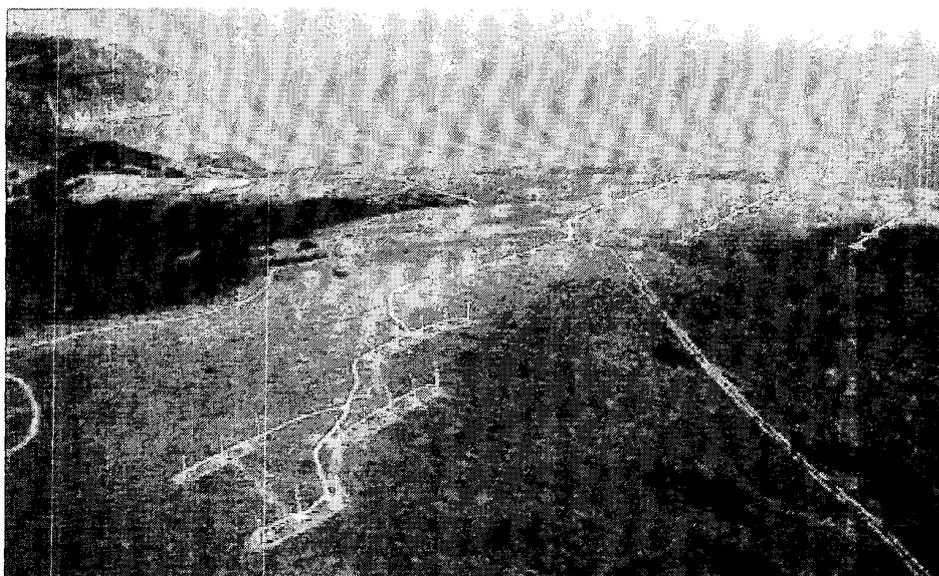
Existen varios tipos de instalaciones: aisladas y conectadas a la red (parques eólicos)

**2.8.1 Las aisladas:** son las instalaciones que no dependen de la conexión de la red eléctrica, son instalaciones de pequeña escala y su suministro eléctrico va dirigido a inmuebles ubicados en lugares alejados, entornos rurales, etc. (Renovables.pdf.)



**Figura 2.3: Esquema de conexión de una instalación aislada**

**2.8.2 Parques eólicos:** estas instalaciones están formadas por conjunto de aerogeneradores que se encuentran conectados a la red de distribución eléctrica general. Son instalaciones de una gran magnitud y están localizadas en lugares donde la velocidad el viento es adecuada para su rentabilidad. Existen también parques marinos cuya función tecnológica es equivalente al parque eólico terrestre, aunque los aerogeneradores pueden llegar a ser de mayores dimensiones.



**Figura 2.4: Sistema de un parque eólico**

## **CAPÍTULO III**

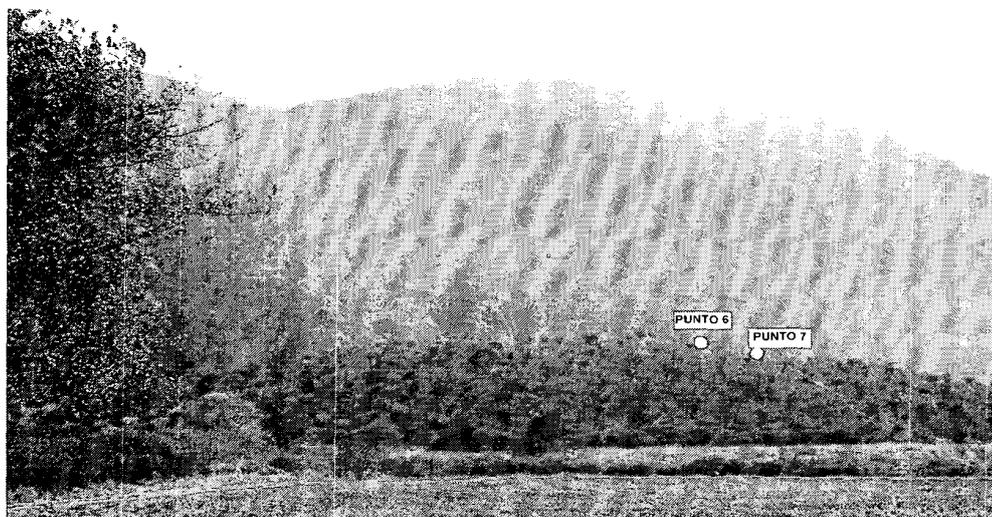
# **ESTUDIO DEL SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA A SER IMPLEMENTADO**

### **3.1 ESTUDIO DEL SISTEMA PARA ADAPTAR A LAS CONDICIONES DEL LUGAR**

El lugar donde se pretenda instalar la turbina debe elegirse con atención. La cercanía a los usuarios tiene la ventaja a reducir los costos de cableado, pero puede ser contraproducente para la funcionalidad de la maquina por la interferencia con el viento debida a la proximidad de edificios y por el impacto del ruido. La lejanía reduce el impacto medioambiental, pero aumenta la dispersión de energía y los costos de cableado y de enterramiento de las líneas eléctricas.

Un aerogenerador instalado en un lugar inadecuado se verá perjudicado por turbulencias y vientos flojos. El viento, al tropezar con obstáculos que encuentra en su camino, se frena y produce turbulencias.

El caso de estudio, se encuentra en la loma del caño, se recomienda que su instalación sea en la parte media-alta de dicha zona de la hacienda Santa Ana, donde el viento se encuentra canalizado, en la parte más alta, el aerogenerador será susceptible de captar el viento en cualquier dirección. La mejor opción para la colocación de este tipo de sistema es la representada en los puntos: seis (6) y siete (7), estos se pueden apreciar en la figura 3.1.



**Figura 3.1: Selección de la zona**

Una vez ubicadas las zonas más factibles para la ubicación de los aerogeneradores se procede al estudio del tipo de sistema; solo se va a estudiar en forma aislada a la red.

### **3.2 SISTEMA OPERANDO EN FORMA AISLADA**

Los sistemas aislados o autónomos, están formados por micro turbinas o pequeños aerogeneradores, tienen como función principal cubrir la demanda de energía de pequeños consumidores, en general núcleos aislados.

La demanda es en forma de energía eléctrica, para la cual se utilizan sistemas auxiliares de almacenamiento, o en forma de energía mecánica directa para el bombeo de agua de pozos.

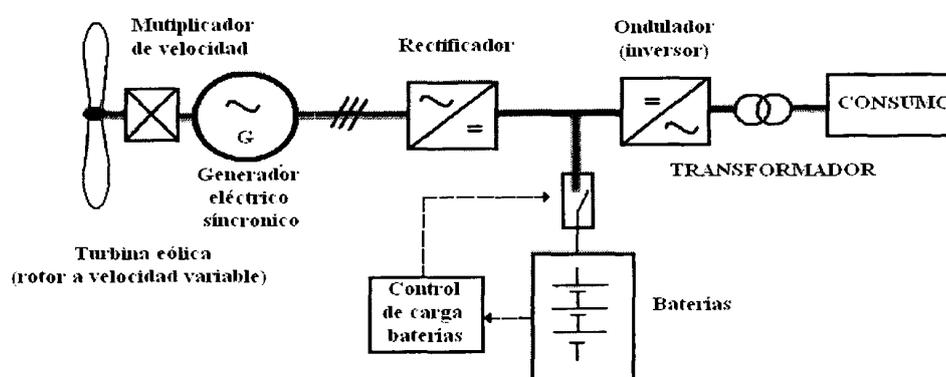
Algunas aplicaciones que se encuentran es el bombeo de agua mediante molinos y de aerogeneradores eólicos para uso doméstico. En nuestro estudio sólo son utilizables los aerogeneradores eólicos ya que los molinos sólo funcionan si el pozo está debajo de él. En cambio el aerogenerador puede funcionar y bombear agua con sólo llevar el cableado a la bomba que se va utilizar. (Villarrubia, 2004).

Este sistema tiene el problema de acoplamiento entre la generación y el consumo. Este problema se resuelve en la práctica mediante algunas de las siguientes configuraciones:

**3.2.1 Acoplamiento directo entre el aerogenerador:** Este sistema requiere una buena adaptación entre la curva de demanda y la de generación eólica. Es muy poco usado dado que esta condición se cumple en muy pocas ocasiones. (Villarrubia, Miguel, 2004).

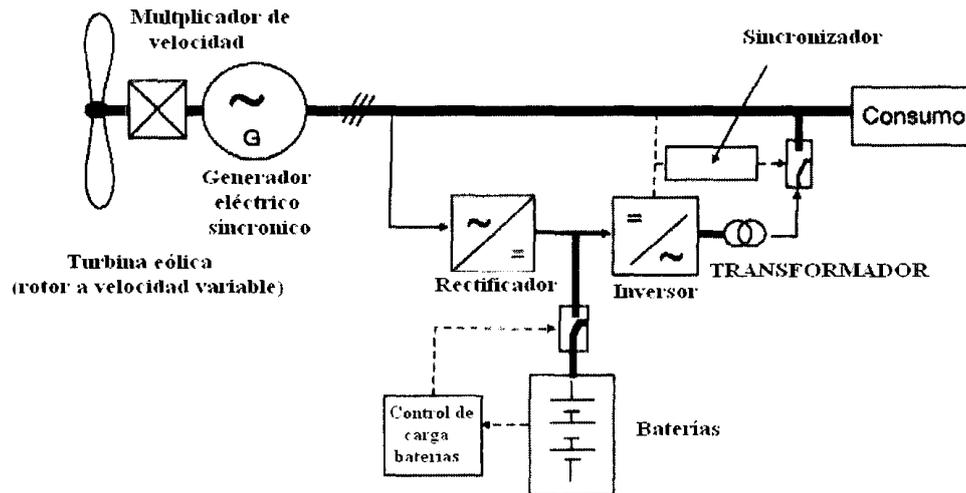
**3.2.2 Acoplamiento a través de un sistema de acumulación de energía:** Este es el más usado e incorpora un sistema de acumulación de energía, por medio de baterías o por un sistema de acumulación de agua bombeada. Para el caso del uso de baterías en los sistemas autónomos hay dos posibilidades de configuraciones.

Sistema serie: Primera configuración, toda la energía alterna eléctrica producida por el alternador sincrónico en forma de corriente alterna se rectifica a corriente continua. A partir de la misma o bien se alimentan por baterías de acumulación o bien se vuelve a convertir en alterna a través de un ondulator. La carga siempre se alimenta o bien en corriente continua a través de las baterías o bien en corriente alterna a través de un ondulator. Un ondulator o inversor es un dispositivo formado por componentes de estado sólido que convierte la corriente continua en corriente alterna (ver figura 3.2). (Villarrubia, Miguel, 2004)



**Figura 3.2: Sistema Eólico Autónomo con acumulación por baterías eléctricas (Sistema serie)**

Sistema paralelo: Segunda configuración, representada en la figura 3.3, indica que la carga puede alimentarse, o bien directamente del generador eléctrico de la eólica en forma de corriente alterna, o bien desde las baterías, previo paso por el ondulator para convertir la corriente continua a corriente alterna.



**Figura 3.3: Sistema Eólico Autónomo con acumulación por baterías eléctricas (Sistema paralelo)**

En el caso de un generador eólico autónomo o aislado para el bombeo de agua, representado en la figura 3.4: (uso directo de la energía mecánica obtenida por la eólica para el accionamiento de la bomba hidráulica) se muestra el principio básico de acumulación.

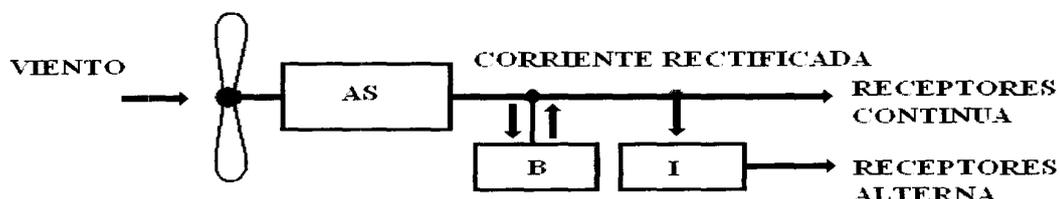


**Figura 3.4 Sistema Eólico Autónomo para el bombeo de agua**

En sistemas aislados a la red, el generador eléctrico más usado es el alternador sincrónico de polos magnéticos de imanes permanentes, ya que es el sistema más simple y apropiado para turbinas de pequeña potencia. El generador sincrónico no requiere tomar energía reactiva de la red como ocurre en el caso de un asincrónico y así el generador puede trabajar aislado de la red eléctrica. Cuando el aerogenerador no está instalado a la red y por tanto puede recibir energía reactiva, se tiende a usar un generador asincrónico por ser más sencillo, robusto y barato que el sincrónico. También sistemas aislados de pequeña potencia pueden usar un generador asincrónico siempre que se le añada una fuente de energía reactiva auxiliar (baterías de condensadores). (Villarrubia, 2004).

Para muy pequeñas potencias (5 kW), la producción se acostumbra a realizar en forma de corriente alterna monofásica, para mayores potencias es preferible el uso de trifásica. Esta corriente alterna se rectifica a continua y se alimenta un sistema acumulador de baterías. La alimentación de los receptores se realiza a través de la energía acumulada en las baterías, la cual se hace pasar por un ondulator o inversor que convierte la tensión continua en alterna y posteriormente por un transformador que eleva la tensión hasta 208 V, valor usual en los circuitos de consumo monofásicos.

En muchos casos de eólicas de pequeña potencia, el rotor gira a velocidad variable por lo que la frecuencia de la corriente producida por el generador es variable. Esto no afecta al consumo, dado que este se hace a partir de las baterías.



**B: Batería de acumulación eléctrica**  
**I: Inversor u ondulator para paso de CC a CA**

**Figura 3.5 a: Configuración que se usan en aplicaciones de pequeñas turbinas. Modelo 1**

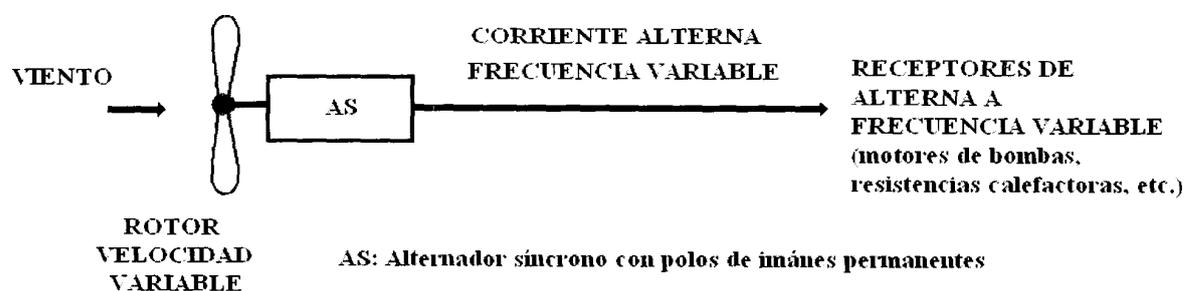


Figura 3.5 b: Configuración que se usan en aplicaciones de pequeñas turbinas. Modelo 2

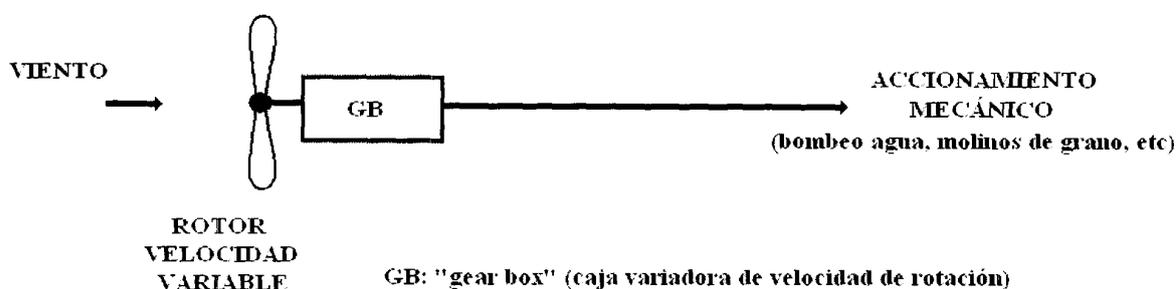


Figura 3.5 c: Configuración que se usan en aplicaciones de pequeñas turbinas. Modelo 3

### 3.3 BOMBEO DE AGUA MEDIANTE ENERGÍA EÓLICA

Los sistemas eólicos de bombeo pueden satisfacer un amplio rango de necesidades para hatos o para consumo humano, e irrigación de pequeñas parcelas. Estos sistemas son sencillos, confiables, requieren de poco mantenimiento y no usan combustible. Sin embargo, su costo inicial es alto comparado con sistemas de bombeo de motores de combustión.

Un sistema eólico de bombeo es similar, a los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia. Su operación es muy sencilla. Los equipos o componentes principales que lo componen son: un aerogenerador, un controlador para la bomba, un motor acoplado a la bomba, una torre para el aerogenerador, conductores eléctricos, tubería de agua y un tanque de almacenamiento.

Las necesidades de agua para consumo humano y de animales requieren el uso de un tanque de almacenamiento. Se recomienda almacenar el agua para varios días de abastecimiento, por lo menos para tres (3) días o los que sean necesarios. Almacenar agua en tanques es mucho más económico que almacenar energía en baterías. Después de algunos años de uso, las baterías necesitan reemplazarse mientras que la vida útil de un tanque de almacenamiento bien construido es de varias décadas.

**3.3.1 Equipo de bombeo eólico:** La potencia que produce un aerogenerador depende de la velocidad del viento. Es decir, a medida que varía la velocidad eólica, también cambia la disponibilidad de potencia para la bomba.

Tipos de bombas recomendadas:

**Bombas centrífugas superficiales:** tienen la ventaja de fácil acceso para reparaciones y mantenimiento. Sin embargo, están limitadas en términos de capacidad de succión, siete (7) metros máximo. Son de bajo costo, larga durabilidad y toleran cierta cantidad de arena y otros sedimentos. Se recomiendan para aplicaciones que requieran grandes volúmenes de agua (20,000 a 40,000 litros por día) a baja carga dinámica total (1 a 10 metros).

**Bombas centrífugas sumergibles:** son las más comunes en sistemas de bombeo. Hay una gran variedad de modelos. Generalmente tienen varios impulsores y por ello, se les conoce como bombas de paso múltiple. Estas bombas no deben operarse en seco porque sufren daños por sobrecalentamiento. La mayoría son muy confiables y pueden durar más de 10 años en servicio continuo, aunque su costo inicial es mucho mayor que las bombas superficiales. Se recomiendan para bombear cantidades moderadas de agua (5,000 a 20,000 litros por día) a carga dinámica total media (20 a 35 metros).

**Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo:** son adecuadas para el bombeo de bajas cantidades de agua (1,000 a 5,000 litros por día). Son más eficientes que las bombas centrífugas, especialmente mayor carga dinámica total. Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover el agua; otras utilizan diafragmas. Este tipo de bombas son

menos resistentes a la arena. Los diafragmas y sellos se desgastan y deben ser reemplazados periódicamente. Existen modelos sumergibles y no sumergibles.

**3.3.2 Selección de la bomba:** Cada fabricante ofrece varios modelos de bombas y cada una tiene un rango óptimo de operación. El proceso de selección de la bomba se complica debido a la gran variedad de marcas disponibles. El tipo de bomba que se recomienda, es según, la carga dinámica total del sistema de bombeo y el volumen de agua que se requiera. En cada caso particular, es necesario consultar las recomendaciones de los fabricantes.

Para aplicaciones sencillas como en nuestro caso que es el campo, se requiere comprar una bomba de agua que cumpla funciones sencillas que es bombear o transportar el líquido de un sitio a otro, primero se debe determinar dos datos muy importantes:

1) Se debe calcular la altura total: la cual está compuesta por la sumatoria de dos alturas, la altura de succión y la altura de descarga.

$$\text{Altura total (AT)} = \text{Altura de succión (AS)} + \text{Altura de descarga (AD)} \quad (3.1)$$

Altura de succión (AS): Se obtiene midiendo la distancia vertical, que habría entre la superficie del agua, hasta el punto donde se instalaría la bomba que va a adquirir. Para bombas autocebantes, normalmente esta altura total de succión no debe ser mayor de siete (7) metros, de lo contrario no podría succionar eficientemente.

Altura de descarga (AD): Se obtiene midiendo la distancia vertical, que habría entre el punto donde se instalaría la bomba, y el punto extremo donde descargaría el agua de la manguera o tubería que se va a colocar, aquí lo importante es la altura neta entre estos dos puntos.

2) Se debe calcular el caudal; (litros por minuto, litros por segundos, etc.); es decir, la cantidad de agua que saldrá por el tubo de descarga:

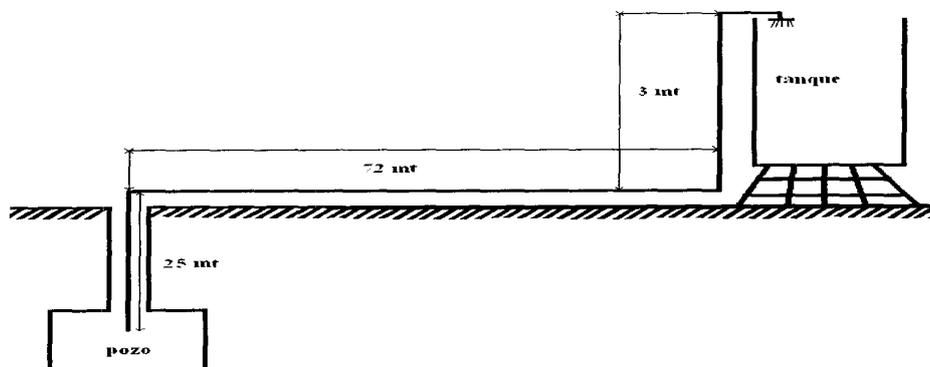
Se obtiene observando las diferentes curvas de rendimiento del fabricante de la bomba (cada bomba posee una curva de rendimiento propia). Solo hay que ubicarse sobre el eje

vertical izquierdo de la gráfica (señala las alturas), sobre el punto que coincide con el valor de la altura total calculado, se desplaza luego en línea recta hacia la derecha, hasta tocar la curva que esta dibujada. En este punto, se hace una línea vertical y se desplaza el punto hacia abajo, hasta tocar el eje horizontal inferior de la gráfica (señala el caudal); este corte señala abajo el caudal que esa bomba especifica produce cuando existe una altura total especifica.

Con este procedimiento, se podrá observar qué caudales produce cada bomba a una altura total calculada, entonces así se escogerá la bomba que más convenga a las necesidades de la zona. Una vez elegida la bomba se procederá al cálculo del aerogenerador, según la potencia que necesite nuestra bomba de agua, se elegirá una turbina eólica igual o mayor a la potencia que requiera nuestro equipo de bombeo de agua.

Para la selección de los equipos a utilizar en el sistema de energía eólica planteado, el cual se desea implementar, a continuación se plantea un caso práctico.

Caso a resolver: Se cuenta con un pozo de agua subterránea que se encuentra a una profundidad de 25,00m, y el tanque de reserva para el agua extraída del pozo se encuentra a una distancia de 75,00m. ¿Qué bomba de agua sería necesaria?



**Figura 3.6: Esquema de la zona de montaje del pozo de agua.**

En función de los datos suministrados y la utilización de las hojas de datos del fabricante, la cual se muestra en la figura 3.7, se procede al cálculo de la bomba utilizar.

$$ADT=AD1+AD2+AD3= 25+72+3= 100.00 \text{ m}$$

Con esta medida de longitud se selecciona el tipo de bomba a utilizar para el caso planteado. Para ello se utiliza la figura 3.7, y con el procedimiento explicado anteriormente se obtiene el caudal de agua que puede suministrar la bomba.

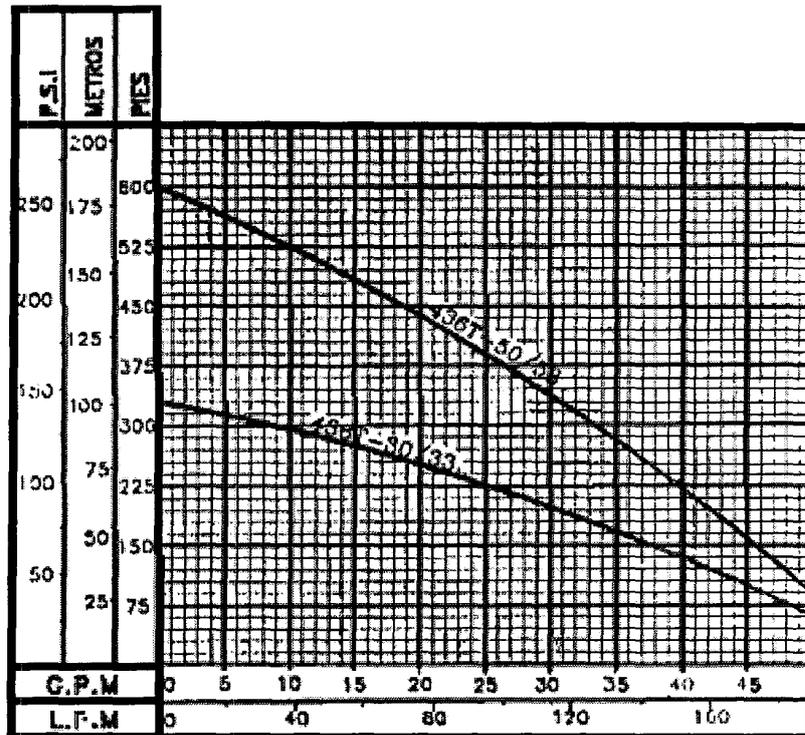


Figura 3.7: Curva de rendimiento de la bomba

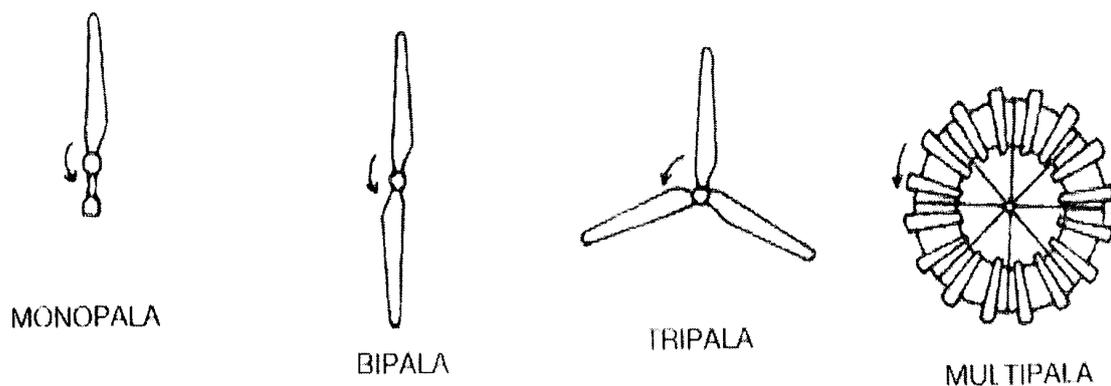
Con los cálculos realizados se selecciona una bomba de 5 HP (bomba de agua centrífuga sumergible para pozo de 4”), con la cual se puede utilizar un aéreo generador de baja potencia, es decir, menor o igual a 6 KW.

### 3.4 SISTEMAS PRINCIPALES DE UN AEROGENERADOR

Las turbinas extraen la energía del viento utilizando una tecnología que se asemeja a la de los aviones o helicópteros. Los sistemas principales de un aerogenerador son:

**3.4.1 Sistema de captación (exterior):** El sistema está conformado por:

- Rotor: Incluye el buje y las palas (por lo general es de tres).
- Palas: Elementos que capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje. Pueden ser de:
  - Paso variable: aquellas que capturan en todo momento la energía del viento. La reducción de la potencia mecánica suministrada al generador la controla mediante modificación del ángulo de pala (calaje).
  - Paso fijo: este tipo de palas no dispone de modificación de ángulo de pala, por lo que cuando el viento supera un margen, es necesario un sistema que limite el empuje mecánico del viento al generador. Esta limitación se consigue con la entrada en pérdida aerodinámica a partir de cierta velocidad de viento (aprox. 15 m/s), provocando turbulencias en el flujo de aire, reduciendo así el par suministrado al eje lento. (Centrales de energías alternativas, Renovables.pdf.)



**Figura 3.8: Palas**

- Buje: es el elemento por el cual se une las palas y a través de la cual la potencia eólica es captada por el rotor y se transmite a la caja de engranajes o variador de velocidad.



**Figura 3.9: Buje**

**3.4.2 Sistema de transmisión**, estos sistemas se divide en tres partes:

- Eje lento: El eje de baja velocidad del aerogenerador conecta el buje del rotor al multiplicador. Por el interior del eje, discurren conductos del sistema hidráulico o eléctrico.
- Multiplicador (caja de engranajes o variador de velocidad): Por una entrada se encuentra el eje de baja velocidad, y mediante unos engranajes, consigue que el eje de salida, de alta velocidad, gire más rápido (entre 79 y 50 veces más rápido), dependiendo de la potencia de la turbina.
- Eje de alta velocidad (el eje de salida): Gira aproximadamente a 1.500 revoluciones por minuto, lo que permite el accionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia (para inmovilización por seguridad).

**3.4.3 Sistema de orientación:** Tiene como fin aprovechar el viento; el plano del rotor debe mantenerse perpendicular a la dirección del viento por lo tanto puede situarse de dos formas, barlovento (delante de la torre) o sotavento (detrás de la torre).

- Motores de giro: En las turbinas eólicas grandes, es necesario un mecanismo que posicione la turbina enfrente al viento. Este movimiento circular, se consigue con unos

motores y reductores fijos a la góndola, y engranando 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, con las lecturas de la veleta y anemómetro instaladas en cada turbina.

- Freno en orientación: Tienen como misión evitar desplazamientos radiales de la góndola, por efecto del viento incidente o giro del rotor, no deseados. 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.

#### **3.4.4 Sistema de generación:** Estos se clasifican en:

- Generador eléctrico: Son los elementos de la turbina encargados de convertir la energía mecánica, en energía eléctrica. La electricidad producida en el generador baja por unos cables a la base de la torre, para ser transformada (elevar la tensión y reducir intensidad) y enviada a la red. Los generadores de corriente alterna pueden ser de dos tipos: sincrónicos (de dos polos formados por electroimanes alimentados con corriente continua, de dos polos por imanes permanentes fijos o permanentes) y asíncrónicos o de inducción (de rotor de jaula de ardilla, de rotor devanado).
- Cableado de potencia: Transporta la energía eléctrica generada desde el alternador hasta el transformador, pasando por las distintas protecciones de máxima o mínima tensión, sobre intensidad o frecuencia; evitando daños a la red o a la propia turbina en caso de producirse contingencias en el aerogenerador o red de distribución.
- Transformador interno: Se eleva la tensión de generación desde los 690, hasta 20 KV, reduciendo la intensidad para disminuir el calentamiento de cableado y reducir pérdidas eléctricas. (Centrales de energías alternativas, Renovables.pdf).

#### **3.4.5 Sistema de control:** Entre ellos se tienen:

- Controlador de turbina. El controlador de la turbina eólica consta de varios ordenadores que continuamente supervisan las condiciones de la turbina eólica, y recogen estadísticas

de su funcionamiento. Como su propio nombre indica, el controlador también controla un gran número de interruptores, bombas hidráulicas, válvulas y motores dentro de la turbina.

- **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 del aerogenerador para conectar el aerogenerador cuando la señal recibida es correcta. El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la información recibida de los sensores es errónea, con el fin de proteger a la turbina.
- **Salidas de control y regulación:** Desde el controlador de turbina, en base a la información analizada de los sensores, salen unas órdenes que afectan a la operación y funcionamiento del aerogenerador. (Centrales de energías alternativas, Renovables.pdf).

**3.4.6 Sistema de soporte:** Estos son los siguientes:

- **Torre.** Soporta la góndola y el rotor. Puede ser tubular o de celosía (estas últimas, aunque más baratas, están en desuso ya que las tubulares son mucho más seguras). Tienen varios tramos para facilitar el transporte. La unión de los distintos tramos se realiza mediante pernos en las bridas de unión.
- **Zapata o cimentación.** Es la parte que permite asegurar la torre vertical, absorber los esfuerzos de rotor y góndola y transmitirlos correctamente al terreno. Se calcula en base al tipo de suelo y al tamaño del aerogenerador a instalar.

**3.4.7 Sistema hidráulico:** Se clasifican en:

- **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 en base al actuador a accionar.

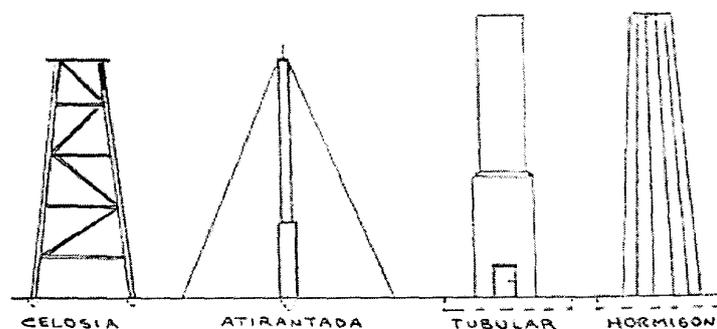
**3.4.8 Sistemas refrigeración:** Está conformado por:

- 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.

### 3.5 TIPOS DE TORRES

Se utilizan cuatro tipos de torres de sustentación, (Centrales de energías alternativas, Renovables.pdf.):

- Celosía: poco usada, generadores grandes de bajo costo y fea apariencia visual. Necesitan una revisión periódica de las uniones angulares con el fin de garantizar su resistencia.
- Atirantada: generadores pequeños
- Tubular: de las más típicas, de acero, en generadores grandes. Este tipo de sustentación tiene mayor seguridad y mejor aspecto físico.
- Hormigón: de las más típicas, generadores grandes.



**Figura 3.10: Tipos de torres**

### 3.6 PERFILES DE PALAS

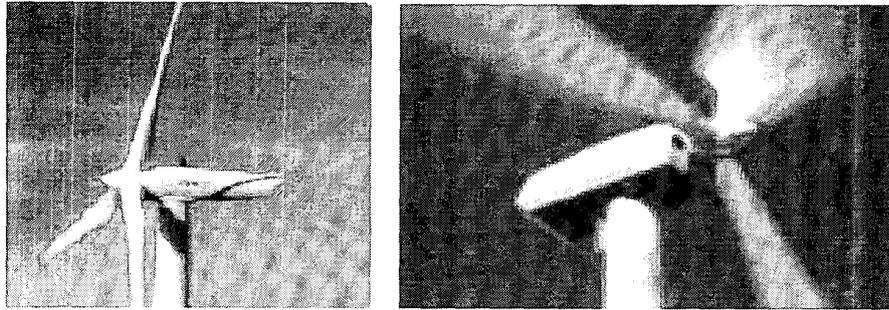
En la siguiente tabla se muestran los perfiles de las palas que se pueden utilizar.

**Tabla 3.1: Perfiles de palas**

TIPO DE MATERIALES DE LA PALA	PERFIL DE LA PALA
Madera contrachapada maciza	
Chapa metálica	
Aluminio macizo	
Aluminio extruido	
Acero-madera-fibra de vidrio	
Acero-espuma de poliuretano-fibra de vidrio	
Aluminio-espuma de poliuretano-fibra de vidrio	
Aluminio-espuma de poliuretano-fibra de vidrio	
Aluminio extruido-panel de abeja-fibra de vidrio	

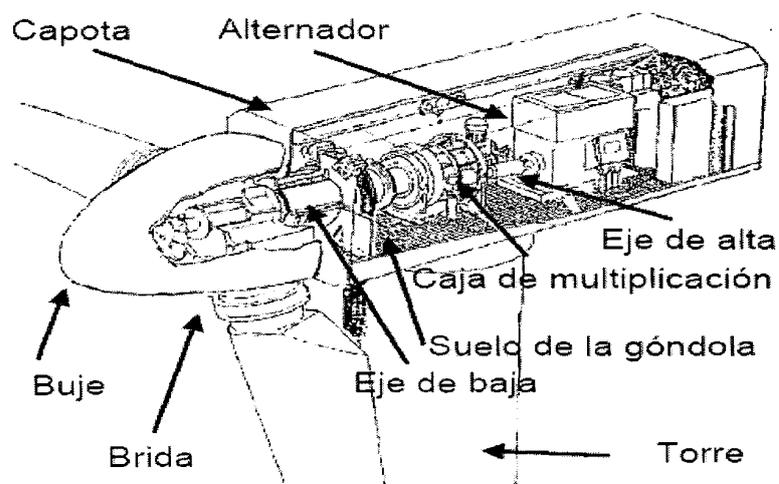
### 3.7 GÓNDOLA

Es el receptáculo en cuyo interior se ubica el generador eléctrico, la caja multiplicadora de velocidad de rotación y los sistemas de control, regulación, orientación y frenado (Centrales de energías alternativas, Renovables.pdf).



**Figura 3.11: Góndola**

En la figura 3.12, que se muestra a continuación está definido las partes interna de la góndola.



**Figura 3.12: Partes interna de una góndola:**

### **3.8 FUNCIONAMIENTO DE ARRANQUE DE UN AEROGENERADOR**

Cuando la turbina detecta viento en cualquier dirección, por los sensores de velocidad de viento (anemómetros de turbina), el controlador realiza las siguientes órdenes al aerogenerador, a través de los motores correspondientes:

- Entre 2 - 3 m/s. Envía la orden de posicionarse frente al viento. Esta orden se denomina orientación de la turbina.
- A partir de 3 m/s. La orden de desaplicar frenos para permitir el giro de la turbina y comenzar a girar por el efecto únicamente del empuje del viento.
- Paso variable, además envía la consigna de posición de las palas progresivamente de 90° a 0°.
- Rpm=>1500. Al llegar a la velocidad de sincronismo del generador solicitado (dependiendo del viento, se selecciona un generador u otro con velocidades diferentes), se conecta el generador a red de forma suave, contando para ello con electrónica de potencia mediante tiristores (un tipo de interruptor continuo de semiconductor, que puede ser controlado electrónicamente). Al realizar la conexión (dura entre 3 y 4 segundos), se conecta directamente el generador a red, mediante un interruptor.
- Conexión directa a la red. A partir de este momento, el generador queda conectado directamente a la red eléctrica general, enviando la energía al sistema nacional. La velocidad es constante y limitada únicamente por la frecuencia de la red. Cuando el viento es fuerte, existe una limitación de potencia en las palas al incrementar las turbulencias del flujo de aire.
- Paso Variable. El control del aerogenerador se realiza mediante la actuación en el ángulo de paso, capturando o limitando la potencia extraída del viento. La velocidad de generación puede ser variable.
- Las turbinas de doble devanado. Cuya finalidad es aprovechar la intensidad del viento en sus diferentes rangos de velocidad. (Villarrubia, 2004)

### **3.9 PARADA DEL AEROGENERADOR**

Puede ocurrir por los siguientes motivos:

- Vientos altos. Cuando el viento supera un margen (>25 m/s ó 90 km/h), o bien cuando un error es detectado en base a la lectura de los sensores de viento al controlador.
- Error de funcionamiento. Se detecta un error de funcionamiento mediante la información de sensores.

- Parada por poco viento. Se inicia la secuencia si se detecta poca generación o vientos muy bajos.
- Parada Manual. Se realiza bajo la supervisión del personal de operación y mantenimiento.

**3.9.1 La parada de turbina:** Esta se puede dividir en:

- Parada Suave: Se produce cuando muy poco viento y el aerogenerador tiende a detenerse de una manera muy lenta y suave.
- Paso fijo: El controlador envía una orden al sistema de captación para desplegar los aerofrenos, simultáneamente desconecta el generador, revisa la disminución de rpm y aplica frenos de forma suave. Al cabo de varios segundos, aplica una presión de frenado cada vez mayor hasta conseguir la detención total.
- Paso Variable: La orden la envía a los actuadores del calaje 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 frenado.
- 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.

Cambio devanado generador. No se llega a realizar una parada, sólo una disminución de velocidad de giro en el caso de pasar del generador grande al pequeño. En el caso contrario, la turbina se desacopla y permite el embalamiento con el viento hasta alcanzar la nueva velocidad de sincronismo.

## **3.10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA**

A continuación se hace un esbozo de las ventajas y desventajas de la energía eólica.

**3.10.1 Ventajas:** La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático.

La energía eólica tiene muchas ventajas que la hacen una fuente de energía atractiva tanto en gran escala como para pequeñas aplicaciones. Las características beneficiosas de la energía eólica incluyen:

**Energía limpia e inagotable:** La energía del viento no produce ninguna emisión y no se agota en un cierto plazo. Una sola turbina de viento de un megavatio (1 MW) que funciona durante un año puede reemplazar la emisión de más de 1.500 toneladas de dióxido de carbono, 6.5 toneladas de dióxido de sulfuro, 3.2 toneladas de óxidos del nitrógeno, y 60 libras de mercurio.

Evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles; gas, petróleo, gasoil, carbón. Reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales. Suprime los riesgos de accidentes durante estos transportes: desastres con petroleros (traslados de residuos nucleares, etc). No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento: canalizaciones a las refinerías o las centrales de gas.

El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación, etc... Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna, la vegetación, etc. (Small wind guide Spanish PDF).

**Desarrollo económico local:** Las plantas eólicas pueden proporcionar un flujo constante de ingresos a los terratenientes que arriendan sus campos para la explotación del viento, y un aumento en la recaudación por impuestos territoriales para las comunidades locales.

**Tecnología modular y escalable:** las aplicaciones eólicas pueden tomar muchas formas, incluyendo grandes granjas de viento, generación distribuida, y sistemas para uso final. Las aplicaciones pueden utilizar estratégicamente los recursos del viento para ayudar a reducir los riesgos por el aumento en la carga o consumo y costos producidos por cortes.

Estabilidad del costo de la energía: La utilización de energía eólica, a través de la diversificación de las fuentes de energía, reduce la dependencia a los combustibles convencionales que están sujetos a variaciones de precio y volatilidad en su disponibilidad.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato).

Reducción en la dependencia de combustibles importados: la energía eólica no está afectada a la compra de combustibles importados, manteniendo los fondos dentro del país, y disminuyendo la dependencia a los gobiernos extranjeros que proveen estos combustibles.

La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosionabilidad, ya que no se produce ningún contaminante que incida sobre este medio.

Al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huellas.

**3.10.2. Desventajas:** El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras. Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.

Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.