



FEB 2011

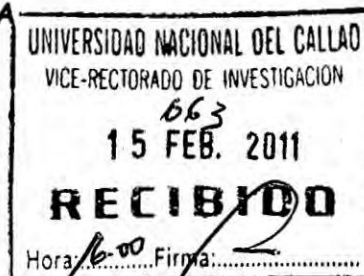
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

Facultad de Ingeniería Química

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE



INGENIERÍA QUÍMICA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR
EÓLICO”**

INFORME FINAL

Ing. Luis Carrasco Venegas

Resolución Rectoral 322-09-R del 25 marzo

(01 Marzo 2009 al 28 Febrero 2011)

Resolución 035-2009-CFAIQ

Resolución 013-2009-IIIQ

Lima - Perú

2011

*Mary
04-02-2011
15:00h*

INDICE

I.	RESUMEN	01
II.	INTRODUCCIÓN	02
III.	FUNDAMENTO TEÓRICO	05
	3.1. Historia de la energía eólica	05
	3.2. La energía del viento	09
	3.3. La ley de Betz y la máxima eficiencia de conversión	12
	3.4. La distribución de Weibull	14
	3.5. La Rugosidad	16
	3.6. Rendimiento de los aerogeneradores	17
	3.7. Contexto energético Peruano	20
	3.8. Agentes relevantes del sector energético peruano	22
	3.9. Política energética peruana	24
	3.10. Análisis del sector de la energía eólica	25
	3.10.1. La energía eólica en el mundo y Europa	25
	3.10.2. Energía eólica en el Perú	31
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	38
	4.1. Material	
	Primera parte: Diseño y construcción de la maqueta del eje provisto de alerones.	38
	Segunda parte: Diseño y construcción del generador eólico	38



4.2. Métodos	
Primera parte	39
Segunda parte	43
V. RESULTADOS	45
VI. DISCUSIÓN	47
VII. CONCLUSIONES	48
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	55



I RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo de investigación, consiste en el diseño y construcción de un generador eólico de eje vertical, el cual posee muchas ventajas respecto al generador clásico de eje horizontal. En primer lugar se ha estudiado las ecuaciones físicas que gobiernan la transformación de la energía del viento (energía eólica), en energía mecánica (movimiento angular de un eje provisto de paletas) y su posterior transformación en energía eléctrica a través de la inducción de las bobinas de un alternador. Previamente, se ha investigado los subtipos de alabes que contienen los generadores eólicos de eje vertical, llegando a la conclusión de que en realidad hay un número ilimitado de diseños, lo cual me permitió desarrollar mi propio diseño, tomando en consideración que estos tipos de diseño son en parte ciencia y en parte arte. Habiendo planeado el tipo de paleta del generador para este estudio, se construyó varias maquetas compuestas de cartón grueso y madera torneada, lo cual me permitió tener una mejor visión del equipo durante su escalamiento. Con los datos técnicos de la maqueta se proyectó la construcción de un equipo, que consta fundamentalmente de las siguientes partes: 01 eje compuesto de tres cuerpos, cada uno de ellos provisto de 06 paletas; dicho eje está conectado con una rueda de bicicleta conectada al eje de un alternador con la finalidad de multiplicar la velocidad. La energía que sale del generador se transfiere a una batería de 12 voltios, y luego se conecta a un transformador y elevador de voltaje para su uso directo a 220V. Se ha realizado algunas pruebas al equipo y se ha logrado acumular energía suficiente en la noche, para ser usada en el día, con una potencia aproximada de 200 W.



II.- INTRODUCCIÓN

La cantidad de energía contenida o proporcionada por las masas de aire en movimiento en su circulación por las capas bajas de la atmósfera, representa un nivel de potencial energético relativamente elevado, especialmente en determinadas condiciones locales y temporales, de tal modo que se justifica el esfuerzo por llevar a cabo su transformación en energía útil y su aprovechamiento en condiciones favorables de eficiencia y rentabilidad, dado el grado de desarrollo alcanzado por las tecnologías de conversión eólica.

El viento resulta de la expansión y convección del aire provocadas por las diferentes absorciones de la energía solar de la Tierra. A escala global, estos efectos térmicos se combinan con efectos dinámicos debidos a la rotación terrestre dando lugar a la circulación general atmosférica. Además de esta situación a gran escala, se dan importantes variaciones locales y temporales causadas por factores geográficos y climatológicos.

Así pues, el viento, al considerarlo como recurso energético y desde el punto de vista de su disponibilidad como suministro, tiene sus características específicas: es una fuente con sustanciales variaciones temporales, a pequeña y gran escala de tiempo, y espaciales, tanto en superficie como en altura, contando además con una componente aleatoria que afecta en gran parte a su variación total. Al mismo tiempo, hay que considerar que la energía eólica disponible por unidad de área expuesta al viento es proporcional al cubo de la velocidad, por lo que pequeñas



variaciones en la velocidad del viento conllevan sensibles variaciones en la energía suministrada.

Las características del viento influyen de forma importante en varias áreas de trabajo relacionadas con los sistemas de aprovechamiento de la energía eólica:

- * En la selección del emplazamiento más favorable para la instalación de los sistemas eólicos, dadas las diferencias locales del viento.

- * En la estimación o previsión de la producción energética y del funcionamiento global del sistema eólico, donde se consideran valores medios de viento y distribuciones diarias, estacionales, direccionales, etc., en lugares específicos o de interés.

- * En el diseño del sistema, donde se tienen en cuenta las condiciones medias representativas y condiciones extremas de viento.

- * En la operación y regulación del sistema eólico, donde intervienen aspectos como la predicción del viento para planificar el funcionamiento en tiempo real, así como características del viento que influyen en la estrategia de operación (arranque, parada, orientación, etc.) y factores que afectan al mantenimiento o vida útil del sistema (ráfagas, turbulencias, etc.).

Estas propiedades hacen que la evaluación y caracterización del viento como fuente de energía sea un área de trabajo de especial importancia en el aprovechamiento de la energía eólica, de tal modo que el conocer el régimen de vientos al que va a estar sometido el sistema eólico, es necesario tanto para optimizar las aplicaciones energéticas como para predecir las condiciones de operación y funcionamiento.



Considerando estas características y factores relacionadas con las propiedades del viento, se plantea la construcción de un generador eólico de eje vertical cuya característica fundamental es su relativa facilidad de diseño (no requiere de una veleta para seguir al viento) y su ubicación puede darse prácticamente a nivel del suelo.

Se ha propuesto este tipo de diseño, por cuanto su construcción es mucho mas sencilla respecto al generador clásico de eje horizontal; por otro lado su mayor potencia desarrollada, su facilidad de montaje y su transporte lo hacen ideales para montarlo en la azotea de las casas.

La importancia de este proyecto radica en la generación de una fuente de energía renovable, que no emite ni un gramo de dióxido de carbono a la atmosfera, contribuyendo de esta manera al aprovechamiento de un tipo de energía disponible para cualquier usuario capaz de acondicionarlo para su propio uso.

Si bien el costo de producción unitario es elevado, se espera que una fabricación a mayor escala reduzca considerablemente los costos y el equipo construido que provee una potencia aproximada de 250 w., pueda suplir al menos la cuarta parte de las necesidades de energía de un hogar promedio.

Espero que este trabajo contribuya de alguna manera en la carrera en que esta empeñada toda la humanidad, es decir, en la búsqueda u utilización de nuevas fuentes de nergia "limpia".



III. FUNDAMENTO TEORICO

3.1 HISTORIA DE LA ENERGÍA EOLICA

El uso más antiguo de la energía eólica del que se tiene documentación es como medio de locomoción. Existen dibujos egipcios, de 5000 años de antigüedad, que muestran naves con velas utilizadas para trasladarse por el Nilo. Hasta el siglo XIX, con el perfeccionamiento e introducción de las máquinas de vapor, la navegación dependió casi exclusivamente de este recurso energético. Ya en el siglo XX, con la invención de los motores de combustión interna, la navegación a vela quedo relegada solo a las actividades deportivas y a algunas actividades comerciales en pueblos costeros.

Recientemente, sobre todo motivadas por los aumentos de los precios del petróleo de los años 1973 y 1979, se realizaron experiencias y construyeron barcos prototipo que utilizan la energía eólica como medio para ahorrar combustible. En transporte transoceánico, con los diseños actuales, podrían alcanzarse ahorros del orden del 10%.

Las primeras máquinas eólicas de las que se tiene documentación datan del siglo VI d.c.. Eran de eje vertical (Ver Fig.1) y se las utilizaba para moler granos y bombear agua en la región de Sijistán, entre Irán y Afganistán.



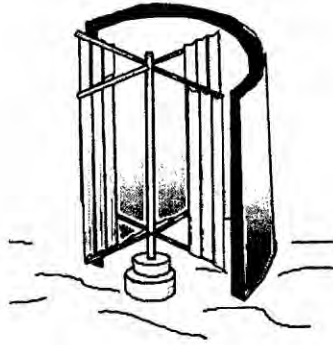


Fig. 1 Panemonas

Existen indicios, aunque no demostrados, de que el uso de estos molinos, denominados panémonas, se remonta según distintos autores a entre 200 y 500 años antes de nuestra era. Con posterioridad, y especialmente en las islas griegas del Mediterráneo, se desarrollaron molinos de viento de eje horizontal (Ver Fig 2) cuya principal característica fue la utilización de velas triangulares a modo de palas. Aún hoy son utilizados en la isla griega de Mikonos para moler granos.

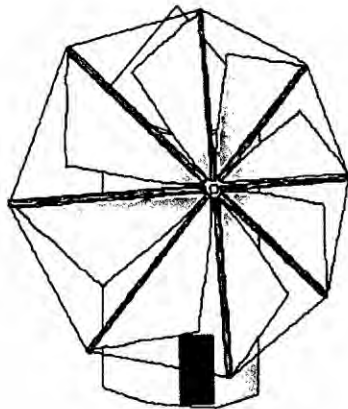


Fig. 2 Molino Griego

Es de destacar que este tipo de diseño permite ajustar la superficie de captación, según la velocidad del viento, arrollando las velas en sus "mástiles".

En el siglo XI d.c. los molinos de viento eran extensivamente utilizados en el Medio Oriente. Recién en el siglo XIII y como consecuencia de las Cruzadas fueron introducidos en Europa. Durante la Edad Media se construyeron muchos molinos llegando al extremo de que los señores feudales se reservaban el derecho de autorizar su construcción, como modo de obligar a sus súbditos a moler los granos en los molinos de su propiedad. Plantar árboles cerca de ellos estaba prohibido pues debía asegurarse a libre incidencia del viento.

En el siglo XIV los holandeses tomaron el liderazgo en el mejoramiento de los molinos y comenzaron a utilizarlos extensivamente para drenar las regiones pantanosas del delta del río Rin. A fines del siglo XV se construyeron los primeros molinos de viento para la elaboración de aceites, papel y procesar la madera en aserraderos. A comienzos del siglo XVI se empezaron a utilizar para el drenaje de "polders", empleándose máquinas de hasta 37 kW (50 HP) cada una. (Ver Fig. 3). A mediados del siglo XIX cerca de 9000 molinos operaban en Holanda con diferentes propósitos, algunos de hasta 65 kW (90 HP). Con la introducción de las máquinas de vapor durante la Revolución Industrial comenzaron a declinar y menos de 1000 máquinas estaban en condiciones de operación a mediados del siglo XX.





Fig. 3. Molino Holandes

En Dinamarca, al finalizar el siglo XIX, cerca de 3000 molinos eran utilizados con fines industriales y cerca de 30.000 en casa y granjas, proveyendo una potencia equivalente a 200 MW.

Como en otras regiones del mundo la aparición de alternativas más baratas de abastecimiento energético hizo que paulatinamente fueran reemplazándose por máquinas térmicas o motores eléctricos alimentados desde las redes.

Procesos similares tuvieron lugar en otras regiones del mundo, haciendo que el uso del recurso eólico quedase relegado a satisfacer necesidades puntuales en medios rurales o comunidades aisladas, sin ninguna participación en el mercado energético.

Como señalamos en la introducción, la toma de conciencia sobre la agotabilidad de los recursos energéticos no renovables (o de los renovables no debidamente utilizados), la creciente preocupación por el impacto sobre el medio ambiente de los combustibles fósiles y la energía nuclear, y las bruscas alzas de los precios del

petróleo ocurridos en la década del 70, intensificaron la búsqueda de alternativas de abastecimiento energético, renaciendo el interés por el recurso eólico.

Los países industrializados focalizaron sus desarrollos en el abastecimiento de energía eléctrica. Los logros alcanzados en el plano de la investigación y desarrollo y, más aún, en las tecnologías de producción de turbinas eólicas, han hecho que, en el presente, el recurso eólico haya dejado de ser una potencial alternativa de abastecimiento para convertirse en una realidad. Las turbinas eólicas son hoy una opción más en el mercado de la generación eléctrica.

Distinto es el caso de los países no industrializados, o menos desarrollados, donde la falta de sistemas de distribución y la carencia de recursos para afrontar las enormes inversiones necesarias, modifican el enfoque. En muchos de estos países el interés se focaliza en la urgente necesidad de cubrir demandas insatisfechas y potenciar el desarrollo regional. Esto a motorizado el desarrollo de máquinas eólicas de menor porte que, experiencias mediante, han demostraron ser competitivas.

3.2 LA ENERGÍA DEL VIENTO

El viento es la masa de aire en movimiento, con un contenido energético. La energía cinética asociada viene dada por:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m_{aire} v^2 \quad (1)$$

E_{cin} : Energía cinética en [J]



m_{aire} : Masa del aire [Kg]

v : Velocidad del viento [m/s]

De la ecuacion anterior, se puede definir la potencia del viento como:

$$P[W] = \frac{dF_{\text{aire}}}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm_{\text{aire}}}{dt} v^2 \quad (2)$$

P: Potencia del viento [W]

La potencia es definida respecto a la cantidad de aire que circula por un determinado sector del espacio.

A su vez, la masa puede ser expresada como

$$m_{\text{aire}} [kg] = \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] V [m^3] \quad (3)$$

ρ : Densidad del aire

V: Volumen del aire

Definir la variación de la masa respecto al tiempo, conlleva una variación del volumen del aire que circula por el mismo sector:

$$\frac{dm_{\text{aire}}}{dt} = \rho \frac{dV_{\text{aire}}}{dt} \quad (4)$$

A su vez, el flujo volumétrico está definido por:

$$F \left[\frac{m^3}{s} \right] = \frac{dV_{\text{aire}}}{dt} \quad (5)$$

F: Flujo volumétrico de aire



También es válida la siguiente expresión:

$$F \left[\frac{m^3}{s} \right] = A \left[m^2 \right] v \left[\frac{m}{s} \right] \quad (6)$$

A: Sección ortogonal al vector velocidad del aire, en m^2 .

A 15 oC. y presión normal, la densidad del aire es: 1.225 Kg/m^3 .

Sustituyendo la ecuación (5) en (6), se obtiene:

$$\frac{dm_{\text{aire}}}{dt} = \rho \cdot A \left[m^2 \right] v \left[\frac{m}{s} \right] \quad (7)$$

Luego, se obtiene la ecuación que define el comportamiento de la potencia de una masa de aire (viento) que se desplaza con una cierta velocidad por unidad de superficie.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (8)$$

P: potencia en Watts

ρ : densidad del aire en Kg/m^3 (varia con la temperatura, la altura y la y humedad)

A: superficie en m^2

v : velocidad en m/s

La última ecuación expresa que la potencia es función del cubo de la velocidad del viento y proporcional a la superficie de la sección. Se puede afirmar que la potencia tiene un comportamiento cuadrático frente al diámetro del aerogenerador, si se considera la velocidad del viento constante.



El gráfico siguiente muestra la potencia del aerogenerador como función del diámetro del aerogenerador.

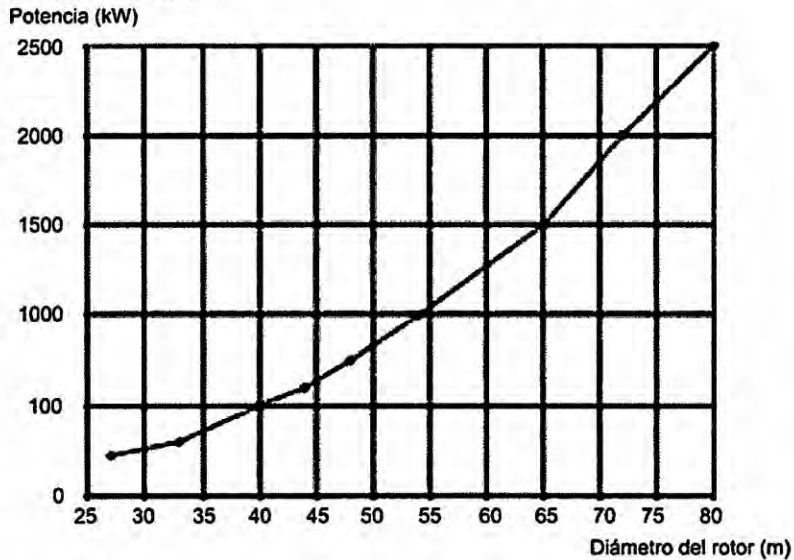


Fig. 4: Potencia del aerogenerador como función del diámetro

3.3 LA LEY DE BETZ Y LA MÁXIMA EFICIENCIA DE CONVERSIÓN

La ley de Betz fue formulada por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro “Wind Energy”, publicado en 1926, proporciona buena parte del conocimiento que en este momento se tiene sobre la energía eólica y los aerogeneradores. Betz, define la potencia captada por un obstáculo que frena el libre movimiento del viento (tal como ilustra la Fig.5). Por conveniencia se va a considerar un aerogenerador como un obstáculo.

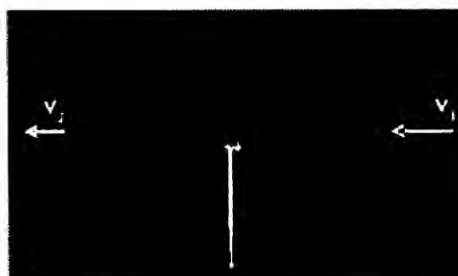


Fig. 5: Velocidad antes y después del aerogenerador

La potencia captada por el aerogenerador se define como la diferencia instantánea de la energía cinética antes y después de pasar por el obstáculo en un tiempo Δt

$$P_{captado} = \frac{E_{cin_2} - E_{cin_1}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \Delta m_{aire} (v_1^2 - v_2^2) \quad (9)$$

Otra manera de definir la masa de aire que pasa por el aerogenerador se logra considerando el promedio de las velocidades a antes y después del obstáculo.

$$\frac{\Delta m_{aire}}{\Delta t} = \rho A \frac{(v_1 + v_2)}{2} \quad (10)$$

Sustituyendo la masa del aire con lo expresado en la ecuación (9)

$$P_{captada} = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (11)$$

Luego se define la razón entre la potencia captada sobre la potencia del viento definida por la ecuación (11) donde v será v_1

$$\frac{P_{captada}}{P_{viento}} = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2\right) \cdot \left(1 + \frac{v_2}{v_1}\right) \quad (12)$$

Esta ecuación permite relacionar $\frac{P_{captada}}{P_{viento}}$ vs $\frac{v_2}{v_1}$, tal como se muestra en la figura

siguiente:

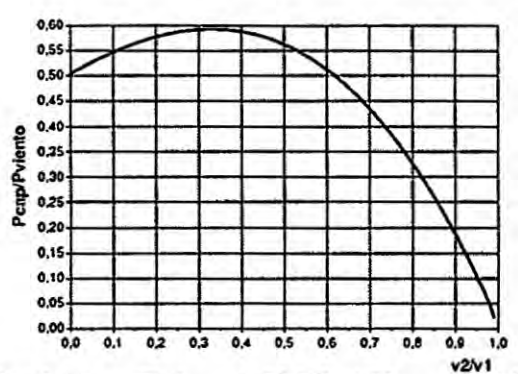


Fig. 6: Curva de eficiencia de Betz

La curva obtenida anteriormente define un máximo en $\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$ con una potencia

máxima captada de: $P_{captada} = \frac{16}{27} \cdot P_{viento}$. Como resumen de esto se define la relación

aproximada tal como aparece en la ecuación (12) y se denomina Ley de Betz y representa la máxima cantidad de energía del viento que se puede transformar en energía mecánica rotacional

$$P_{captado} = 0.59 \cdot P_{viento} \quad (13)$$

Esta ecuación es un límite teórico ideal ya que no considera los siguientes factores reales de operación:

- Resistencia aerodinámica de las palas
- La compresibilidad del fluido
- La interferencia de las palas

3.4 LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

La curva de distribución de Weibull es la que mejor se adapta a los datos estadísticos de las velocidades de los vientos que se pueden registrar en una zona a lo largo de un año. Tal como se puede apreciar en la Fig. 7, esta curva indica con que probabilidad se puede observar una determinada velocidad de viento dentro del universo de muestras obtenidas. El área bajo la curva vale 1. El viento promedio se define como aquel que corta el área bajo la curva justo en la mitad. Esto significa que el área a la derecha del viento promedio es igual al área izquierda.



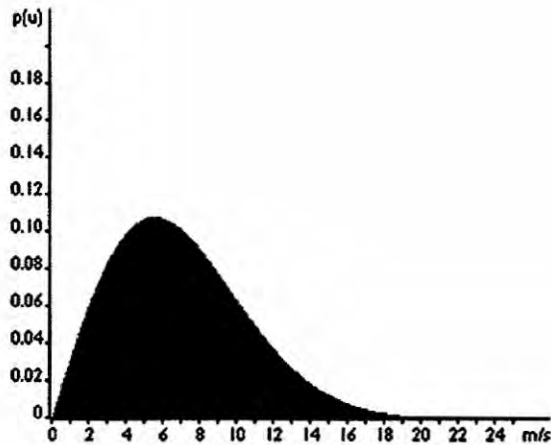


Fig. 7: Curva de distribución de Weibull

Como se explica a continuación, el viento no nos entrega el promedio de la potencia que este recurso es capaz de aportar. Hay que recordar que la ecuación (4)..define la potencia del viento en función de su velocidad al cubo. Esto implica que la función de distribución de la potencia del viento tendrá que sufrir un cambio de variable no lineal al obtenerla de la curva de distribución del viento. Esta alteración de forma bastante la curva, la cual por ser distribución debe seguir manteniendo la relación del área igual a 1. En consecuencia, la potencia promedio es definida, en base a su curva, respecto a una velocidad del viento distinta a la velocidad del viento promedio. Esto se puede explicar de forma intuitiva considerando que los raros vientos de mayor velocidad pueden aportar una potencia bastante más considerable que vientos más moderados que se verifican más a menudo. Todo esto simplemente, por el factor al cubo que liga la velocidad del viento a la potencia.

3.5 LA RUGOSIDAD

Es importante cuantificar el efecto de la morfología del territorio circundante al aerogenerador sobre la velocidad del viento. Para esto se define la “rugosidad” expresada por la ecuación (14). Esta función se modifica dependiendo de los obstáculos físicos presentes en el entorno que inciden sobre el desplazamiento del aire (Tabla 1)

$$v(z) = v_{ref} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_{ref}}\right)} \quad (14)$$

z es la altura desde el suelo

v_{ref} : es la la velocidad medida a una altura z_{ref}

z_0 : es la longitud de la rugosidad

Clase de rugosidad	Tipo de paisaje
0	Superficie del agua
0.5	Terreno completamente abierto con una superficie lisa
1	Agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos
1.5	Agrícola con algunas casas y setos (dist. 1250[m])
2	Agrícola con algunas casas y setos (dist. 500 [m])
2.5	Agrícola con muchas casas, arbustos y planta (dist. 250 [m])
3	Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola
3.5	Ciudades más grandes con edificios altos
4	Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos

Tabla 1: Rugosidad y paisaje

Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad [m]	Índice de energía (%)
0	0.0002	100
0.5	0.0024	73
1	0.03	52
1.5	0.055	45
2	0.1	39
2.5	0.2	31
3	0.4	24
3.5	0.8	18
4	1.6	13

Tabla 2: Coeficientes de rugosidad

3.6 RENDIMIENTO DE LOS AEROGENERADORES

Como se vio anteriormente, y en particular en la ecuación (13), no se puede convertir toda la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional. Este límite se ve posteriormente disminuido por varios elementos que conllevan distintas pérdidas en el proceso de conversión de la energía eólica en energía eléctrica.

Básicamente se puede expresar lo anterior de la forma siguiente:

$$P_{mec} = C_p \times P_{viento} = C_p \times \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (15)$$

Donde C_p no puede superar el límite de Betz, y adicionalmente:



$$P_{elect} = C_e \times C_p \times P_{mec.} = C_e \times C_p \times \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (16)$$

Donde C_e es la eficiencia de la maquina eléctrica (aproximadamente 90%. C_p no es constante y varia con la velocidad del viento, la velocidad angular de la turbina y con el ángulo de ataque de los alerones para los aerogeneradores que poseen esta característica. Y todo lo anterior depende fuertemente del bloqueo que el aerogenerador genera sobre el flujo de aire.

Una manera más útil para determinar la eficiencia del aerogenerador es utilizar la relación de velocidad tangencial o TSR. Es un término que sustituye al número de revoluciones por minuto de la turbina, sirve para comparar el funcionamiento de maquinas eólicas diferentes, por lo que también se le suele denominar velocidad específica.

$$TSR = \frac{r_{aero} \times \omega_{aero}}{v_{viento}} \quad (17)$$

r_{aero} = radio del aerogenerador, m

ω_{aero} : Velocidad angular de la turbina e, rad/seg

v_{viento} : Velocidad del viento, m/s

El TSR es una buena manera de analizar el comportamiento del C_p de cada tipo de aerogenerador.

Un resultado de lo anterior se puede observar en la Fig. 5, donde compiten los modelos mas exitosos tal como el Darrieus y los HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) tradicionales.



Los HAWT y los Darrieus tienen la característica de alcanzar una velocidad rotacional muy elevada y esto hace que la variable ω_T se desligue de la velocidad del viento e inclusive que la supere en su componente tangencial. Por esto se logran TSR mayor a 1. Para los otros VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) es difícil lograr una velocidad rotacional independiente y superior a la que impone el viento. Pero esto no implica que se pueden lograr buenos C_p con bajos TSR. Por ejemplo, se podría pensar en mejorar la estructura del Savonius para que la curva que se muestra en la Fig. 8, se desplace un poco hacia arriba alcanzando nuevos valores de C_p .

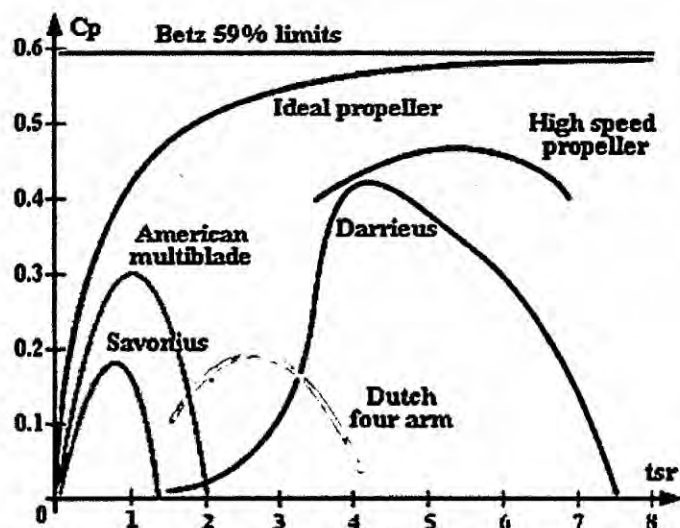


Fig.8 C_p Vs TSR para diferentes tipos de aerogeneradores

Se puede expresar w_{aero} en función de η

$$w_{aero} = \frac{2 \times \pi \times \eta}{60} \quad (18)$$

La Tabla 3. Define los distintos C_p máximos de los distintos aerogeneradores

Tipo de aerogenerador	Velocidad de operación	Torque	Complejidad constructiva	Cp	Robustez en %
Eje horizontal					
De moderadas RPM	Moderada	Bajo	Moderada	0.2-0.35	5 - 10
De altas RPM	Alta	Muy bajo	De precisión	0.3-0.45	< 5
Eje vertical					
Panemono	Baja	Medio	En bruto	> 0.1	50
Savonius	Moderada	Medio	Moderada	0.15	100
Darrieus	Moderada	Muy bajo	De precisión	0.25-0.35	10-20
Geometría variable	Moderada	Muy bajo	De precisión	0.2-0.35	15-40

Tabla 3. Descripción general de los distintos aerogeneradores.

3.7 CONTEXTO ENERGÉTICO PERUANO

El consumo final de energía en Perú en 2007 fue de 518.982 TJ, superando en 20.861 TJ el consumo de 2006. Los hidrocarburos, con un 56,9% del total, es la fuente de energía que tiene una mayor participación, seguido de la electricidad, la cual tiene una componente muy importante de energía hidráulica:

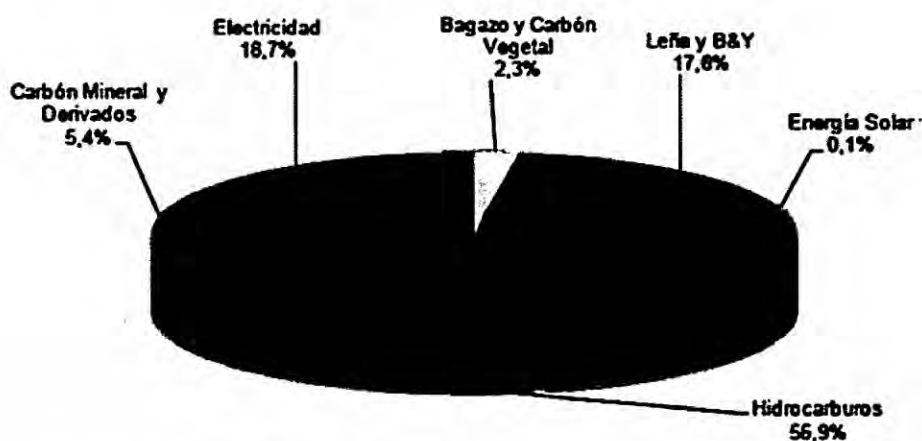


Fig. 9 Consumo final de energía, año 2007 (Fuente: MEM).

[Firma]

Respecto a la energía eléctrica, la potencia instalada en 2007 alcanzó los 7.059 MW, produciéndose 29.857 GWh de energía. Y efectivamente, la energía hidráulica es la fuente que aporta una mayor contribución a la generación de electricidad en Perú.

Aunque se observa que durante los últimos 5 años, el gas natural ha aumentado muy significativa su participación en la generación de energía eléctrica, tal y como muestra la Fig.10:

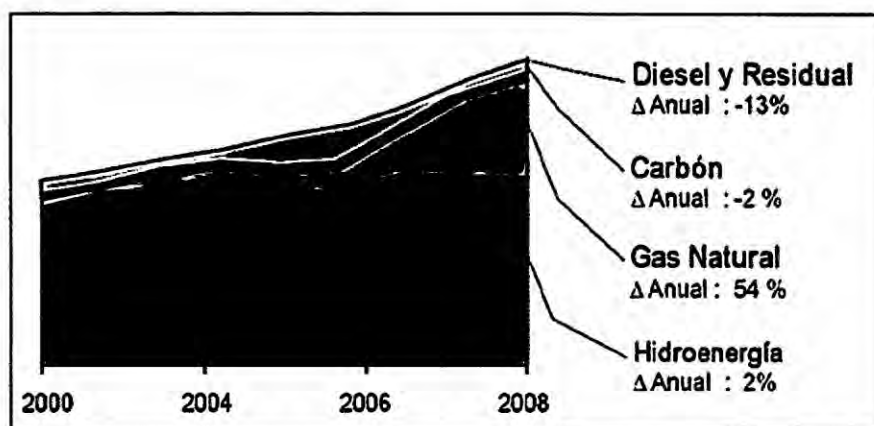


Fig. 10 Evolución de la fuente energética utilizada para la generación de electricidad (Fuente: MEM).

Este aumento del gas natural en la matriz energética es debido al uso y explotación del gas natural de Camisea, la principal reserva de gas del país.

Por otro lado, la demanda anual de electricidad, de un promedio anual de 8%, es debido entre otros aspectos al intenso desarrollo de la actividad minera y manufacturera en la etapa anterior a la crisis internacional. Aún cuando las

condiciones macroeconómicas del país mantienen este nivel de crecimiento y en el último quinquenio las inversiones en electricidad han crecido una tasa promedio anual de 27%, existe la necesidad de acelerar la ejecución de nuevos proyectos para asegurar el abastecimiento de electricidad.

3.8 AGENTES RELEVANTES DEL SECTOR ENERGÉTICO PERUANO

Ministerio de Energía y Minas (MEM):

El Ministerio de Energía y Minas, es el organismo central y rector del sector energía y minas, y forma parte integrante del Poder Ejecutivo. El MEM tiene como finalidad formular y evaluar, en armonía con la política general y los planes del Gobierno, las políticas de alcance nacional en materia del desarrollo sostenible y asuntos ambientales de las actividades minero - energéticas.

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN):

OSINERGMIN es un organismo público cuya misión es regular, supervisar y fiscalizar, en el ámbito nacional, el cumplimiento de las disposiciones legales y técnicas relacionadas con las actividades de los subsectores de electricidad, hidrocarburos y minería, así como el cumplimiento de las normas legales y técnicas referidas a la conservación y protección del medio ambiente en el desarrollo de dichas actividades.



Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI):

El INDECOPI es un Organismo Público Especializado y sus funciones son la promoción del mercado y la protección de los derechos de los consumidores.

Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES):

El COES es una entidad privada, sin fines de lucro y con personería de Derecho Público. Está conformado por todos los Agentes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), generadores, transmisores, distribuidores y usuarios libres. Sus decisiones son de cumplimiento obligatorio por los Agentes. Tiene por finalidad coordinar la operación de corto, mediano y largo plazo del SEIN al mínimo costo, preservando la seguridad del sistema, el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, así como planificar el desarrollo de la transmisión del SEIN y administrar el Mercado de Corto Plazo.

Centro de Conservación de Energía y del Ambiente (CENERGÍA):

Es una entidad sin fines de lucro, destinada a promover la eficiencia energética en todas las actividades económicas en el Perú. Elabora estudios para la instituciones normativas y regulatorias del sector energía, así como implementa proyectos destinados a la aplicación de buenas prácticas en el uso de los energéticos en las empresas y realiza estudios de medidas para la prevención y mitigación de los impactos negativos en el ambiente de las actividades productivas



y de servicios en el país. CENERGIA es pionera en el desarrollo de actividades productivas y de servicios en el país.

3.9 POLÍTICA ENERGÉTICA PERUANA

La política energética en el Perú se desarrolla según los siguientes lineamientos principales:

- Diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento confiable y oportuno a la demanda de energía, a fin de garantizar el desarrollo sostenible del país.
- Promover la inversión privada en el sector energético con reglas claras y estables.
- Fomentar y ejecutar las obras de energización en las zonas rurales y aisladas del país para ampliar la cobertura de la demanda y mejorar la calidad de vida de la población.
- Fomentar el uso eficiente de la energía.
- Promover la integración energética regional.

El objetivo del gobierno peruano es pasar de una matriz energética basada fundamentalmente en hidrocarburos a conseguir la siguiente distribución energética, donde la energía renovable, el petróleo y el gas natural participan a partes iguales:



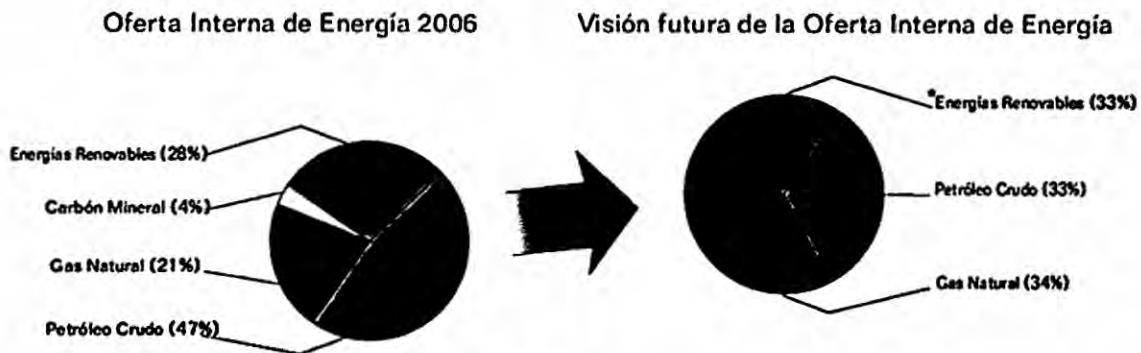


Fig. 11 Visión futura de la matriz energética (Fuente: MEM)

La aprobación de sendas leyes sobre la promoción para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables y otra sobre el uso eficiente de la energía, muestra la apuesta que el gobierno peruano está llevando a cabo en el sector de las energías renovables y de la eficiencia energética.

3.10 ANÁLISIS DEL SECTOR DE LA ENERGÍA EÓLICA

3.10.1 La energía eólica en el mundo y Europa

La energía eólica ha alcanzado tal nivel de desarrollo, que permite afirmar que nos encontramos ante una fuente energética limpia, económicamente competitiva y con una tecnología de aprovechamiento madura. Partiendo de una fuente natural, renovable y no contaminante, los actuales aerogeneradores son capaces de producir electricidad a precios competitivos frente a las fuentes tradicionales energéticas, lo que ha permitido en los últimos años posicionar a la energía eólica como la fuente energética de crecimiento mundial más rápido.

El mercado de la energía eólica se está desarrollando con tasas anuales de crecimiento entorno al 30%, habiendo pasado de los 2.500 MW en el año 1992, a

94.000 MW a 1 de enero de 2008, con lo que se proporciona energía suficiente para satisfacer las necesidades de unos 50 millones de hogares, más de 120 millones de personas.

La necesidad de combatir el cambio climático global, ha motivado en gran medida a la expansión de la energía eólica, al evitar la emisión de dióxido de carbono, sin producir ninguno de los otros contaminantes asociados con la generación a partir de combustibles fósiles, o con la generación nuclear. Un desarrollo energético de esta naturaleza favorece mayoritariamente a que sea aceptado en la sociedad, al no provocar emisiones de gases contaminantes y sin originar residuos de larga duración.

Según los últimos datos publicados la generación eléctrica de las plantas eólicas ha evitado la emisión a la atmósfera de unos 18 millones de toneladas de CO₂, en 2007, que se habrían emitido si se hubieran generado en centrales térmicas de carbón, gas o fuel, lo que permite contribuir al cumplimiento de los compromisos derivados del Protocolo de Kioto.

A medida que se ha ido desarrollando el mercado, los costes de la energía eólica han mostrado una drástica reducción. Si bien los coste ex-factory de los aerogeneradores han ido aumentando por el incremento de precios de las materias primas, principalmente el acero, estos varían en función de la tecnología y tamaño de máquinas, afectando a los costes de generación con amplio margen como una consecuencia de las diferencias en el tamaño del proyecto, que es fundamentalmente debido a las características de viento del emplazamiento. El próspero negocio de la energía eólica ha atraído la atención de todos los mercados de inversión y nuevos participantes.



Europa lidera el mercado mundial de la energía eólica, tanto en lo que se refiere a la potencia instalada como a la industria del sector, y en la actualidad podemos afirmar que se han instalado plantas eólicas prácticamente en todas las áreas geográficas del continente. La producción de energía eléctrica en sistemas conectados a la red a través del uso de la energía eólica se está consolidando en muchos países europeos como una forma de diversificación de la actual estructura energética.

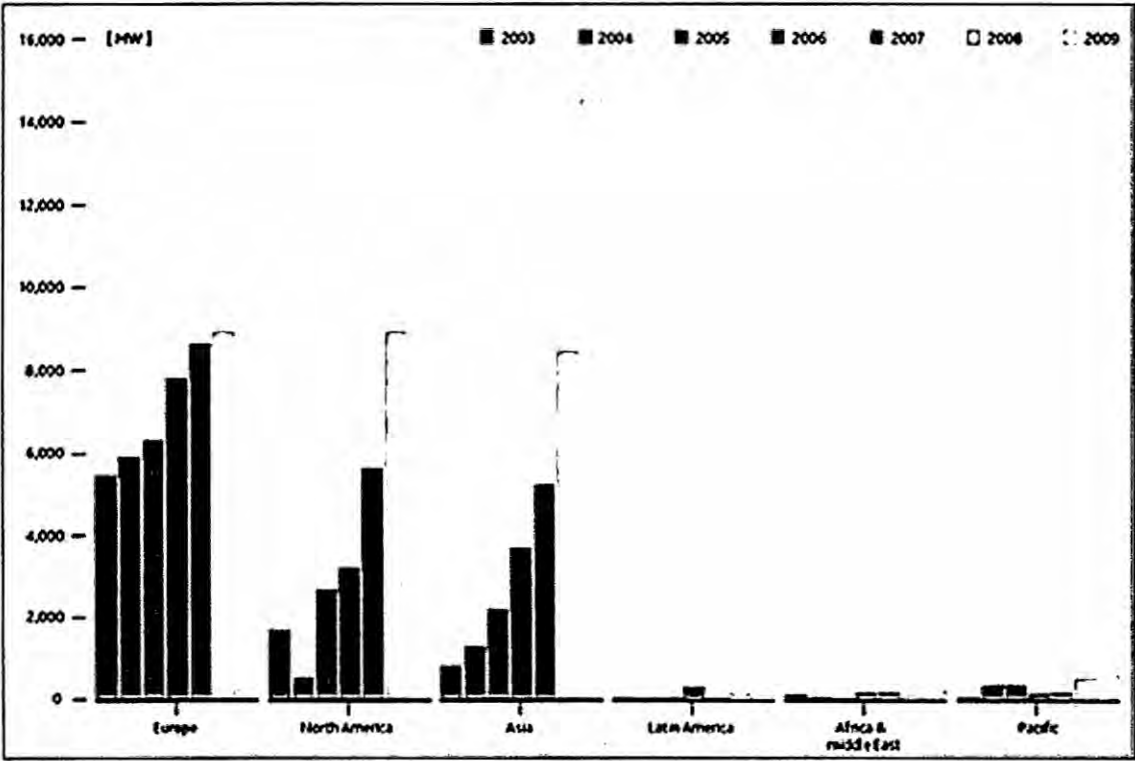


Fig. 12 Annual installed capacity by region 2003-2009

(Fuente: Global Wind Energy Council).

Según el informe anual de la consultora BTM Consulting, se prevé un crecimiento de la potencia eólica en Europa, para el período comprendido entre 2007 y 2011, de 59.150 MW, seguida por América del Norte, con un incremento de 33.050 MW

para el mismo período. Revisando los datos de la Agencia Internacional de la Energía del año 2005, se verifica lo pronosticado para España como el segundo país del mundo con mayor porcentaje de demanda de electricidad cubierta por energía eólica, habiendo alcanzado durante el año 2007 el 9,5 %, solo por detrás de Dinamarca con valores del 20,10%.

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

Las actuales máquinas de serie tienen potencias elevadas (principalmente del orden de 850 a 3000 kW), motivo éste que permite a los parques eólicos alcanzar potencias totales importantes en producción, con niveles relevantes.

	1982	1992	2002	2006	Incremento (%)
Potencia Nominal (kW)	55	225	850	2000	30.30
Diámetro del Rotor (m)	15	27	52	80	5.33
Área Barrida (m²)	177	573	2124	5027	28.40
Altura de la Torre (m)	20	30	50	85	4.25
Producción Anual (MWh)	110	520	2550	5605	50.95
Peso Total / Góndola rotor Inc. (T)	6.7 / 2.9	22 / 10.8	80 / 26.5	286 / 104	42.6 / 35.86
Coste Estimado (Euros)	66600	250000	850000	2400000	36.0
Producción / Área Barrida (kWh/m²)	621	907	1200	1114	1.79
Peso Góndola / Área Barrida (kg/m²)	16.3	18.84	12.47	20,68	1.26

Tabla 4 Esquema de evolución de los aerogeneradores en el periodo 1982-2006

Existen diferentes sistemas de apoyo dentro del sistema tarifario para la retribución de la energía. Los marcos regulatorios deben dar una adecuada remuneración para garantizar la viabilidad económica de los proyectos. Los distintos marcos regulatorios:

- **Feed-inTariffs (FIT):** Las energías renovables son integradas al sistema eléctrico con una tarifa garantizada durante un período de tiempo determinado. El precio de venta al mercado dependerá del requerimiento del sistema eléctrico, partiendo de un precio base y además el FIT podrá pagar incentivos que se sumarán al precio medio del mercado eléctrico (caso España). Dentro del sistema de FIT, existen dos opciones: remuneración que depende de la producción del parque eólico (caso de Alemania y Francia) e independencia del nivel de producción del parque eólico. Este es el caso de España donde a su vez la remuneración puede ser a tarifa regulada o a tarifa del Mercado Eléctrico.
- **Certificados Verdes con cumplimiento de cuota (TGC):** Determinación de una cuota objetivo de generación eléctrica renovable. La generación por renovables es vendida al precio que marca el mercado eléctrico y adicionalmente existirán ingresos por la venta de certificados de derechos de emisión. Los precios dependerán de la cuota objetivo que es determinada por el mercado de certificados.
- Por concursos públicos del sector
- Incentivos fiscales y subvenciones a la inversión



Si se compara la efectividad de los mecanismos retributivos, los sistemas basados en Incentivos o Primas son más efectivos que el resto de mecanismos de apoyo conforme al gráfico que se incluye a continuación:

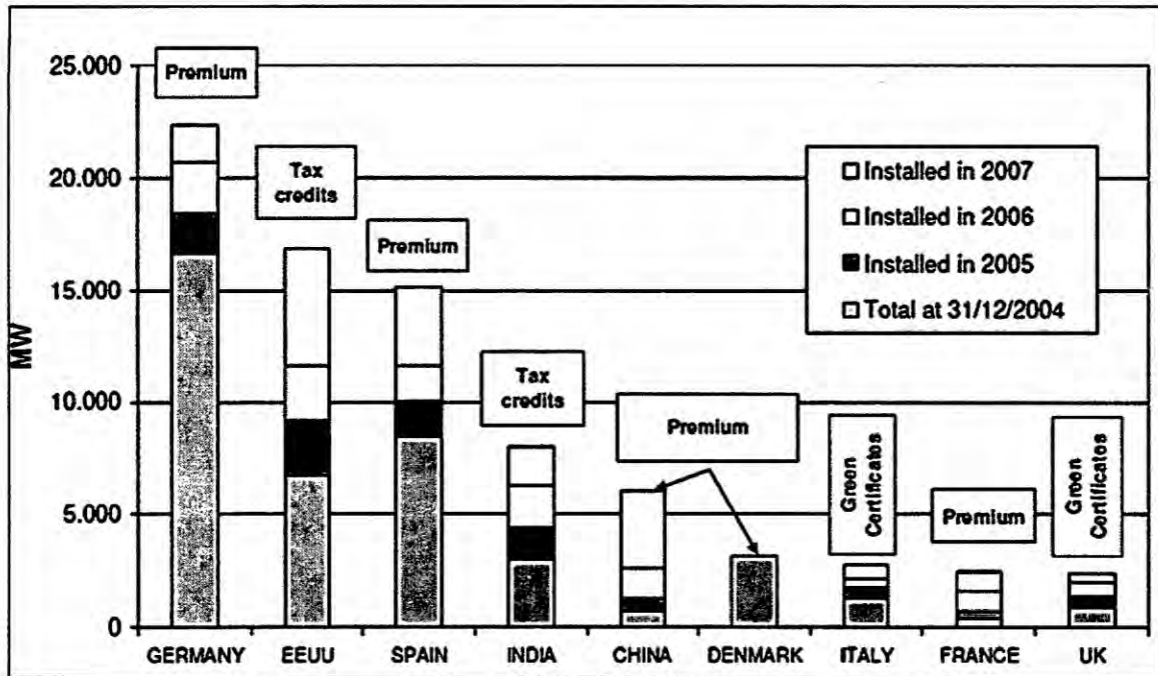


Fig. 13 Comparación de mecanismos retributivos por países

(Fuente: EWEA, WWEA y AEE)

Adicionalmente, en los países con mecanismos de certificados el precio de venta de la energía alcanzado es mayor que en aquellos países con sistemas de Feed-in Tariff, sin que por ello se aprecie un aumento considerable de las instalaciones para la generación de energías renovables.

La inversión específica en parques eólicos (€/MW) se ha reducido de forma progresiva a prácticamente la mitad en los últimos 20 años debido al incremento de tamaño, a la estandarización de productos al aumentar la demanda y a las mejores tecnologías.

Sin embargo, en los últimos años esta tendencia ha cambiado, observándose un

incremento de este parámetro debido, por un lado, a que ese mayor tamaño no ha absorbido la reducción de costes y por otro a la mayor complejidad requerida a las máquinas para su integración en la red, sin olvidar el aumento del coste del acero, que conforme a las previsiones actuales aumentará a un ritmo igual o superior del 3% motivado por el fuerte crecimiento de la demanda internacional. La distribución del costo de inversión en un parque eólico es la siguiente:

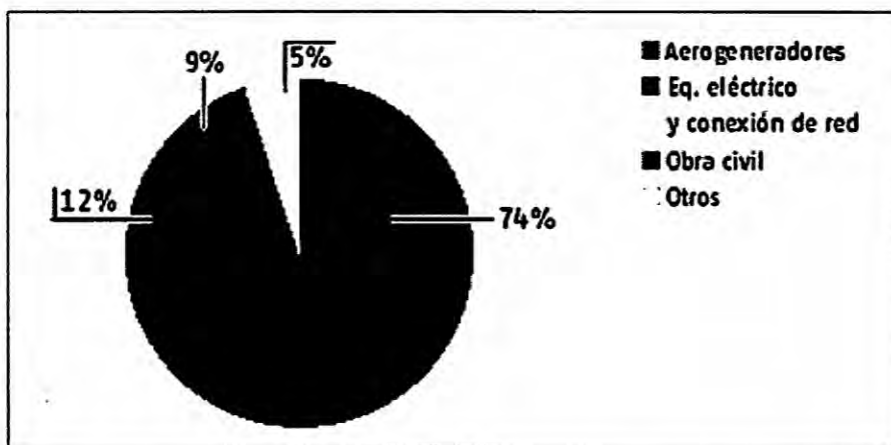


Fig. 14 Gráfico de distribución del costo de inversión (Fuente: AEE).

3.10.2 Energía eólica en el Perú

La energía del viento ha sido ampliamente utilizada en el Perú como alternativa para que los campesinos extraigan agua del subsuelo. Piura, Chiclayo, Ica, Arequipa, Puno y los valles del desierto de Lurín presentan condiciones ideales para el funcionamiento de estos equipos. Los vientos alcanzan velocidades promedio de 6 a 9 metros por segundo, lo que gráficamente equivale a que el aire levanta polvo y hojas de papel o que en estanques se formen crestas en la superficie del agua. En Piura cada máquina bombea entre 40 a 60 metros cúbicos

por día, una persona del medio rural requiere 125 litros por día; una hectárea de algodón 165 metros cúbicos semanales.

En Arequipa, en el margen del río Chili, miles de aspas giran entre el sol y el viento irrigando ingeniosamente más de 450 hectáreas de cultivos. Se han realizado estudios para determinar el potencial de utilización de la energía eólica principalmente en Piura, Arequipa y recientemente en Puno como alternativa de solución a los problemas de sequía que se presentan en esa región. Las velocidades registradas alcanzan 18 Km./h. y a 70 - 100 metros por encima del nivel del suelo se registran velocidades variables con un promedio de hasta 30 Km./hr..

Estas velocidades del viento son suficientes para justificar el bombeo con energía eólica cuando la profundidad a que se halla el agua no es excesiva, y puede permitir la generación de electricidad a pequeña escala por medio del viento en zonas aisladas. Existen aportes muy interesantes, científicos y de aplicaciones específicas que han sido desarrolladas principalmente por el Ing° Oscar A. Almenara y por el Ing° Julio Escobar Aguirre, para el caso específico del Perú acerca de la energía eólica y las zonas y diferentes formas de aprovechamiento. Transcribiremos a continuación algunos de los más significativos aportes realizados y publicados: Por ejemplo el Ing° Oscar A. Almenara afirma: "Como la velocidad del viento en lugares apropiados es del orden de 20 - 25 km/hr., es decir de 5.57 a 7 m/seg. Vemos que se puede recuperar 0.062 kw/m², o lo que es lo mismo que se necesitan 16 m² de asta de molino para producir un kw. Se ve pues que se trata de una energía muy diluida.



La velocidad del viento en un determinado lugar depende de varios factores: rumbo, altura sobre el suelo y configuración del terreno. El rumbo tiene poca importancia, pues es fácil disponer un mecanismo para que el molino presente el frente a la dirección mas favorable del viento. Una formula usual en molinos pequeños es adaptando una cola orientadora en la parte posterior. En este caso Jacobs, encontró que con molinos de dos aspas la cola determina una inestabilidad muy grande del aparato, lo que se elimino introduciendo la hélice de 3 aspas. Debe también adaptarse al molino un medio de seguridad para el caso de vientos huracanados, que puede ser el cambio en el paso de la hélice, solución costosa o simplemente, un mecanismo movido por el viento y que hace girar el conjunto de la hélice reduciendo el frente de ataque y consecuentemente su eficiencia. Por otro lado, la velocidad del viento varia con la altura en forma exponencial de acuerdo a:

$$\frac{v}{v_0} = \left[\frac{h}{h_0} \right]^k \quad (19)$$

En esta fórmula v y v_0 son las velocidades a las alturas respectivas h y h_0 . El exponente k depende esencialmente de la pendiente y rugosidad del terreno, en una distancia que puede extenderse a algunos cientos de metros por delante del pie del molino y depende también del rango de alturas. Por ejemplo Frenkel, encuentra que en un determinado punto , en el rango de 25m. - 10m. , k varia de 0.138 a 0.366, mientras que en el rango de 40m. - 25m. varia de 0.079 a 0.148 , para distintos rumbos del molino y consecuentemente, para distintos perfiles de



• **Situación Actual:**

Aunque la capacidad instalada hasta el momento en el país andino alcanza a penas el megavatio, el país dispone de un potencial eólico superior a los 22 GW. Y según el Atlas Eólico del Perú los departamentos de Ica y Piura, situados en la costa, son las regiones que cuentan con el mayor potencial aprovechable, con 9.144 MW y 7.554 MW respectivamente, existiendo registros de viento de 5 a 7 m/s.

La demanda de energía eléctrica del país está registrando altas tasas de crecimiento. Por otro lado, la generación de energía eléctrica es fundamentalmente hidroeléctrica, por lo que depende del régimen de lluvias y además también existe una importante participación del gas natural. Respecto al gas natural, la red que abastece de gas natural al país no es suficiente para satisfacer la alta demanda existente, aunque el gobierno está trabajando ya en la ampliación del gasoducto.

Teniendo en cuenta la situación actual, el país necesita diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento energético y la energía eólica, debido a su alto potencial en el país, se configura como una excelente oportunidad. Además, existen estudios que indican que el régimen de generación hidroeléctrica y el régimen de vientos se complementan a lo largo del año. Tal y como muestra la siguiente figura, existe una alta producción hidroeléctrica de diciembre a mayo y un régimen estable de recurso eólico favorable de mayo a noviembre:



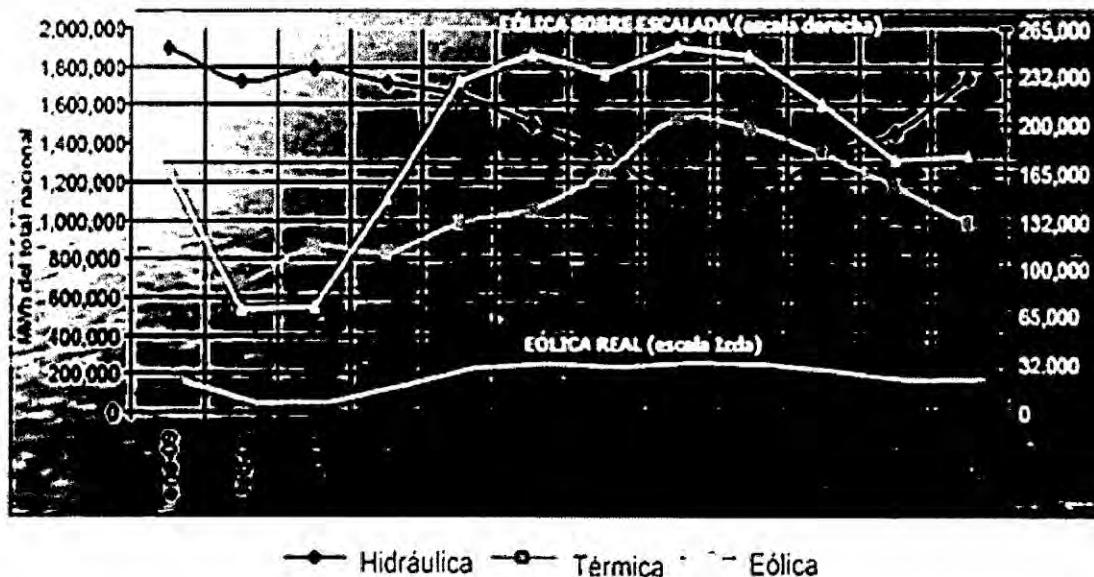


Fig. 15 Complementariedad energía eólica e hidráulica (Fuente: Energía Eólica S.A.).

El objetivo de la Ley 1.002 es la promoción de la inversión para la generación de electricidad con energías renovables y por lo tanto de la energía eólica. La Ley prevé la subasta de 500 MW. La adjudicación es por orden de mérito en función que no supere la tarifa máxima de adjudicación, y hasta completar la participación de cada tecnología indicada en las bases para cubrir el total de la energía requerida. La energía requerida se distribuye entre las fuentes renovables de la siguiente forma:

Energía	Tecnología biomasa	Tecnología eólica	Tecnología solar	Total
GWh/año	813	320	181	1314

Tabla 4 Asignación inicial de la energía requerida por tecnología.

La adjudicación será por cada tecnología y es el OSINERGMIN quien fijará una tarifa máxima de adjudicación para cada tecnología a través del proceso de adjudicación de la prima que se determina por el mecanismo llamado subasta de energía entre los inversionistas para cubrir el cupo de energías renovables. Este mecanismo se ha diseñado para garantizar a los inversores una rentabilidad no menor al 12%.

Aquellas tecnologías que no alcance su cupo de energía requerida se cubrirá con la siguiente tecnología de menor precio. El primer proceso de adjudicación por subasta comenzó a desarrollarse en 2009 y a principios de 2010 se publicará la resolución de la licitación. Las fases de la subasta de energía son:

Fases de la Subasta de Energía	
Bases de la Subasta	Ministerio Energía y Minas MEM
Aviso de la Subasta	Organismo Supervisor de la Inversión de Energía y Minería OSINERGMIN
Registro de participantes	OSINERGMIN
Convocatoria y venta de bases	OSINERGMIN
Tarifa Máxima de Adjudicación para cada tecnología	OSINERGMIN
Presentación de ofertas	OSINERGMIN
Calificación y publicación de la relación de postores en la Subasta	OSINERGMIN
Adjudicación por orden de mérito	OSINERGMIN

Tabla 5 Fases de la subasta de energía.

En el caso concreto de la energía eólica, la potencia asignada es de 100 MW. El MEM ha llegado otorgar unas 60 concesiones temporales para estudios de generación eólica, lo que equivale a más de 9 GW de potencia.

Uno de los aspectos más importantes de las tecnologías de energía eólica es su integración en la red. En el caso peruano existe un primer estudio que indicaba que la potencia máxima admisible de energía eólica en la red alcanzaba los 375 MW, aunque una revisión posterior del informe por parte del COES establece la capacidad eólica en 640 MW.



IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1.- MATERIALES

PRIMERA PARTE: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA DEL EJE PROVISTO DE

ALERONES.

- Cartulina cartón
- Tijera
- Transportador
- Rodajes
- Compas
- Escuadras
- Pegamento
- Eje de madera

SEGUNDA PARTE: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR EÓLICO

- 03 Cilindros de fierro de 100 litros de capacidad
- Planchas de fierro de 3 mm. de espesor
- Un tubo de acero inoxidable de 50 mm. de diámetro y 1300 mm de altura
- 06 varillas de acero inoxidable de 8m.. de longitud y 5.8 mm. de diámetro
- Tubo de 6 mm. de diámetro y 8 m. de longitud.
- Alternador de auto "tico"
- Elevador de voltaje
- Aro de bicicleta
- Rodajes de 49 mm. y 110 mm. de diámetro.
- Torno
- Fresadora
- Taladro



4.2 MÉTODOS

PRIMERA PARTE

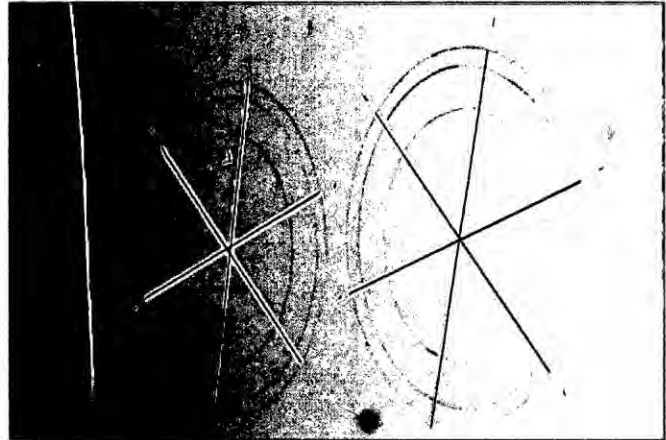
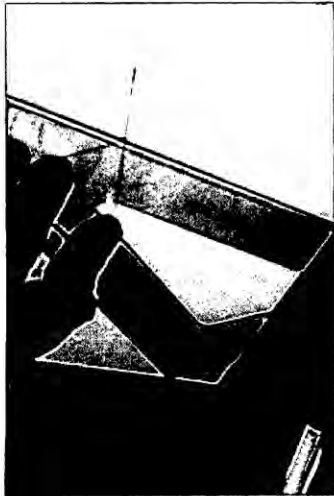
Dado que en la literatura existe una gran variedad de esquemas de diseño, tomando como base estas ideas se propuso diseñar un generador de energía de tres cuerpos cada uno conteniendo 06 alerones con ángulos de contacto variable, los cuales pueden ser ajustados a voluntad, para estudiar el ángulo de contacto más apropiado que permita captar la mayor cantidad de energía proveniente del viento.

En una cartulina doble, haciendo uso de un compas, se trazo tres círculos concéntricos de 13 cm, 12cm y 10 cm. Respectivamente. Luego se trazo ángulos de 60 grados, intersectando las rectas resultantes con las curvas de 12 y 10 cm.



Fuente: Elaboracion propia

A small, handwritten signature or set of initials in the bottom right corner of the page.

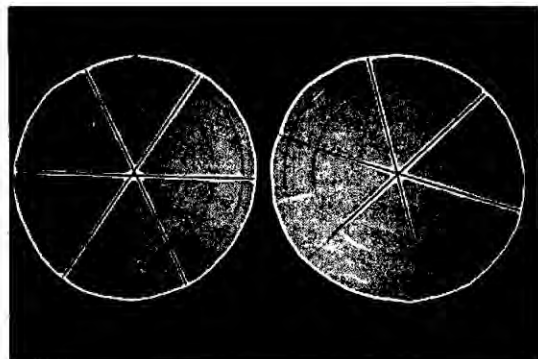


Fuente: Elaboración propia

A continuación se une en dirección a las agujas del reloj el punto que intersecta la recta que pasa por el diámetro y la curva de 12 cm. y el punto que intersecta la recta contigua a la anterior con la curva de 10 cm.

Se repite el mismo procedimiento obteniéndose 6 rectas directrices que permitirán orientar los alerones.

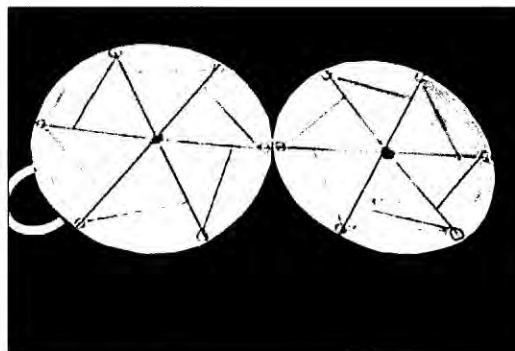
Luego se prosigue del mismo modo con la otra base, pero esta vez uniando las intersecciones en sentido antihorario, de tal forma que al poner frente a frente la base superior e inferior, los alerones tengan la misma orientación.



Fuente: Elaboración propia

En el espacio comprendido entre los diámetros de 13 cm. y de 12 cm. se hace unos agujeros para hacer pasar los ejes de cada uno de los 6 alerones descritos anteriormente.

En el centro mismo del círculo con los trazos antes indicados, se hace un agujero del diámetro del eje.



Fuente: Elaboración propia

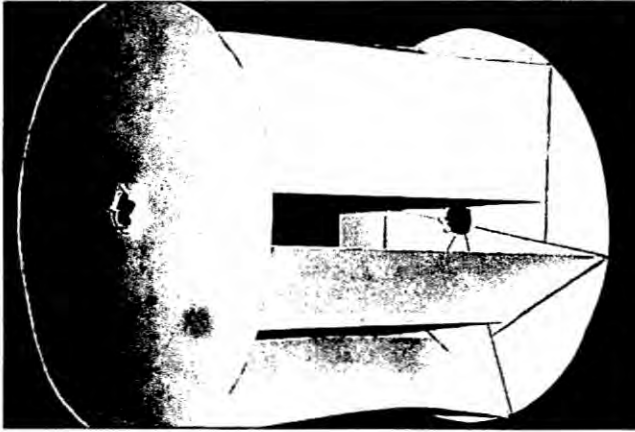
Con la dirección ya trazada de los alerones, estos se ensamblan dando la orientación fija antes indicada, pues hacerlo móvil en cartulina, resulta ser tedioso.



Fuente: Elaboración propia

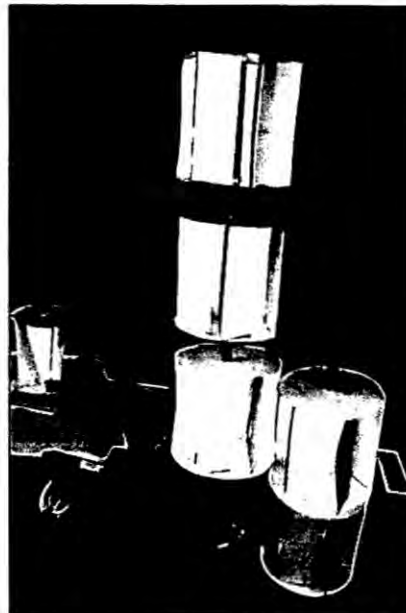
Una firma manuscrita en tinta negra, que parece decir 'Cely'.

Se procede del mismo modo para los tres cuerpos del generador y se ensambla en un eje de madera y rodajes de 30 mm.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente se hace las pruebas de respuesta a los vientos, haciendo uso de un soplador potente.



Fuente: Elaboración propia.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters.

SEGUNDA PARTE

En realidad se sigue el mismo procedimiento descrito anteriormente, pero en este caso ya a la escala de diseño, las cuales tienen las siguientes características.

Diámetro del eje : 50 mm.

Diámetro del aerogenerador : 40 cm.

Longitud de cada cuerpo : 40 cm.

Ancho de los alerones : 18 cm.

Diámetro del aro de la bicicleta :

Diámetro del eje del alternador :

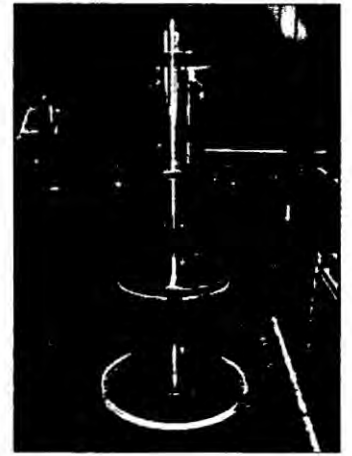
La diferencia fundamental respecto a la maqueta es que en este caso, los alerones pueden moverse en diferentes ángulos para un mejor estudio de la captación de la energía eólica.

Por otro lado, la construcción de este equipo ha demandado una buena cantidad de horas hombre, tanto en la búsqueda y compra de materiales, como en la construcción misma, habiéndose utilizado el taller de mecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Energía; asimismo, los gastos tanto de los materiales como de la mano de obra han sido realizados por el suscrito, con la finalidad de que el trabajo sirva de base a otros similares.

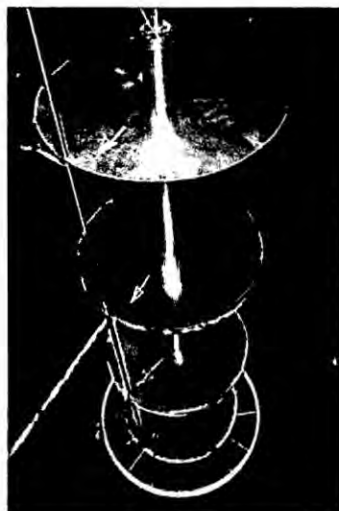




Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados del trabajo de investigación desarrollado

5.1.- Luego de visualizar, estudiar y analizar diversos tipos de alerones presentados en la bibliografía, se propuso un diseño particular de la maqueta, el cual se presenta a continuación.

5.2.- Tomando como base dicha maqueta se ha construido a una escala mayor el generador eólico, cuyas características son:

Altura total	:	1.50 m.
Diámetro del generador	:	40 cm.
Diámetro del eje	:	54 mm.
Diámetro del aro de la bicicleta	:	57 cm
Diámetro del eje del alternador	:	5 cm.
Batería de 12 voltios y 24 placas		
Elevador de voltaje de 220 V. y 500 W.		
Diametro externo del rodaje de la base	:	90 mm.
Diametro externo del rodaje superior	:	46 mm.
Dimensiones de los alerones	:	altura 40 cm. y ancho 18 cm.

A continuación, se muestra la fotografía respectiva.



A continuación, se muestra la fotografía respectiva.



Fuente: elaboración propia

A handwritten signature or mark, possibly a stylized name or initials, located in the bottom right corner of the page.

VI. DISCUSIÓN

- 7.1. El estudio de los generadores de eje vertical ha permitido tener una mejor visión para desarrollar un diseño propio. El desarrollo del prototipo, sin duda ha sido de gran utilidad, pues ha permitido ver las posibles dificultades en la construcción, así como resaltar las bondades de un nuevo diseño.
- 7.2. La construcción de la maqueta, luego de su diseño, también ha presentado problemas operativos, pues se tuvo que trabajar una combinación de cartón, pegamento, madera y rodajes de metal.
- 7.3. Para la construcción del equipo propiamente, una primera dificultad que se presento fue la consecución de estos materiales, pues cada componente se encuentra en diversos lugares, los cuales se logran hallar luego de una búsqueda minuciosa.
- 7.4. Otra dificultad se presento en la construcción pues diversos ejes de diámetro variado han tenido que ensamblarse como una sola unidad, requiriéndose para este fin una gran inversión de horas hombre y uso de maquinaria.
- 7.5. El diseño presenta una característica muy importante, la cual es que todo el equipo puede desensamblarse, trasladarlo a otro lugar y volver a ensamblarlo con gran facilidad.
- 7.6 También se ha observado que presenta gran inercia al movimiento debido a su gran peso; sin embargo, una vez que inicia el movimiento, este puede seguir girando con muy poca intensidad de viento.



VII. CONCLUSIONES

- 8.1 Los generadores eólicos de eje vertical presentan grandes ventajas respecto a los generadores convencionales de eje horizontal, los cuales se pueden detallar: No se requiere de un timón para su orientación, se puede instalar casi a ras del suelo, fácil de ser transportado de un lugar a otro.
- 8.2 Una desventaja importante de este tipo de generadores, es que siempre está expuesto a vientos de baja potencia, pues trabajan casi al nivel de suelo, y en estas condiciones, la fricción entre el aire y la superficie de la tierra reduce considerablemente dicha potencia.
- 8.3 En condiciones optimas con un diseño adecuado del rotor, solo es posible captar un 59% de la potencia del viento; en la práctica, este valor es inferior; sin embargo, como la energía del viento es ilimitada, este aspecto juega un papel secundario en todo el proceso.
- 8.4 El costo total aproximado del equipo es de 1500 soles, el cual se puede desglosar en dos partes : materiales y equipos 60% y mano de obra 40%, siendo este un costo relativamente elevado, pues es una primera experiencia. Se estima que los costos pueden bajar en la medida que se procede a la construcción tomando en consideración la economía de escala.
- 8.5. Hace falta realizar mayores estudios respecto de los ángulos de contacto de los alerones y realizar una evaluación completa del aerogenerador en sí, para lo cual se propondrá realizar este estudio mediante la modalidad de tesis de algún graduado interesado en el tema.



VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SLOOTWEG, J. G. and KLING. W.L., Is the Answer Blowing in the Wind?
IEEE Power & Energy, 1(6):26-33, 2003.
2. SHELDAHR. E. I and BLACKWELL B.F. Free-air performance tests of a 5-meter-diameter darrieus turbine. Technical Report 77-1063, SANDIA Laboratories, Diciembre 1977
3. FRAILE MORA, JESÚS. Máquinas Eléctricas. Mc Graw Hill, 5 edition, 2003.
4. HART, DANIEL. Electrónica de Potencia. Prentice Hall, 2001
5. EWEA. Viento Fuerza 12. Mayo 2004
6. Balance Nacional de MEM. Año 2007.
7. Sector Eléctrico 2009. Documento Promotor MEM Año 2007
8. Sector Energetico del Perú". MEM. Año 2008.
- 19 World Wind Energy Association (Hrsg.): Stand: Ende 2008

PÁGINAS WEB

9. <http://www.pnud.cl/boletin/enero/cont6.htm>,
Energía Renovable para Iluminar a 35 Islas Chilotas. enero 2004
10. <http://angelongo.en.eresmas.com/historiaenergiaeolica.htm>, Historia. mayo 2004
11. <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo4a.html>,
Centrales Eólicas. mayo 2004

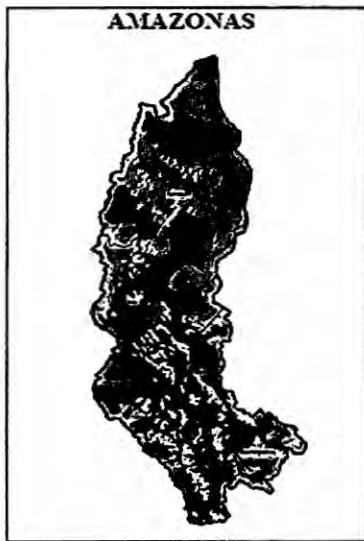


12. <http://www.windpower.org>, Danish Wind Industry Association. septiembre 2003.
13. <http://www2.ing.puc.cl/power/alumno04/-Copia%20de%20trabajo%20bonos6/discuss2.htm>
14. <http://angelongo.en.eresmas.com/EREOLICAAEROGNERADORES.htm>, Aerogeneradores. mayo 2004
15. <http://personal.telefonica.terra.es/web/flromeras/hall.htm>, Efecto Hall. mayo 2004
16. [Global Wind Energy Council News.](#)
17. http://www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_e.pdf World Wind Energy Association World Wind Energy Report 2009 retrieved 2010 07 21
- 20 http://www.elpais.com/articulo/sociedad/eolica/supera/primera/vez/mitad/produccion/electrica/elpepusoc/20091109elpepusoc_2/Tes.
- 21 [La eólica supera por primera vez la mitad de la producción eléctrica.](#)
- 22 [Global installed wind power capacity.](#)



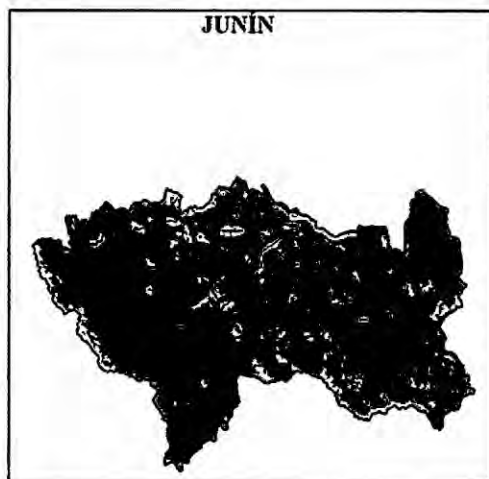
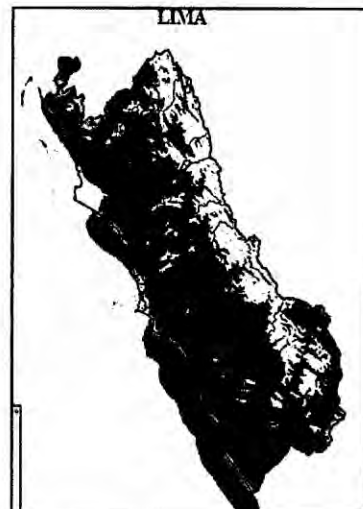
ANEXOS

ANEXO 1: Mapa Eólico del Perú



Fuente: <http://solucionessolares.blogspot.com/2009/01/mapa-eolico-peruano.html>





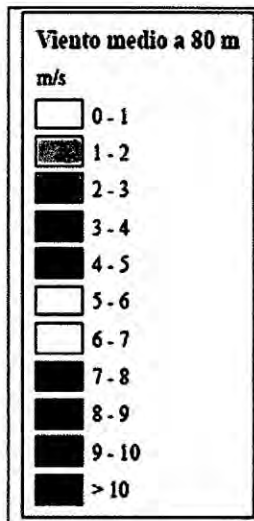
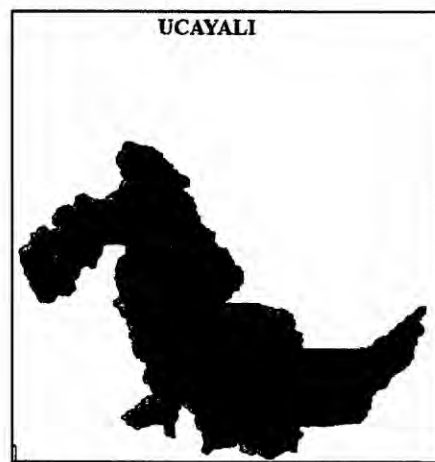
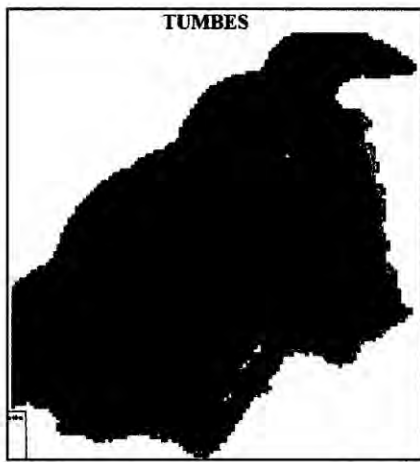
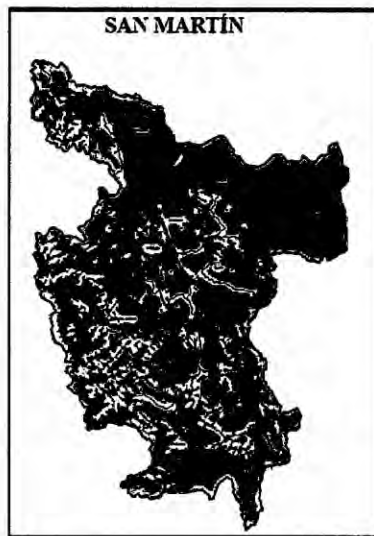
Fuente: <http://solucionessolares.blogspot.com/2009/01/mapa-eolico-peruano.html>

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters.



Fuente: <http://solucionessolares.blogspot.com/2009/01/mapa-eolico-peruano.html>

A handwritten signature in black ink, located at the bottom right of the page.



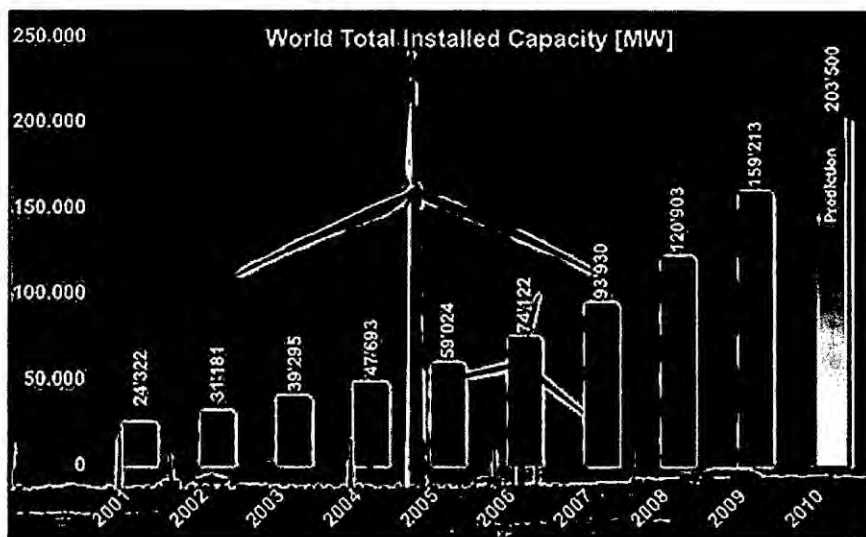
Fuente: <http://solucionessolares.blogspot.com/2009/01/mapa-eolico-peruano.html>

Capacidad en Megawatts

Posición	País	2009	2008	2006	2005	2004
1	USA	32.919	25.170	11.603	9.149	6.725
2	Alemania	25.03	23.903	20.622	18.428	16.628
3	China	20.00	12.210	2.405	1.260	764
4	España	18.263	16.754	11.730	10.028	8.504
5	India	10.742	9.654	6.270	4.430	3.000
6	Francia	4.655	3.404	1.567	757	386
7	Italia	4.547	3.736	2.123	1.717	1.265
8	Reino Unido	4.015	3.241	1.963	1.353	888
9	Dinamarca	3.384	3.180	3.136	3.128	3.124
10	Portugal	3.374	2.862	1.716	1.022	522
11	Canadá	3.301				
12	Países Bajos	2.220				
13	Japón	1.980				
14	Australia	1.494				
15	Grecia	1.062				
16	Suecia	1.021				
17	Irlanda	1.002				
18	Austria	995				
19	Turquía	635				
20	Brasil	634				

Anexo 2.- Capacidad Total de Energía Eólica Instalada (Fin de año y ultimas estimaciones)





Anexo 3. Capacidad Total Mundial Instalada de Energía Eólica en MW

El desarrollo de la energía eólica en Latinoamérica está en sus comienzos, llegando la capacidad conjunta instalada en estos países a los 769 MW (datos de septiembre de 2009). A fecha de 2009, el desglose de potencia instalada por países y su porcentaje sobre el total de cada país es el siguiente:

País	Capacidad (MW)	%
Brasil	415	0.4
México	85	0.17
Costa Rica	70	2.8
Nicaragua	40	5.0
Argentina	29	0.1
Uruguay	20	0.8
Chile	20	0.2
Colombia	20	0.1
Cuba	7.2	0.05
Ecuador	2.4	0.05
Perú	0	0
Venezuela	0	0

Anexo 4: Energía Eólica Instalada en Latinoamérica