

EVALUACIÓN DE UNA CENTRAL EXPERIMENTAL DE ENERGÍA EÓLICA INSTALADA EN EL CENAE

Marcelo Anchaluiza M.¹, Ernesto Martínez L.²

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es determinar el potencial eólico del Generador instalado por el CICYT en los terrenos del CENAE. Se analiza experimentalmente la cantidad de energía que se puede obtener para las condiciones ambientales del Campus Prosperina en relación con los valores de la velocidad del viento, esta parte experimental se desarrolla durante el año 2002.

Se estudiará el comportamiento del viento hora a hora para el lugar mencionado. Para lo cual se cuenta con un anemómetro registrador que grabará en un computador la velocidad y dirección del viento. Estos datos se ingresarán en el software "Weatherlink" que trazará la curva de viento del sitio. Una vez tabuladas las velocidades imperantes en el Campus se podrá determinar cuánta energía se puede obtener de ese lugar y con estos parámetros dimensionar qué tipo de generador (Potencia) se necesita para cubrir los requerimientos energéticos de un sector puntual en el Campus (CENAE).

INTRODUCCION

Debido al problema de contaminación que genera la producción de energía eléctrica con combustible y al problema del bajo nivel que a veces presentan las represas que producen energía eléctrica por falta de lluvias. Considerando esto, se busca investigar otras fuentes de energía como es la energía eólica, ya que esta puede ser aprovechada en pequeñas o grandes magnitudes y representar un impacto en la producción de energía en el medio y no contamina el ambiente.

Ahora esta energía es de bajo rendimiento ya que sólo se puede aprovechar el 59.3 % de ella y su uso no es seguro ni tampoco uniforme ya que depende de varios factores como son la posición geográfica, la hora del día, y hasta la época del año, factores que aumentan o disminuyen la cantidad de energía disponible.

Para calcular la energía del viento, la velocidad del viento es el mejor factor, porque la energía contenida por el viento es proporcional al cubo de su velocidad. Para obtener dicha velocidad contamos con un anemómetro ubicado en el CENAE y de un moderno y dinámico software llamado "Weatherlink".

1.CONCEPTO, FUNDAMENTOS Y PRINCIPALES APLICACIONES DE LA ENERGIA EOLICA

¹ Ing. Mecánico, ESPOL, ² Ing. Mecánico 1.983, Profesor FIMCP-ESPOL 1.983, Master en Administración de empresas 2.006, emarlo@cye.net

1.1 Energía Eólica

La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, pues se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera y de las irregularidades de relieve de la superficie terrestre.

Durante el día el sol calienta el aire sobre tierra firme más que al aire que está sobre el mar. El aire continental se expande y eleva disminuyendo así la presión sobre el terreno y haciendo que el viento sople desde el mar hacia las costas. La rotación terrestre, la diferencia de temperatura y la presión atmosférica, tienen influencia en la dirección del viento.

El contenido energético del viento depende de su velocidad. Cerca del suelo la velocidad es baja, pero aumenta rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará éste al viento. Sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y en contrapunto con más velocidad sobre las colinas, pero en grandes valles y terrenos montañosos nos encontramos con el efecto túnel que puede proporcionar buenas velocidades de viento. No obstante, el viento sopla con más fuerza sobre el mar que en tierra. Es por esto, que las mejores localizaciones para las turbinas se encuentren en el mar, sobre colinas, cercanas a la costa y con poca vegetación.

1.2 Aplicaciones y Desarrollo

Además de emplearse para el riego y moler el grano, los molinos construidos entre los siglos XV y XIX tenían otras aplicaciones, como el bombeo de agua en tierras bajo el nivel del mar, aserradores de madera, fábricas de papel, prensado de semillas para producir aceite, así como para triturar todo tipo de materiales. En el siglo XIX se llegaron a construir unos 9.000 molinos en Holanda.

El uso de las turbinas de viento para generar electricidad comenzó en Dinamarca a finales del siglo pasado y se ha extendido por todo el mundo. Los molinos para el bombeo de agua se emplearon a gran escala durante el asentamiento en las regiones áridas del oeste de Estados Unidos. Pequeñas turbinas de viento generadoras de electricidad abastecían a numerosas comunidades rurales hasta la década de los años treinta, cuando en Estados Unidos se extendieron las redes eléctricas. También se construyeron grandes turbinas de viento en esta época.

Las modernas turbinas de viento se mueven por dos procedimientos: el arrastre, en el que el viento empuja las aspas, y la elevación, en el que las aspas se mueven de un modo parecido a las alas de un avión a través de una corriente de aire. Las turbinas que funcionan por elevación giran a más velocidad y son, por su diseño, más eficaces.

Las turbinas de viento pueden clasificarse en turbinas de eje horizontal, en las que los ejes principales están paralelos al suelo y turbinas de eje vertical, con los ejes perpendiculares al suelo. Las turbinas de ejes horizontales utilizadas para

¹ Ing. Mecánico, ESPOL, ² Ing. Mecánico 1.983, Profesor FIMCP-ESPOL 1.983, Master en Administración de empresas 2.006, emarlo@cye.net

generar electricidad tienen de una a tres aspas, mientras que las empleadas para bombeo pueden tener muchas más.

Entre las máquinas de eje vertical más usuales destacan las Savonius, cuyo nombre proviene de su diseñador, y que se emplean sobre todo para bombeo; y las Darrieus, una máquina de alta velocidad que se asemeja a una batidora de huevos.

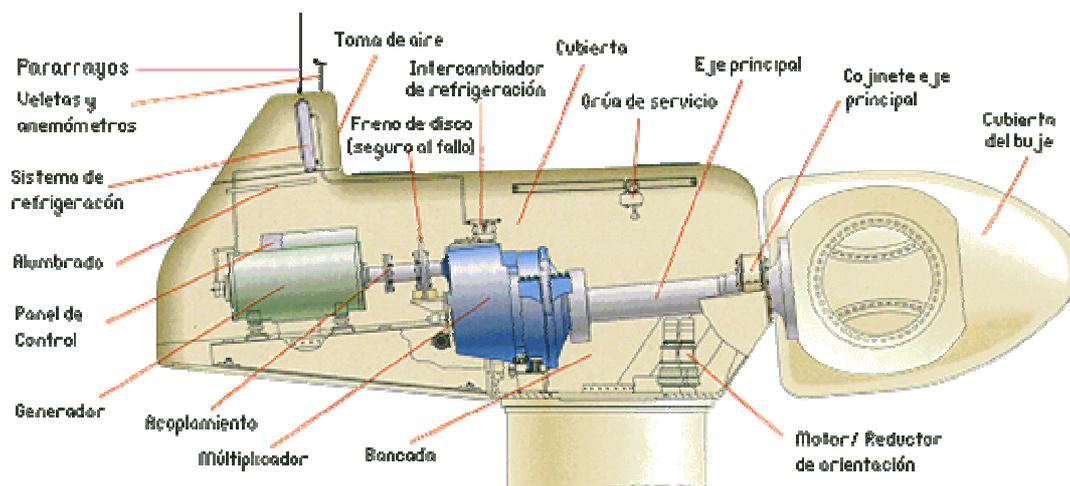


Figura 1: Componentes de un generador eólico

Las máquinas modernas comienzan a funcionar cuando el viento alcanza una velocidad de unos 10 km/h (2.78 m/s) Logran su máximo rendimiento con vientos entre 40 y 48 km/h (11.11 m/s y 13.33 m/s). Y dejan de funcionar cuando los vientos alcanzan los 54 km/h (15 m/s). Los lugares ideales para la instalación de los aerogeneradores son aquellos en los que el promedio anual de la velocidad del viento es de al menos 21 km/h (5.8m/s).

1.3 Fuerza del viento

La potencia suministrada por un aerogenerador, depende de la superficie barrida por la hélice y, por tanto, de la longitud de las palas y es independiente del número de palas.

La energía que origina el viento es energía cinética, es decir, debida a la masa del aire en movimiento:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

donde m es la masa del aire en kg. y v es la velocidad instantánea del viento (m/s).

La masa de esta cantidad de aire es:

$$m = \rho \cdot V \quad (2)$$

donde ρ es la densidad del aire 1,25 Kg./m y V el volumen del cilindro barrido.

¹ Ing. Mecánico, ESPOL, ² Ing. Mecánico 1.983, Profesor FIMCP-ESPOL 1.983, Master en Administración de empresas 2.006, emarlo@cye.net

El volumen del cilindro es $V=A.L$ donde A es la superficie barrida y L la longitud del cilindro, que es un espacio y por tanto es igual a una velocidad (la del viento) por un tiempo (en segundos).

$$L=v.t \quad (3)$$

Con ello queda que la energía es igual a:

$$E_c=1/2\rho.V.v^2=1/2\rho.A.L.v^2=1/2\rho.A.v.t.v^2=1/2\rho.A.v^3.t$$

Por tanto la potencia teórica del viento será:

$$P=E_c/t=1/2\rho.A.v^3 \quad (4)$$

Si el área barrida transversalmente por el viento es circular, como ocurre en todas las máquinas eólicas de eje horizontal,

$$A=p.D^2/4 \quad (5)$$

siendo D el diámetro, por lo que la potencia disponible será:

$$P=p/8\rho.D^2.v^3 \quad (6)$$

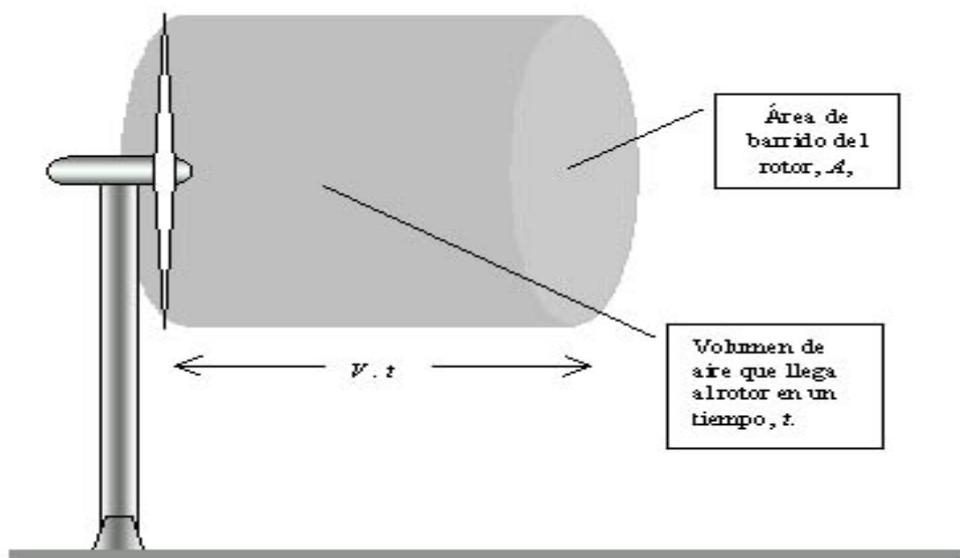


Figura 2: Volumen de aire que llega al rotor

1.4 Ubicación del Generador Eólico

El generador está ubicado en la CENAE (Centro de Capacitación). Este lugar fue escogido por el CICYT ya que antes existía en el mismo lugar una estación meteorológica con el propósito de reactivar este lugar y por estar cerca de las instalaciones del CENAE el CYCIT procedió a la instalación del generador en dicho sector, pero no se hizo un estudio previo para conocer si las condiciones eólicas eran favorables.

2. FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR EOLICO DEL CENAE.

El generador empieza a funcionar a una velocidad de 3.5 m/s que rompe la inercia del sistema, una vez que se arranca se mantiene girando así la velocidad del viento disminuya hasta 1 m/s, menos de esto comienza a detenerse. Luego, para volver a girar necesita otra vez 3.5 m/s. A medida que se va incrementado la velocidad, se va incrementando la potencia que corresponde a la variación con el cubo de la velocidad. Y al llegar a 12 m/s alcanza su potencia nominal, esto es 1500 w.

Cuando el sistema supera esta velocidad, empieza a calentarse y se degrada la curva de potencia, al llegar a 15 m/s el sistema se frena automáticamente. A los 15 m/s las aspas comienzan a ponerse en posición paralela al viento y el generador se inclina, la cola y el alerón bajan su posición y al mismo tiempo la parte del generador que está en contacto con las aspas se eleva, al estar las aspas en posición paralela el viento su velocidad empieza a disminuir y se coloca en posición original. Este proceso se repite mientras existan velocidades iguales o mayores a 15 m/s.

El generador produce voltaje trifásico que es transmitido por 3 cables que van dentro de un tubo, descienden por la torre y llegan hasta el rectificador trifásico del cual salen 24V DC que sirven para cargar dos baterías de 12V colocadas en serie. Las baterías dan servicio a 4 focos de DC de 40 W cada uno, que alumbran la caseta de la estación experimental.

La parte de generación se centra en el alternador. El núcleo es de Neodimio, un material de muy alta susceptibilidad magnética que produce un campo magnético a su alrededor de manera natural, esto lo hace diferente de los alternadores que se utilizan en los automóviles los cuales utilizan un electroimán. La diferencia radica en que el electroimán utiliza energía eléctrica. En cambio el Neodimio al ser un imán permanente no utiliza energía eléctrica, sino que utiliza su propia energía contenida dentro de su campo magnético natural para directamente empezar a generar energía eléctrica.

Las aspas al girar comunican el movimiento a la estructura metálica que rodea al núcleo de imán. En esta estructura están las tres bobinas que giran alrededor del núcleo, cortan las líneas de flujo magnético y producen una variación de flujo respecto a la variación de tiempo y generan un voltaje alterno en cada una de las

bobinas. Como son tres se genera un voltaje trifásico que luego pasa al rectificador que lo convierte en voltaje DC.

En la mayoría de los aerogeneradores modernos se utilizan torres tubulares para el caso del generador ubicado en el CENAE la torre es de 9 m de altura y está construida con perfiles de acero por cuanto es menos costosa que la tubular y requiere menos material que la tubular.

3. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

En resumen los meses en los que la energía del viento fue insuficiente para generar energía eléctrica y que prácticamente pasó detenida la turbina fueron de Enero hasta Mayo.

En Mayo hubo un ligero incremento en la frecuencia de velocidades de viento mayores a 3 m/s que son las que generan electricidad.

Desde Junio hasta Diciembre, las velocidades del viento tuvieron un comportamiento uniforme y se incrementó la frecuencia de velocidades que hacen mover a la turbina y se generó algún voltaje. Pero en ningún momento se llegó a la velocidad nominal de este pequeño generador eólico que es de 12 m/s.

En la figura 3 se muestra el histograma de velocidades del viento obtenidas mes a mes a lo largo de todo el año y se aprecia que en promedio la velocidad del viento apenas fue suficiente para mover el generador y generar mínimos voltajes (velocidades > 3 m/s). En la tabla 1 se muestran las velocidades medidas y las frecuencias que en que se presentaron a lo largo del año 2002.

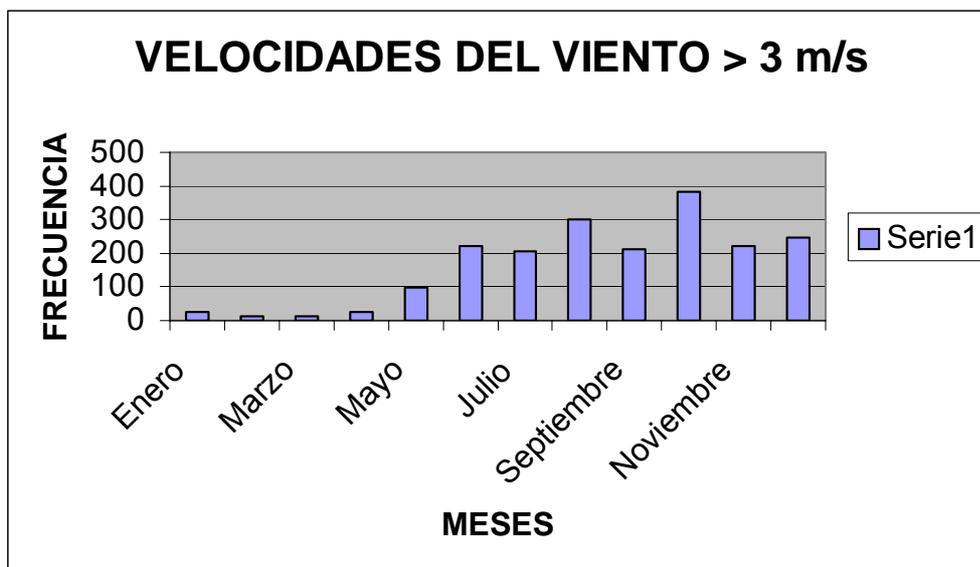


Figura 3: Histograma de frecuencias del año 2002 para velocidades de viento > 3 m/s

TABLA 1

GENERACIÓN ANUAL 2002

Velocidad (m/s)	Pot /A (W/m2)	# horas /año	V x h (m/s.hora)	W h/ año-m2
0,0	0,0	689,0	0,0	0,0
0.1	0,0	94,0	9,4	0,1
0.2	0,0	145,0	29,0	0,7
0.3	0,0	305,0	91,5	5,1
0.4	0,0	334,0	133,6	13,1
0.5	0,1	311,0	155,5	23,9
0.6	0,1	325,0	195,0	43,2
0.7	0,2	323,0	226,1	68,1
0.8	0,3	275,0	220,0	86,6
0.9	0,4	306,0	275,4	137,2
1.0	0,6	201,0	201,0	123,6
1.1	0,8	239,0	262,9	195,6
1.2	1,1	237,0	284,4	251,9
1.3	1,4	229,0	297,7	309,4
1.4	1,7	207,0	289,8	349,3
1.5	2,1	206,0	309,0	427,6
1.6	2,5	200,0	320,0	503,8
1.7	3,0	212,0	360,4	640,6
1.8	3,6	202,0	363,6	724,5
1.9	4,2	196,0	372,4	826,8
2.0	4,9	208,0	416,0	1023,4
2.1	5,7	195,0	409,5	1110,6
2.2	6,5	191,0	420,2	1250,8
2.3	7,5	152,0	349,6	1137,4
2.4	15,4	174,0	417,6	2682,0
2.5	25,2	166,0	415,0	4188,9
2.6	37,2	136,0	353,6	5055,6
2.7	51,5	188,0	507,6	9676,6
2.8	68,4	125,0	350,0	8547,6
2.9	88,2	118,0	342,2	10403,6
3.0	111,1	124,0	372,0	13777,0
3.1	137,5	129,0	399,9	17735,6
3.2	167,6	112,0	358,4	18772,1
3.3	201,8	94,0	310,2	18967,9
3.4	240,3	101,0	343,4	24274,7
3.5	283,6	117,0	409,5	33183,3
3.6	332,0	86,0	309,6	28548,3
3.7	385,7	86,0	318,2	33172,1
3.8	445,3	89,0	338,2	39630,5
3.9	511,0	96,0	374,4	49059,2
4.0	583,4	70,0	280,0	40835,2
4.1	662,7	61,0	250,1	40423,2
4.2	749,4	70,0	294,0	52458,0
4.3	844,0	62,0	266,6	52325,9
4.4	946,8	65,0	286,0	61543,3
4.5	1058,4	53,0	238,5	56096,1
4.6	1179,2	44,0	202,4	51885,9
4.7	1309,7	46,0	216,2	60247,4
4.8	1450,4	53,0	254,4	76871,9
4.9	1601,8	32,0	156,8	51257,3

TABLA 1

GENERACIÓN ANUAL 2002 (continuación)

Velocidad (m/s)	Pot /A (W/m2)	# horas /año	V x h (m/s.hora)	W h/ año-m2
5.0	1764,4	38,0	190,0	67046,3
5.1	1938,7	41,0	209,1	79486,5
5.2	2125,3	29,0	150,8	61633,4
5.3	2324,7	24,0	127,2	55793,1
5.4	2537,5	22,0	118,8	55825,7
5.5	2764,3	19,0	104,5	52522,1
5.6	3005,7	25,0	140,0	75141,7
5.7	3262,2	12,0	68,4	39146,1
5.8	3534,5	10,0	58,0	35344,5
5.9	3823,1	13,0	76,7	49700,7
6.0	4128,8	9,0	54,0	37159,6
6.1	4452,2	6,0	36,6	26713,4
6.2	4794,0	4,0	24,8	19175,9
6.3	5154,7	5,0	31,5	25773,6
6.4	5535,2	7,0	44,8	38746,2
6.5	5936,0	8,0	52,0	47488,2
6.6	6358,0	2,0	13,2	12715,9
6.7	6801,8	1,0	6,7	6801,8
6.8	7268,1	1,0	6,8	7268,1
6.9	7757,7	1,0	6,9	7757,7
7.1	8810,0	1,0	7,1	8810,0
7.2	9374,1	1,0	7,2	9374,1
Total		8758,0		1690297,2

4. DIMENSIONAMIENTO DE LA CARGA A SERVIR

Para manejar una carga de electrodomesticos de uso común (tabla 2) en un hogar ecuatoriano, según datos de consumo promedio la empresa electrica se tiene:

TABLA 2

Equipo	POTENCIA	TIEMPO	
6 focos ahorradores	20 W	5 h/día	600 Wh/día
1 TV	65 W	5 h/día	325 Wh/día
1 Radio	15 W	5 h/día	325 Wh/día
TOTAL			1250 Wh/día

Estos son los electrodomésticos básicos que tiene una familia pequeña, con estos dimensionaremos el banco de baterías que se requiere.

Cada batería tiene 12 voltios con una corriente de 125 A, esta es la corriente máxima como la potencia es igual al voltaje por la corriente tenemos entonces:

$$P = VI; (12 V) \cdot (125 A) = 1500 W$$

$$\text{Energía} = \text{Potencia} \cdot \text{tiempo} = (1500 w \cdot 1 h) = 1500 wh.$$

Tomando en cuenta el que rendimiento de las baterías son del 80 % entonces tenemos que:

$$\text{Energía Real} = (1500) \cdot (0.80) = 1200 \text{ Wh}$$

$$\text{Número de Baterías} = \frac{\text{Energía del Día}}{\text{Energía de la Batería}} = \frac{1250 \text{ Wh/día}}{1200 \text{ Wh/día}}$$

$$\text{Número de Baterías} = 1.04 \approx 2$$

Del Mes de Enero al mes de Mayo no hay viento por lo tanto no hay energía o es mínima.

De Junio a Diciembre si hay viento entonces tomamos los datos de la tabla 3 de la energía eléctrica producida por el generador, y vemos que para manejar la carga de electrodomesticos antes citada, requerimos de al menos 3 generadores de las características del aquí analizado. Lo que hace totalmente ineficiente esta forma de obtener energía para esta zona geografica.

TABLA 3

Mes	Energía (Wh/ mes)	
Mayo	5000	167 Wh/día
Junio	15000	500 Wh/día
Julio	15000	500 Wh/día
Agosto	20000	667 Wh/día
Septiembre	16000	533 Wh/día
Octubre	22000	733 Wh/día
Noviembre	19000	633 Wh/día
Diciembre	16000	533 Wh/día
TOTAL		23180 Wh

CONCLUSIONES

-En la ESPOL y se puede generalizar para todo Guayaquil la instalación de aerogeneradores no es recomendable ya que los vientos existentes son de una magnitud inferior a las mínimas recomendadas (5 m/s) para que estos equipos funcionen en forma óptima.

-Con la ayuda de los datos registrados en el 2002 por el anemómetro del CENAE, se obtuvo datos con mayor exactitud y confiabilidad, llegando a la conclusión de que los meses de Julio, Agosto Septiembre, Octubre y Noviembre son los más favorables en cuanto a energía entregada por el viento, mientras que en los otros meses es mínima la presencia de vientos generadores de energía.

-La velocidad promedio del viento imperante en el sector fue de 1.8 m/s, la cual dista significativamente de la velocidad nominal recomendada por el fabricante del generador de estudio (12 m/s). Por lo tanto la poca energía que pudiese

generarse no satisface en forma continua y segura ni siquiera el alumbrado de la estación del CENAE (4 focos).

-Los datos de velocidad del viento están tomados hora a hora a lo largo del año 2002, y estos revelaron que de las 8758 horas del año registrado, sólo 1309 tuvieron viento generador (velocidades mayores a 3.5 m/s), y en las restantes el generador estuvo detenido o la energía generada fue insignificante.

-La combinación es posible entre la energía eólica con la energía solar obteniendo de la noche la energía eólica por ser el periodo de tiempo en el que es mayor la incidencia del viento y del día la energía.

-Una de las recomendaciones que se sugiere es el de trasladar el equipo a otro lugar siempre que no este distante de la carga a servir.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ALFREDO BARRIGA, Energías Renovables, Notas preparadas con el apoyo de la ESPOL y la Universidad de Calgary

[4] BEATRIZ G. DE ALVARENGA /ANTONIO MÁXIMO. Física General Editorial Harla, 2da edición.

[3] GARY C. JOHNSON, Wind Energy Systems, Editorial Prentice Hall

[5] ROBERT W. FOX / ALAN T. McDONAL, Introducción a la Mecánica de fluidos para Ingenieros, Editorial Mc Graw Hill

[6] SERWAY/ BEICHNER , Física tomo II Editorial Mc Graw Hill

SUMMARY

The objective of this thesis is to determine the eolic potential of the Generator installed by the CICYT in the lands of the CENAE. It is analyzed the quantity of energy that one can obtain for the environmental conditions of the Campus Prosperina in connection with the values of the speed of the wind experimentally, this experimental part is developed during the year 2002.

The behavior of the wind hour it will be studied at hour for the mentioned place. For that which is had an anemometer inspector that will record in a computer the speed and address of the wind. These data will be entered in the software " Weatherlink " that will trace the curve of wind of the place. Once tabulated the prevailing speeds in the Campus one will be able to determine how much energy one can obtain of that place and with these parameters to calculate what generator type (Power) it is needed to cover the energy requirements of a punctual sector in the Campus (CENAE).