



T
DEF

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Factibilidad De Utilizar Un Aerogenerador, como Fuente
Alternativa de Energía Eléctrica, Para El Dispensario Médico
del Estadio José Silva Romo de La Ciudad De Baños "

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de :

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Javier Francisco Défaz Cajas

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año : 2003

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo. Al Ing. Ernesto Martínez, Director de Tesis, por la apertura al tema mostrado.

DEDICATORIA

A MIS PADRES



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Francisco Andrade S.
Decano (e) FIMCP



Ing. Ernesto Martínez L.
Director de Tesis

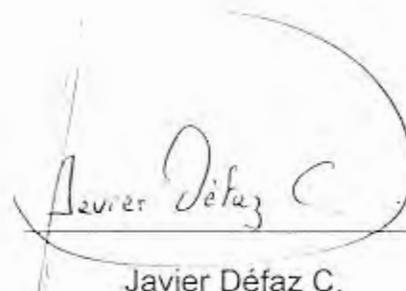


Ing. Jorge Duque R.
Vocal

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)


Javier Défaz C.





RESUMEN

En el Ecuador la energía eólica no es aprovechada. Tal vez la razón principal es que las condiciones meteorológicas no son las más adecuadas para pensar en generar energía a través de la velocidad del viento. Si observáramos un mapa de toda la superficie terrestre en el cual se distingan los valores de velocidad y dirección del viento, confirmaríamos que el Ecuador a nivel mundial es uno de los países menos favorecidos, debido a su ubicación en el planeta. Localizándose en la zona de calmas y bajas presiones.

Con el continuo avance de la tecnología, en los países desarrollados, se han construido aerogeneradores muy prácticos, más eficientes, y que trabajan a velocidades de viento menores que en años pasados.

En la ciudad de Baños, provincia del Tungurahua, se tiene la necesidad de disponer de otra fuente alternativa de energía eléctrica para el dispensario médico del estadio Coronel José Silva Romo. Se propone la opción de analizar cuan factible sería utilizar un aerogenerador para suministrar energía eléctrica a dicho dispensario, para sus requerimientos básicos de utilización, tomando en consideración que: según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, la estación sensora Baños, estaría

registrando valores adecuados para utilizar una turbina eólica. Esta sería una excelente oportunidad para aprovechar una fuente de energía natural, como es el viento, el cual es gratuito, abunda y no contamina. Además, la tecnología de la energía eólica está teniendo un vertiginoso desarrollo, poniendo los pequeños aerogeneradores al alcance de todo usuario.

El primer paso, será determinar el requerimiento energético del dispensario médico. El cual se evaluará en función de las necesidades de tiempo y servicios prestados, comparando con las planillas canceladas a la respectiva empresa eléctrica

Después se procederá a realizar un tratamiento estadístico a los datos de velocidad del viento. Esto permitirá determinar el comportamiento del viento, para luego, seleccionar el aerogenerador adecuado.

Luego de seleccionar el aerogenerador, se procederá a hallar la producción anual de energía, utilizando la curva de potencia del aerogenerador y la distribución de velocidades del viento. Finalmente, con el valor encontrado y tomando en consideración los requerimientos del dispensario médico, se

determinará cuan útil será adquirir uno de estos equipos, evaluando su beneficio en términos de funcionamiento y/o ahorro.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	V
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGIA.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCION.....	1
1. ENERGÍA EÓLICA.....	2
1.1 El viento.....	2
1.1.1 Repartición geográfica del viento en el suelo.....	5
1.1.2 Variaciones cíclicas de la velocidad del viento.....	6
1.1.3 Variaciones diarias del viento.....	7
1.2 Recursos eólicos.....	9
1.2.1 Relación de la velocidad del viento con la altura.....	10
1.2.2 Efectos aceleradores.....	12
1.2.3 Razones para utilizar energía eólica.....	15
1.3 Instrumentos de medición.....	18
1.4 Energía disponible en el viento.....	21

1.4.1 Ley de Betz.....	22
1.4.2 Demostración de la Ley de Betz.....	22
2. CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA REQUERIDA EN EL DISPENSARIO.....	26
2.1 Requisitos básicos.....	26
2.1.1 Que es un dispensario médico.....	27
2.1.2 Uso del dispensario.....	27
2.1.3 Equipos a utilizar.....	29
2.2 Requerimientos de energía.....	30
2.2.1 Consumo de energía por equipos.....	30
2.2.2 Tiempo de consumo de energía por aplicación.....	31
2.2.3 Consumo de energía requerida en una emergencia de 24 horas.....	33
2.2.4 Capacidad de atención del dispensario.....	36
3. SELECCIÓN DEL AEROGENERADOR.....	38
3.1 Datos geográficos y climáticos de la estación meteorológica Baños.....	38
3.2 Selección de datos.....	39

3.3 Tratamiento estadístico de los datos de velocidad de viento.....	45
3.4 Selección del aerogenerador a utilizar.....	70
3.4.1 Componentes del aerogenerador seleccionado.....	77
3.4.2 Especificaciones del aerogenerador seleccionado.....	81
3.4.3 Operación del sistema.....	83
3.4.4 Cálculo de la producción anual de energía.	87
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	93
4.1 Estimación de costos.....	94
4.2 Análisis Económico.....	96
5. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.....	100
Apéndices	
Bibliografía	

ABREVIATURAS

Ener.	Energía
Frec.	Frecuencia
h	Hora
kg	Kilogramo
kg / m ³	Kilogramo por metro cúbico
km	Kilómetro
kW	Kilowatio
kWh	Kilowatio hora
m	Metro
m ³	Metro cúbico
m / s	Metros por segundo
min	Minuto
PotAer.	Potencia del aerogenerador
s	Segundo
s / min	Segundos por minuto
V	Voltio
VAC	Voltio corriente directa o continua
VDC	Voltio corriente alterna
W	Watio
Wh	Watio hora

SIMBOLOGÍA

n	Coeficiente de rugosidad del suelo
CO_2	Dióxido de carbono
ρ	Densidad
ϕ	Diámetro
F	Fuerza
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
P	Potencia
P_{max}	Potencia máxima
ΔT	Variación de la energía cinética
V	Velocidad a la altura H
V_0	Velocidad a la altura H_0

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Energía solar que recibe la superficie terrestre.....	3
Figura 1.2 Patrones globales de circulación atmosférica.....	4
Figura 1.3 Efecto túnel.....	12
Figura 1.4 Anemómetro de cazoletas y veleta de dirección.....	19
Figura 1.5 Anemómetro de cazoletas portátil.....	20
Figura 1.6 Teoría de Betz.....	22
Figura 3.1 Histograma de frecuencias de Enero/02.....	46
Figura 3.2 Histograma de frecuencias de Febrero/02.....	48
Figura 3.3 Histograma de frecuencias de Marzo/02.....	49
Figura 3.4 Histograma de frecuencias de Abril/02.....	51
Figura 3.5 Histograma de frecuencias de Mayo/02.....	52
Figura 3.6 Histograma de frecuencias de Junio/02.....	54
Figura 3.7 Histograma de frecuencias de Julio/02.....	55
Figura 3.8 Histograma de frecuencias de Agosto/02.....	57
Figura 3.9 Histograma de frecuencias de Septiembre/02.....	59
Figura 3.10 Histograma de frecuencias de Octubre/02.....	60
Figura 3.11 Histograma de frecuencias de Noviembre/02.....	62
Figura 3.12 Histograma de frecuencias de Diciembre/02.....	63
Figura 3.13 Aerogenerador común situado en una granja.....	70

Figura 3.14 Conjunto aerogenerador y su centro de poder.....	71
Figura 3.15 Componentes principales del aerogenerador XL.1.....	78
Figura 3.16 Centro de poder del aerogenerador XL.1.....	81
Figura 3.17 Sistema completo XL.1.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I Elementos básicos del dispensario.....	30
Tabla II Consumo de energía de los equipos básicos.....	31
Tabla III Requerimiento de energía en una emergencia de 24 horas.....	35
Tabla IV Porcentaje de personas que visitan el dispensario.....	36
Tabla V Consumo de energía mensual promedio que se factura a la empresa eléctrica.....	37
Tabla VII Resultado de las mediciones continuas efectuadas durante 10 días en la estación Baños en el mes de marzo del 2003.....	42
Tabla VIII Fabricantes de aerogeneradores y características de Sus equipos.....	75
Tabla IX Producción anual de energía.....	90
Tabla X Producción de energía de todos los días tipo, al año.....	92
Tabla XI Cuadro de resultados.....	94
Tabla XII Cuadro de opciones de compra.....	95

INTRODUCCION

El presente trabajo trata de la factibilidad de utilizar un aerogenerador para generar energía eléctrica, y suplir las necesidades de un dispensario médico de la ciudad de Baños.

En este trabajo se plantea la importancia de utilizar la energía eólica, como fuente alternativa de energía, siendo este un recurso renovable. El viento es gratuito, abunda, no contamina y ni produce desechos peligrosos. Además, es la fuente de energía que más rápidamente crece en nuestro planeta.

Otro objetivo de la tesis, es hacer conciencia en las personas o empresas en el Ecuador, de los beneficios de utilizar la energía del viento para generar energía. Ya que debido al constante avance de la tecnología, es posible encontrar aerogeneradores que requieren velocidades de viento cada vez menores. Existiendo lugares donde las condiciones eólicas son adecuadas, es posible la instalación de una miniturbina eólica, como en el sitio donde se realiza el presente trabajo.

CAPÍTULO 1

1. ENERGÍA EÓLICA

1.1 El Viento

La superficie de la tierra no se calienta de manera uniforme. Esto determina grandes movimientos de la atmósfera que originan los vientos. La superficie de la tierra no se calienta en forma homogénea debido a su forma esférica y a la envoltura gaseosa que constituye la atmósfera. Las áreas que se encuentran cercanas a los polos reciben menor radiación solar por unidad de superficie que las áreas que están cerca del Ecuador. La cantidad de energía solar que se recibe por unidad de área en la superficie terrestre, depende del ángulo en



o "núcleos". En cada hemisferio se pueden distinguir tres núcleos más o menos individualizados: tropical, templado y polar.

Los núcleos tropicales a ambas partes del ecuador están separados por la zona de las calmas y bajas presiones ecuatoriales. Los núcleos templados están separados de los anteriores por zonas de altas presiones subtropicales y de los núcleos polares por ejes de depresión situados hacia los paralelos de latitud de 60°.



Figura 1.2. Patrones globales de circulación atmosférica

En realidad el esquema presentado no es perfecto. El desigual calentamiento de los océanos y continentes, la existencia del relieve y las variaciones de las estaciones implican deformaciones y una partición de las zonas de altas y bajas presiones.

1.1.1 Repartición Geográfica del Viento en el Suelo

En base a la observación de los mapas mundiales que describen la velocidad y dirección del viento en la superficie terrestre se muestra que, en general, el viento es más fuerte sobre los océanos que sobre los continentes. Esta disparidad se explica, sobre todo, por la influencia del relieve y de la vegetación, que frenan el movimiento del aire.

De aquí se deduce que, en general, las zonas más favorables para la producción de energía eólica están situadas, sobre los continentes, al borde de la costa.

Algunos vientos son conocidos universalmente por la regularidad de su régimen como, por ejemplo, los alisios que soplan en ambos lados del ecuador alrededor de todo el globo y los vientos monzónicos que soplan en el sudeste de Asia.

Otros soplan de modo intermitente durante periodos cortos, *aunque con intensidad y frecuencia más elevadas en algunas estaciones.*

1.1.2 Variaciones Cíclicas de la Velocidad del Viento

Como consecuencia del desplazamiento en la superficie de la tierra de las zonas de alta presión y de zonas de baja presión, la velocidad y dirección del viento varían en general a lo largo del año. Las isostaquias son mapas indican la velocidad del viento.

Como la posición de las áreas ciclónicas y anticiclónicas depende la posición del sol respecto al ecuador, se observa una variación anual más o menos cíclica del viento en intensidad y en dirección.

La velocidad del viento es más importante en invierno que durante los meses de verano, lo que constituye un factor favorable, ya que las necesidades energéticas son más importantes durante aquella estación.

1.1.3 Variaciones Diarias del Viento

Los vientos sufren las oscilaciones diarias debidas a efectos de convección. Siendo el calor específico de la tierra inferior al del agua, aquella se calienta más rápidamente que el mar bajo el efecto de la radiación solar. Por este hecho, cuando el tiempo es bueno, se originan movimientos de convección sobre los continentes. Durante el día se produce una corriente de aire en las proximidades del suelo, en el sentido del mar hacia la tierra: es la brisa del mar. Por la tarde el fenómeno se invierte al enfriarse la tierra con más rapidez que el mar. Estos efectos se hacen notar hasta 50 km de las costas y alrededor de los grandes lagos.

En la montaña también se originan brisas. Durante el día, a partir de las 10 horas, el viento, en los valles, va de aguas abajo hacia aguas arriba porque los montes se calientan antes que los valles. Por la tarde la corriente se invierte y la brisa se origina en el sentido de aguas arriba hacia aguas abajo.

Es necesario señalar que la presencia de los vientos dominantes pueden modificar sensiblemente las conclusiones precedentes en cuanto a la dirección de las brisas.

En este caso, el viento dominante se compone entonces con las corrientes de convección para dar la resultante del viento real. Como las brisas dependen de los fenómenos térmicos, se deduce que también se producen variaciones diarias más o menos cíclicas en la intensidad y dirección del viento.

Los registros anemométricos (de medición de velocidad) muestran que la velocidad instantánea del viento varía continuamente en magnitud y dirección. En intervalos de tiempo muy cortos, como un segundo, la velocidad puede doblar y la dirección variar considerablemente.

El movimiento del aire puede considerarse como la superposición de un viento de velocidad uniforme y de turbulencias. Las observaciones demuestran que las fluctuaciones más molestas son, los cambios de dirección que tienen lugar en el plano horizontal.

1.2 Recursos Eólicos

Todas las fuentes de energía renovables (excepto la maremotriz y la geotérmica), e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término del sol. El sol irradia 174.423.000.000.000 Kwh de energía por hora hacia la tierra.

Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Como se mencionó anteriormente, las diferencias de temperatura conllevan la circulación de aire. Las regiones alrededor del ecuador, a 0° de latitud, son calentadas por el sol más que las zonas del resto del globo. El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 Km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. Si el globo no rotase, el aire simplemente llegaría al Polo Norte y al Polo Sur, para posteriormente descender y volver al ecuador.

Debido a la rotación del globo, cualquier movimiento en el hemisferio norte es desviado hacia la derecha, si se mira desde nuestra posición en el suelo (en el hemisferio sur es desviado hacia la izquierda). Esta aparente fuerza de curvatura es conocida como fuerza de Coriolis (debido al matemático francés Gustave Gaspard Coriolis 1792-1843).

La fuerza de Coriolis es un fenómeno visible. Las vías del ferrocarril se desgastan más rápidamente de un lado que del otro. Las cuencas de los ríos están excavadas más profundamente en una cara que en la otra.

1.2.1 Relación de la Velocidad del Viento con la Altura

El aumento de la velocidad del viento a medida que nos separamos del suelo, es un fenómeno bien conocido. La reducción de la velocidad en las proximidades del suelo se debe a la frenada que experimenta el aire debido a la vegetación, las construcciones y obstáculos de todas clases.

Las determinaciones meteorológicas nos demuestran que el crecimiento relativo de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo varía de un punto a otro.

Varios autores han propuesto la siguiente expresión para representar la ley de variación de la velocidad del viento:

$$V / V_0 = (H / H_0)^n \quad (1)$$

Siendo V_0 la velocidad observada a la altura H_0 , y V la velocidad observada a la altura H . Generalmente se toma para H_0 el valor 10 m; n es un coeficiente que varía desde 0.10 a 0.40, que corresponde a la rugosidad del suelo.

Hay que considerar las alturas H y H_0 , no como relativas al suelo, sino respecto a un nivel de viento nulo. Por tanto será de gran importancia, para recoger el máximo de potencia, colocar el motor eólico lo más alto posible respecto al suelo.

1.2.2 Efectos Aceleradores

Efecto Tunel.- Si se toma un camino entre dos edificios altos o en un paso estrecho observará que se da el mismo efecto: el aire se comprime en la parte de los edificios o de la montaña que está expuesta al viento, y su velocidad crece considerablemente entre los obstáculos del viento. Esto es lo que se conoce como "efecto túnel".



Figura 1.3. Efecto Tunel

Así pues, si la velocidad normal del viento en un terreno abierto puede ser de, digamos, 6 metros por segundo, en un "túnel" natural puede fácilmente alcanzar los 9 metros por segundo.

Situar un aerogenerador en un túnel de este tipo es una forma inteligente de obtener velocidades del viento superiores a las áreas colindantes.

Para obtener un buen efecto túnel debe estar "suavemente" enclavado en el paisaje. En el caso de que las colinas sean muy accidentadas, puede haber muchas turbulencias en esa área, es decir, el viento soplará en muchas direcciones diferentes (y con cambios muy rápidos).

Si hay muchas turbulencias, la ventaja que supone la mayor velocidad del viento se verá completamente anulada, y los cambios en el viento pueden causar roturas y desgastes innecesarios en el aerogenerador.

Efecto de la colina.- Una forma corriente de emplazar aerogeneradores es situándolo en colinas o estribaciones dominando el paisaje circundante. En particular, siempre supone una ventaja tener una vista lo más amplia posible en la dirección del viento dominante en el área.



La intensidad de los vientos está influida por el relieve. Generalmente, la velocidad del viento es más elevada sobre las colinas que en el fondo de los valles. En las colinas siempre se aprecia velocidades de viento superiores a las de las áreas circundantes. Una vez más, esto es debido a que el viento es comprimido en la parte de la montaña que da al viento, y una vez que el aire alcanza la cima de la colina puede volver a expandirse al descender hacia la zona de bajas presiones por la ladera a sotavento de la colina.

Las colinas situadas cerca de las costas son lugares favorables para la implantación de instalaciones eólicas, principalmente cuando están desnudas y son de pendiente suave y progresiva.

Las colinas y escarpados de pendiente muy fuerte son, por el contrario, mucho menos favorables debido a los torbellinos que originan.

Hay que señalar que el viento es muy rápido en las vertientes de las colinas tangentes a la dirección de aquél. Estos lugares convienen perfectamente a las instalaciones de eólicas, si la dirección del viento queda casi constante durante todo el año.

Pero como última alternativa, la cima de la colina es mejor para la producción de energía eólica.

Los acantilados de pendiente moderada son también muy favorables, especialmente cuando son perpendiculares a la dirección del viento.

Debemos tener cuidado para instalar eólicas sobre los acantilados o colinas con pendientes mayores de 30° porque sobre tales obstáculos se produce a veces una considerable turbulencia. Esto provoca importantes fatigas en las palas de las máquinas de viento.

1.2.3 Razones Para Utilizar Energía Eólica

Las mejoras de diseño, un mejor rendimiento y las economías de escala resultantes de la producción en serie de los aerogeneradores actuales, son algunas de las razones de la baja de costos de estos equipos. Como señala la Asociación Europea de la Energía Eólica, los generadores actuales, aún más grandes reducen los gastos de infraestructura ya que se necesitan menos turbinas para una misma producción.

A los partidarios de la energía eólica les gusta incluir el valor medioambiental del viento, cosa que, según ellos, debería figurar en la comparación de los costos generales con los combustibles fósiles. Así por ejemplo, un aerogenerador de 750 KW puede ahorrar en un año, en un lugar medio en cuanto en condiciones de viento, 1.500 toneladas de emisiones de anhídrido carbónico (CO_2) procedentes de plantas alimentadas con combustibles fósiles. El CO_2 es uno de los principales "gases de invernadero" que se estima contribuyen al cambio climático, por lo que los gobiernos tratan de reducir las emisiones.

A pesar de todo esto la energía eólica debe enfrentarse a algunos grandes desafíos, si quiere tener éxito. Uno de ellos consiste en convencer de sus ventajas a un público todavía escéptico. El tema del costo es uno de los principales malentendidos, si bien parece que el mercado se está ocupando de ese problema por su cuenta. El ruido es otro problema, aunque en los últimos años, las mejoras tecnológicas han

ayudado a reducir considerablemente la contaminación acústica de los aerogeneradores.

Mucho indica que el crecimiento de la energía eólica continuará durante la próxima década. Cobra importancia, en el marco político, el cambio climático y la necesidad de fuentes de energía sostenible. El ritmo del desarrollo llama también la atención de empresas de servicio público en áreas que tienen una gran necesidad de un nuevo suministro de energía. Por ejemplo, al noroeste de Estados Unidos, allí se están instalando miles de megavatios de plantas aerogeneradoras. Y esto no sólo porque, en la actualidad son la solución más económica, sino también porque esas plantas se pueden construir con rapidez : el desarrollo de una instalación nueva de gas natural lleva cinco años, mientras que el de un aerogenerador nuevo puede que no pase de seis meses.

Las regiones en alta mar empiezan a representar soluciones prometedoras al problema del emplazamiento. En el mar, los recursos eólicos son mejores y, además, hay mucho espacio. Se han construido una serie de instalaciones de prueba en el mar, y últimamente, se han puesto en línea plantas comerciales, tal

como un parque eólico de 40 megavatios cerca de la costa danesa, en las cercanías de Copenhague. Sin embargo, aunque se elaboran planes enormes que tienen que ver con miles de megavatios, el sector está todavía en mantillas, y prosiguen los trabajos para lograr máquinas más adecuadas para su uso en el mar.

1.3 Instrumentos de Medición

La velocidad del viento se mide con anemómetros. Existen varios tipos de ellos: anemómetros de rotación, anemómetros de presión y otros.

Los tipos más conocidos son los anemómetros de cucharilla de Papillon y Robinson que se encuentran prácticamente en todas las estaciones meteorológicas. Este anemómetro tiene un eje vertical y tres cazoletas que capturan el viento. El número de revoluciones por segundo es registrado, y se lee el recorrido del viento, el cual viene dado en km. Normalmente el anemómetro está provisto de una veleta para detectar la dirección del viento.

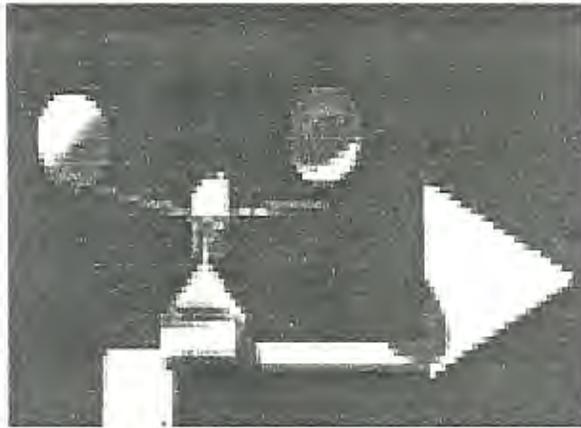


Figura 1.4. Anemómetro de cazoletas y veleta de dirección

El anemómetro de presión Best Romani, lleva un cilindro rugoso. La fuerza que actúa sobre el cilindro, se determina en magnitud y dirección por medio de galvanómetros registradores. Estos reciben la corriente que proceden de calibres de resistencia colocados sobre láminas influidas por el movimiento del cilindro y perpendiculares entre si.

Otros tipos de anemómetros incluyen ultrasonidos o anemómetros provistos de láser que detectan el desfase del sonido o la luz coherente reflejada por las moléculas aire.

Los anemómetros de hilo electrocalentado detectan la velocidad del viento mediante pequeñas diferencias de temperatura entre los cables situados en el viento y en la sombra del viento (cara a sotavento).



Figura 1.5. Anemómetro de cazoletas portátil

En la práctica, los anemómetros de cazoletas son ampliamente utilizados, y modelos especiales con ejes y cazoletas eléctricamente calentados pueden ser usados en las zonas árticas.

1.4 Energía disponible en el viento

Cuanto mayor sea la energía cinética que un aerogenerador extraiga del viento, mayor será la ralentización que sufrirá el viento que deja el aerogenerador.

Si intentamos extraer toda la energía del viento, el aire saldría con una velocidad nula, es decir, el aire no podría abandonar la turbina. En ese caso no se extraería ninguna energía en lo absoluto, ya que obviamente también se impediría la entrada de aire al rotor del aerogenerador. En el otro caso extremo, el viento podría pasar a través de la hélice sin ser para nada estorbado. En este caso tampoco habríamos extraído ninguna energía del viento.

Así pues podemos asumir que debe haber alguna forma de frenar el viento que esté entremedio de estos dos extremos, y que sea más eficiente en la conversión de la energía del viento en energía mecánica útil. Resulta que hay una respuesta a esto sorprendentemente simple: un aerogenerador ideal ralentizaría el viento hasta $2/3$ de su velocidad inicial.



1.4.1 Ley de Betz

La ley de Betz dice que sólo puede convertirse menos de $16/27$ (el 59%) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador. Esta ley fue formulada por primera vez por el físico alemán Albert Betz en 1919 y se aplica a cualquier aerogenerador con un rotor en forma de disco.

1.4.2 Demostración de la ley de Betz

Betz supone que la máquina eólica está colocada en un aire animado: delante de la máquina, a una velocidad V_1 y detrás una velocidad V_2 .

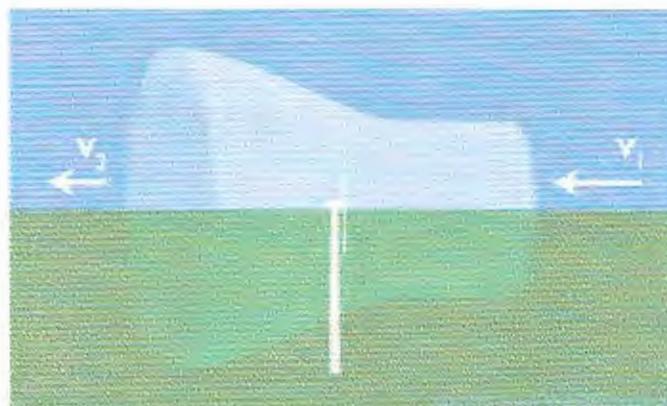


Figura 1.6. Teoría de Betz

Como la producción de energía no se realiza más que a costa de la energía cinética, la velocidad V_2 es necesariamente inferior a V_1 . Resulta de aquí que la vena fluida atraviesa el motor alargándose.

Si Designamos por la letra V , la velocidad del aire al paso del aeromotor, por S_1 y S_2 las secciones hacia el origen y hacia el final, de la vena y por S la superficie barrida por la hélice. La igualdad que traduce la incompresibilidad del aire y la permanencia de la corriente se escribe así:

$$S_1 V_1 = S V = S_2 V_2 \quad (2)$$

Evaluemos la fuerza ejercida por el generador eólico sobre el aire en movimiento. Según el teorema de Euler, esta fuerza F se dirige hacia delante y es igual en valor absoluto a:

$$F = \rho Q (V_1 - V_2) = \rho S V (V_1 - V_2) \quad (3)$$

La potencia absorbida por la fuerza F (es decir por el aerogenerador) cuyo punto de aplicación se desplaza a la



velocidad V respecto a las moléculas de aire en movimiento es, en estas condiciones:

$$P = F V = \rho S V^2 (V_1 - V_2) \quad (4)$$

Se expresa ahora que la potencia absorbida por el aerogenerador es igual a la variación ΔT de la energía cinética de la masa de aire que atraviesa por segundo el aerogenerador.

Resulta:

$$\Delta T = \frac{1}{2} \rho S V (V_1^2 - V_2^2) = P = \rho S V^2 (V_1 - V_2) \quad (5)$$

De donde se deduce:

$$V = (V_1 + V_2) / 2 \quad (6)$$

Valor que sustituido en las ecuaciones (3) y (4), conduce a las siguientes expresiones:

$$F = \frac{1}{2} \rho S (V_1^2 - V_2^2) \quad (7)$$

$$P = \frac{1}{4} \rho S (V_1^2 - V_2^2) (V_1 + V_2) \quad (8)$$

Se estudia la variación de la potencia recogida en función de la velocidad residual V_2 después de haber pasado el aerogenerador, suponiendo constante la velocidad del viento V_1 antes del paso.

Para ello se calcula la derivada dP/dV_2 , se obtiene :

$$dP/dV_2 = \frac{1}{4} \rho S (V_1^2 - 2V_2 V_1 - 3V_2^2) \quad (9)$$

La ecuación $dP/dV_2 = 0$ admite dos raíces: $V_2 = - V_1$, que no tiene sentido físico alguno. Y $V_2 = V_1 / 3$ que corresponde a un máximo de la potencia. Llevando este valor particular de V_2 a la expresión de P , se obtiene para la máxima potencia aprovechable el valor:

$$P_{\max} = 8/27 \rho S V_1^3 = 0,37 S V_1^3 \text{ tomando para } \rho \text{ el valor de } 1,25 \text{ kg/m}^3. \quad (10)$$

Esta expresión es la fórmula de Betz , donde podemos concluir que el valor máximo de la potencia extraída del viento es 0,59 veces ó 16/27 de la potencia total del viento.

CAPITULO 2

2.CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA REQUERIDA EN EL DISPENSARIO MÉDICO

2.1 Requisitos Básicos

En este capítulo, se procede a determinar el consumo energético del dispensario, en función de sus necesidades. Se van a tomar en consideración 2 casos: el consumo de energía eléctrica mensual típica, y el consumo en una emergencia de 24 horas con los equipos a plena carga.

2.1.1 Qué es un dispensario

El dispensario médico está destinado a dar un servicio a la comunidad, lugar donde las personas puedan recibir los primeros auxilios adecuados en casos de accidente u otros, para ser trasladados posteriormente a un hospital o centro especializado si el caso lo amerita.

2.1.2 Uso del Dispensario

Como todos conocemos, los accidentes e imprevistos, no tienen hora fija de llegada. Por tanto, es necesario que el dispensario este siempre listo para su correcto funcionamiento. La mayoría de los equipos e instrumentos que se utilizan, dependen de la energía eléctrica. Entonces, es indispensable tener energía disponible en caso de cortes imprevistos de luz, bajo cualquier circunstancia.

En el dispensario médico laboran dos personas: un médico y su asistente. El horario normal de trabajo son 8 horas, de lunes a viernes. El tipo de servicios que se prestan son :

Cirugía menor: Que son procedimientos cortos que se pueden realizar en un lugar limpio con materiales estériles, y no en un quirófano. Tales como : suturas, retiro de puntos, drenajes de abscesos.

Ginecológicos: En donde se realizan procedimientos, tales como : legrados, partos de emergencia, control de natalidad, entre otros.

Para los procedimientos tales como : revisión de pacientes pediátricos , pacientes adultos, control de embarazo , etc. No se requiere del uso de instrumentación.

Para procedimiento tales como suturas, atenciones de parto, legrados, etc. se requiere de instrumentación adecuada, entre las principales: tijeras, bisturí, pinzas, porta agujas, etc. Además, se utilizan guantes, gasas, campos quirúrgicos, como complementos indispensables.

2.1.3 Equipos a utilizar

Es importante mencionar lo antes expuesto, debido a que la instrumentación y materiales a utilizar, deben estar o ser esterilizados. De manera que se eviten, bacterias u otros elementos que puedan infectar al paciente.

El objetivo en este capítulo, es registrar el consumo de energía necesaria que requiere el dispensario. El promedio de tiempo que lleva una intervención, es aproximadamente 20 minutos a 1 hora, dependiendo del tipo de atención.

Los elementos básicos que requieren energía eléctrica dentro del dispensario, para su correcto funcionamiento, se los nombra en el siguiente cuadro con su respectiva aplicación:

Elemento	Aplicación
Un Foco	Para la iluminación general del dispensario
Una Lámpara	Para la iluminación puntual del paciente
Un esterilizador	Equipo que sirve para esterilizar los instrumentales, guantes, gasas, campos quirúrgicos y ropa.
Un Ventilador *	Para mantener un ambiente fresco y agradable.
Un Refrigerador	Para guardar vacunas y/u otros.

TABLA I.- Elementos básicos del dispensario

* Nota : No se requiere acondicionador de aire, por cuanto la temperatura ambiente es de 17.5 °C de promedio (14 °C – 21°C)

2.2 Requerimientos de energía

2.2.1 Consumo de energía por equipos

El consumo de energía de los equipos básicos necesarios en el dispensario médico son los siguientes:

Equipo	Consumo energético (Wh)
Un foco	100
Una lámpara	60
Un esterilizador	1000
Un ventilador	100
Un refrigerador	150
Total	2000

TABLA II.- Consumo de energía de los equipos básicos

2.2.2 Tiempo de Consumo de energía por aplicación

Es importante conocer el tiempo que requiere cada equipo dependiendo de su aplicación. De todos los equipos nombrados, es el esterilizador el de mayor consumo energético. Los otros equipos tienen un tiempo de funcionamiento continuo, a excepción del refrigerador.

Esterilizando Instrumentación

La instrumentación consta normalmente de 5 tipos básicos de pinzas, que componen un juego envuelto en papel de empaque, y sirven para los servicios adecuados de atención. Por ejemplo: tijera, mango bisturí, portaguja, etc.

El tiempo de esterilizado de la instrumentación es de 4 horas .
Para el caso de nuestro esterilizador, este tiene la capacidad de guardar 6 juegos de instrumentación.

Esterilizando Otros.

El tiempo de esterilizado para guantes, gasas, campos quirúrgicos, ropa y otros, es de dos horas. La cantidad de estos, dentro del equipo esterilizador, varía. Si hacemos ingresar sólo por tipo, la cantidad de estos sería:

- 25 Pares de guantes, envueltos en papel de empaque, o
- 24 Paquetes de gasas, que contienen 8 unidades c/u , o
- 12 Paquetes, que contienen c/u 5 campos quirúrgicos, o
- 6 Batas quirúrgicas.



En la ciudad de baños se encuentra ubicada una estación del INAMHI, en la cual se tienen los registros diarios e historial de la velocidad del viento. En estos registros se anotan diariamente las velocidades del viento a las siete de la mañana, a la una de la tarde y el último registro es a las siete de la noche. En la tabla VI del apéndice B, se muestran los valores promedios de velocidad proporcionados por el Inamhi, para los años 1997, 98 y 99.

Fueron la observación de estos datos, los que nos dieron la idea de utilizar energía eólica, como alternativa de energía para el dispensario.

3.2 Selección de Datos

Tenemos los datos de la velocidad del viento durante tres años proporcionados por el Inamhi, sin embargo, estos datos no proporcionan la suficiente información para realizar un tratamiento estadístico, y mucho menos para calcular la energía que podemos producir con un aerogenerador al año. Puesto que, se tiene

información sólo de las horas señaladas (7,13 y 19 h), y no sabemos que ocurre con el comportamiento del viento entre estas horas.

En virtud de lo enunciado en el párrafo anterior, se consiguieron los datos de la Empresa de Generación Eléctrica Agoyán, de todo el año 2002. Los cuales se muestran en el apéndice C, donde se registran datos de la velocidad de viento media para cada hora, durante las 24 horas de todo el año. Estos datos son en total 343 días, de los 12 meses tomados en cuenta. La empresa Agoyán es vecina a la ciudad de Baños, a menos de 1 km de distancia, y se encuentra en el mismo callejón de elevaciones recibiendo el mismo viento dominante.

Adicionalmente, se viajó a Baños, y se tomaron mediciones durante 10 días en la estación del Inamhi. Estas mediciones fueron realizadas en un tiempo continuo de 10 días, en el periodo de 07h00 hasta las 19h00, minuto a minuto. Se excluyó el periodo de 19h00 a 07h00, porque información preliminar establecía este rango como de poca utilidad para los fines de la presente tesis.

Para las mediciones se utilizaron los propios equipos del Inamhi, de la estación Baños, debido a que no fue posible conseguir un anemómetro portátil, además su costo de compra es elevado.

Los equipos utilizados en nuestras mediciones fueron: un anemómetro de cazos, y una veleta en forma de cuña con chapita de intensidad del viento según Wild. Se trabajó conjuntamente con los dos equipos y un cronómetro, para obtener los resultados de velocidad de viento.

Es conocido que la velocidad es igual a la distancia recorrida para el tiempo transcurrido. Por tanto, se utilizó el anemómetro de cazos para determinar la distancia recorrida del viento cada minuto, tomando el tiempo de duración de cada ráfaga de viento significativa para el propósito establecido. De igual manera, se utilizó la veleta de Wild, para comparar y verificar los valores encontrados.

En estos 10 días de mediciones, se tuvo la ventaja de tener todos los tipos de climas, desde días con lluvia a días soleados. De esto, se puede concluir que básicamente existirían 4 tipos de comportamiento de viento, como se muestra a continuación:



TABLA VII.- Resultado de las mediciones continuas efectuadas durante 10 días en la estación Baños en el mes de Marzo del 2003.

	Día 1			Día 2			Día 3			Día 4		
	.m/s	.s/min		.m/s	.s/min		.m/s	.s/min		.m/s	.s/min	
07h30 a 10h00	4	2	15	-	-		-	-		-	-	
10h00 a 10h30	3	2	15	3		15	2		10	3		15
10h30 a 11h00	5	2	10	4	3	15	3.5		15	4		15
11h00 a 11h30	6	2	10	2	1	15	4	2	20	3		15
11h30 a 12h00	6	2	10	3	1	15	6	4	20	2		15
12h00 a 12h30	3	2	20	2	1	15	10	6	20	2		15
12h30 a 13h00	5	2	13	3	2	15	12	6	18	2.5		15
13h00 a 13h30	4	2	13	6	4	15	7	4	17	2		15
13h30 a 14h00	4	2	13	6	4	15	7	4	17	4	2	20
14h00 a 14h30	8	4	15	4	3	15	8	6	25	6	4	20
14h30 a 15h00	4	2	15	6	4	15	10	6	25	7	4	20
15h00 a 15h30	4	2	11	8	4	15	8	6	17	8	4	20
15h30 a 16h00	< 2			3	2	25	8	6	19	5	3	20
16h00 a 16h30	<1			2	2	15	12	8	25	6	4	20
16h30 a 17h00	2		15	2.5		10	12	6	18	5	3	20
17h00 a 17h30	2		14	<2			7	4	20	5	2	15
17h30 a 18h00	0			<2			7	4	19	2		15
18h00 a 18h30	0			<2			5	4	19	2		15
18h30 a 19h00	0			<2			4	2	15	2		15

c
ta



de Febrero/02

tres barras son las dos
% respectivamente. Esto
ad baja en la mayor parte

Figura 3

El gráfico
centrales,
observacio
observacion
encuentra e
observacione

Estadística descriptiva del mes de Febrero

Febrero	
Media	2.90952381
Mediana	2.45
Moda	0
Desviación estándar	2.20401985
Varianza de la muestra	4.8577035
Rango	8.7
Mínimo	0
Máximo	8.7

El viento en el mes de febrero presentó una velocidad media de 2.9095, siendo menor que en el mes anterior. Nótese que la mediana es 2.45, por lo que se concluye que al menos la mitad de los datos son menores o iguales a 2.45. La moda fue cero, por lo que se repitió más veces este valor en las observaciones. El mínimo valor es 0, mientras que el máximo es 8.7, por lo que el rango de datos es de tamaño 8.7. La desviación estándar es de 2.20, lo que indica que hay alguna variación entre los valores de las observaciones de la velocidad del viento. La varianza confirma esto con un valor de 4.8577, que es demasiado alto para el tamaño del rango.



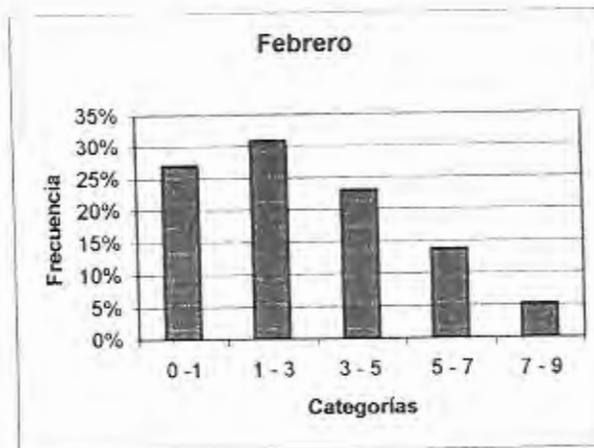


Figura 3.2. Histograma de frecuencias de Febrero/02

A diferencia del mes anterior, las mayores barras son las dos primeras clases, con el 27.08% y el 30.95% respectivamente. Esto nos indica que el viento tiene una velocidad baja en la mayor parte del mes de febrero.

Estadística descriptiva del mes de Marzo

Marzo	
Media	3.09193548
Mediana	3
Moda	0
Desviación estándar	2.15545619
Varianza de la muestra	4.6459914
Rango	9
Mínimo	0
Máximo	9

Puede observarse en la tabla anterior que la velocidad media del viento en el mes de marzo es de 3.0919, siendo un poco mayor que febrero, pero menor que enero. La mediana es 3, lo que indica que al menos la mitad de las observaciones son menores o iguales a 3. El valor más repetido entre las observaciones es 0 al igual que en los meses anteriores. El rango es 9, ya que el mínimo valor es 0 y el máximo es 9. Hay una variación significativa, ya que la desviación estándar es 2.1554 y la varianza es 4.64599, siendo estos valores un poco elevados.

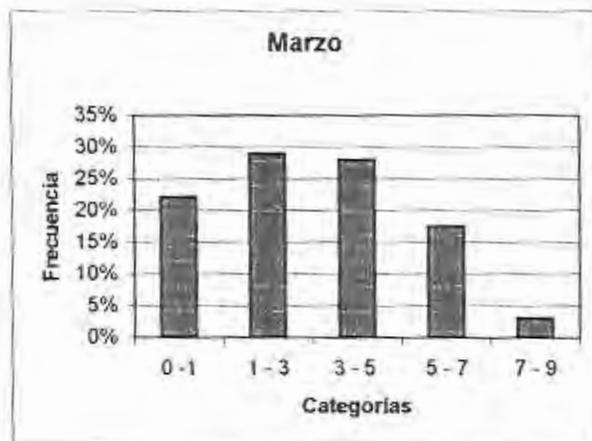


Figura 3.3. Histograma de frecuencias de Marzo/02

El histograma de frecuencias es muy parecido al que presenta el mes de enero. Obsérvese que la mayor está en las barras centrales, esto es en la clase [1 - 3) , con un 29.03% de las observaciones, y en la clase de [3 - 5) con el 28.09% de las observaciones. Nótese que

muy pocas veces la velocidad del viento se encuentra en la última clase, apenas representa el 3.09% de las observaciones.

Estadística descriptiva del mes de Abril

Abril	
Media	3.19361111
Mediana	3
Moda	0
Desviación estándar	2.31106987
Varianza de la muestra	5.34104397
Rango	8.4
Mínimo	0
Máximo	8.4

Se puede observar que en el mes de abril la velocidad media del viento fue de 3.1936, siendo apenas un poco mayor que en marzo. Nótese que la mediana es 3, al igual que el mes de marzo. La moda fue cero, por lo que se repitió más veces este valor en las observaciones. El mínimo valor es 0, mientras que el máximo es 8.4, por lo que el rango de datos es de tamaño 8.4. La desviación estándar es de 2.3110, lo que indica que hay alguna variación entre los valores de las observaciones de la velocidad del viento. La varianza confirma esto con un valor de 5.3410, que es demasiado alto para el tamaño del rango.

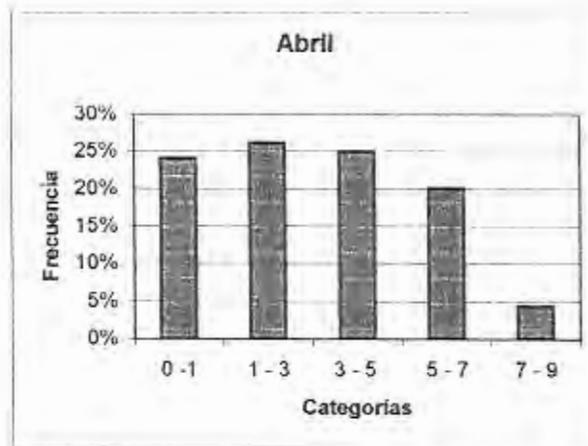


Figura 3.4. Histograma de frecuencias de Abril/02

Hay una mayor cantidad de observaciones en las barras de la clase 1 a 3 y 3 a 5; pero en términos generales las cuatro primeras barras tienen una cantidad similar de datos. Nótese que 24.17% están entre 0 y 1, el 26.25% entre 1 y 3, el 25% entre 3 y 5 el 20.14% entre 5 y 7, y el 4.44% entre 7 y 9.

Estadística descriptiva del mes de Mayo

Mayo	
Media	2.64411765
Mediana	2.2
Moda	0
Desviación estándar	2.13917592
Varianza de la muestra	4.5760736
Rango	8.4
Mínimo	0
Máximo	8.4

Para el mes de mayo, el viento tuvo una velocidad promedio de 2.6441, siendo menor que todas las observaciones promedio. La mediana es 2.2, lo que significa que al menos la mitad de las observaciones son menores o iguales a este valor. Al igual que en todos los meses anteriores la moda es cero, por ser el valor más frecuente. El rango de esta variable es menor, de 8.4, ya que el mínimo es cero y el máximo es 8.4. La variación de esta variable es menor, ya que la desviación estándar es 2.1391 y la varianza es 4.5760.

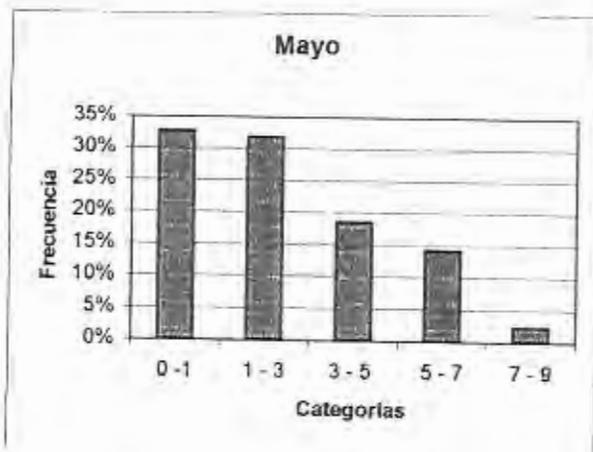


Figura 3.5. Histograma de frecuencias de Mayo/02

El comportamiento en las barras del mes de mayo va de manera decreciente. En la primera clase es 32.84% de las observaciones, 31.86% de las observaciones en la segunda clase, la tercera clase

tiene 18.63%, el 14.22% de las observaciones en la cuarta barra, y apenas el 2.45% para la clase final

Estadística descriptiva del mes de Junio

Junio	
Media	3.14581944
Mediana	3.2
Moda	0
Desviación estándar	2.21925338
Varianza de la muestra	4.92508556
Rango	9
Mínimo	0
Máximo	9

El viento en el mes de junio presentó una velocidad promedio de 3.1458. Nótese que el 50% de los datos se acumula en 3.2, por lo que se concluye que al menos la mitad de los datos son menores o iguales a 3.2. El valor moda es cero, lo que significa que la mayoría de las observaciones tuvieron un valor 0. El mínimo valor es 0, mientras que el máximo es 9, por lo que el rango de datos es de tamaño 9. La desviación estándar es de 2.2192, lo que lleva a pensar que hay variación entre los valores de las observaciones.

La varianza confirma esto con un valor de 4.9250, que es muy alto para el tamaño del rango.

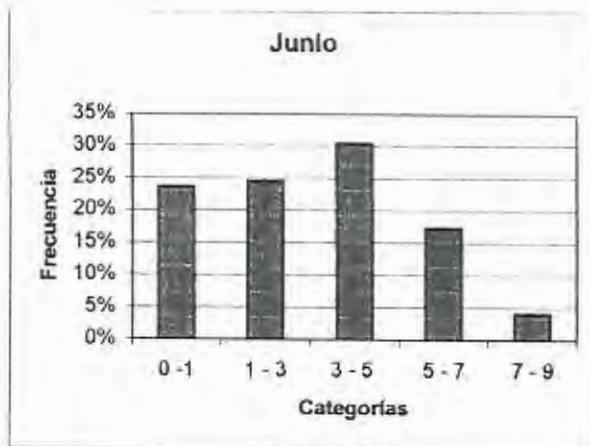


Figura 3.6. Histograma de frecuencias de Junio/02

El gráfico correspondiente al histograma de frecuencias muestra en la clase $[0,1)$ un 23.75% de las observaciones, el 24.44% de los datos se encuentran en la clase $[1,3)$, la más alta barra es la clase $[3,5)$ con el 30.42% de las observaciones, luego decrece a 17.36% en la clase $[5,7)$ y en la última clase apenas el 4.03%.

Estadística descriptiva del mes de Julio

Julio	
Media	4.6374328
Mediana	4.6
Moda	6.2
Desviación estándar	1.81440327
Varianza de la muestra	3.29205921
Rango	10
Mínimo	0.2
Máximo	10.2



El viento en el mes de julio presentó una velocidad media de 4.637432, siendo mayor que los demás meses. Nótese que la mediana es 4.6, por lo que se concluye que al menos la mitad de los datos son menores o iguales a 4.6. La moda fue 6.2, por lo que se repitió más veces este valor en las observaciones, a diferencia de los otros meses donde fue 0. El mínimo valor es 0.2, mientras que el máximo es 10.2, por lo que el rango de datos es de tamaño 10. La desviación estándar es de 1.8144, lo que indica que hay alguna variación entre los valores de las observaciones de la velocidad del viento. La varianza confirma esto con un valor de 3.2920, que es demasiado alto para el tamaño del rango.

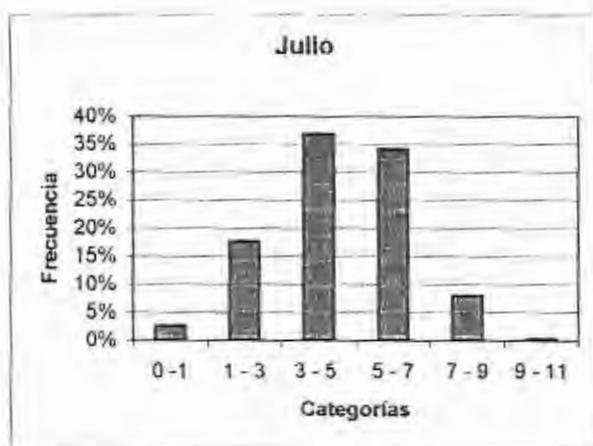


Figura 3.7. Histograma de frecuencias de Julio/02

El mes de julio presenta una mayor cantidad de observaciones en las barras centrales, a diferencia de todos los meses anteriores. En este

mes, las menores observaciones están en la primera y última barra, con 2.69% y 0.40% respectivamente. Obsérvese además que hay una clase más que en los otros meses, ya que hubo valores un poco mayores también. A la clase [1,3) corresponden el 17.74% de las observaciones. El 36.96% de las observaciones son de la barra más alta en la clase [3,5) y un poco menor la de [5,7) con el 34.14%, y para [7,9) el 8.06%.

Estadística descriptiva del mes de Agosto

Agosto	
Media	3.1436828
Mediana	3.2
Moda	0
Desviación estándar	2.11142196
Varianza de la muestra	4.4581027
Rango	10.3
Mínimo	0
Máximo	10.3

El viento en el mes de agosto presentó una velocidad media de 3.1436. Nótese que la mediana es 3.2, por lo que se concluye que al menos la mitad de los datos son menores o iguales a 3.2. La moda fue cero, por lo que se repitió más veces este valor en las observaciones.

El mínimo valor es 0, mientras que el máximo es 10.3, por lo que el rango de datos es de tamaño el mayor de todos con 10.3. La

desviación estándar es de 2.1114, lo que indica que hay alguna variación entre los valores de las observaciones de la velocidad del viento. La varianza confirma esto con un valor de 4.4581, que es demasiado alto para el tamaño del rango.

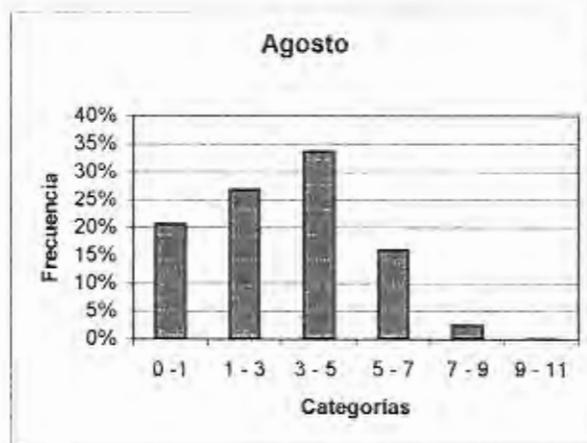


Figura 3.8. Histograma de frecuencias de Agosto/02

En este mes también hubo una clase más, y las 3 primeras barras son las más altas, con 20.7% para la clase [0,1), 26.88% para [1,3), 33.74% para [3,5). Siendo menores las 3 últimas clases con el 15.99% para [5,7), 2.55% para [7,9) y sólo el 0.13% para [9,11).

desviación estándar es de 2.1114, lo que indica que hay alguna variación entre los valores de las observaciones de la velocidad del viento. La varianza confirma esto con un valor de 4.4581, que es demasiado alto para el tamaño del rango.

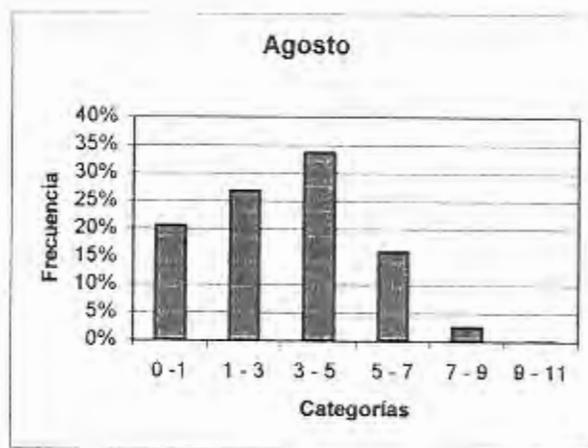


Figura 3.8. Histograma de frecuencias de Agosto/02

En este mes también hubo una clase más, y las 3 primeras barras son las más altas, con 20.7% para la clase [0,1), 26.88% para [1,3), 33.74% para [3,5). Siendo menores las 3 últimas clases con el 15.99% para [5,7), 2.55% para [7,9) y sólo el 0.13% para [9,11).

Estadística descriptiva del mes de Septiembre

Septiembre	
Media	3.24041667
Mediana	3.2
Moda	0
Desviación estándar	2.12589632
Varianza de la muestra	4.51943515
Rango	9
Mínimo	0
Máximo	9

El viento en el mes de septiembre presentó una velocidad promedio de 3.2404. Nótese que el 50% de los datos se acumula en 3.2, por lo que se concluye que al menos la mitad de los datos son menores o iguales a 3.2. El valor moda es cero, lo que significa que la mayoría de las observaciones tuvieron un valor 0. El mínimo valor es 0, mientras que el máximo es 9, por lo que el rango de datos es de tamaño 9. La desviación estándar es de 2.1258, lo que lleva a pensar que hay variación entre los valores de las observaciones. La varianza confirma esto con un valor de 4.5194, que es muy alto para el tamaño del rango.

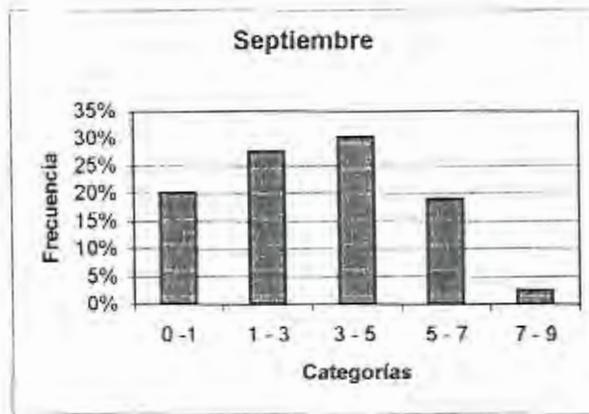


Figura 3.9. Histograma de frecuencias de Septiembre/02

El gráfico presenta una mayor agrupación de los datos en las barras centrales, esto es en la clase [1 - 3), con un 27.78% de las observaciones, y en la clase de [3 - 5) con el 30.28% de las observaciones. Nótese que pocas veces la velocidad del viento se encuentra entre 7 y 9, apenas representa el 2.64% de las observaciones. Este mes tiene algún parecido con el mes de enero.

Estadística descriptiva del mes de Octubre

Octubre	
Media	2.89341398
Mediana	2.6
Moda	0
Desviación estándar	2.22831942
Varianza de la muestra	4.96540744
Rango	8.9
Mínimo	0
Máximo	8.9

El viento en el mes de octubre presentó una velocidad media de 2.8934, siendo menor que en el mes anterior. Nótese que la mediana es 2.6, por lo que se concluye que al menos la mitad de los datos son menores o iguales a 2.6. La moda fue cero, por lo que se repitió más veces este valor en las observaciones. El mínimo valor es 0, mientras que el máximo es 8.9, por lo que el rango de datos es de tamaño 8.9. La desviación estándar es de 2.2283, lo que indica que hay alguna variación entre los valores de las observaciones de la velocidad del viento. La varianza confirma esto con un valor de 4.9654, que es demasiado alto para el tamaño del rango. Tiene un gran parecido al mes de febrero.

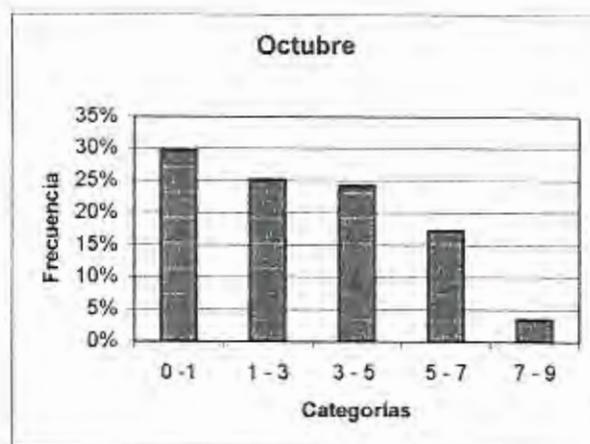


Figura 3.10. Histograma de frecuencias de Octubre/02

Nótese la gran cantidad de datos en la barra de la clase [0,1) con el 29.70%, que decrece a 25.27% en la clase [1,3) y un poco menos en [3,5) con el 24.19%, baja a 17.34% en la clase [5,7) y termina en la clase [7,9) con el 3.49%.

Estadística descriptiva de Noviembre

<i>Noviembre</i>	
Media	3.16388889
Mediana	3.1
Moda	0
Desviación estándar	2.1574534
Varianza de la muestra	4.65460516
Rango	9
Mínimo	0
Máximo	9

Para el mes de noviembre podemos observar que la velocidad promedio del viento es 3.1638. La mediana es 3.1, por lo que se observa una menor dispersión de los datos en la primera mitad. El valor de mayor observación es 0, por ser la moda. El valor del rango es 9, dado que el mínimo es 0 y el máximo es 9. La desviación estándar es 2.1574 y la varianza 4.6546, por lo que se sabe que existe una alta variación.



Figura 3.11. Histograma de frecuencias de Noviembre/02

El gráfico presenta una mayor agrupación de los datos en las barras centrales, esto es en la clase [1 - 3) , con un 28.61% de las observaciones, y en la clase de [3 - 5) con el 28.06% de las observaciones. Nótese que pocas veces la velocidad del viento se encuentra entre 7 y 9, apenas representa el 3.06% de las observaciones.

Estadística descriptiva de Diciembre

Diciembre	
Media	3.07836022
Mediana	2.8
Moda	0
Desviación estándar	2.2747433
Varianza de la muestra	5.17445707
Rango	9.2
Mínimo	0
Máximo	9.2

El viento en el mes de diciembre presentó una velocidad media de 3.0783, siendo un poco menor que en el mes anterior. Nótese que la mediana es 2.8, por lo que se concluye que al menos la mitad de los datos son menores o iguales a 2.8. La moda fue cero, por lo que se repitió más veces este valor en las observaciones. El mínimo valor es 0, mientras que el máximo es 9.2, por lo que el rango de datos es de tamaño 9.2. La desviación estándar es de 2.2747, lo que indica que hay alguna variación entre los valores de las observaciones de la velocidad del viento. La varianza confirma esto con un valor de 5.1744, que es demasiado alto para el tamaño del rango.

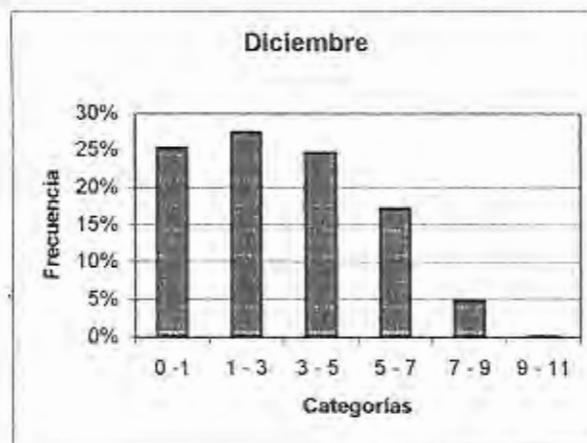


Figura 3.12. Histograma de frecuencias de Diciembre/02

En este diagrama notamos que las tres primeras barras tienen un comportamiento similar, siendo la clase de [0,1) el 25.40% de las observaciones, en [1,3) el 27.55%, en [3,5) el 24.73%, es un poco

menor en [5,7) con el 17.20% y más baja en [7,9) con el 4.97%, siendo despreciable en [9,11) con el 0.13%

Luego de haber analizado el comportamiento de cada mes, se quiso proyectar los datos ajustándolos a algún modelo de series temporales, pero la serie obtenida no fue estacionaria, por lo que no se pudo hacerlo.



El gráfico de puntos anterior corresponde al velocidad promedio del viento en cada mes. Nótese que en cierto modo sí se forma una onda, pero el mes 7, que corresponde a julio tiene una velocidad media que es mucho mayor a los demás. Lamentablemente son sólo doce meses, por lo que no puede realizarse un análisis de series de

Con esto se acepta la hipótesis nula y se concluye que en promedio, las observaciones del mes de febrero son similares a las del mes de octubre, y se concluye que tienen el mismo comportamiento.

$$H_0: \mu_{\text{Marzo}} - \mu_{\text{Diciembre}} = 0 \quad \text{Vs.} \quad H_1: \text{No es verdad } H_0$$

Utilizando el módulo de análisis de datos se realizó una prueba de diferencia de medias, obteniéndose los siguientes resultados:

	Marzo	Diciembre
Media	3.09193548	3.07836022
Varianza	4.6459914	5.17445707
Observaciones	744	744
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1482	
Estadístico t	0.11815966	
Valor crítico de t (dos colas)	1.96	
P(T<=t) dos colas	0.90595	

Con esto se acepta la hipótesis nula y se concluye que en promedio, las observaciones del mes de marzo son similares a las del mes de diciembre, y se concluye que tienen el mismo comportamiento.

$$H_0: \mu_{\text{Abril}} - \mu_{\text{Septiembre}} = 0 \quad \text{Vs.} \quad H_1: \text{No es verdad } H_0$$

Se analizó este resultado con la prueba t de Excel en el módulo de análisis de datos:

	<i>Abril</i>	<i>Septiembre</i>
Media	3.19361111	3.24041667
Varianza	5.34104397	4.51943515
Observaciones	720	720
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1428	
Estadístico t	-0.39995824	
Valor crítico de t (dos colas)	1.96162546	
P(T<=t) dos colas	0.6892471	

Con este resultado se acepta la hipótesis nula y se concluye que en promedio, las observaciones del mes de abril son similares a las del mes de septiembre, y se concluye que tienen el mismo comportamiento.

$H_0: \mu_{\text{Junio}} = \mu_{\text{agosto}} = \mu_{\text{noviembre}}$ Vs. $H_1: \text{No es verdad } H_0$

	<i>Junio</i>	<i>Agosto</i>
Media	3.14581944	3.1436828
Varianza	4.92508556	4.4581027
Observaciones	720	744
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1452	
Estadístico t	0.01886158	
Valor crítico de t (dos colas)	1.96159817	
P(T<=t) dos colas	0.98495412	

Al obtener estos resultados, se acepta la hipótesis nula y se concluye que en promedio, las observaciones del mes de junio son similares a las del mes de agosto, y se concluye que tienen el mismo comportamiento.

De la misma manera se analizó la diferencia de medias entre los meses de agosto y noviembre.

	<i>Agosto</i>	<i>Noviembre</i>
Media	3.1436828	3.16388889
Varianza	4.4581027	4.65460516
Observaciones	744	720
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1458	
Estadístico t	0.18104188	
Valor crítico de t (dos colas)	1.96159363	
P(T<=t) dos colas	0.85635986	

Al obtener estos resultados, se acepta la hipótesis nula y se concluye que en promedio, las observaciones del mes de junio son similares a las del mes de agosto, y se concluye que tienen el mismo comportamiento. De esta manera se concluye que el comportamiento de estos tres meses es similar en cuanto a la velocidad del viento.

De estos resultados se puede observar que los meses siguen un mismo patrón de comportamiento, y su velocidad media mensual tiene un valor casi constante durante todo el año analizado. En el apéndice E, se muestra este patrón de comportamiento. De esta manera, se puede asegurar que la producción de energía eólica se mantiene casi por igual los 12 meses del año.

3.4 Selección del aerogenerador a utilizar

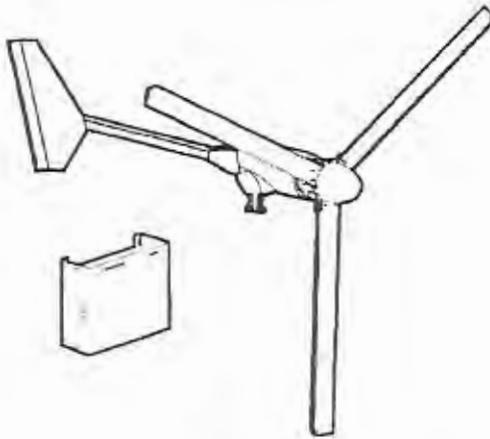
En términos sencillos, los aerogeneradores son máquinas que capturan el viento, mueven las turbinas de las cuales se componen y transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica.

Figura 3.7. Aerogenerador común situado en una granja



Los aerogeneradores utilizados para captar la energía del viento pueden clasificarse en dos categorías diferentes: las máquinas de eje horizontal y las de eje vertical. Las instalaciones eólicas más potentes que se han construido son del tipo de eje horizontal. En esta tesis se trabajará con una de eje horizontal.

Figura 3.8. Conjunto aerogenerador y centro de poder



En las máquinas de eje horizontal se pueden distinguir: los molinos de viento clásicos, las eólicas lentas y las eólicas rápidas.

En las eólicas rápidas el número de palas varía entre 2 y 4, a diferencia de las lentas que constan de una cantidad mayor. El interés de las eólicas rápidas reside en que a igual potencia son mucho más ligeras que las eólicas lentas. Las eólicas rápidas presentaban el inconveniente de arrancar con dificultad, esto problema ha sido superado con las eólicas actuales.

Razones para utilizar las eólicas rápidas para la producción de energía son:



- Son más ligeras, con lo cual resultan menos costosas.
- Giran más rápidamente. El multiplicador de velocidad que se utiliza para el arrastre del generador eléctrico, podrá por este motivo representar una relación de multiplicación más baja y será más ligero. En ciertos casos, podrá suprimirse.
- El par necesario para la puesta en marcha del generador eléctrico es muy pequeño. Aunque el par de arranque de las eólicas rápidas sea de sí pequeño, es suficiente para arrastrar la rotación de la hélice y del generador.
- Los efectos de las ráfagas de viento actúan originando variaciones relativas de esfuerzos menos importantes, ya que se han calculado para soportar esfuerzos centrífugos mucho más elevados que las eólicas lentas.
- Cuando la máquina se mantiene inmóvil, el empuje axial, aunque las alas estén en posición de trabajo, es menor que durante el funcionamiento, cosa que no sucede en las eólicas lentas.

Las palas de las eólicas están sometidas muy frecuentemente a condiciones muy duras. Deben soportar la erosión de las polvaredas, de la lluvia y de las precipitaciones sólidas, de los ataques químicos y sobre todo los esfuerzos muy importantes debidos a las ráfagas de viento.

Por otra parte, los materiales deben presentar una relación resistencia peso elevada para reducir al máximo los esfuerzos debidos a la inercia. En la práctica, se emplea la madera, las aleaciones de aluminio, los plásticos armados y el acero.

Debido a la naturaleza variable del viento en velocidad y sentido, es necesario que los aerogeneradores tengan dispositivos de orientación que les permitan trabajar adecuadamente en condiciones adversas para su adecuado funcionamiento. Esto implica el tener a la hélice siempre cara al viento para aprovechar al máximo su energía disponible. Además es necesario proteger a la máquina de esfuerzos que afecten a su estructura.

Selección del aerogenerador

Basándose en los cálculos realizados, la necesidad de energía del dispensario es de: 80 kWh al mes, trabajando 8 horas diarias de lunes a viernes, y de 30.3 kWh, si se requiere suplir una emergencia continua de 24 horas.

Por referencias anteriores, aproximadamente hace 4 años atrás los cortes de energía eléctrica eran frecuentes en la ciudad de Baños. Hoy en día, se producen cortes de luz una vez al mes, con un tiempo de duración de aproximadamente 12 horas. Es decir, un día de trabajo normal.

Lo enunciado en los párrafos anteriores, nos indica que vamos a necesitar un equipo eólico que sea capaz de almacenar hasta 80 kWh o más de energía al mes. Además el equipo eólico deberá entregar corriente alterna monofásica de 120 V, que es la que necesitan los artefactos y equipos médicos.

En la búsqueda de alternativas, que satisfagan estos requerimientos, se ha seleccionado tres fabricantes de aerogeneradores. Estas turbinas son capaces de producir de 60 a 120 kWh al mes. En la tabla que se muestra a continuación, se ponen a consideración características de tres fabricantes de aerogeneradores. Hay que mencionar que en la tabla sólo se describe al aerogenerador. No se menciona características de otros equipos como: inversores, baterías, etc.

Por referencias anteriores, aproximadamente hace 4 años atrás los cortes de energía eléctrica eran frecuentes en la ciudad de Baños. Hoy en día, se producen cortes de luz una vez al mes, con un tiempo de duración de aproximadamente 12 horas. Es decir, un día de trabajo normal.

Lo enunciado en los párrafos anteriores, nos indica que vamos a necesitar un equipo eólico que sea capaz de almacenar hasta 80 kWh o más de energía al mes. Además el equipo eólico deberá entregar corriente alterna monofásica de 120 V, que es la que necesitan los artefactos y equipos médicos.

En la búsqueda de alternativas, que satisfagan estos requerimientos, se ha seleccionado tres fabricantes de aerogeneradores. Estas turbinas son capaces de producir de 60 a 120 kWh al mes. En la tabla que se muestra a continuación, se ponen a consideración características de tres fabricantes de aerogeneradores. Hay que mencionar que en la tabla sólo se describe al aerogenerador. No se menciona características de otros equipos como: inversores, baterías, etc.

TABLA VIII.- Fabricantes de Aerogeneradores y características de sus equipos.

Fabricante	Modelo	ϕ Rotor (m)	Potencia Nominal de Fábrica (kW)	Velocidad Nominal Del Viento (m/s)	Caja De Velocidad	Años De Garant	Precio Aerog. (\$)
Synergy Power Co. (China)	S-3000	2.7	0.90	11.0	No	1	1500
Bergey Windpower (USA)	XL.1	2.6	1.00	11.0	No	5	1890
J. Bornay (España)	1500 neo	2.9	1.20	12.0	Si	2	1700

Luego de analizar los datos que proporciona la tabla, se puede concluir que la mejor opción la proporciona el fabricante Bergey Windpower, con su modelo XL.1, por los siguientes motivos:



En lo que respecta al área de barrido, Este modelo de la Bornay cuenta con una mayor entrega de potencia por metro cuadrado que los otros, lo cual implica una mayor entrega de energía por metro cuadrado. Además, tiene una mayor potencia nominal de fábrica a igual velocidad nominal de viento, que la Bergey. Sin embargo, el aerogenerador de la Bornay, tiene en su composición caja de velocidades, lo cual complica y encarece el equipo eólico. Sin mencionar que los engranajes vuelven más pesado al aerogenerador.

La velocidad nominal del aerogenerador, es la velocidad de viento a la cual la turbina produce la potencia nominal que indica en su placa. La velocidad de la Bornay es 10% mayor que la de Bergey, y su correspondiente valor de potencia nominal es 20% mayor también. Según el comportamiento de los datos observados de Agoyán, la velocidad del viento se encuentra constantemente por debajo de 10.5 m/s, de manera que no se aprovecharía en plenitud el beneficio de producción de la Bornay.

La garantía juega un papel importante, los 5 años de garantía que ofrece la Bergey habla de la calidad del equipo, comparado con el año de garantía que ofrece la Synergy. Además, es fundamental el

hecho que en el Ecuador existe un distribuidor autorizado de esta marca. El precio de la Bergey es conveniente. Además, las facilidades de importación y repuestos son buenas, y la facilidad de conseguir información también.

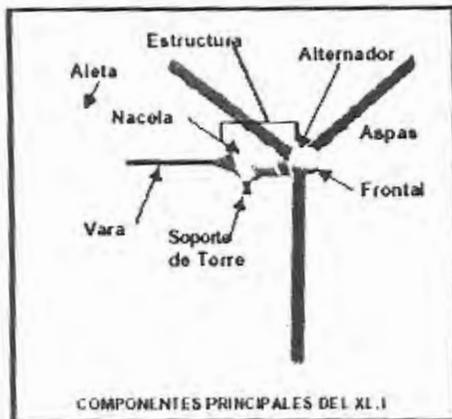
En lo que respecta al mantenimiento del aerogenerador Bergey, este requiere solamente engrase una vez al año en el eje del rotor. El sistema de protección de la turbina, requiere revisarse una vez cada dos años. La vida útil de estos equipos llega a los 20 años de funcionamiento.

Por lo tanto, para esta tesis se va a trabajar con un aerogenerador de una marca reconocida al nivel de los Estados Unidos. La razón por la cual se eligió esta máquina, es que es conveniente para las condiciones de viento y a las características preliminares que necesitamos.

3.4.1 Componentes del Aerogenerador Seleccionado

Los componentes principales de la turbina de viento XL.1, del fabricante Bergey, se muestran a continuación:

Figura 3.9 Componentes principales del aerogenerador XL.1



Sistema Aspas / Rotor

El sistema rotor consiste de 3 aspas de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Las aspas convierten la energía del viento en fuerzas rotacionales que pueden hacer funcionar un generador.

El rotor tiene 3 aspas, así trabaja más suavemente que con 2.

Alternador

El generador convierte la energía rotacional del rotor en electricidad. Utiliza alternadores de imanes permanentes y tiene una configuración invertida en la cual la caja exterior rota,

mientras el bobinado interno y eje central son estacionarios. El alternador fue especialmente diseñado para el aerogenerador XL1 y produce potencia a baja velocidad, eliminando la necesidad de una caja de engranajes para aumento de velocidad. La salida del generador es corriente alterna trifásica, pero es rectificadora a corriente directa dentro de la nacela. El alternador está generando voltaje siempre que el rotor este girando.

Nacela

La nacela es el alojamiento de fibra de vidrio alrededor del cuerpo principal de la máquina. Esta contiene la estructura principal de la turbina, el rectificador, el ensamblaje, los rodamientos y el soporte de la torre. Los rodamientos especiales permiten a la turbina de viento pivotar libremente alrededor de la cúspide de la torre de montaje de manera para que el rotor siempre de la cara hacia el viento.

Ensamblaje de Cola y operación del Autoplegado

TABLA VIII.- Fabricantes de Aerogeneradores y características de sus equipos.

Fabricante	Modelo	ϕ Rotor (m)	Potencia Nominal de Fábrica (kW)	Velocidad Nominal Del Viento (m/s)	Caja De Velocidad	Años De Garant	Precio Aerog. (\$)
Synergy Power Co. (China)	S-3000	2.7	0.90	11.0	No	1	1500
Bergey Windpower (USA)	XL.1	2.6	1.00	11.0	No	5	1890
J. Bornay (España)	1500 neo	2.9	1.20	12.0	Si	2	1700

Luego de analizar los datos que proporciona la tabla, se puede concluir que la mejor opción la proporciona el fabricante Bergey Windpower, con su modelo XL.1, por los siguientes motivos:



En lo que respecta al área de barrido, Este modelo de la Bornay cuenta con una mayor entrega de potencia por metro cuadrado que los otros, lo cual implica una mayor entrega de energía por metro cuadrado. Además, tiene una mayor potencia nominal de fábrica a igual velocidad nominal de viento, que la Bergey. Sin embargo, el aerogenerador de la Bornay, tiene en su composición caja de velocidades, lo cual complica y encarece el equipo eólico. Sin mencionar que los engranajes vuelven más pesado al aerogenerador.

La velocidad nominal del aerogenerador, es la velocidad de viento a la cual la turbina produce la potencia nominal que indica en su placa. La velocidad de la Bornay es 10% mayor que la de Bergey, y su correspondiente valor de potencia nominal es 20% mayor también. Según el comportamiento de los datos observados de Agoyán, la velocidad del viento se encuentra constantemente por debajo de 10.5 m/s, de manera que no se aprovecharía en plenitud el beneficio de producción de la Bornay.

La garantía juega un papel importante, los 5 años de garantía que ofrece la Bergey habla de la calidad del equipo, comparado con el año de garantía que ofrece la Synergy. Además, es fundamental el

hecho que en el Ecuador existe un distribuidor autorizado de esta marca. El precio de la Bergey es conveniente. Además, las facilidades de importación y repuestos son buenas, y la facilidad de conseguir información también.

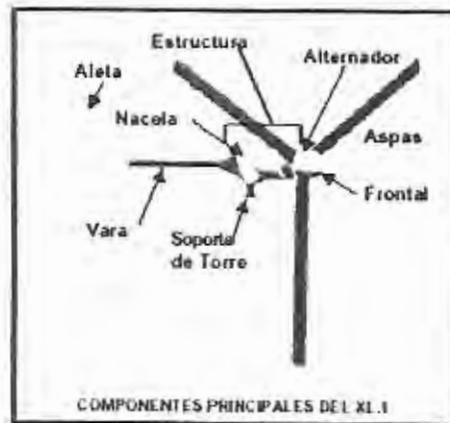
En lo que respecta al mantenimiento del aerogenerador Bergey, este requiere solamente engrase una vez al año en el eje del rotor. El sistema de protección de la turbina, requiere revisarse una vez cada dos años. La vida útil de estos equipos llega a los 20 años de funcionamiento.

Por lo tanto, para esta tesis se va a trabajar con un aerogenerador de una marca reconocida al nivel de los Estados Unidos. La razón por la cual se eligió esta máquina, es que es conveniente para las condiciones de viento y a las características preliminares que necesitamos.

3.4.1 Componentes del Aerogenerador Seleccionado

Los componentes principales de la turbina de viento XL.1, del fabricante Bergey, se muestran a continuación:

Figura 3.9 Componentes principales del aerogenerador XL.1



Sistema Aspas / Rotor

El sistema rotor consiste de 3 aspas de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Las aspas convierten la energía del viento en fuerzas rotacionales que pueden hacer funcionar un generador.

El rotor tiene 3 aspas, así trabaja más suavemente que con 2.

Alternador

El generador convierte la energía rotacional del rotor en electricidad. Utiliza alternadores de imanes permanentes y tiene una configuración invertida en la cual la caja exterior rota,

mientras el bobinado interno y eje central son estacionarios. El alternador fue especialmente diseñado para el aerogenerador XL1 y produce potencia a baja velocidad, eliminando la necesidad de una caja de engranajes para aumento de velocidad. La salida del generador es corriente alterna trifásica, pero es rectificadora a corriente directa dentro de la nacela. El alternador está generando voltaje siempre que el rotor este girando.

Nacela

La nacela es el alojamiento de fibra de vidrio alrededor del cuerpo principal de la máquina. Esta contiene la estructura principal de la turbina, el rectificador, el ensamblaje, los rodamientos y el soporte de la torre. Los rodamientos especiales permiten a la turbina de viento pivotar libremente alrededor de la cúspide de la torre de montaje de manera para que el rotor siempre de la cara hacia el viento.

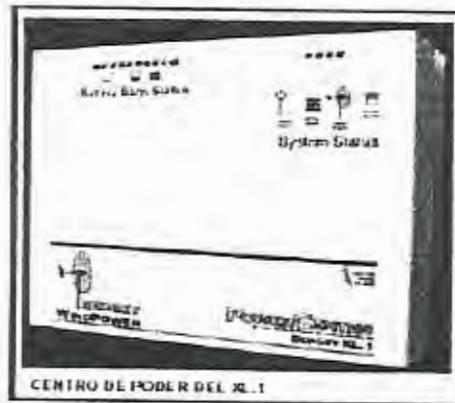
Ensamblaje de Cola y operación del Autoplegado

El ensamblaje de cola compuesto por la vara y la aleta, mantiene el cabezal (y por tanto el rotor) alineado dentro del viento, a velocidades de viento aproximadamente por debajo de 12.5 m/s. Cerca de los 12.5 m/s la acción del autoplegado desvía el rotor desde el viento hacia el límite de su velocidad. La cola parecería doblarse, pero en realidad permanece estacionaria tanto el cabezal gira oblicuamente hacia el viento. Sin embargo el rotor no gira totalmente oblicuamente. Esto permite a la turbina seguir produciendo poder en vientos fuertes. Cuando los vientos fuertes terminan, el sistema de autoplegado automáticamente restablece la turbina a su posición normal recta.

Centro de poder

El centro de poder, sirve como un punto de conexión central para los componentes eléctricos en el sistema. Y provee un número de funciones controlables necesarias e importantes. No todas las funciones del centro de poder serán utilizadas en todas las instalaciones. El centro de poder también provee luces indicadoras para el sistema y otra barra de luces para indicar el estado de carga de la batería, donde se acumula la energía.

Figura 3.10 Centro de poder del aerogenerador XL.1



3.4.2 Especificaciones del Aerogenerador seleccionado

Tipo: 3 palas

Diámetro del rotor: 2.5 m

Velocidad del viento para arrancar: 3 m/s

Velocidad del viento de introducción: 2.5 m/s

Potencia nominal: 1000 W

Potencia máxima: 1200 W

Velocidad de corte: ninguna

Velocidad del viento de autoplegado: 13 m/s

Velocidad máxima de diseño: 54 m/s

Control de grado de inclinación de aspa: No. Grado de inclinación

fijo

turbina trabaje silenciosamente. La protección para sobrevelocidad en la turbina, está previsto por el sistema de autoplegado.

El XL.1 incluye el controlador de centro de poder, el cual se encarga de controlar la carga de batería y provee de un punto de interconexión común para todos los componentes de corriente directa. El funcionamiento a baja velocidad es logrado por un circuito especial que permite que la turbina trabaje a velocidades de alrededor de 2.5 m/s.

3.4.3 Operación del Sistema

Funcionamiento Normal

El rotor del aerogenerador XL1 comenzará a girar cuando la velocidad alcance aproximadamente los 3 m/s. La batería comenzará a cargarse después que el rotor este girando. El rotor se mantendrá funcionando hasta que la velocidad no baje de los 2.5 m/s.

La velocidad del rotor se incrementará con el aumento de la velocidad del viento y el sistema proveerá de una mayor salida de energía.

Funcionamiento con Vientos Fuertes

Generalmente todas las turbinas eólicas tienen un medio para controlar el rotor bajo vientos fuertes. La mayoría de las microturbinas eólicas se pliegan alrededor de un pivote que hace que el rotor gire hacia la cola, este es el sistema de autoplegado. En el caso de la XL.1, la turbina se pliega horizontalmente hacia la veleta. Durante los períodos de velocidades de viento altas, el sistema de autoplegado, protegerá automáticamente la turbina de viento. Cuando exista autoplegado, la potencia de salida se reducirá significativamente. Entre vientos de 13 m/s y 18 m/s es normal que la turbina de viento repetidamente se pliegue y se despliegue. En vientos por encima de los 18 m/s la turbina continuamente permanecerá plegada.

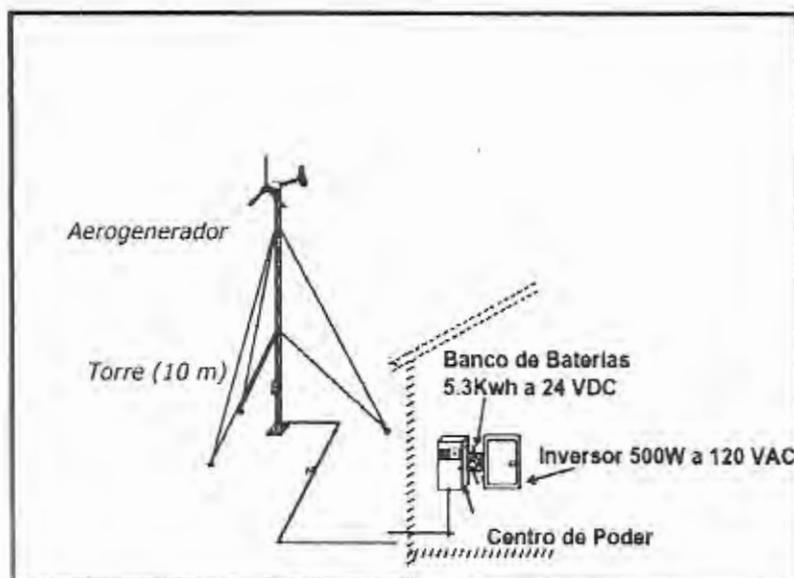
El autoplegado es un simple y elegante método de proteger a la turbina de viento de la alta velocidad. El sistema autoplegado está basado en las fuerzas aerodinámicas en el rotor, gravedad y

en la esmerada geometría de ingeniería de la turbina de viento. Las fuerzas aerodinámicas que actúan en las aspas crean una fuerza de empuje en el rotor. Estas fuerzas se incrementan con el aumento de la velocidad del viento.

Sistema Completo

Además del aerogenerador, son necesarios otros componentes, para suministrar energía a los artefactos y equipos del dispensario. Un sistema típico se ilustra en la siguiente figura:

Figura 3.11 Sistema completo XL.1



El alternador de la turbina XI.1 produce corriente alterna trifásica que varía en voltaje y frecuencia con la velocidad del rotor. La corriente alterna es rectificadora a corriente directa por un módulo rectificador dentro de la nacela. Luego la corriente es conducida hacia el centro de poder. La corriente posteriormente será almacenada en el banco de baterías de 24 VDC , para luego pasar por un inversor donde se transformará en corriente monofásica a 120 V.

Parte importante del sistema, es el elemento que soporta la estructura del aerogenerador. Donde se puede observar que la turbina de viento, va colocada en un mástil tubular ligero con tensores.

El sistema completo es recomendado para hogares, escuelas, clínicas y otras aplicaciones pequeñas. El sistema guarda la energía en baterías para el uso durante las horas de emergencia.

La torre tubular puede ser instalada sin concreto, y ensamblada al aerogenerador en el suelo para luego ser levantada. Esta torre de 10 m de alto es recomendada sólo para áreas abiertas. Para sitios con árboles, se recomiendan torres más grandes.

Las baterías que se utilizan son marca Trojan de 6 VCD cada una, para entregar 24 VDC en conjunto. El sistema inversor DR2424 de 2.4 kW, transforma la corriente directa de 24 voltios, en corriente alterna de 120 voltios a 60 HZ. Entonces podremos suministrar la corriente requerida para nuestra aplicación.

En el apéndice G, se muestra la disposición del aerogenerador XL.1 con respecto a los parámetros involucrados. La ubicación de los equipos que consumen energía eléctrica dentro del dispensario se muestra en el apéndice H.

3.4.4 Cálculo de la Producción anual de energía

Curva de Potencia del aerogenerador

La curva de potencia de un aerogenerador es un gráfico que indica cual será la energía eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades de viento. En el apéndice I, se muestra la curva de potencia del aerogenerador XL.1.

Hay que tomar la curva de potencia, con una buena dosis de escepticismo. No hay agencias gubernamentales que garanticen la precisión de las curvas de potencia publicadas y no hay ni siquiera un acuerdo de cómo deben ser medidas las mismas.

Todas las curvas de potencia incluyen una velocidad de arranque, que es aquella en que la turbina comienza a girar. Los alternadores de imanes permanentes producen voltaje de inmediato, el cual sube con el aumento de la velocidad del viento hasta alcanzar el voltaje necesario para la aplicación. En ese momento el controlador de carga transmite corriente desde el alternador y se entrega potencia. La que se denomina velocidad de entrada del viento es la que se tiene cuando el generador comienza a generar potencia.

La curva de potencia también incluye la velocidad del viento nominal de la turbina; ésta es la velocidad del viento para la cual la turbina eólica produce la potencia indicada en su chapa. Con frecuencia la potencia pico es mayor que la nominal. A una velocidad dada, la turbina comienza a limitar la potencia que produce. En el caso de muchas pequeñas turbinas eólicas, el rotor comienza a plegarse o "salirse" del viento, y esto reduce la potencia entregada. Los valores

mostrados en la curva de potencia son generalmente los de la potencia entregada a la altura del eje del rotor.

Generalmente las curvas de potencia se obtienen a partir de medidas realizadas en campo, donde un anemómetro es situado sobre el mástil relativamente cerca del aerogenerador. Estas medidas son realizadas en zonas de baja intensidad de turbulencia, y con el viento viniendo directamente a la parte delantera de la turbina.

Procedimiento

Contamos con la distribución de la velocidad del viento de los datos de la empresa Agoyán. De todas las 24 horas del día, de todo el año 2002. Y conocemos los valores de la curva de potencia del aerogenerador.

El procedimiento es superponer la distribución de velocidades de viento, con la curva de potencia, y entonces sumar la energía producida por el aerogenerador en todo el rango de velocidades del viento.

En la tabla IX, se muestra el resultado de esta superposición:

V (m/s)	Frec. (h)	PotAer (W)	Ener. (Wh)	(kWh/año)	(kWh/mes)
0.5	767	0	0		
1	965	0	0		
1.5	678	0	0		
2	541	0	0		
2.5	414	25	10350		
3	527	35	18445		
3.5	491	60	29460		
4	658	70	46060		
4.5	563	140	78820		
5	592	180	106560		
5.5	428	230	98440		
6	407	300	122100		
6.5	402	375	150750		
7	317	450	142650		
7.5	159	525	83475		
8	117	600	70200		
8.5	54	675	36450		
9	32	750	24000		
9.5	3	825	2475		
10	0	900	0		
10.5	2	1000	2000		
Parcial	8117		1022235	1022.24	85.19
Total	8760h-365dia			1103.21	91.93

TABLA IX.- Producción Anual de Energía

En la tabla X se produce la superposición de: la distribución de velocidades (segunda columna), con la curva de potencia del aerogenerador (tercera columna), a la velocidad respectiva (primera columna). En el capítulo 3, se concluyó que la velocidad del viento tiene un comportamiento similar durante todos los meses. De manera que el valor de 85.19 kWh por mes, va a ser tomado como referencia

para cálculos posteriores. Sin embargo, este valor es parcial, pues el mes de Mayo registraba datos incompletos. Por tanto, el valor final de energía producida para los 365 días que compone un año calendario es de 91,93 kWh.

En el apéndice J, se muestra la curva de producción anual de energía.

Cálculo de referencia

Se realizó un procedimiento parecido para hallar la producción anual de energía, utilizando los datos de los días tipo 1,2,3 y 4, en vez de los datos de Agoyán.

Se analizó el comportamiento de cada día de los datos de Agoyán, y se los comparó con los datos de la tabla VII. De manera que, de los 374 días evaluados de Agoyán: 35 días son del tipo día 1, 50 días del día 2, 169 días del día 3, y 120 días del día 4.

A continuación se halla la energía que entrega cada día tipo. Para esto se utilizan los respectivos valores de velocidad de la curva de

potencia del aerogenerador. Posteriormente multiplicar este valor por el número de frecuencias para cada día tipo, para luego sumar todos los valores de los días tipo, y hallar la producción anual.

	Frecuencias (# días)	Energía (kWh)	Energía (kWh)	Energía (kWh)
Día tipo 1	35	9.43		
Día tipo 2	50	18.84		
Día tipo 3	169	435.46		
Día tipo 4	120	61.19		
	374	524.92 al año	43.74 al mes	1.45 al día

TABLA X.- Producción de energía de todos los días tipo, al año.

Se puede observar que la producción mensual, utilizando los días tipo, es de 43.74 kWh. Este valor corresponde a la mitad del resultado encontrado utilizando los datos de Agoyán, que es de 91.93 kWh por mes.

Los datos de Agoyán son mucho más completos, que los datos de los días tipo 1,2,3 y 4. En el capítulo 5, se hablará sobre esto.



CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Hemos obtenido el resultado de las necesidades energéticas del dispensario, que son: un requerimiento mensual típico promedio de 90 kWh, trabajando de lunes a viernes, 8 horas diarias. Un requerimiento de 30.3 kWh en el caso de una emergencia de 24 horas. Y tenemos la producción de energía que nos entrega el sistema XL.1, con los recursos eólicos del lugar, que son 91.93 kWh promedio mensuales. Esto se muestra en la siguiente tabla:

TABLA XI.- Cuadro de resultados

	Energía (kWh)
Requerimiento mensual del dispensario (8 horas diarias, lunes a viernes)	90
Requerimiento del dispensario para una emergencia de 24 h.	30.3
Capacidad mensual que entrega el aerogenerador	91.9

Ahora es necesario realizar un análisis económico para ver la factibilidad de implementar el sistema.

4.1 Estimación de Costos

El sistema completo XL.1, ofrecido por el fabricante Bergey, se muestra en el siguiente cuadro junto a sus respectivos valores:

cual sólo necesita revisarse una vez cada dos años. El eje axial con escobillas, libre de mantenimiento, que requiere una revisión cada dos años. Todo este mantenimiento podría realizarlo una persona del dispensario, de no ser así, esto tendrá un valor de \$ 50 dólares por chequeo.

4.2 Análisis Económico

A partir de la estimación de costos, se analizan dos opciones: la opción 1 y la opción 2.

Opción 1: Para suplir el consumo típico promedio mensual

De los resultados obtenidos, sabemos que la capacidad de producir energía del aerogenerador XL.1 en el sitio escogido, es de 91.9 kWh. A simple vista parecería, que es posible trabajar con la turbina directamente conectada al sistema eléctrico del dispensario. Es importante notar que el requerimiento diario del dispensario en este caso es de 4.5 kWh.

Sin embargo, la producción del aerogenerador por día es de 3.06 kWh. De esto, se deduce que es necesario almacenar durante dos días mínimo la energía del viento, para poder suplir un día de trabajo de 8 horas en el dispensario. Obviamente, se requiere para esto un banco de baterías.

La opción 1, es un sistema que nos permitirá suplir la energía eléctrica en el dispensario médico de una forma continua pasando dos días. La capacidad de almacenar energía de este sistema es de 5.3 kWh.

Lo cual implica que, si se utiliza el sistema un día, se va a necesitar cargarlo de nuevo en el transcurso de dos días seguidos. Esto es un limitante, puesto que, no se podría suplir de energía dos o tres días consecutivos faltos de energía eléctrica. Es decir, si se quiere suministrar energía más de un día en forma consecutiva, se va a requerir un juego adicional de batería. Por ejemplo, si se quiere estar listo para un corte de 2 días seguidos, se debe tener un banco de baterías de 10.3 kWh, y así respectivamente. Esto obviamente, hará que el precio del sistema opción 1 aumente proporcionalmente al número de baterías añadidas. Esta opción es el paquete que ofrece el fabricante del aerogenerador.



Otro punto importante es, como recuperar la inversión. Normalmente estos dispensarios son financiados por el ministerio de salud y por métodos de auto gestión. En nuestro caso, el costo de los equipos puede recuperarse cobrando un valor módico.

El valor de la opción 1, es de \$ 4645. Cobrando un valor de \$ 0.50 por cada atención, y considerando que el número de personas que acuden está por el orden de 15, se recupera la inversión en 2 años y medio. Considerando que se trabaja sólo de lunes a viernes, 8 horas diarias.

Un punto en contra es el hecho que este sistema, no permite afrontar una situación de emergencia de 24 horas ininterrumpidas, con todos los equipos a plena carga.

Opción 2: Para suplir una emergencia de 24 horas

La opción 2 nos permite suplir de energía eléctrica al dispensario, en una emergencia de 24 horas, en las cuales todos los equipos eléctricos deben funcionar. Este sistema requiere de 20 baterías, las

cuales son capaces de almacenar los 30.3 kWh necesarios para nuestro objetivo.

El costo de la opción 2, es de \$ 8094. De manera que, si se cobra un valor de \$ 0.50 por consulta y/o atención, y considerando de nuevo un número de 15 personas diarias atendidas, se recupera la inversión en 4 años y medio.

Sin embargo, se debe tomar en consideración que este sistema requiere de 20 baterías, con las cuales se deberá tener un apropiado mantenimiento y cuidado.

Además, se debe notar que si se va a utilizar el sistema para la emergencia de 24 horas, no se debe usar la energía almacenada en las baterías para otros fines. Al menos durante 11 días, que es el tiempo mínimo de carga para esta necesidad.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES

1. Se utilizaron los datos proporcionados por la empresa hidroeléctrica Agoyán, por ser datos completos. Se pudo observar que la cantidad de energía calculada con estos datos, fue el doble que la calculada utilizando los valores de los días tipo 1,2,3 y 4.

Esto nos dice, que la cantidad de viento que se produce después de las 19h00 y en horas de la madrugada, es significativa. Y algo igual de importante, es el hecho de darnos cuenta que no se debe

generalizar de datos incompletos o inexactos, para obtener datos totales de valores variables, como la velocidad del viento.

2. Es factible utilizar el aerogenerador XL.1, para generar energía eléctrica en la región que circunda a la dirección del viento dominante de la zona. Independientemente de la aplicación que se trata en esta tesis, se tienen 3.06 kWh diarios de producción, para utilizarlos en sistemas como: cabañas y casas de campo, alimentación de cercas eléctricas, alimentación de vehículos eléctricos, alimentación de instalaciones remotas de telecomunicaciones. En las aplicaciones sobre sistemas que requieren corriente continua, no se debe considerar ni al inversor, ni a las baterías, por lo que el precio del equipo aerogenerador se reduce un 30%.

3. En el caso de nuestro dispensario, se recomienda la compra de una turbina de viento adicional XL.1, la cual junto al sistema ya elegido, nos va a permitir suplir de energía eléctrica al dispensario las 8 horas diarias de trabajo de consumo mensual típico.



4. Se recomienda reducir en lo posible, el uso de banco de baterías múltiples. Pues esto va a traer problemas de espacio y mantenimiento, y un verdadero desperdicio de recursos, sin mencionar problemas de salud debido a los gases que pueda emanar una o más baterías defectuosas. Lo que evitaría en lo futuro una posible contaminación al ambiente del lugar.

5. Según los últimos registros, en los dos últimos años sólo ocurre un corte de energía eléctrica una vez al mes de 8 horas de duración promedio, generalmente por motivos de mantenimiento de los equipos generadores de la planta eléctrica. Por tal motivo, el caso de una emergencia de 24 horas es poco probable.

6. No se hace referencia sobre paneles solares, ya que no se realizó ninguna medición que implique energía solar. Sin embargo, en el mercado se ofrecen paquetes que incluyen, turbinas de viento y paneles solares que trabajan en conjunto.

7. Una de las ventajas de este sistema, es que puede ser fácilmente cambiado de sitio. Realizar el montaje en lugares remotos, donde no llegan las líneas eléctricas, y es inevitable utilizar generadores que funcionen a base de gasolina, diesel, etc. El montaje no requiere más de dos personas. Sólo se requiere de un lugar con buenas condiciones eólicas. Por ejemplo, toda la zona que va a lo largo del río Agoyán, que circunda a la ciudad de Baños, a través del túnel que forman las elevaciones a lo largo de este río. Las condiciones de viento aquí son similares, puesto que las recorre el mismo viento predominante.

8. En nuestro país no existen leyes gubernamentales, para el uso de aerogeneradores, puesto que no se los utiliza. En la provincia de Imbabura se está, en la actualidad ejecutando un proyecto, que estaría operativo en los próximos años.

9. Si se realizan las gestiones respectivas, el gobierno puede donar estos equipos. Aunque sería preferible optar por la implantación de

un sistema de mayor capacidad, para poder aprovechar las condiciones eólicas que en el sitio se presentan.

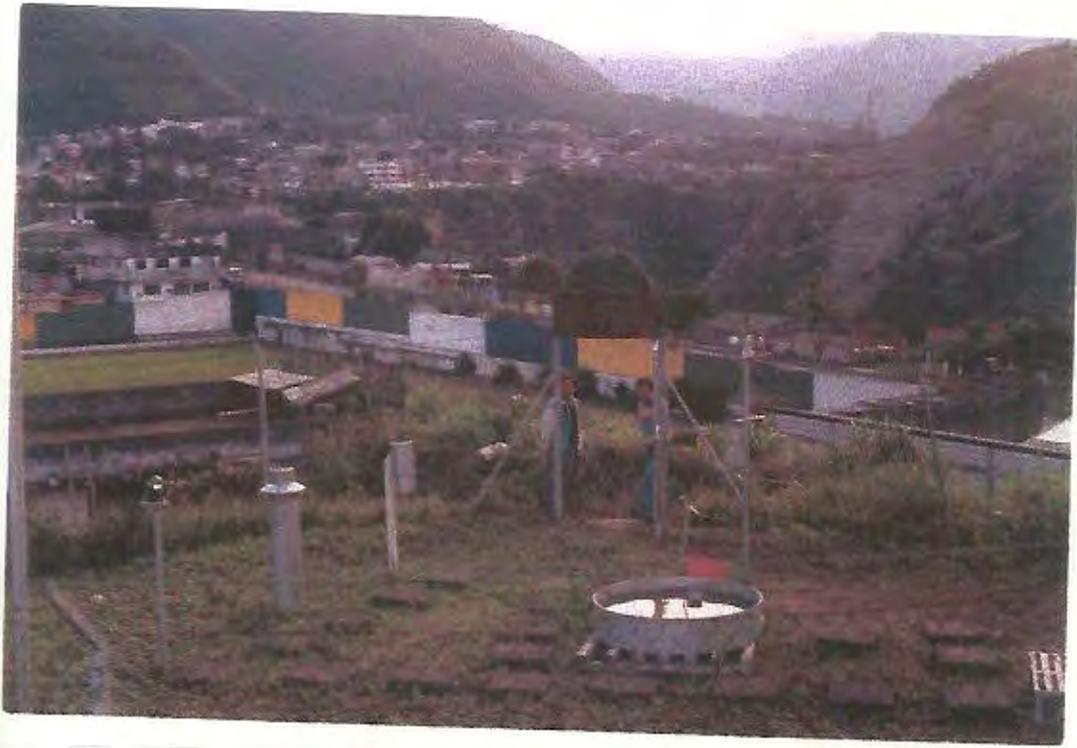
10. Un aerogenerador, del tamaño del XL.1, no genera mucho ruido. Es importante tomar precauciones al momento de manipular la turbina, no acercarse cuando este en movimiento. Es preferible desconectar el sistema de rotación, y parar el movimiento del rotor. Además, es importante desconectar el suministro de potencia desde la turbina, para evitar posibles voltajes altos.

APÉNDICES

APÉNDICE A

FOTOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA BAÑOS Y SUS
ALREDEDORES.





APÉNDICE B

TABLA VI.- Velocidad media del viento de la estación meteorológica
Baños, de los años 1997, 98 y 99.

SPOL
ESTACION METEOROLOGICA
BAÑOS

AÑO	MES	Promedio de 07h00	Promedio de 13h00	Promedio de 19h00
97	Ene	0.26	11.26	0.90
	Feb	0.57	8.29	2.07
	Mar	1.40	9.10	2.80
	Abr	1.07	10.57	2.47
	May	0.21	8.18	3.28
	Jun	0.80	10.43	3.90
	Jul	2.00	5.74	1.03
	Ago	1.10	5.57	2.13
	Sep	1.48	10.00	3.97
	Oct			
	Nov			
	Dic			
Total 97		1.00	8.79	2.49
98	Ene			
	Feb	0.14	6.50	2.21
	Mar	0.00	5.29	0.71
	Abr	0.00	6.93	1.40
	May	0.32	6.39	0.58
	Jun	0.93	5.60	0.40
	Jul	0.07	5.60	0.28
	Ago	0.77	5.35	0.13
	Sep	1.27	7.40	1.40
	Oct	1.63	6.96	1.33
	Nov	2.90	10.07	1.64
	Dic	2.40	11.66	3.60
Total 98		0.94	7.04	1.23
99	Ene	1.29	11.50	4.06
	Feb	1.04	10.00	3.70
	Mar	0.13	10.19	4.40
	Abr			
	May			
	Jun	1.33	8.33	3.93
	Jul	2.26	9.35	4.84
	Ago			
	Sep			
	Oct			
	Nov			
	Dic			
Total 99		1.21	9.87	4.20
Total general		1.01	8.24	2.28



APENDICE C

Registros mensuales de la dirección y velocidad del viento, de la
Empresa de Generación Hidroeléctrica Agoyán. Año 2002

2002
C. P.

	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24			
02	0.8	0.6	0.8	1.2	1.1	1.7	1	1.2	0	2.1	2	3.7	3	0.7	1	5.7	5.2	4	4	4.4	2.4	0	0	0			
02	0.8	0	0	0.6	1.2	1.2	1.2	1.3	2.3	2	2.7	3.5	4.2	4.2	5.8	6.3	7.3	7.8	5.8	8.4	4.9	4.2	3.6	2.8			
02	0.6	0	0	0	1.4	2	2.2	2	1.8	5.8	7.4	7.3	8.1	7.1	7.2	8.8	6.7	5.2	4.2	3.3	1.7	0.5	0.8	0			
02	0.5	0	0	0	0	1	0.6	0	1.6	4.7	7	7.6	7.8	7.8	8.6	7.2	6.9	6	4.4	5	3.8	2.0	1.6	1			
02	1.4	1.2	1.5	0.7	0	0	1.3	2.8	4.6	6.8	6.9	7.6	8.2	8.2	8.9	8.4	6.1	6	4.4	3.3	2.2	0.6	1.2	0			
02	1.2	1.6	2	2.7	3.1	3.4	3	1.8	2.2	3.2	5.6	8.2	9	9	8.2	8.8	7.7	5.5	4.3	2.2	1.1	0.7	0.8	0.8			
02	0.6	1.2	1.2	2	2.3	2.6	2.6	1.8	2	2.8	1.6	2.4	2.1	2.1	2.8	2.6	2.7	3.7	2.9	1.1	1.4	1.6	2.1	1			
02	0	1.2	2	2.4	3.5	4	4.1	2.4	2.2	3.1	5.5	7.8	9	9	7.8	6.5	4.6	1.8	1	1	1	1	1	1.9			
02	4.2	4	4	2.7	2.7	3	2.8	3.8	2.2	2.3	3.4	5.5	8.1	8.1	8.4	8.3	6.1	4.1	1.6	1.6	1	0.6	0.7	1			
02	0.8	0.6	0.7	2.2	1.8	0.9	0.8	1.9	0.8	2.6	4	5.6	6.7	6.7	7.2	7.5	8.2	5.2	4.6	4.4	3.6	2.8	1.9	0.8			
02	1	2.5	2.8	1.8	1.3	1.2	1	1	0.7	2.4	3.9	5.4	7.6	7.6	8.4	8	6.1	5.5	3.7	4	4.1	2.5	3	1.3			
02	0.6	0	0	0	0	0	1	0	1.2	2.3	4.8	7.4	8.8	8.8	8.3	7.5	8.1	8.4	6.4	5.2	3.9	2.8	1	0.6			
02	0.9	0	0	0	0	0.8	0	1.2	2	3	4.8	5.7	4.6	7.6	8.4	8.1	7.5	7.7	5.4	4.1	3.9	3.2	2.2	2.5			
02	1.2	2.6	2	2.6	2.4	1.4	0	1.6	1.9	3.7	4	5.4	3.9	3.9	7.2	7.1	6.6	5.7	6.6	5.1	3.7	2.3	2.1	3			
02	1.9	2.3	2.6	1.7	0	0.8	0.8	0.6	1.2	1.8	4.6	5.2	6.8	6.8	7.8	5.8	4.6	4.4	2.8	2.1	1.3	0.8	0.6	0.7			
02	0.9	1	1.3	1.6	1.9	1.8	2.4	1.6	1.4	4.4	5.3	8.4	6.6	6.6	6.4	6.7	8.4	7.1	5.4	5.4	3.8	3.8	3.3	2.6			
02	1	0.8	0.7	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.2	1.7	5.4	5.1	6	6	6.8	8.2	7.1	7.2	6.1	4.8	4.3	4.2	2.7	2.4			
02	3.4	1.7	1	0.9	1.6	1.6	1.4	1.3	1.2	1	3.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.2	6.8	6.5	6.7	4.2	3.9	4.4	4	2.4			
02	1	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	2	2	1.8	1.5	2.4	5.8	6.7	6.7	6.8	6.5	6.1	6.6	5.2	4.8	4.3	5.5	2.8	0.9			
02	0	0.7	1.2	1.1	1.4	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	5	5.4	6.6	6.6	7	5.4	5.8	5.2	6.5	5.6	4	2.6	3.4	3.6			
02	2.8	0.8	0	0	0.6	1	1.2	0	0.8	1.5	4.6	5.3	3.8	3.8	5.3	5.4	4.2	4.5	4.8	4.8	4.1	4.9	2	0.7			
02	0.6	0.6	0	0.6	0	2	0.7	1.5	2.7	3.4	3.8	4.6	5.2	5.2	5.7	5.8	6.6	5.8	5	4.3	5	6.1	4.4	4.7			
02	4.8	4.7	4.1	3.8	3.8	4.4	4	4.1	4.1	4.3	4.9	4.3	4.4	4.4	5.5	5	5.1	5.6	4	3.8	3.1	1.2	1.6	2.5			
02	2.5	3	3	3.8	3.3	3.1	2.6	3.4	4.9	5.8	5.8	7.4	6.1	6.1	4	6.2	5.8	6	4.5	3.3	2	1.6	0	0.8			
02	0	0	0	0.6	1.2	2.5	2.8	3.2	4.1	4.2	5	5.4	7.1	7.1	8	6.1	5	4.4	4.6	4.5	3.2	2.7	2.6	2.7			
02	2.8	1.9	3.4	4	4.4	3.9	3.3	3	3.9	3.6	4.8	5.2	6	6	5.1	3	4.3	5.5	4.2	3.8	3.2	3.1	3.4	3.2			
02	3.9	4.3	4	5.2	5.8	4.9	5.8	5.8	5.8	5.4	6.1	5.6	6.6	6.6	5	4.8	4.4	4	3.7	3.2	3.8	4.1	4.2	4.7			
02	4.4	2.8	4	4.2	3	2	2.2	1.5	4	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	4.2	4.6	4.7	4.1	4.3	4.4	4.4	3.2	3	3.2			
02	2.7	3.4	4.4	4	4.4	4	3.2	4.1	4.1	5	5.3	5.9	5.8	5.8	4.6	5	5.8	5.6	4.4	3.2	2.7	3	3.1	1.2			
02	0	1.1	0	0.7	0	0	0	0	1.3	1.8	3.7	4.3	7	7	7.3	6.8	6.2	5.8	4.8	3.2	2.8	0.6	0	1.4			
02	3	2.2	1.6	2.3	2.6	3.2	1.9	2.3	2.9	3.6	4.6	6	5.2	5.2	5.9	6.6	5	5.3	5	4.5	3.6	3.1	2.8	3.4			
02	0	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
02	3.8	4	3.8	3.8	3.7	3.8	2.6	3	3.3	3.4	5	5.8	6.2	6.7	7	5.6	5	4.7	4.5	4.5	4	1.6	0.6	1.7			
02	3	2	1.8	2.8	2.9	2.8	1.6	0	1.8	2.8	4.1	4.8	3.8	3.7	4.3	5.3	5.6	3.9	5	4.2	4.6	4.6	5.3	4.6			
02	3.2	2.8	0.6	1.2	0	0	0	0	0	0	2.6	3.2	3.8	5	6.2	6	6.4	6.2	6.2	6.2	3.2	2.4	2.8	1.4			
02	0	0	1	1.4	0.7	0	0.6	1.6	1.4	1	3.2	4.6	5.6	7.5	8.1	8	7.6	5.3	3.1	3	3.1	2.4	0.8	0			
02	0	0	1	1.1	0	1	1.3	1.2	3	4	5.6	7	7.5	7.8	6.6	4	3.4	3.6	2.6	1.2	2.3	3	1.8	1.8			
02	1.4	1.9	2.5	2	0.4	0.9	0.8	0.7	0	1.5	2.6	4.5	5.5	7.4	7.8	6.8	7	5.8	4	4	3.9	2.2	2.6	2			
02	0.6	0.6	0.6	0.8	0.7	0	0.6	0.6	0.9	2.7	4.3	5.8	7.5	7.8	7.5	7.2	7.2	6.6	4.4	3	1.2	0.6	0.7	0.6			
02	0	0	0.9	1.5	1.2	0	0.9	1.6	4.1	6.2	7.2	7.9	7.8	8.5	7.7	7.2	6.4	7.6	2.3	0.8	0.6	1	1.2				
02	2	2.2	2.7	2.4	3.5	3.2	2.3	2.4	3.2	2.7	3.6	7.5	7.4	8.8	8.7	7.5	6.8	6.6	5.6	3.6	2.4	3.2	2	0.6			
02	2.6	0.8	0	0	0	1.2	0.8	0.6	1.7	2.2	4	3.8	6.6	6.2	6.2	6.2	7.1	5.4	4.7	5.6	4.8	4.1	4.6	4.4			
02	3.8	3.2	1.3	1.4	0.9	0.8	0	0	1	1.4	3.2	4.3	5.2	6.2	7.1	6.8	7.4	6.4	5.6	4.8	3.4	1.7	1.7	0			
02	0.8	0.8	0.7	1	1	1.3	0.6	0.7	0.8	1.6	3.9	6	5.4	8.4	7.2	5	5.4	5	4	3	3.3	2.5	1	1			
02	0	1.1	1	1.1	1.2	1.2	1.1	1.4	1	1.7	5	6.4	6.4	6.6	6.7	8	6	6.4	6	4.4	3.7	3.4	3.2	1.9			
02	1.1	1.1	1.0	1.2	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	2.4	5.2	5.4	5.6	6.5	7.4	7.8	7.6	6.5	4.6	5	4	1.6	1	1			
02	2.2	1.6	0.6	0	0.8	1	1.6	1.4	1.8	3	4.5	5.4	5.9	5.5	6.5	5.7	6.4	6.8	5.9	6	4.8	3.7	2.9	1.3			
02	1	0.7	0.7	1	0.7	0.8	0	0.7	1.9	0.8	3.4	4.2	4.3	4.2	3.2	4.7	4.4	3.5	3	3.8	4	4.1	3.9	4.2			
02	3.1	2	3.2	3.1	2	2.1	1.8	0.8	0.6	0.6	2	2.5	2.9	3.8	4.2	3.9	4.1	3	2.6	2.2	1	0	0.9	0			
02	0	0	0.6	0.6	0	1.4	1.6	0	1.1	0.8	0.7	0	0.8	2	3.5	2.8	3	2.9	2.6	1.3	2.8	2.9	2.4	2.1			
02	0.9	0.8	1.4	0	0.6	0	0.8	1.3	1.4	1.9	2.8	3.8	3.7	4	5.4	4.6	4.4	3.8	2.7	2.4	0.9	0	0.8	0.8			
02	1	1.7	0.8	0.8	0.8	1.1	0.8	1	0.7	1.4	1.5	4.3	4.2	4.5	4.2	3.4	2.7	4	1.9	0.6	0.7	0.8	0.6	0			
02	0.6	0	0.6	0.7	1	1.2	1	0.6	0.8	2.2	4.6	6	6.4	4.3	5	4	5.1	4.1	4.7	4.3	3	2.3	1.1	0.6			
02	0.8	0	0	0.8	0.8	0	0	0	1.1	1.8	2.3	2.9	5.5	6.2	5.6	4.8	5.2	4.1	4.5	3.4	1.8	2.1	1.2	2.7			
02	1.2	0.7	1.1	0	0	0	0.9	1.2	0.8	3	3.8	5	4.9	5	4.4	4.2	4.6	4.3	3	2.3	2.4	1.8	2.4	2			
02	0.8	0	0	0	0	2.1	2.2	0.6	0	2.9	4.2	4.4	3.6	3.6	3.4	4.4	2.4	2	2	1.6	0.6	0	0	0.7			
02	1	1.3	0.8	0.8	1	1.4	0.9	1.7	0.6	0.8	0.8	2	3.1	4.1	4.6	4.4	5.7	5.6	5.8	5.1	3.6	1.4	1.7	0.7			
02	1.1	1.6	1.9	2.5	2.5	2.3	2.7	2.5	2.4	2.2	1.6	2	5	6.8	4.7	5.8	6.8	5.9	5.4	4.5	2.8	1.1	0	0.6			
02	1.4	1.7	1.5	1.4	1.4	1.7	1.8	2.2	2.1	1.8	1.4	5.3	6.1	6.8	8	6.4	7.8	7.3	5.8	4.2	4.7	4	3.6	2			
02	2.2	0	1	0.7	0.7	1.5	0	0.6	0	0.8	3	3.2	4.4	5.2	5.3	5.3	3.7	1	3.2	2.2	1.9	2	2.5	2.8			
02	0	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
02	4.4	3.8	3.2	3	2.2	1	0.7	1.2	3	4.1	4.6	5.6	4.8	4.9	4.5	4.4	4	1.7	2.2	3	3	1.4	0	0			
02	0	0	0.6	0	0	0.7	0	1.8	3.9	3.9	4.4	4.5	5														

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
8	67	82	66	66	58	54	52	46	5	42	43	46	42	4	36	28	36	3	32	44	56	62	55	
62	82	82	82	85	4	19	08	0	0	14	0	0	13	17	14	07	07	07	11	3	3	14	0	
0	0	0	0	07	06	06	06	44	55	64	7	62	6	68	64	66	56	48	4	21	08	08	06	
0	2	27	23	22	28	24	31	42	5	53	75	72	75	79	7	61	47	49	38	34	18	0	13	
16	12	0	11	11	0	2	44	47	52	53	74	48	35	16	19	23	22	13	0	1	12	12	1	
18	17	17	13	12	25	4	47	58	64	68	67	7	52	4	11	14	12	0	0	08	0	08	08	
12	0	0	0	12	34	57	82	6	84	7	62	51	39	36	42	1	06	3	41	45	39	37	31	
34	2	2	36	32	18	34	12	44	41	4	37	32	13	0	09	08	0	0	08	13	0	0	0	
09	13	12	0	12	32	48	84	66	66	7	67	62	62	39	21	0	07	0	1	23	2	14	08	
08	08	11	1	21	24	33	5	84	64	58	68	47	35	32	08	1	1	13	14	21	0	0	24	
3	32	35	32	3	22	38	38	44	54	68	65	74	68	62	38	26	26	0	2	14	25	28	27	3
269	27	22	18	16	24	41	68	67	79	8	74	77	67	48	19	13	0	09	0	09	18	14	08	
0	12	07	11	17	3	48	57	68	67	73	78	69	67	48	4	22	08	12	12	0	0	0	1	
2	28	26	17	1	22	48	68	78	83	84	84	74	62	47	47	4	34	3	18	0	1	1	08	
09	12	24	26	24	32	48	62	55	47	47	33	39	44	48	37	49	38	34	19	08	1	13	18	
21	2	25	25	3	41	58	62	62	71	6	62	72	7	7	36	18	08	06	07	08	12	1	12	
08	14	15	1	1	3	38	39	47	41	46	44	63	53	41	15	0	0	0	0	0	0	0	31	
28	0	0	0	09	18	36	49	58	56	37	48	52	52	54	43	44	32	26	24	0	08	06	1	
0	08	0	0	0	23	4	47	58	62	66	62	74	64	59	59	54	58	43	34	22	0	0	0	
0	0	0	06	1	32	48	62	62	66	64	66	74	74	5	45	4	46	36	32	34	32	3	32	
32	25	23	32	41	44	48	53	5	58	5	53	45	56	54	38	32	31	29	23	22	18	19	24	
27	34	29	3	36	54	5	54	56	54	48	46	32	46	36	5	44	54	59	52	38	24	08	09	
1	14	24	2	16	28	39	44	54	76	76	62	66	59	42	42	22	14	14	0	0	09	07	07	
09	08	08	0	0	0	21	57	62	62	62	62	66	55	43	26	28	3	32	4	32	0	0	0	
0	0	0	0	0	08	22	32	38	44	51	52	41	44	4	26	08	13	12	1	0	09	22	18	
13	07	08	0	0	28	41	42	64	82	8	68	68	46	36	29	35	31	33	36	25	21	22	06	
24	31	14	14	0	0	24	42	51	62	63	82	61	46	37	19	16	26	26	16	0	0	0	0	
0	0	0	06	31	26	27	36	56	74	77	66	64	32	32	22	2	12	11	16	18	14	1	16	
09	08	14	21	07	18	3	32	46	57	63	7	62	68	7	63	37	42	38	32	0	0	08	06	
06	08	08	0	0	18	21	53	7	74	62	56	66	54	47	62	38	38	26	41	36	35	3	14	

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
06	14	4	38	36	42	48	47	47	88	54	42	38	32	26	12	0	07	1	26	14	18	0	07
22	4	37	4	45	32	35	54	61	88	84	72	54	44	4	3	2	0	0	08	1	08	11	0
0	08	07	06	08	08	07	06	12	26	45	54	64	63	46	44	55	38	17	35	2	26	21	24
16	1	13	18	0	0	08	13	33	51	64	62	63	7	68	5	4	4	22	0	08	06	13	16
08	12	0	06	0																			

4	2	1	07	08	0	06	09	14	3	24	28	3	28	26	28	28	26	44	42	37	24	24	1
11	16	3	22	1	06	06	1	06	08	12	3	19	1	0	32	09	26	27	45	72	74	68	63
6	7	5	28	19	0	1	12	09	07	0	06	1	13	1	0	07	13	29	54	66	65	68	71
42	38	15	15	41	21	15	14	0	0	0	0	11	1	1	08	06	06	07	22	22	28	26	23

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
27	38	17	09	1	08	13	08	06	0	0	0	0	06	06	0	15	22	18	35	34	25	42	32
28	37	25	18	13	08	06	16	12	07	14	12	07	0	09	18	18	14	32	66	68	67	67	67
62	61	47	36	36	32	27	07	08	08	18	17	12	14	18	26	22	14	2	26	19	14	3	41
44	52	42	38	24	14	11	1	12	07	12	11	18	19	14	07	14	14	32	45	48	54	35	37
5	68	54	28	43	2	28	06	1	26	42	38	54	48	46	48	35	35	32	28	25	15	1	14
19	16	06	08	07	12	06	0	0	22	26	32	35	43	19	0	2	17	22	08	09	1	12	13
18	08	06	12	14	19	24	24	18	36	54	58	62	66	65	64	65	49	44	42	4	36	26	07
07	07	06	11	08	06	17	12	15	2	46	44	55	3	54	43	64	7	52	45	56	41	4	21
06	14	12	13	0	1	08	12	3	15	39	36	44	41	48	43	39	44	32	18	24	13	0	06
09	1	09	1	11	08	0	0	32	44	5	64	64	6	62	65	56	44	5	44	26	08	14	1
24	11	0	08	0	0	0	17	29	44	47	52	82	78	28	07	08	18	23	17	08	06	0	0
28	1	12	12	13	14	09	08	08	24	32	37	4	38	44	48	47	51	36	3	16	1	13	11
11	12	14	18	1	14	19	28	2	21	34	56	51	59	64	54	35	37	4	4	23	08	07	08
0	0	09	0	0	18	31	32	31	36	46	54	63	63	54	48	46	4	32	2	31	3	26	1
0	0	0	0	0	2	38	44	47	44	51	55	56	41	36	38	38	55	5	55	58	51	62	74
2	52	64	55	44	43	34	34	43	48	48	9	78	75	68	45	48	45	44	369	33	28	07	0
0	0	0	0	0	0	07	0	0	1	18	44	44	42	8	56	44	46	32	37	06	06	0	0
0	0	0	0	0	06	0	0	0	0	14	34	29	36	37	41	48	44	4	4	46	54	68	62
8	74	7	64	72	78	64	56	56	51	62	9	83	68	73	78	9	51	57	41	53	46	48	43
5	47	44	62	74	56	64	9	9	67	72	78	9	71	38	39	38	35	32	32	35	47	64	68
5	52	38	44	58	58	36	2	19	3	28	32	52	53	52	55	53	54	4	24	07	0	0	0
0	06	0	07	08	12	14	12	09	14	34	49	55	62	72	72	68	62	62	37	39	25	16	0
0	1	1	13	12	12	12	08	06	09	49	56	62	55	42	27	38	21	28	22	18	06	0	06
7	08	0	0	0	0	0	0	0	08	0	18	53	6	56	7	62	56	35	26	31	32	36	4
8	32	32	3	22	16	0	0	26	47	44	5	36	5	38	46	54	52	48	41	32	21	27	46
9	52	4	39	3	12	0	0	0	12	47	38	4	48	45	42	44	46	43	43	34	29	2	26
3	0	0	0	0	0	0	07	22	38	4	46	54	52	63	58	62	61	42	37	36	31	32	26
0	2	08	0	0	18	22	1	0	15	38	47	55	7	73	76	68	67	5	42	34	34	36	37
24	22	09	1	0	0	0	21	34	48	54	62	7	67	62	45	55	44	39	26	38	46	43	
15	24	11	3	24	34	44	48	44	44	4	5	62	71	8	63	5	45	4	52	6	71	8	71

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
2	15	11	1	15	13	18	32	44	36	32	18	18	25	3	37	44	3	26	16	12	11	1	08
08	07	07	12	18	24	22	19	33	32	44	55	102	76	91	73	67	63	52	46	53	49	45	43
4	29	33	34	28	37	33	38	44	5	54	64	68	69	68	74	72	54	42	34	36	27	18	2
25	28	41	16	19	24	32	25	45	56	52	62	69	73	7	74	79	52	8	45	42	38	34	28
27	24	12	22	35	18	24	33	24	44	49	56	53	62	68	64	65	5	41	36	3	34	38	3
22	18	17	13	1	1	08	09	07	02	25	41	39	46	54	66	5	5	43	42	42	35	27	2
21	2	33	3	29	28	3	38	42	57	85	72	81	72	75	67	66	64	59	52	51	45	38	4
41	38	38	29	38	37	34	38	49	53	56	52	6	58	67	67	62	57	55	45	43	45	47	47
46	37	35	3	34	32	42	42	39	48	55	68	72	75	67	67	72	62	54	4	23	26	29	42
32	28	42	42	29	28	41	32	55	53	61	67	62	6	68	62	61	52	44	24	3	25	2	27
22	23	29	44	38	37	37	39	43	5	62	7	78	63	57	68	73	53	47	44	44	43	41	42
51	34	4	32	3	29	42	5	58	72	84	82	82	8	87	88	7	62	58	5	52	53	54	48
47	6	6	57	62	62	62	62	58	57	68	62	62	7	59	56	52	48	37	46	32	27	22	33
3	36	38	31	4	36	43	43	46	5	58	71	67	67	61	64	6	8	35	48	44	43	42	56
48	38	34	36	32	29	41	38	4	58	64	62	64	55	58	54	52	45	48	38	3	31	32	33
28	38	34	4	41	38	4	38	47	58	69	66	73	65	67	58	55	54	48	64	44	39	34	27
33	36	46	39	41	34	33	36	46	47	56	7	66	71	78	64	68	62	82	4	58	52	46	38
34	3	32	42	3	26	33	32	42	48	49	56	62	66	66	66	68	67	54	54	51	48	44	46
36	32	44	36	41	28	31	3	32	44	5	54	6	6	6	6	58	5	48	32	28	23	2	2
18	18	17	18	14	09	06	18	38	38	4	46	58	56	56	68	64	64	52	38	34	29	23	14
1	08	08	1	07	06	13	12	14	3	6	62	66	68	64	79	7	62	52	38	26	21	15	15
18	2	18	16	32	25	22	26	25	48	6	67	68	68	68	66	6	58	59	46	38	38	38	28
34	4	38	44	38	4	32	28	38	6	55	68	72	62	73	64	52	6	59	52	32	31	3	38
38	38	32	26	37	4	4	47	46	5	58	56	64	64	7	62	52	52	56	48	38	35	31	4
58	56	4	37	37	44	59	64	64	63	79	77	72	81	63	76	81	74	56	44	32	37	42	48
42	44	42	56	52	52	39	48	56	58	7	92	79	76	83	78	72	56	41	3	3	29	28	31
31	27	25	25	28	26	32	27	32	48	56	62	68	72	63	7	62	5	48	36	28	28	27	26
24	37	37	44	46	45	32	46	51	52	62	61	6	74	67	64	59	7	62	5	58	59	59	52
56	56	54	48	53	62	61	63	74	9	75	62	9	7	65	62	62	54	5	52	54	56	58	58
62	62	62	52	54	48	54	54	6	58	67	56	62	64	58	74	78	54	62	46	39	35	31	41
48	5	55	5	53	49	52	5	48	53	62	79	74	84	8	73	68	62	42	53	51	49	32	32

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
28	18	25	26	4	39	45	53	5	52	53	5	43	46	37	48	38	27	18	14	24	40	36	36
36	35	38	38	28	3	25	48	54	61	58	41	5	46	46	44	43	44	32	39	45	38	29	3
22	08	0	08	27	19	3	4	42	2	44	59	5	44	37	31	47	36	17	12	08	08	0	0
0	08	08	08	08	1	0	25	38	46	48	44	43	49	66	62	64	49	56	42	37	28	41	32
08	06	0	06	1	1	22	34	5	56	6	54	6	62	43	6	62	56	56	7	06	30	3	22
0	06	1	09	12	1	14	12	12	14	13	16	18	21	5	66	56	38	32	38	46	43	38	24
38	38	4	38	45	48	5	44	48	39	35	43	78	86	83	68	52	46	53	35	2	00	0	0
0	0	0	1	35	43	23	06	08	0	0	12	4	63	7	6	51	44	35	25	14	12	0	0
1	0	14	4	45	5	49	4	43	36	32	27	18	26	44	44	40	43	33	4	28	14	0	0
0	0	1	12	12	14	14	16	15	15	18	15	17	13	18	54	8	58	49	26	31	46	4	26
16	0	06	08	13	32	26	17	0	1	14	0	08	0	08	45	52	32	48	46	4	40	36	38
13	17	32	28	28	35	34	11	12	08	06	0	16	41	46	44	48	52	36	49	46	42	27	1
08	0	0	0	0	08	08	0	06	0	06	14	36	46	45	42	44	47	4	4	38	33	18	06
12	19	22	2	0	0	0	13	12	12	0	0	0	18	44	46	4	38	4	41	3	33	3	2
32	24	4	42	4	38	26	3	32	35	35	48	6	62	59	62	66	7	74	38	24	32	26	26
25	18	06	0	08	08	08	12	36	52	52	5	5	45	54	7	8	64	42	34	36	40	27	12
11	1	0	12	22	29	2	34	47	42	4	45	44	5	39	44	46	42	38	34	32	28	15	07
07	1	11	11	12	12	12	16	19	17	18	17	2	13	3	4	35	35	3	42	5	38	37	28
26	18	12	06	0	0	06	0	12	0	11	12	14	1	33	84	6	54	52	48	46	45	32	18
07	08	1	1	12	14	14	16	14	15	17	17	12	07	32	45	54	66	75	7	8	103	76	56
64	47	38	38	41	58	22	32	24	34	4	48	57	56	58	66	64	58	55	64	63	56	5	34
2	29	17	12	1	06	09	08	0	08	08	0	11	27	52	62	54	45	5	43	5	43	8	41
28	4	46	42	38	24	14	06	34	18	18	08	12	41	62	62	64	55	58	66	71	49	34	2
0	08	12	0	0	06	11	0	0	07	0	0	0	0	25	34	58	54	82	56	7	68	52	38
36	12	34	16	24	37	38	38	31	33	17	17	21	18	36	53	66	56	5	7	64	50	52	3
4	38	29	34	32	22	26	12	13	0	0	0	08	07	1	33	51	58	54	46	58	67	52	48
52	5	48	4	35	35	14	38	34	23	22	28	27	44	5	87	7	66	66	58	66	49	44	18
0	07	12	12	12	14	14	2	21	14	15	06	12	06	28	44	47	47	64	7	78	76	62	8
42	38	18	18	08	08	08	12	14	19	06	11	13	08	17	48	57	65	78	72	76	77	7	53
38	32	15	08	0	08	1	1	0	0	06	08	0	0	27	46	54	57	64	77	66	63	58	38
31	33	25	32	14	0	0	07	1	09	07	0	06	14	13	38	5	6	62	72	73	69	69	62

0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
44	38	32	3	22	1	07	12	3	41	48	58	56	48	49	45	44	4	17	22	3	3	14	0
0	0	06	0	0	07	0	18	39	39	44	45	5	47	42	38	42	3	34	4	4	22	19	25
19	17	2	14	2	28	35	37	38	47	52	58	56	57	53	5	49	38	37	2	06	0	06	0
1	0	0	0	0	1	15	4	5	62	77	48	54	54	4	42	42	31	17	0	0	0	1	14
13	15	16	22	23	26	23	2	12	2	42	5	62	46	46	46	64	3	3	3	27	24	07	27
13	14	16	08	0	0	32	48	84	81	69	54	75	56	62	48	5	34	17	11	09	0	0	0
2	22	0	06	13	28	38	48	84	62	62	32	51	7	62	36	28	1	0	0	0			

	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
02	1.5	1.7	2.2	2.3	2.5	2.8	2.4	1.6	2.6	5.2	6	5.8	8.4	7.3	5.3	4.2	5.9	5	4.4	3.1	3.5	3.1	1.5	0.7
02	0	0.15	2.6	3	3.2	2.2	0.9	2.8	4.8	5.6	6.5	5.6	6.3	5.6	7.1	4.2	3.2	4.3	4	3.6	2.7	1.5	1	0.3
02	0	0	0.7	0.8	0	0	0	2.2	4.7	5	4.2	5.2	5.4	5.2	2.8	2.3	2.6	2.5	2.6	1.6	0	1.1	3.4	1.3
02	1.3	1.8	1.7	1.5	4.8	7.2	0	2	2.7	0	0	2.8	2.8	3.4	4.8	3.4	2.1	2.4	2.1	0.8	1	0.9	0.8	1.1
02	1.3	1.3	1.3	0.8	0.8	1.4	1.7	3.8	5.1	6.6	7.2	7.4	7.8	8.5	8.3	6.9	5.8	5.5	4	3.2	3	2.9	0.8	0
02	0	0	0.8	1.2	1	0	1.5	3.8	4.9	6.4	6.7	7.5	6.9	7.9	5.4	4.2	4.2	3.5	4.8	4.7	5.4	4.2	3.2	4.5
02	3.3	3.2	4	5.1	6.1	8	4.4	5.6	8	6.3	6.2	6	5.1	3.8	3.6	3.3	1.7	0	0	0.8	0	0.0	1	0.8
02	0	0	0	0	0	0	0	0.7	4	6.1	4.8	4.2	5.2	5.4	6.4	5.4	3.3	2.5	2.4	2.4	0.7	1.0	0	0
02	0	0.6	0	0.8	0	1.1	2.4	2.8	5.3	6.2	5	5.3	5.1	4.5	4.4	4	3.8	3	3.8	2.9	0.6	1.0	1	0.6
02	1.4	1.2	2.1	2.8	2.4	2	1.4	2.5	5.5	5.4	6.1	6.5	6.2	5.8	5	3.8	2.9	4.6	3.9	4.3	3.6	3.5	2.8	3.6
02	3.4	3.2	1.3	1	0	3.5	4	4.4	5.4	4.8	4	4.8	5.9	5.7	4.1	4.2	3.8	3.6	2.6	2.8	3	3.4	3.4	3.8
02	4.8	4.9	3.4	1.7	0	3.4	4.1	4	4.8	6.8	8.1	6.8	5.4	4.4	5.7	6.2	4.8	4.3	5	3.6	3.4	3.8	2.8	3.8
02	2.8	3.2	2.5	2.8	2.8	2.2	2	3.9	4.4	6.4	5.5	5.3	5.2	3.8	3.6	3.2	2.6	1.6	0.8	0.7	0	0.0	0	0
02	0	0	0.6	0.8	2.4	5.3	5.8	5.8	6.2	6.2	4.5	4.8	4.8	5.4	3.7	4.2	2	0.8	0.6	0.8	1.5	1.7	1.5	2
02	2	2	2.3	2.6	1.8	1.7	4.7	7	7	6	8.5	7.9	7.8	6.7	5	4.5	5.2	5.4	1.6	0.8	0.6	2.0	1.7	1.3
02	1	0.6	0	0	0	0.9	2.8	3.9	4.1	4.2	4.3	4	3.6	3.8	4.4	4.5	4.4	3.1	3	0	0	0.0	0.7	0.6
02	1.2	0	0	0	2.4	3.6	3.8	4.6	3.5	4.8	4.8	6.2	4.3	4.1	4	4	3.4	3.9	2.8	0.7	0	0.8	1.1	1.2
02	0.6	0	0	1.3	3.6	4.6	5.6	8	7.6	8.9	7.6	7.3	5.4	4.8	3.8	2.7	0.6	0	0.6	0.8	0.7	1.0	1.2	0
02	0.8	0	0.8	0.8	3.9	4.2	5.4	6.8	6.6	7	7.2	6.8	7.1	6.4	5.1	4.6	3.6	4.2	1.8	0	0	0.8	0	0.8
02	0	0	0	1.8	2.4	4	6.2	4.8	5.2	6.1	5.5	6.2	8	7.1	6.2	5	4.3	3.2	2.6	1.4	0.7	0.0	0	0.6
02	1	1.4	0	0	0	1.3	2.8	3.8	5	5.8	5.8	6.2	5	4.6	3.4	2.7	2	1.6	2	1	0	0.8	0.8	1.3
02	1.6	1.4	0.8	0.8	2.8	4.4	5.9	6.7	6.2	7.1	8.8	5.9	5.4	4.3	4.1	3.2	2.9	0.8	0	1	2.4	1.5	0.8	1.2
02	1.9	0.6	0.8	1.8	2.2	3.4	4.8	6.3	7.2	7.7	7.3	6.6	5.4	3.9	3.1	1.5	0	0.7	2.2	2.2	1	0.0	0	0.8
02	0.8	1.2	1.9	1.6	1.8	2.2	3.4	3.4	5.4	8.4	7.4	5.8	3.8	1.4	0.7	0	0	0	0.8	0.8	1	2.0	4.2	3
02	1	1	1.2	0.8	0.6	1.2	1.9	0.8	2.2	3.8	5	3.8	1.4	1.6	1	0.7	1	0.8	0	0.8	1.1	0.0	0.8	1.2
02	0.8	1	1	1	1.4	5.8	5.9	6.4	6.6	6.3	5.2	3	0.9	1.4	1	1.3	1	1	0.6	0.6	0	0.8	0.7	0
02	0	0.8	1.8	1.1	0	1.1	3.8	5.4	5.4	5.1	5	4.7	5.4	2.7	0.9	1.6	1.1	2.8	1.5	1.9	0.6	0.0	0	0.7
02	0	0.8	0.8	0.8	2	3.9	5	6.4	6.8	7	6.8	4.4	2.5	2.7	2.6	1.8	1.7	2	1.9	1.4	1.3	1.7	0	0
02	1.6	2	1.4	1	1.6	3.2	3.2	3.6	3.9	5	5.2	6.2	3.2	2.3	1.6	0	0	0.6	0.6	0	0.6	0.8	0	0
02	0.4	0	0	0	0	1.2	3.8	4.8	3.7	5.4	6.4	5.3	3.6	1.5	2.1	2.7	1.4	0	0	0	0.8	0.6	1.3	1
02	0.9	0	0	0	0	1.2	3	4.1	4.4	4.7	5.2	6.7	6.3	5.2	3.4	1.8	0	0.8	1	0.9	0.8	0.0	0	1

	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
02	0	0	0	1.4	2.8	2.2	5	5.7	4.8	6.2	5.2	7	6.2	7.4	6.2	5.8	4.3	3.7	2.8	2.8	2.7	0.9	0.7	0.6
02	0.8	0.7	0	0.6	0.8	2.9	5	6.2	6.2	6.2	6.8	6.2	7.4	6.4	5.4	3.2	1.8	2.4	0	0	0	0	0.6	1.3
02	0	0	1.2	2.2	1.9	1.4	2.8	4	5.2	6	7	7.7	7.3	5.3	4.1	1	1.1	0	0.6	1	0	1	0	0
02	1.1	1.8	2.6	2.2	0	1.9	4	4.4	5.8	7.2	6.4	7.3	5.9	5	3.6	1.8	1.9	1.7	0	1.2	2.4	3.1	3	2.9
02	2.4	2.8	1.4	1.6	2.8	2.7	2.2	0	1.1	1	1.8	3.2	2.4	2.2	2.5	4.6	5.2	4	4.2	2.8	0.7	1.8	2.6	2.8
02	1.4	1.6	4.1	4	3.8	3.2	2.5	1.4	1.3	4.2	5.7	4.4	3.7	4.4	4.1	3.7	4.1	3.4	2.4	2.8	1.8	1.4	0	0
02	0	0.7	0	0	0.5	0	0	1.9	2.4	2.5	3.2	4.6	5.8	8.3	7.6	6.2	4.9	3.6	2.6	1.2	0.7	0.8	1.2	1.8
02	1.6	1.2	0	1	1.3	1.5	1.5	1.2	3.1	6.3	6.2	8	9	7.7	7.4	7.2	6.5	5	5	4	4.6	3.4	2.6	1.2
02	1.4	1.1	0.6	0	1.4	1.2	0	2.6	3.9	4.8	5.2	6.8	7.5	7.6	7.8	7	6.4	5.7	5.4	4.2	3	0.6	1.4	0.6
02	0	0	1.8	2.3	2.6	4	1	1	1.8	2	5.4	4.9	5.7	6.8	7.2	6	5.8	6	5.8	5.4	4.1	5.6	3.2	3
02	1	0.6	2.6	0.6	0	0.6	0	0.6	2.4	4.6	6	6.4	6.4	4.9	2.4	1	1.1	2	2.4	2.7	1.9	1.2	0.8	0
02	0.8	0.9	0	0	0	0	0	0.8	4.3	4.6	4.7	4.7	5.2	5.9	5.8	5.3	5.5	4.8	4.8	4	4.1	4.4	2.6	2.4
02	2.4	2.5	2	1.4	2.8	1.8	1.6	1	2.2	3.7	4.6	6.2	6.6	5.5	5	5.4	4.4	3.2	3.1	1.1	0	0.8	0.9	1.4
02	0.8	0.8	0.6	1	1	1.2	0	0	3.2	4.4	4.6	5.6	5.8	7.8	6.2	7.8	6.8	4.7	2.8	0.8	0.8	0.6	0	0
02	0	0	0.8	0	0	3.4	3.9	3.6	4.2	5.6	5.1	5.4	5	5	5.7	6.2	6.3	5.4	5.4	4.4	3.1	3.9	3.1	3
02	3	3.2	3.8	4	4.2	4	3.8	5	6.2	6	7	6.4	6	6.3	5.3	5.2	6.2	6.4	5.1	4.6	5	4.4	4.5	3.6
02	2	2.2	0.9	0.8	0	1.3	1.3	3.5	3.4	4.4	5	6.2	7.5	3.5	5	4.6	4.4	3.7	1.1	1	0.8	0.9	1.2	1.4
02	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1	0.7	0.9	2.2	4.6	5.5	5.8	5.9	5.6	5.2	6.4	5.3	4.2	5.2	3	1.4	0	0.6
02	0.6	0	0.8	1	0.6	0	0.8	1	2.8	1	3.5	6.2	6	4.9	6.2	6.2	7	6	4.8	4.8	4.1	2.8	1.3	1.4
02	0.8	0	0	0	0	0.6	0	0.8	0	2.6	3.6	4.4	5.5	5.6	6	5.2	4.4	4.3	3.2	2.2	1.6	1.8	1.2	0
02	0.9	0	0.6	0	0	1.4	2.8	2.8	3.4	4.7	5.5	6.2	5	4.6	4.6	4.4	4.6	5	4	3.7	4.4	5.1	3.7	4.2
02	5.6	4.4	4	3.9	4.4	3	3.2	4.7	4.6	4.2	4.6	4.8	4.9	4.6	4.6	4.8	2.8	1.9	1.4	2.4	3.2	3.8	3.2	2
02	1.3	1.4	0	0.7	1.1	1.2	1	0	0	1.8	1.9	3.1	1.8	0	2.1	2.9	2.4	1.4	0.6	1.1	0.7	1.4	1.5	1.4
02	1.8	1.9	1.7	2.4	2.7	2.4	2.6	2.6	2.5	1.8	1.8	5.8	5.8	5.3	6.2	5.4	4.4	3.8	2.1	1.6	0.6	1.2	1.3	1.3
02	1.8	1.5	1.6	1.9	2.2	2.1	2.4	2.7	2.4	1.4	3.7	5.5	6.8	4.8	5.2	6	6.8	5.6	4.7	3.2	3.2	4	1.8	0.8
02	0	0.9	0.8	0.7	1.2	0	0	0	0	1.4	4.1	3.9	5.5	5.6	6.2	5.7	5.2	4.5	4.7	4.5	3.4	3.1	3.6	3.2
02	2.2	2.2	1.4	1	2.1	1.4	3.9	4.5	4.4	5	6.2	6.4	6.4	5.4	4.7	4.2	4.1	3.2	3.8	3.4	3.6	3.6	3.9	3.6
02	4.2	3.8	3.8	4.4	4.7	4.4	4.8	5.4	7	8.4	5	6.2	5	6.6	4.9	5.2	5.4	4.5	3.4	2.8	2	1.4	1.4	0.8
02	0	0.6	0	0	0	2	2.4	1.6	3.4	3.4	4.2	5.1	6.2	7	6.4	6.6	5.8	4.8	3.7	3.9	3.7	3.6	3.6	1.4
02	1.2	1	1.2	1.8	1.4	2.7	3	3.1	2.8	3.2	4.4	4.5	5.4	4.5	4.6	6.2	6.7	6.2	7.2	5	3.7	3.2	2.1	2.4

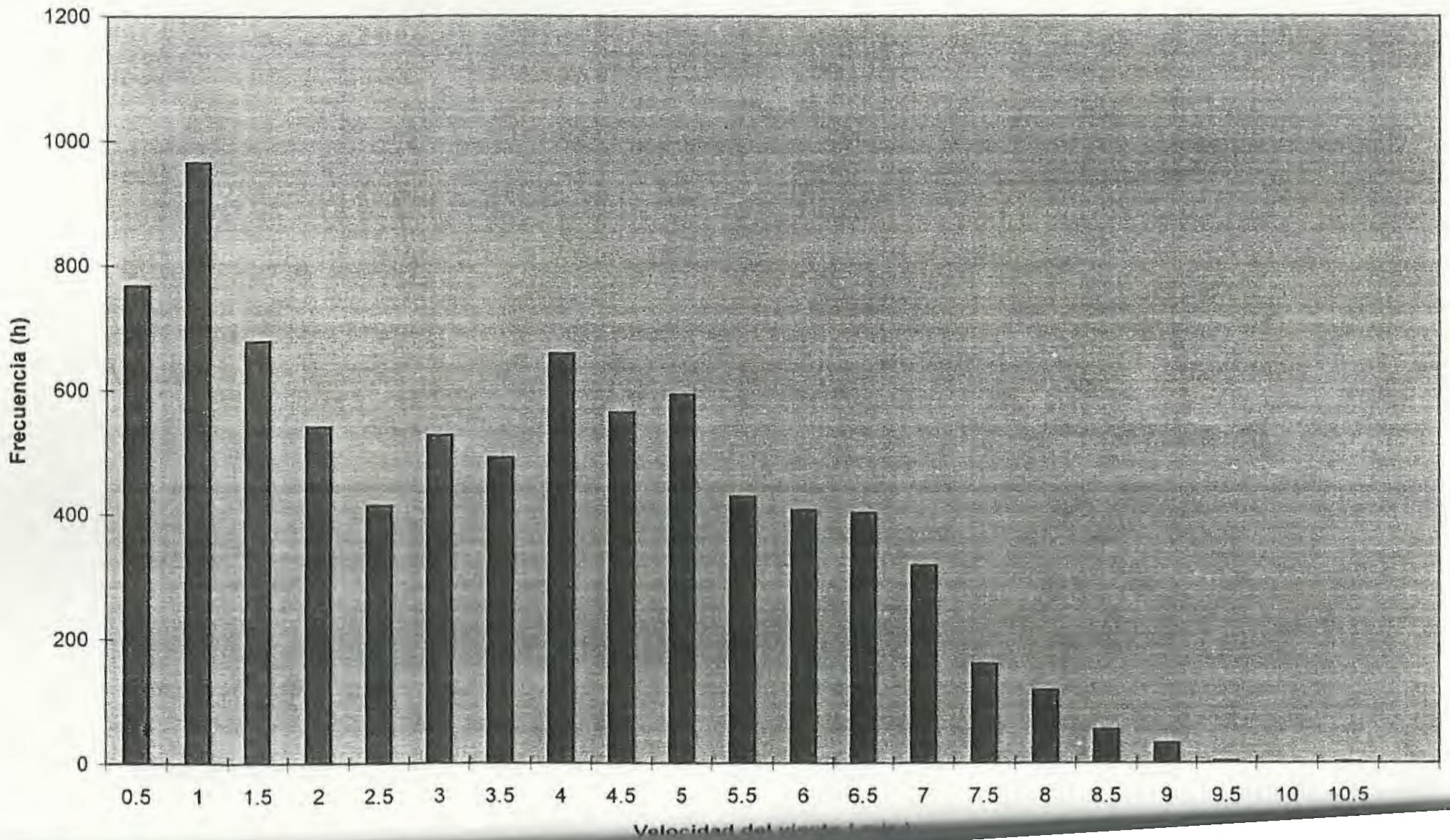
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----

APÉNDICE D

DISTRIBUCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO. AGOYÁN 2002



Distribución de la velocidad del viento. Agoyán 2002



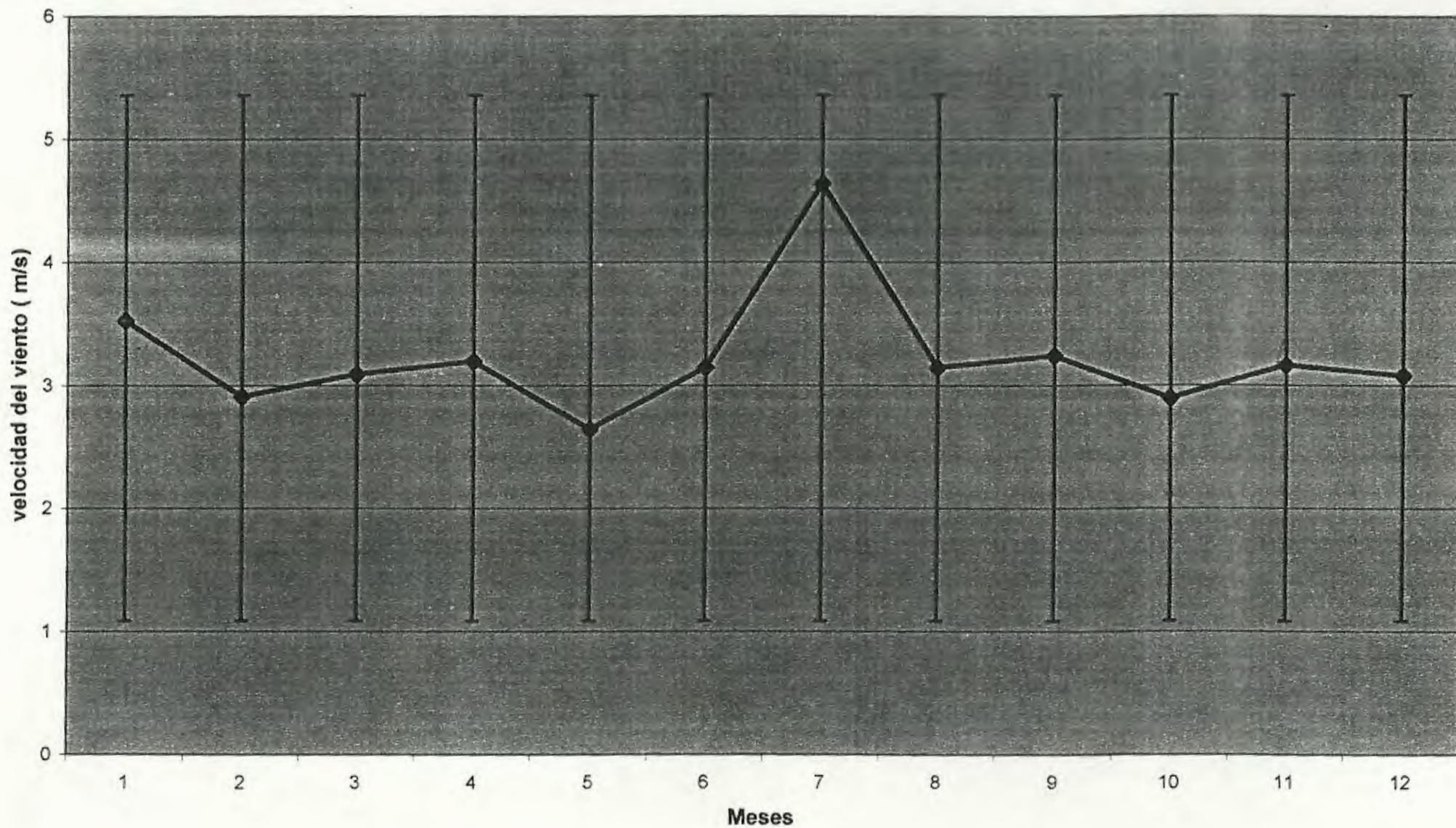
APÉNDICE E

TENDENCIA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO. AGOYÁN 2002



Agoyán 2002

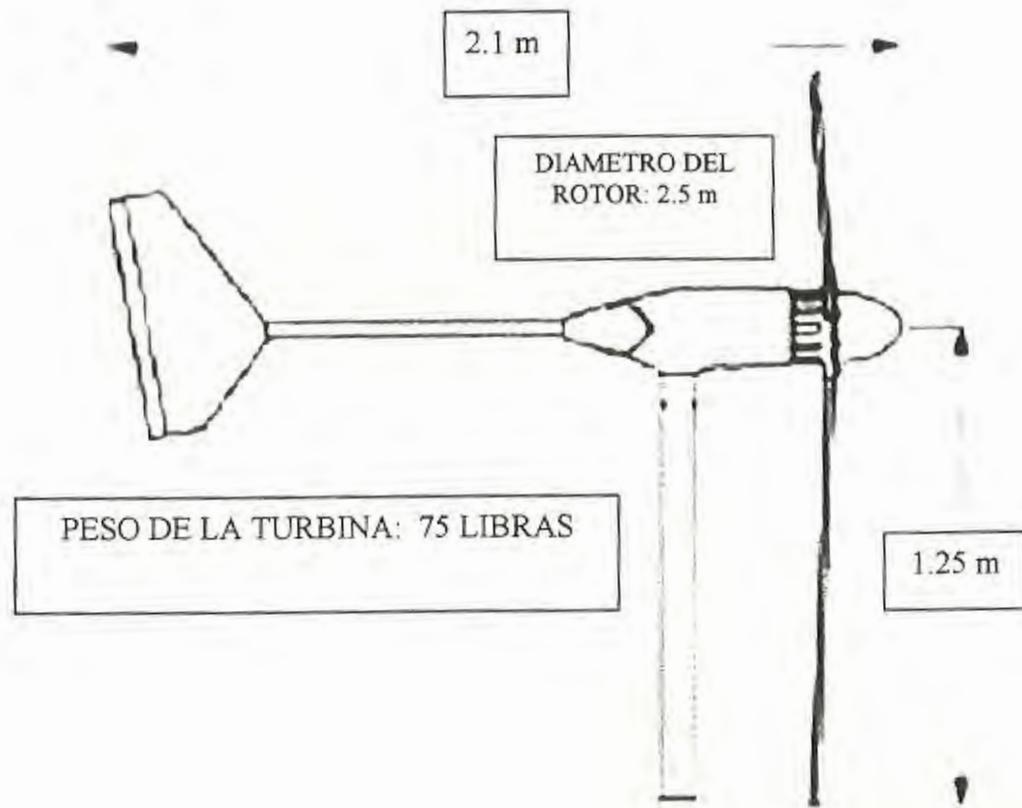
—◆— Velocidad media. Velocidad media anual : 3.22 — Desviación estandar media: 2.16



APÉNDICE F

DIMENSIONES DEL AEROGENERADOR XL.1





DIMENSIONES DEL AEROGENERADOR XL.1

APÉNDICE G

DISPOSICIÓN DEL AEROGENERADOR XL.1 CON RESPECTO A LOS
PARÁMETROS INVOLUCRADOS

RÍO AGOYÁN

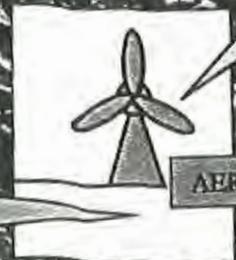
CARRETERA. VÍA AL PUYO →

DISPENSARIO

CASETA

ESTADIO J. SILVA

COLINA DONDE SE ENCUENTRA LA ESTACIÓN DEL INAMHI



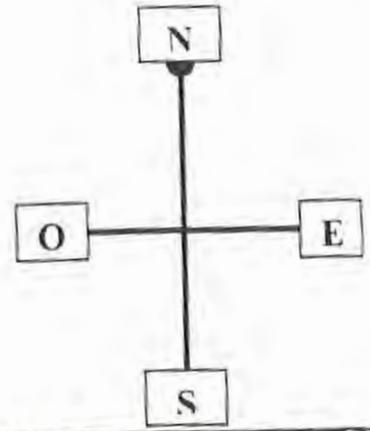
AEROGENERADOR XL 1

ANEMÓMETRO TOTALIZADOR. OFICINAS C. H AGOYÁN

DISTANCIA: 1 Km
DIFERENCIA DE ALTURA APROXIMADA: 5 m

DIRECCIÓN DEL VIENTO DOMINANTE

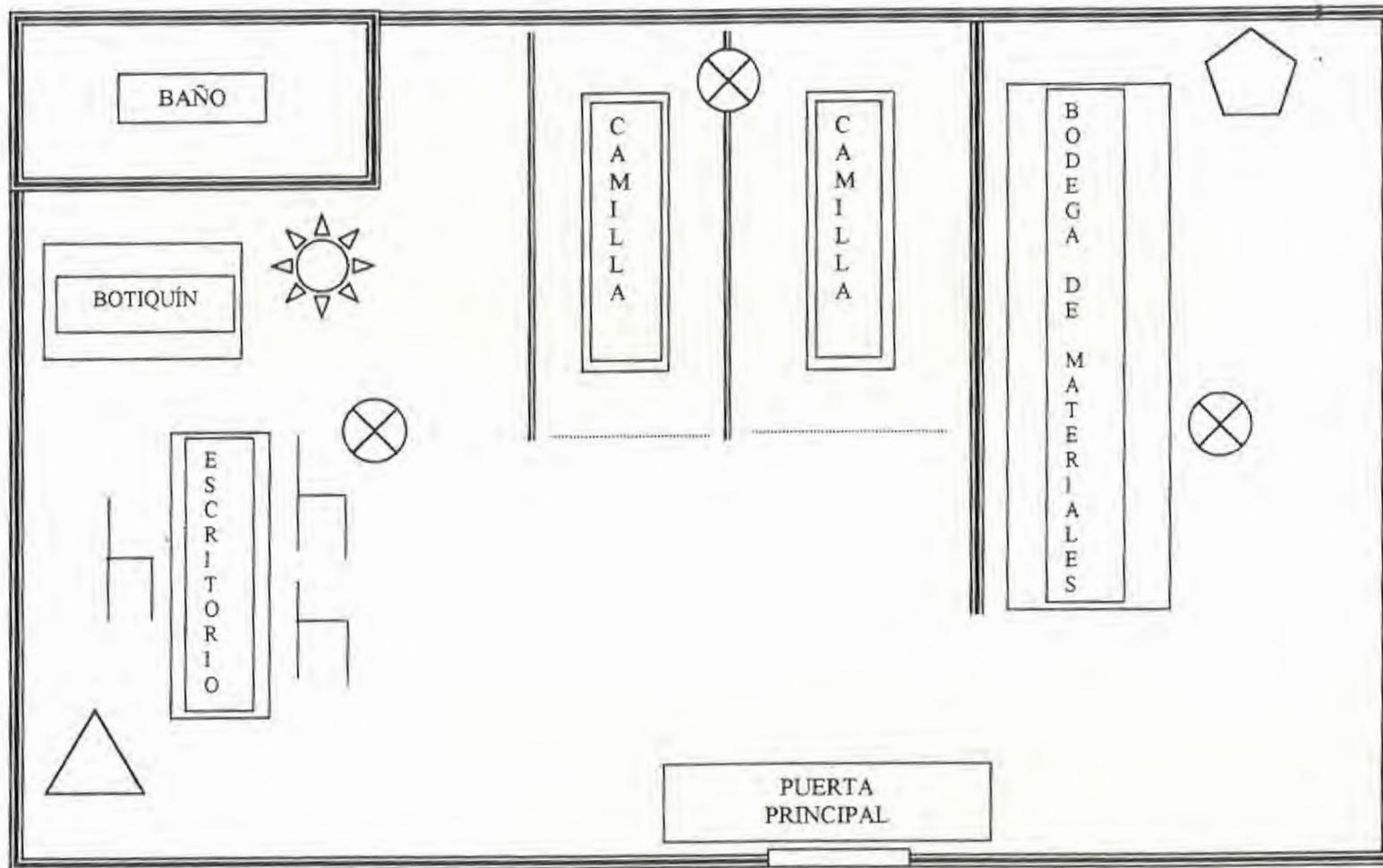
DISTANCIA: 70 m
DIFERENCIA DE ALTURA CON RESPECTO A LA BASE: 25 m



APÉNDICE H

DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS DENTRO DEL
DISPENSARIO

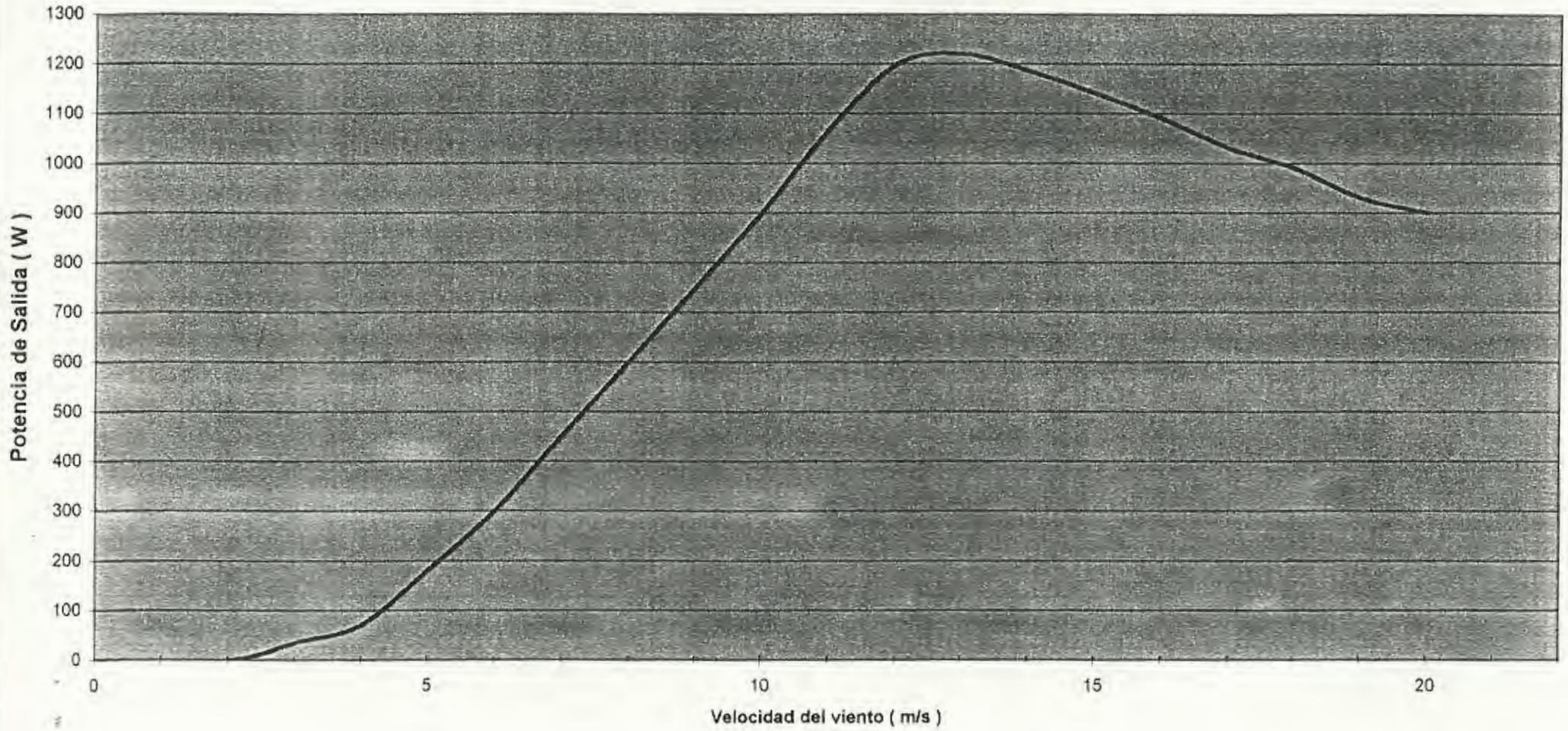




APÉNDICE I

CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR XL.1

Curva de Potencia del aerogenerador XL.1

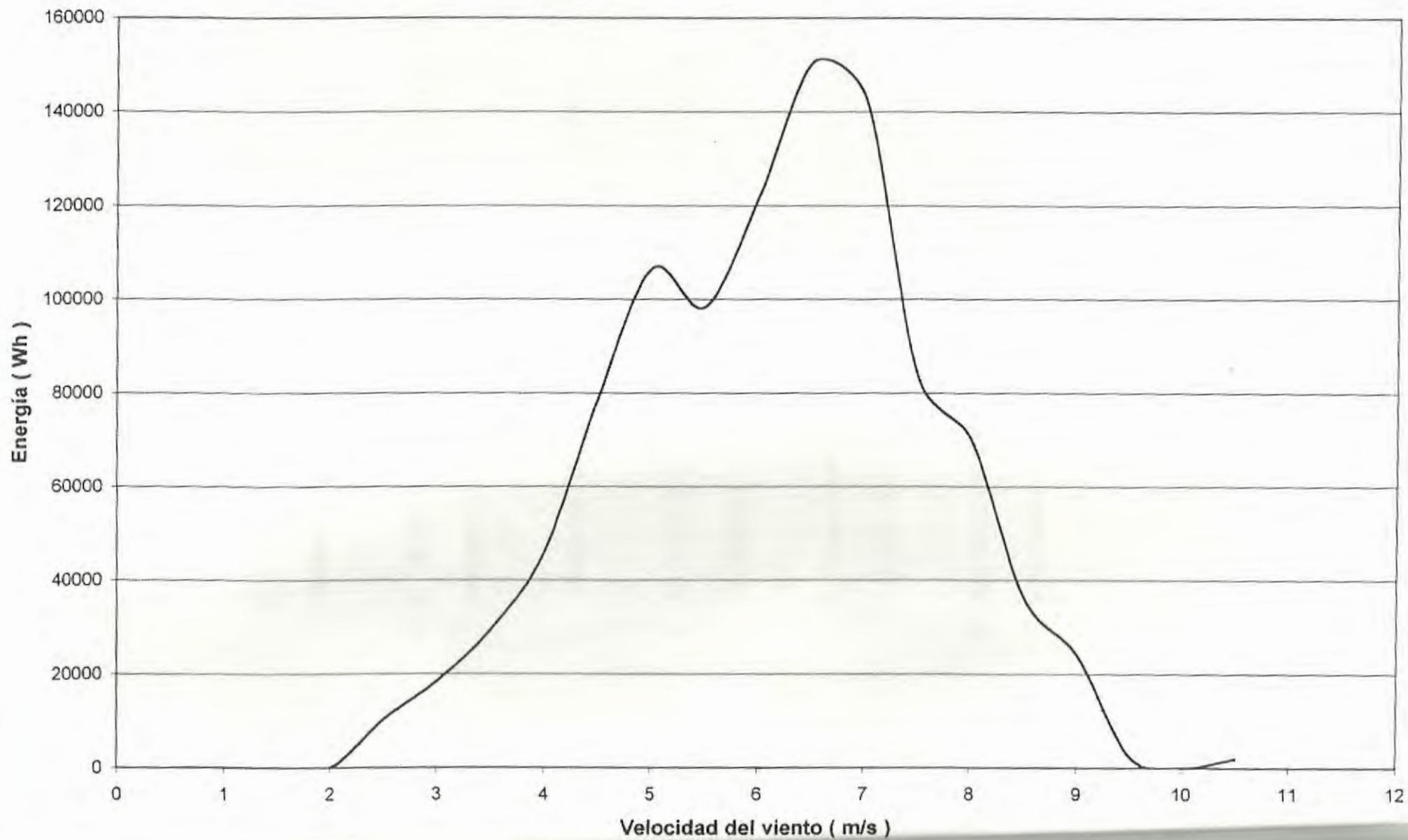


APÉNDICE J

PRODUCCIÓN ANUAL DE ENERGÍA. AGOYÁN 2002



Curva de producción anual de energía



BIBLIOGRAFÍA

1. PAUL GIPE, *Energía Eólica Práctica*, Primera edición en lengua castellana, Editorial Progensa, 2000.
2. D. LE GOURIERES, *Energía Eólica*, Primera edición en lengua castellana, Barcelona, España, 1983.
3. DAVID SUTTON, *Fundamentos de Ecología*, Editorial Limusa.
4. ASOCIACIÓN AMERICANA DE LA ENERGÍA EÓLICA,
www.awea.org.
5. ASOCIACIÓN EUROPEA DE LA ENERGÍA EÓLICA,
www.ewea.org
6. ASOCIACIÓN DANESA DE LA INDUSTRIA EÓLICA,
www.windpower.dk.

