



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela Ingeniería Civil Mecánica

“PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN DE LA ISLA QUENU UTILIZANDO ENERGIA EÓLICA”

Trabajo para optar al Título de:
Ingeniero Mecánico

Profesor Patrocinante:
Sr. Claudio Bastidas Cumián
Ingeniero Mecánico
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería
Diplomado en Ingeniería Especialidad en Mecánica

BRIGIDA CRISTINA VELÁSQUEZ SOLIS
VALDIVIA - CHILE
2007

El Profesor Patrocinante y Profesores Informantes del Trabajo de Titulación comunican al Director de la Escuela de Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Trabajo de Titulación de la señorita:

BRIGIDA CRISTINA VELASQUEZ SOLIS

Ha sido aprobada en el examen de defensa rendido el día _____ como requisito para optar al Título de Ingeniero Mecánico. Y, para que así conste para todos los efectos firman:

Profesor Patrocinante:

Ing. Mecánico Sr. Claudio Bastidas C. _____

Profesores Informantes:

Ing. Mecánico Sr. Crispín Noriega F. _____

Ing. Mecánico Sr. Luís Cárdenas G. _____

V^oB^o Director de Escuela

I. C. Mecánico Sr. Milton Lemarie O. _____

Agradecimientos

*A mi madre, Doris, y mis hermanos, Lula, Mamo y Marcelita
por el apoyo y amor incondicional
que siempre me han brindado.*

A mi padre, Armando, porque nunca es tarde...

*A mi segunda casa, el Hogar Licarayén,
porque gracias a ese lugar encontré a mis mejores amigas
y a personas que nunca olvidaré,
Anita, Odette, Daniela, Jeannette, Soledad
y todas mis niñas de la Pieza 5
Gracias por todo el apoyo y la alegría.*

*A mis amigos del glorioso pabellón C,
Cachito, Héctor y Chumito,
por las buenas vibras de siempre.*

*A mi familia de Calbuco,
por el apoyo y cariño que me han dado en todos estos años.*

A todos quienes hicieron posible el desarrollo de esta tesis.

Que Dios los bendiga

Muchas gracias.

Dedicatoria

*A mi mamita, Doris,
por todo el esfuerzo que has hecho
en sacarnos adelante.*

Te amo y te agradezco la vida entera.

Ahora me toca a mí...

Índice de contenidos

Contenido	Página
Resumen	1
Summary	2
Introducción	3
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Metodología	5
Capítulo I: Generalidades de la energía eólica	6
1.1 Las fuentes energéticas	7
1.1.1 Energías renovables	7
1.2 Energía eólica	8
1.2.1 El viento como fuente de energía	9
1.2.2 Energía aprovechable del viento	10
1.2.3 Ley de Betz	12
1.3 Las máquinas eólicas	13
1.3.1 Los sistemas eólicos	15
1.4 Recurso eólico en Chile	16
Capítulo II: Introducción al proyecto	20
2.1 Situación geográfica	21
2.2 Situación topográfica	22
2.3 Situación climática	24
2.4 Situación social	24
2.5 Programa Nacional de Electrificación Rural (PER)	28

2.5.1 Proyecto CHI/00/G32	31
Capítulo III: Desarrollo del Proyecto	35
3.1 Análisis de datos de vientos	36
3.1.1 Dirección del viento	38
3.1.2 Distribución de frecuencia de velocidad	39
3.1.3 Variaciones y desviación estándar del viento	43
3.1.4 Densidad de potencia	46
3.2 Lugares factibles para la instalación	49
3.2.1 Selección del lugar	53
3.3 Altura final de la torre eólica	56
3.3.1 Características del viento a 40 metros de altura	60
3.4 Estimación del consumo total	64
Capítulo IV: Diseño de la central eólica	68
4.1 Fundamentos de diseño	69
4.1.1 Aerogenerador tripala	72
4.1.2 Generador diesel	75
4.1.3 Acumuladores de energía	76
4.2 Evaluación ambiental	77
4.3 Elección de componentes de central por selección	81
Capítulo V: Evaluación técnica y económica del proyecto	87
5.1 Evaluación técnica	88
5.2 Evaluación económica	94
5.3 Financiamiento	96
6. Conclusiones	98
7. Bibliografía	101
8. Anexos	105

Índice de figuras

Figura	Página
Figura Nº 1. <i>Aerogenerador a barlovento y a sotavento</i>	13
Figura Nº 2. <i>Sistema eólico de baja potencia con acumulación de baterías</i>	15
Figura Nº 3. <i>Capacidad eléctrica instalada 2005</i>	16
Figura Nº 4. <i>Proyecto eólico – diesel construido en Isla Tac</i>	18
Figura Nº 5. <i>Ubicación geográfica de Isla Quenu</i>	21
Figura Nº 6. <i>a) Paisaje típico de la zona. b) Arrayanes</i>	22
Figura Nº 7. <i>Detalles topográficos de Isla Quenu</i>	23
Figura Nº 8. <i>Viviendas de la Isla Quenu</i>	25
Figura Nº 9. <i>Escuela rural Quenu, profesor y alumnos</i>	26
Figura Nº 10. <i>Capilla y cementerio</i>	26
Figura Nº 11. <i>Situación electrificación rural inicio de 2006</i>	30
Figura Nº 12. <i>Ubicación de la estación de monitoreo</i>	37
Figura Nº 13. <i>Rosa de los vientos</i>	38
Figura Nº 14. <i>Promedios de velocidad de viento año 2003</i>	39
Figura Nº 15. <i>Ejemplo de curva distribución de Weibull</i>	41
Figura Nº 16. <i>Distribución de velocidad</i>	42
Figura Nº 17. <i>Velocidad de viento promedio diaria</i>	43
Figura Nº 18. <i>Ubicación del lugar cercano a la capilla</i>	50
Figura Nº 19. <i>Ubicación de las cuatro puntas de la isla</i>	51

Figura N° 20. <i>Vista de la punta Rumén y Huechuquenu</i>	51
Figura N° 21. <i>Ubicación de parcela</i>	52
Figura N° 22. <i>Lugar seleccionado para instalar central eólica</i>	55
Figura N° 23. <i>Velocidad de viento a 40 metros</i>	58
Figura N° 24. <i>Densidad de potencia a 40 metros</i>	59
Figura N° 25. <i>Comparación de velocidad de viento</i>	60
Figura N° 26. <i>Velocidad de viento diaria a 40 metros</i>	61
Figura N° 27. <i>Comparación de velocidad promedio diaria</i>	62
Figura N° 28. <i>Comparación de densidad de potencia</i>	63
Figura N° 29. <i>Gráfico de ciclo diario de consumo de energía</i>	65
Figura N° 30. <i>Disposición de central eólica - diesel de Isla Tac</i>	71
Figura N° 31. <i>Componentes principales de un aerogenerador</i>	73
Figura N° 32. <i>Turbina eólica Bergey Excel</i>	82
Figura N° 33. <i>Torre ventada con base triangular</i>	85
Figura N° 34. <i>Diagrama de central híbrida eólica – diesel Isla Quenu</i>	86

Índice de tablas

Tabla	Página
Tabla Nº 1. <i>Valores de parámetros k y c de Weibull</i>	41
Tabla Nº 2. <i>Resumen de cantidad de horas de ocurrencia de velocidades</i>	45
Tabla Nº 3. <i>Velocidades promedio de viento por mes y densidad de potencia</i>	46
Tabla Nº 4. <i>Factor N desde Octubre de 2002 a Junio de 2003</i>	48
Tabla Nº 5. <i>Relación entre velocidad de viento y rugosidad de superficie</i>	57
Tabla Nº 6. <i>Valores de velocidad de viento y densidad de potencia a 40 metros de altura</i>	57
Tabla Nº 7. <i>Cuadro de consumos y potencia total de Isla Quenu</i>	66
Tabla Nº 8. <i>Impactos ambientales y medidas de un proyecto eólico</i>	79
Tabla Nº 9. <i>Inversiones físicas del proyecto</i>	92
Tabla Nº 10. <i>Periodo de recuperación de la inversión</i>	96

Resumen

La tesis que se presenta a continuación consiste en realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de electrificación de Isla Quenu utilizando energía eólica.

Para lograr este objetivo fue necesario desarrollar un proyecto de electrificación con energía eólica en combinación con un generador diesel, lo que da lugar a una central híbrida eólica – diesel en Isla Quenu. Para esto se realizaron viajes a la isla y se estimaron los consumos que se podrían generar en esta zona, tomando como referencias otras islas y lugares electrificados con energías renovables no convencionales.

Una vez desarrollado el proyecto y diseñada la central híbrida se realiza una evaluación técnica y económica para analizar la viabilidad del proyecto. El criterio de análisis económico utilizado es el PIR Período de Recuperación de la Inversión, con el cual es posible calcular el período en que se recupera la inversión inicial determinada para el proyecto de electrificación.

Como conclusión general se obtiene la rentabilidad positiva tanto técnica como económicamente del proyecto de electrificación de Isla Quenu, lo que puede ser reproducido en otros sectores rurales aislados del país que no cuentan con electricidad, con el fin de cubrir esta necesidad básica y aumentar la calidad de vida de sus habitantes.

Summary

The Thesis that will be introduced consists in a research about a technical and economic viability of electrification in Quenu Island using wind power.

To accomplish this, it was necessary to develop electrification project using wind power in combination with a diesel generator, which places a wind diesel hybrid power central in Quenu Island. To this purpose, research travels had to be done, in those researches to the island the consumptions that could be generated in this zone were estimated, taking into account other islands and electrified areas with non-conventional renewable energies.

When the project was developed and the hybrid central was designed, it is time for a technical and economic evaluation to analyze the project viability. The economic analysis criteria used is the PIR, Recovering Period of Investment, so that, it is possible to calculate the recovering period of the initial investment determined to the electrical project.

As a general conclusion, we can get a positive profitability either technical or economic of the electrification's project in Quenu Island which can be reproduced in other isolated rural areas of the country that don't have an electric system; all this, with the purpose of cover with this basic needs and improve the life quality of their inhabitants.

Introducción

En la actualidad, Chile es dependiente de países extranjeros en el suministro de combustibles fósiles, tales como gas y petróleo para producir electricidad. Por esta razón se están impulsando acciones para mejorar la política de seguridad energética con miras a diversificar la matriz energética, lograr mayor grado de autonomía y promover el uso eficiente de la energía.

Existen soluciones técnicas viables para autoabastecer Chile con el 100% de la energía requerida, a precios menores que los actuales, con recursos locales, renovables y limpios.

Una de estas acciones consiste en la promoción de proyectos de electrificación que utilizan energías renovables no convencionales, con el objetivo de aprovechar fuentes propias del país [6].

El recurso eólico en Chile no se ha estudiado en forma consistente, pero las condiciones de viento son favorables en la zona costera de las regiones X, XI y XII, donde se hace rentable su instalación y reemplazo de motores diesel.

La fortaleza de las energías renovables (solar, eólica o híbrida) está en representar soluciones eficientes para requerimientos puntuales y zonas remotas, siendo sus competidores directos el motor diesel y los combustibles o la extensión a la red versus una planta de autogeneración [22].

Con la implementación del proyecto de electrificación CHI/00/G32 se busca dinamizar el sector privado con miras a la creación de un mercado creciente para las energías renovables no convencionales y su aplicación en la electrificación rural, concienciar a la sociedad civil sobre los efectos negativos que la actividad humana puede provocar al sistema climático mundial y abrir vías a modelos de desarrollo que aboguen por mayor equidad, oportunidades de fortalecimiento de la sociedad en una escala local y un vínculo más estrecho entre el ser humano y la naturaleza (*Comisión Nacional de Energía*).

El fin último de la electrificación rural es contribuir a la superación de la pobreza, elevar la calidad de vida de los sectores rurales e integrarlos al proceso de desarrollo económico del país.

En este plano se realiza el proyecto de electrificación de Isla Quenu con energía eólica, con el objetivo de evaluar técnica y económicamente la electrificación a través de este recurso renovable no convencional.

Isla Quenu es una isla ubicada en la X región del país, la cual no cuenta con energía eléctrica. La alternativa más rentable desde el punto de vista técnico resulta la electrificación utilizando energías renovables con un respaldo diesel, la que será posible comprobar mediante una evaluación técnica y ratificar mediante una evaluación económica.

Este proyecto se enmarca dentro del proyecto CHI/00/G32, ya que busca dar solución a una comunidad que no cuenta con electricidad, lo que disminuye su calidad de vida.

Objetivo general

Realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de electrificación de la Isla Quenu utilizando energía eólica.

Objetivos específicos

- a. Recopilar información de consumos eléctricos requeridos por la Isla Quenu.
- b. Recopilar datos de velocidad de viento en la zona.
- c. Seleccionar una (s) turbina (s) eólica.
- d. Comparar los costos de electrificación de energía eólica con el Sistema Interconectado Central.

Metodología

- a. Solicitud de datos de la Isla Quenu a la Municipalidad de Calbuco.
- b. Visita a la comunidad en estudio.
- c. Recopilación de información y estimación de los consumos de los habitantes de la isla.
- d. Solicitud de datos de velocidad de vientos a la empresa encargada de mediciones.
- e. Investigación del comportamiento climatológico de la zona.
- f. Recopilación de datos de tipos de turbinas
- g. Selección de turbina (s) eólica (s)
- h. Diseño de la central eólica.
- i. Obtención de costos de instalación de la central eólica.
- j. Evaluación técnica y económica de la central diseñada.
- k. Comparación de costos obtenidos de la central eólica con los indicados en caso de conexión con el Sistema Interconectado Central.
- l. Evaluación de subsidios por parte del Estado y empresas extranjeras.

Capítulo I: Generalidades de la energía eólica

Es necesario conocer las características del viento antes de realizar un proyecto de electrificación con energía eólica, por esta razón se describe la energía obtenida del viento desde su origen como fuente energética hasta su utilización en máquinas eólicas.

En este capítulo se presenta una descripción del origen de la energía como una fuente energética y su clasificación como fuente primaria y secundaria. Además se caracteriza la energía renovable con sus ventajas frente a otras energías y sus diferentes factores de clasificación.

El principal punto de estudio de este capítulo es la energía eólica, ya que es la energía que se utiliza en capítulos posteriores para desarrollar el proyecto de electrificación. Se pueden apreciar las ventajas y desventajas de esta energía, y la evolución que ha tenido a lo largo de la historia. El viento se puede aprovechar para producir electricidad, calor o para bombear agua, para esto se requiere obtener cierta potencia, la cual está directamente influenciada por la velocidad del viento. La teoría de Betz demuestra la máxima potencia que se puede extraer de un flujo de aire.

Existen diferentes tipos de máquinas eólicas en el mercado, pero se diferencian de forma clara por la posición del eje, el que puede ser vertical u horizontal. Además están los sistemas eólicos que se clasifican según la potencia que son capaces de suministrar.

Finalmente se presentan algunos proyectos realizados en Chile y el aumento que exhibe la energía eólica dentro de la matriz energética del país, específicamente dentro del marco de desarrollo de la electrificación rural.

1.1 Las Fuentes energéticas

Las fuentes energéticas son aquellos recursos capaces de producir algún tipo de energía que se pueda consumir.

Estas fuentes se presentan como renovables y no renovables, y se clasifican en *primarias* y *secundarias*.

Las *fuentes primarias* son los recursos naturales que se encuentran disponibles en forma directa como por ejemplo la energía eólica y solar, o bien, en forma indirecta como lo son el petróleo o el gas natural, los cuales están precedidos de un proceso minero (extracción, producción).

En esta gama de fuentes energéticas se encuentran: petróleo crudo, gas natural, biomasa, carbón, hídrico, leña, energía nuclear, biogás, eólica, solar, geotérmica.

Por otro lado, las *fuentes energéticas secundarias* son los productos que resultan de una transformación o elaboración de fuentes primarias que pueden ser físicos, químicos o bioquímicos. En esta clase se tiene las siguientes fuentes: electricidad, derivados del petróleo, carbón mineral y gas manufacturado.

1.1.1 Energías renovables

Las energías renovables corresponden a la energía obtenida a partir de fuentes naturales capaces de regenerarse. Se caracterizan porque en sus procesos de transformación y utilidad de energía no se agotan a escala humana.

Esta clase de energía tiene disponibilidad garantizada y produce menor impacto ambiental que las energías no renovables.

La primera clasificación de estas energías se da por su origen:

1. Las no contaminantes (limpias). Las cuales no producen daño al medio ambiente. Se tiene: solar, eólica, hidráulica, mareomotriz, geotérmica.
2. Las contaminantes: se obtienen de la materia orgánica renovable a escala humana de origen vegetal, animal o derivado de la transformación natural o artificial de la misma. Esta energía recibe el nombre de biomasa. Su utilización es directamente como combustible o convertida en biodiesel o biogás.

Una segunda clasificación se da según el grado de desarrollo tecnológico utilizado para su utilización y de la introducción que presenta en los mercados competentes. Así se tiene:

1. Energías renovables convencionales: la más difundida es la hidráulica a gran escala.
2. Energías renovables no convencionales (ERNC): en esta clase se tiene la energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, algunos procesos de utilización de la biomasa y la energía hidráulica a pequeña escala.

1.2 Energía eólica

La energía eólica es la energía que posee el viento. Es una energía limpia, renovable no convencional y clasificada como primaria por su disponibilidad en forma directa. Este recurso energético da origen a una fuente energética secundaria tan importante como lo es la electricidad.

El término eólico proviene del latín Aeolicus, perteneciente a Eolo, Dios del viento en la mitología griega. La energía eólica ha sido utilizada desde tiempos remotos para mover barcos impulsados por velas o hacer funcionar el mecanismo de molinos utilizados para diferentes funciones.

Entre las ventajas que presenta esta fuente energética cabe destacar que es inagotable a escala humana, gratuita y no daña el medio ambiente, pero a la vez tiene como desventaja que es dispersa y aleatoria dada su dependencia de las condiciones climáticas.

1.2.1 El viento como fuente de energía

La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, ya que alrededor del 2% de ella se transforma en viento debido al desigual calentamiento de la superficie terrestre. Por lo tanto, el viento se constituye por toda masa de aire en movimiento.

La energía cinética del viento se puede convertir en energía eléctrica o mecánica, pudiendo de esta forma utilizarse.

El viento se define por la dirección y la velocidad. La dirección es explicada por Fernández (1993) en su estudio "Energía eólica" como: *"En general, los desplazamientos verticales del aire son pequeños en relación a los desplazamientos horizontales, por lo que se puede considerar que la dirección del desplazamiento del viento es sensiblemente horizontal y se determina y refiere mediante el ángulo que conforma respecto a una dirección fija, que es la del Norte geográfico"*. De esta forma se tomará la dirección del viento como horizontal.

Por otra parte, la velocidad depende de las diferentes situaciones meteorológicas. La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/s, mientras que en la costa y en los valles alcanza un valor de 6 m/s.

En las máquinas eólicas se distinguen tres velocidades:

- *Velocidad de conexión*: velocidad del viento por sobre la cual se genera energía.

- *Velocidad nominal*: velocidad del viento con la cual la máquina eólica alcanza su potencia nominal.

- *Velocidad de desconexión*: velocidad del viento por sobre la cual la máquina eólica deja de funcionar (se embala).

Las velocidades mínimas para usar energía eólica son de 3 a 4 m/s, aunque con el uso de dispositivos especiales se puede mantener una potencia constante a velocidades comprendidas entre 2 y 12 m/s. Cuando las velocidades alcanzan valores sobre los 18 a 20 m/s se interrumpe el funcionamiento.

Las condiciones generales de los vientos globales se pueden afectar por las condiciones orográficas (relieves del terreno) y climáticas de un lugar en particular, vale decir, que la velocidad y constancia del viento se ve influenciada por estos factores haciéndola aleatoria, por lo cual se debe considerar al momento de realizar un proyecto para saber con certeza la calidad y cantidad del recurso energético con el que se cuenta.

Como el recurso eólico varía tanto en el tiempo como en la localización es importante considerar lo siguiente:

- Interconectar la central eólica con otra planta de generación. Por ejemplo: sistema diesel o red de distribución.
- Utilizar la máquina eólica en conjunto con un sistema de almacenamiento, como puede ser un banco de baterías.
- Localizar sitios donde sea posible determinar el recurso eólico disponible en forma práctica y concreta.

1.2.2 Energía aprovechable del viento

“Para encontrar un lugar de instalación para una máquina eólica que cuente con la más útil potencia de viento, es esencial entender la variación de la potencia con la velocidad del viento” (Hunt, 1981). Considerando esto se tiene la siguiente expresión para obtener la potencia de viento sin perturbar con una velocidad v :

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1.1)$$

Donde: (Unidades métricas)

P_0 : potencia del viento sin perturbar (W)

ρ : densidad del aire (Kg./m³)

A : área barrida por el rotor (m²)

v : velocidad del viento (m/s).

Los valores de densidad de aire pueden variar en 10% anual, ya que varía según las estaciones del año (calor, frío). A medida que se incrementa el diámetro del rotor se retiene más viento, aumentando la potencia útil del viento. Por lo tanto, la potencia está influenciada directamente por el área barrida y, además, por la velocidad del viento que se encuentra elevada al cubo, en consecuencia, cualquier alteración de este factor afecta directamente a la potencia. Este motivo hace necesario un estudio preciso de la velocidad del viento en el lugar de instalación de las máquinas eólicas.

La potencia realmente capturada por un aerogenerador no alcanza el 100%. El rendimiento de trabajo que presenta un aerogenerador expresa a través del coeficiente de potencia, el cual relaciona la cantidad de potencia real que es capturada por el rotor del aerogenerador, es decir, indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad. Se expresa de la siguiente forma:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (1.2)$$

Donde: (Unidades métricas)

C_p : coeficiente de potencia (adimensional)

P : potencia realmente capturada (W)

El coeficiente de potencia se relaciona directamente con las condiciones de trabajo del aerogenerador, impidiendo su constancia.

1.2.3 Teoría de Betz

Betz fue uno de los primeros científicos en estudiar los criterios básicos de las turbinas eólicas, utilizando los fundamentos de la teoría aerodinámica, en la cual también participó. A través de una serie de ideales planteó la siguiente expresión, conocida como “*Fórmula de Betz*” que enuncia el máximo potencial que puede ser extraído de una vena fluida o corriente de aire:

$$P_{\max} = \frac{8}{27} \rho A v^3 \quad (1.3)$$

Donde: (unidades métricas)

P_{\max} : Es la máxima potencia a extraer (W)

Con esta expresión se puede realizar la siguiente relación con la potencia útil del viento sin perturbar, utilizando las ecuaciones (1.1) y (1.3):

$$\frac{P_{\max}}{P_0} = \frac{\left(\frac{8}{27} \rho A v^3\right)}{\left(\frac{1}{2} \rho A v^3\right)} = \frac{16}{27} = 59.3\% = C_p \quad (1.4)$$

Esta relación es conocida como límite de Betz y demuestra que un sistema eólico no puede capturar más del 60% de la potencia contenida en el viento. En la realidad existen otras pérdidas las que dependen del tipo de rotor y van de 30 a 45% del valor teórico de la energía disponible.

1.3 Las máquinas eólicas

Cualquier dispositivo accionado por el viento es una máquina eólica, ya sea si utiliza directamente la energía mecánica del viento (aeromotor) o bien, accionando un generador eléctrico (aerogenerador).

Las máquinas eólicas se clasifican y subclasifican de la siguiente forma:

1. Máquinas eólicas de eje vertical: el eje se encuentra perpendicular a la dirección del viento.

- *El molino vertical de palas tipo giromill o ciclogiro.*
- *Rotores por resistencia: aerogenerador tipo Savonius.*
- *Rotores por sustentación: aerogenerador tipo Darrieus.*

2. Máquinas eólicas de eje horizontal. El eje se encuentra paralelo a la dirección del viento.

- *Máquinas multipalas.*
- *Aerogenerador con rotor a barlovento o viento arriba: el rotor se dispone en la parte anterior del eje, por lo tanto, el viento viene de frente hacia las palas (Figura N° 1).*
- *Aerogenerador con rotor a sotavento o viento abajo: el rotor se dispone en la parte posterior del eje. El viento incide sobre las palas, pasando primero por el mecanismo de orientación y después por la hélice (Figura N° 1).*

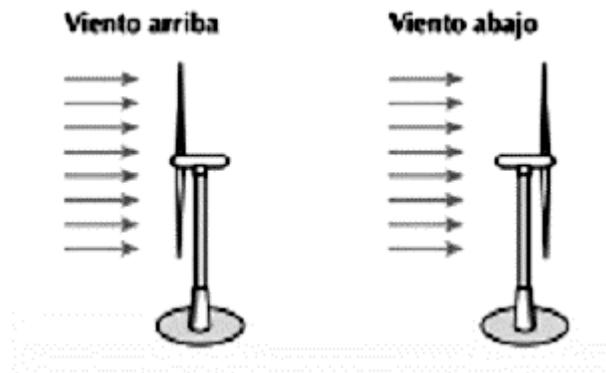


Figura N° 1. Aerogenerador a barlovento y a sotavento.

Los aerogeneradores de eje horizontal pueden alcanzar grandes potencias, presentando un amplio avance tecnológico. Se pueden componer de dos o tres palas e incluso de una.

3. Sistemas especiales: son otros dispositivos de menor aplicación basados en distintas utilidades.

Entre las diferentes máquinas eólicas presentadas, los aerogeneradores son los más difundidos debido a su utilización para producir electricidad. De estos, los de eje horizontal son los más utilizados y desarrollados tecnológicamente. Ambos presentan sus ventajas, lo cual se debe tener en cuenta al momento de seleccionar uno u otro al realizar un proyecto.

Ventajas de los aerogeneradores de eje horizontal:

- Poseen mayor rendimiento en comparación con los de eje vertical
- La velocidad de rotación del mecanismo es mayor, lo que implica utilizar multiplicadores más sencillos.
- La superficie ocupada por las palas es menor que los de eje vertical, utilizando la misma área barrida.
- Su instalación se puede realizar a mayor altura aprovechando más la velocidad del viento, lo que no se da en los de eje vertical.

Ventajas de los aerogeneradores de eje vertical:

- No requiere la utilización de sistemas de orientación para alinearse con la dirección del viento dada su simetría vertical
- Los elementos que necesitan mantenimiento pueden situarse a nivel del suelo
- Al no utilizarse para aplicaciones que requieran una velocidad constante se hace innecesario un mecanismo de cambio de revoluciones.

1.3.1 Los sistemas eólicos

Los sistemas eólicos se clasifican según la potencia que son capaces de suministrar. Se dividen en baja, media y alta potencia, y se describen a continuación:

1. Sistemas de baja potencia: generalmente estas máquinas son pequeñas y se utilizan para alimentar zonas aisladas o alejadas de las redes eléctricas convencionales. La potencia que alcanzan es del orden de los 50 kW. Su aplicación ha aumentado en los últimos años para dar solución a problemas de electrificación en pequeña escala y alimentación de bombeo de agua de baja capacidad. Dadas las características y condiciones en que se presenta el viento, los sistemas eólicos de generación eléctrica, se conectan a un sistema de respaldo, que puede ser un generador diesel o un banco de baterías, para cumplir con la demanda del consumidor. El respaldo almacena el exceso de energía producida. El más utilizado es el acumulador con banco de baterías (Figura N° 2 [8]). También se pueden combinar sistemas eólicos con otros sistemas no convencionales si la disponibilidad de recursos lo permite.

Los aerogeneradores de pequeña potencia también pueden ser utilizados para instalaciones con conexión a red eléctrica, vendiendo la energía producida.

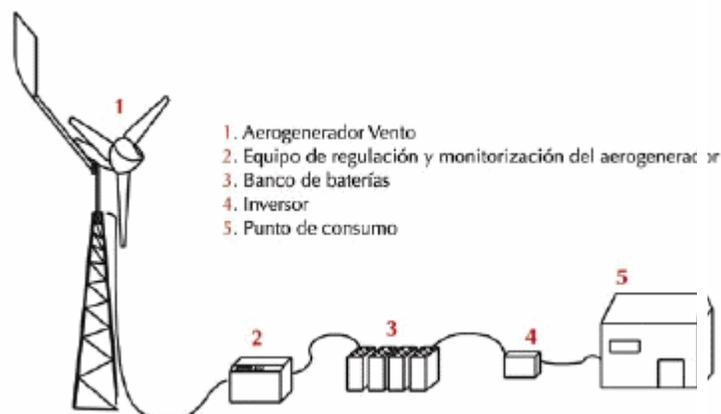


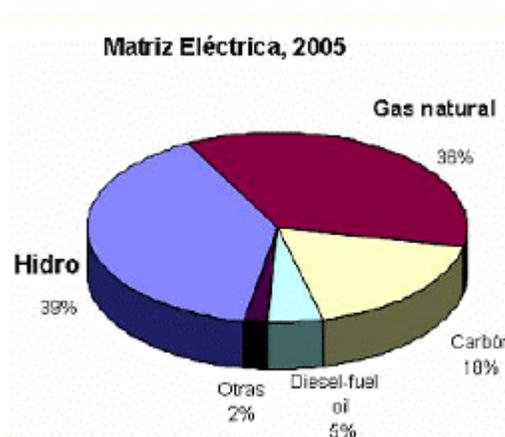
Figura N° 2. Sistema eólico de baja potencia con acumulación de baterías.

2. Sistemas de media potencia: estos sistemas presentan potencias medias de alrededor de 150 kW. El hecho que la generación de electricidad sea mayor que el grupo anterior, el almacenamiento de ésta resulta ser un problema, por lo tanto, se utilizan conectados directamente a la red convencional o combinados con un motor diesel. Estos sistemas también se utilizan para el bombeo de agua.

3. Sistemas de gran potencia: son máquinas de gran tamaño que se utilizan conectadas directamente a la red eléctrica principal como generador de una potencia mayor y específica, o también para construir centrales eoloeléctricas. Las potencias suministradas por estos sistemas van desde los 300 kW hasta los 2500 kW.

1.4 Recurso eólico en Chile

Las energías renovables no convencionales (ERNC) no forman parte del consumo bruto de energía del país, aunque en los últimos años se han desarrollado aplicaciones importantes de estas energías, insertándose e incrementándose en el mercado nacional, las que se utilizan en su mayoría en sistemas independientes de los sistemas tradicionales. La Figura N° 3 ilustra la división que presenta la matriz energética en nuestro país al año 2005.



FUENTE: CNE

Figura N° 3. Capacidad eléctrica instalada 2005

Hoy en día se trabaja en el impulso de energías tales como: eólica, solar, biomasa, geotérmica e hidráulica, para diversificar la matriz energética del país.

La energía hidráulica se utiliza principalmente para generación de electricidad a gran escala, conectados a las redes eléctricas convencionales. Es una de las fuentes energéticas primarias más utilizadas en la matriz energética del país, tal como se observa en la Figura N° 3.

Un importante paso en este proceso de desarrollo lo constituye la electrificación rural, impulsada principalmente por el Programa Nacional de Electrificación Rural (PER). Consiste en proyectos a pequeña escala donde se destaca el uso de viento, biomasa, sol y agua como fuentes energéticas para electrificar zonas aisladas y rurales del país. Para que estos proyectos sean aprobados deben cumplir con la tecnología adecuada, además de ser competitivos con las formas tradicionales de electrificación y cumplir con la normativa ambiental.

El viento es una ERNC que se encuentra a lo largo de todo el país. El principal uso que se le otorga es para el bombeo de agua, que ya es una técnica muy conocida. Actualmente se diseñan proyectos de electrificación rural utilizando esta energía, para lo cual se han hecho evaluaciones del recurso eólico en diferentes zonas del país obteniendo importantes resultados, los que se presentarán más adelante.

El primer paso dado por Chile para evaluar el recurso eólico tuvo lugar el año 1983 con el desarrollo del Atlas Eólico preliminar de América Latina y el Caribe. Fue elaborado por la Organización latinoamericana de Energía (OLADE), pudiendo identificar zonas con potencial eólico en el norte del país.

En el año 1992 se realizó el estudio “Evaluación del potencial de energía eólica en Chile” a cargo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y la Universidad de Chile. Con este estudio se confeccionó un mapa eólico nacional, con los datos obtenidos desde 60 estaciones meteorológicas. Cabe señalar que para realizar proyectos de energía eólica es necesario hacer mediciones en el lugar específico para obtener datos confiables.

El Laboratorio de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL) hizo un mapa preliminar del potencial eólico del Archipiélago de Chiloé, destinado a evaluar el potencial eólico para aplicaciones rurales independientes de la red eléctrica, con lo cual se logró determinar potenciales proyectos para la zona.

Con estos estudios efectuados en el país es posible identificar lugares aptos para aprovechar la energía eólica, pese a que la información no sea específica en algunos casos ni confiable en otros. Chile presenta una geografía y clima que permiten destacar zonas con potencial eólico, entre ellos se tiene: las zonas altiplánicas del norte, sectores costeros, zonas de cerros, islas, zonas abiertas al océano y zonas abiertas a las pampas patagónicas.

Actualmente se encuentra en operación la primera central eólica del país, la que recibe el nombre de “Alto Baguales”. Está ubicada en la ciudad de Coyhaique, XI región. Este parque eólico cuenta con tres aerogeneradores con una capacidad de 1,9 MW de potencia total, la cual provee directamente al Sistema Interconectado de Aysén desde el año 2001.

Por otro lado, se están desarrollando proyectos de menor potencia, especialmente diseñados para zonas aisladas del país. Se destaca el sistema de abastecimiento eléctrico de la isla Tac en el archipiélago de Chiloé, que cuenta con un sistema híbrido eólico – diesel de dos generadores de 7,5 KW de potencia cada uno (Figura N° 4).



FUENTE: CNE

Figura N° 4. Proyecto eólico – diesel construido en Isla Tac.

A través del PER, concretamente con el proyecto “Remoción de barreras para la electrificación rural con energías renovables” se buscan soluciones a los problemas de falta de electricidad de algunas zonas aisladas o rurales del territorio nacional. Se trabaja con estaciones de monitoreo de viento y radiación solar en diferentes lugares a lo largo del país, algunas de las cuales ya han entregado resultados favorables para la elaboración de proyectos viables.

Capítulo II: Introducción al proyecto.

Antes de comenzar el proyecto de electrificación con energía eólica es necesario conocer la situación geográfica, topográfica y climática de la zona en estudio, para encaminar el proyecto a soluciones viables y a un lugar específico, bajo las condiciones establecidas por el clima predominante, teniendo una perspectiva clara de los factores que influirán directamente en la central eólica.

La situación social es un factor primordial, latente en todo el desarrollo del proyecto, ya que se busca dar solución a un problema que afecta a un grupo de personas, el que no sólo involucra la falta de electricidad sino que además se deben considerar sus consecuencias, las que afectan a la calidad de vida de los lugareños. Por esta razón se hace una descripción completa de la situación social de la isla Quenu y de los problemas que los afectan, para buscar una solución efectiva.

El Programa Nacional de Electrificación Rural trabaja en la evaluación de potencial eléctrico en la isla Quenu, por lo tanto es indispensable conocer la labor que cumple este proyecto junto con otras instituciones nacionales e internacionales.

El proyecto “Remoción de barreras para la electrificación rural con energías renovables” se enmarca dentro del PER, con la finalidad de trabajar en una cartera de proyectos destinados, específicamente, a eliminar las barreras que encuentran las energías renovables en su introducción y utilización en la electrificación rural. Tanto el programa como el proyecto de electrificación rural se describen de forma completa en este capítulo, ya que se involucran directamente con el proyecto de electrificación de la Isla Quenu.

2.2 Situación topográfica

La altura media de la isla es de 35 metros, lo que la hace muy baja con respecto al nivel del mar y a las demás islas de su alrededor.

Se caracteriza por la ausencia de montes, esto da lugar a planicies las que se encuentran en su mayoría cubiertas de matorrales y árboles; se destacan los arrayanes. En la Figura N° 6 se presenta un paisaje típico de la isla y una muestra de los característicos arrayanes. Cabe señalar que algunas zonas son despejadas por los isleños para trabajar en su cultivo y para pastoreo de los animales.



(a)

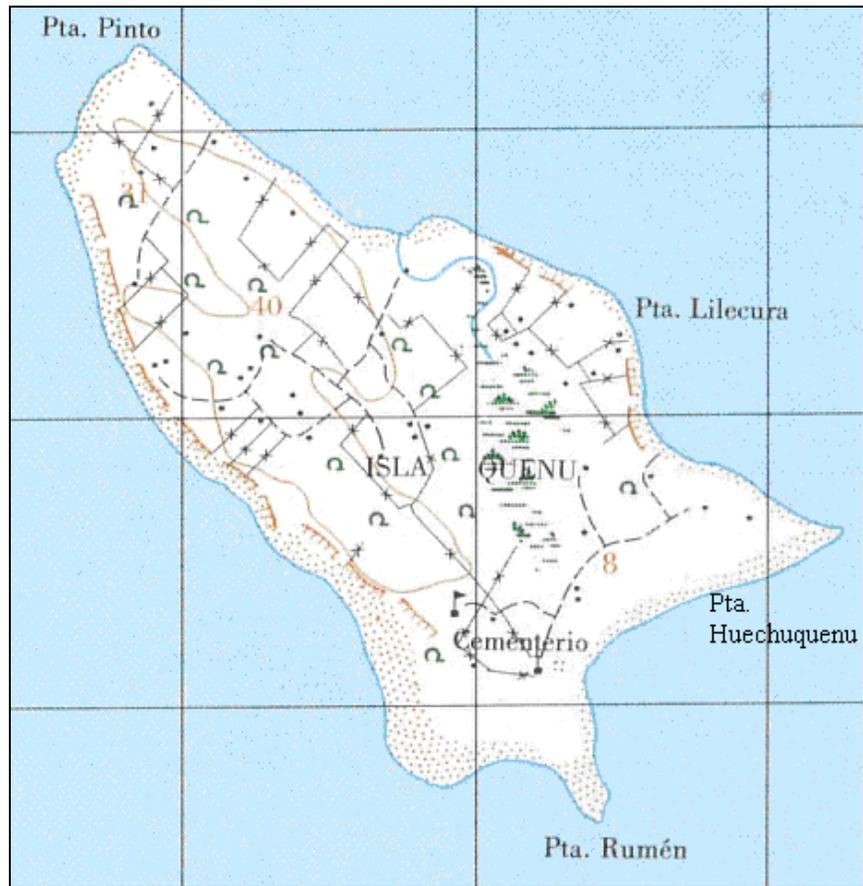


(b)

Figura N° 6. a) *Paisaje típico de la zona.* b) *Arrayanes.*

El lado suroeste y norte de la isla presenta algunos lugares rocosos que dan paso a quebradas hasta la costa. En la parte central se ubican los terrenos más altos.

Se identifican cuatro puntas alrededor de la isla en el sector costero: Pinto, Lilecura, Huechuquenu y Rumen. Además se adentra en la isla un estero que la cruza por el centro. Estos detalles topográficos y otros característicos de la zona se muestran en el mapa [14] de la Figura N° 7.



Extracto de simbología [14]:

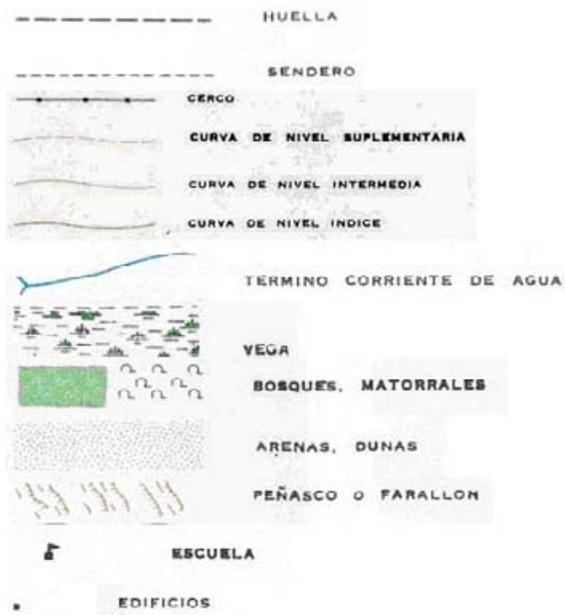


Figura N° 7. Detalles topográficos de Isla Quenu

2.3 Situación climática

El clima que identifica a la zona donde se ubica la isla es el templado lluvioso con influencia mediterránea. La temperatura media que alcanza esta zona es de 8,5° C.

Las precipitaciones llegan a 1800 mm. en la zona que comprende desde Puerto Montt hasta Chiloé, las que se producen principalmente por sistemas frontales que provocan abundante nubosidad. Los meses más lluviosos son entre mayo y agosto. No es posible encontrar meses secos a lo largo del año. La humedad relativa es superior a 80%.

2.4 Situación social

Quenu proviene del vocablo mapuche “*quenü*”, que significa “el gangoso”, nombre que se refiere al antiguo dueño y habitante de la isla.

La isla Quenu cuenta con un total de 139 habitantes (información otorgada por Ilustre Municipalidad de Calbuco), los que son principalmente de ascendencia huilliche.

La población se distribuye entre 45 viviendas construidas mayormente de madera. El agua se extrae desde pozos y no cuentan con grandes comodidades. En todas las parcelas es posible ver siembras y crianza de animales. En la Figura N° 8 es posible observar algunas viviendas típicas de la isla. Entre las parcelas pasa un camino vecinal que permite el tránsito por la isla.



Figura N° 8. *Viviendas de la Isla Quenu.*

Existe una escuela pública unidocente, “escuela rural Quenu”, a la que asiste un total de 12 niños que cursan de primero a sexto básico. Una vez finalizada esta etapa algunos niños son enviados a terminar su enseñanza básica y proseguir con la enseñanza media a internados ubicados en la Isla Puluqui o en Calbuco. Los demás jóvenes permanecen en la isla ayudando a sus padres en las labores del campo. En la Figura N° 9 se puede observar al profesor de la escuela y sus alumnos en el frontis de la misma. La estructura de la escuela la componen dos salas, una para realizar las clases y una sala de computación (2 computadores), además de dos baños y una bodega (leñera).



Figura Nº 9. Escuela rural Quenu, profesor y alumnos.

Los habitantes se organizan a través de una junta de vecinos, pero no cuentan con una sede para las reuniones, las que se realizan en el colegio o en alguna casa. Otra organización existente la forma un grupo de agricultores que se dedican al agroturismo, los que se reúnen en una bodega de acopio de productos agrícolas.

Las rondas médicas se realizan 1 ó 2 veces al mes, por lo cual se planea construir una posta para el año 2008. Es importante destacar que pasa una lancha sólo tres veces a la semana para transportar a los habitantes de la isla hasta la ciudad de Calbuco.

En la Figura Nº 10 se presenta una fotografía de la capilla católica y del cementerio.



Figura Nº 10. Capilla y cementerio.

La forma de vida de los isleños se caracteriza por las actividades que desempeñan: pesca, agricultura, ganadería ovina y comercio con las ciudades de Calbuco y Puerto Montt. Existe una empresa dedicada al cultivo de *Mytilus chilensis* y otro cultivo de avalones.

Dado el hecho que la isla es una zona aislada del país, uno de los mayores problemas que se presenta y que afecta directamente a la calidad de vida de sus habitantes es la falta de electricidad, ya que no están conectados con el Sistema Interconectado Central. Algunas familias suplen esta carencia con grupos electrógenos bencineros muy pequeños que les suministran de energía por cierta cantidad de horas. La gente los utiliza en las noches para ver televisión y usar lavadora (los que poseen). El colegio posee un motor que utiliza 1 litro de combustible por hora y las viviendas llegan a consumir 160 litros de combustible al mes, lo que equivale a un gasto aproximado de \$100.000 mensual por vivienda.

Las consecuencias que se generan de la falta de electricidad derivan en una calidad de vida deficiente desde muchos aspectos:

- Migración de lugareños hacia la ciudad de Calbuco u otras: este hecho se registra desde hace algunos años. La gente busca otros lugares para vivir, donde encuentren mejores condiciones de vida.
- Los alimentos perecibles no se pueden conservar, ya que no existen electrodomésticos para mantenerlos congelados. Cabe mencionar que una de las principales fuentes de alimentación de la isla la componen pescados, mariscos y carne, los que necesariamente deben ser congelados para su conservación.
- Existe falta de comunicación tanto local, nacional y mundial al no estar los medios de comunicación adecuados: la televisión se utiliza en las noches, para ocupar radio se necesitan pilas y celulares tienen algunos habitantes. Este factor provoca mayor aislamiento de los habitantes respecto a su exterior (resto del país y el mundo).

- La falta de luz eléctrica en la noche causa inseguridad en las personas. Se ha producido robo de animales y especies. Lo preocupante es la alta tasa de violación y la violencia intrafamiliar (información otorgada por Carabineros de Chile, Comisaría de Calbuco).

En la visita realizada a la isla el 27 de noviembre de 2006 fue posible conversar con algunos habitantes, los que según lo dicho, aprueban en su totalidad el proyecto de electrificación de la isla. La principal motivación que tienen es elevar su calidad de vida en todos los aspectos nombrados anteriormente. Tal como explica el encargado de SAESA en la ciudad de Calbuco: *“Cuando un lugar no cuenta con electricidad la gente se bebe un 80% de la plata que gana, en cambio, cuando estos lugares son electrificados la gente bebe un 20% de lo que gana y el 80% lo utiliza para mejorar su calidad de vida”* (Carlos Villarroel, encargado Saesa Calbuco).

2.5 Programa Nacional de Electrificación Rural (PER).

El Programa Nacional de Electrificación Rural fue elaborado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) a fines del año 1994, con la finalidad de superar la pobreza y elevar la calidad de vida de los habitantes de las zonas aisladas de nuestro país, basándose en la integración económica y social de estos lugares.

El principal objetivo de este programa es entregar soluciones eficientes a la falta de electricidad o a la calidad del suministro energético en las zonas rurales, para evitar las migraciones hacia zonas urbanas, mejorando la calidad de vida de sus habitantes y apoyando el progreso energético sustentable. Es en este ámbito que se fomenta el uso de energías renovables y se trabaja en la eficiencia energética.

Otro aspecto radica en el trabajo permanente que realiza la CNE para mitigar los impactos ambientales que produce la producción, transporte y consumo de energía en el país y, además, por la participación constante en la atenuación de los impactos ambientales a nivel global, tales como el cambio climático producido por la emisión de gases invernadero.

La CNE es responsable de la coordinación del PER, para lo cual establece las metas del programa y controla su cumplimiento. Por su parte, los Gobiernos Regionales son los encargados de elaborar, evaluar, adjudicar y financiar su cartera de proyectos de electrificación rural, de acuerdo a su programa de desarrollo, presupuesto anual y metodología de “Evaluación de proyectos de electrificación rural”, creado por MIDEPLAN y CNE.

El financiamiento de los proyectos de electrificación rural deben ser cofinanciados por el Estado, los privados y los usuarios. El Estado financia hasta el 100% de la inversión de los proyectos pero no la operación de estos, la que debe ser costeadada por los usuarios a través del pago de tarifas. La principal fuente de financiamiento que posee el Estado es el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), especialmente a través del programa de energías renovables FNDR-ER. La electrificación rural es un rol que le corresponde al Estado, ya que implica un asunto social y no comercial, en vista de la baja demanda energética de estos lugares, la falta de recursos económicos que presentan estos sectores, las elevadas inversiones de los proyectos, los altos costos de operación y mantención, la rentabilidad privada negativa.

Para cumplir con los objetivos propuestos, el Gobierno de Chile se comprometió en una primera etapa (1994- 2000) a cumplir con una cobertura eléctrica del 75% de las viviendas rurales. Cabe mencionar que al inicio del proyecto la cobertura nacional alcanzaba un 59%.

En una segunda etapa (2000- 2005) el compromiso fue de un 90% de las viviendas rurales a nivel nacional y regional. Los objetivos se cumplieron y al año 2004 el país contaba con un abastecimiento de 140.000 viviendas rurales, la instalación de 195 microcentrales hidroeléctricas con una capacidad instalada

de 3.3 MW, 3000 sistemas fotovoltaicos domésticos y algunos sistemas eólicos autónomos e híbridos eólico Diesel.

Los datos entregados por CNE se refieren a los logros obtenidos en electrificación rural en los últimos años. Un dato reciente se presenta en la Figura N° 11, en la cual se tiene un cuadro de la situación eléctrica rural a comienzos del año 2006. La cobertura nacional alcanza a un 92%, quedando una cantidad de casas sin suministro eléctrico de 44.359. Las regiones que aún presentan mayor cantidad de casas sin suministro eléctrico son la IX y X.

Región	N° Vír. Rurales	N° Vír. Rurales C/Energía	N° Vír. Rurales S/Energía	Cobertura %
I	6.272	5.568	704	89
II	2.206	2.196	11	99
III	6.009	5.001	1.008	83
IV	38.341	31.699	6.761	82
V	35.459	33.349	2.109	94
VI	60.173	56.725	3.448	94
VII	82.844	77.972	4.872	94
VIII	90.206	83.807	6.399	93
IX	77.201	67.580	9.621	88
X	97.326	88.246	9.080	91
XI	5.671	5.584	87	98
XII	2.277	2.014	263	90
RM	48.030	48.024	6	99
Total	552.814	507.655	44.359	92

FUENTE: CNE

Figura N° 11. Situación electrificación rural inicio de 2006

2.5.1 Proyecto CHI/00/G32

El Proyecto CHI/00/G32 nace a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que es una de las agencias ejecutoras del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y que opera en Chile como agente de desarrollo y cooperación.

El PNUD trabaja con tres áreas de acción en Chile, siendo una de ellas “Medio ambiente y Energía”, en la que se desarrollan estudios de la realidad nacional y se ejecutan proyectos que permitan lograr un desarrollo humano razonable en el país, también trabaja con temas de biodiversidad y cambio climático, donde tienen una activa participación las energías renovables.

Los proyectos realizados en Chile han sido financiados por recursos propios, instituciones internacionales como el Fondo para el Medio Ambiente Mundial GEF (Global Environment Facility), el gobierno, el sector privado y la sociedad civil. Cabe destacar que el GEF es una entidad financiera independiente que financia proyectos con soluciones prácticas. Uno de los ámbitos que maneja es el cambio climático, donde es la principal fuente de financiamiento de proyectos de energía renovable que se realizan en los países en desarrollo.

En septiembre del año 2001 se firmó el proyecto “Remoción de barreras para la electrificación con energías renovables” (2001- 2007) (Proyecto CHI/00/G32) entre PNUD – Chile, CNE y el Ministerio de Relaciones Exteriores, cofinanciado por el GEF. Tiene un presupuesto de US\$ 32.400 millones, y GEF aporta con US \$6.067.300 del total [4]. El tiempo de operación del proyecto es desde octubre de 2001 hasta octubre de 2006.

Este proyecto se realiza como una forma de mitigar los gases de efecto invernadero que han ido en aumento debido a la expansión económica que presenta Chile, lo que provoca un aumento del uso de electricidad. La matriz energética del país se compone mayoritariamente de combustibles fósiles, y la generación de electricidad se basa en plantas hidroeléctricas (39%) y térmicas (61%).

El principal objetivo de este proyecto es remover las barreras que se presentan en la utilización de energías renovables para electrificación rural, realizando actividades que además permitan reducir los gases de efecto invernadero en estos sectores.

Los beneficiados se calculan en 12500 viviendas ubicadas a lo largo del país, entre viviendas rurales y centros comunitarios (postas, escuelas).

Las principales barreras que se identificaron en la utilización de energías renovables no convencionales (ERNC) son:

1. Falta de cartera de proyectos de electrificación rural con ERNC.
2. Falta de normas para los equipos de energías renovables.
3. Inexistencia de procedimientos de certificación para los sistemas de energías renovables y su instalación.
4. Desconocimiento de las ERNC.
5. Carencia de programas de capacitación formales.
6. Existencia de altos costos de inversión en proyectos con ERNC.
7. Percepción de riesgos asociados con las tecnologías de energías renovables.
8. Incapacidad técnica, de equipamiento y análisis para efectuar mediciones del recurso eólico.
9. No existen proyectos comerciales con ERNC que tengan economías de escala.

Las actividades que se desarrollan para remover las barreras antes nombradas son:

1. Generación de una cartera de proyectos de electrificación rural con ERNC.
2. Elaboración de normas técnicas para sistemas de electrificación con ERNC.
3. Elaboración de procedimientos de certificación para sistemas de electrificación con ERNC.
4. Implementación de una Campaña de Promoción.
5. Desarrollo de un Programa de Capacitación.

6. Diseño y ejecución de un proyecto demostrativo Fotovoltaico (FV) de gran escala.
7. Reducción de las emisiones de CO₂ a través de hibridación de proyectos con sistemas diesel actualmente en operación.
8. Creación de la capacidad técnica para la evaluación de recursos eólicos en Chile.

Los resultados obtenidos al año 2006 son los siguientes:

- Se dispone de una amplia cartera de proyectos, con 77 proyectos para abastecer a 10.000 viviendas rurales.
- El año 2003 se firmó un convenio con el Instituto Nacional de Normalización lo que permite el trabajo en 48 normas técnicas.
- Se han realizado seminarios y talleres enfocados a la capacitación en el área de ERNC.
- Se efectuó un catastro nacional de grupos diesel que abastecen zonas del país para proyectar su hibridación.
- Se instalaron estaciones de monitoreo eólico y solar, de las cuales ya se han tenido resultados para realizar proyectos.
- Para la difusión de ERNC se trabaja en publicaciones e información a través de los sitios Web: www.cne.cl y www.renovables-rural.cl
- Se está trabajando en la generación de una metodología de evaluación de proyectos.

Uno de los avances conseguidos en el Gobierno Regional de la X Región de Los Lagos es el proyecto Archipiélago de Chiloé, el cual es parte del proyecto CHI/00/G32. Para determinar las necesidades eléctricas y mejorar la calidad del suministro se realizó un estudio de factibilidad técnico – económico del proyecto de electrificación rural mediante sistemas de autogeneración con uso de energías renovables en 35 islas de la Provincia de Chiloé, Palena y Llanquihue. A fines del año 2004 se terminaron los estudios de prefactibilidad y ahora se trabaja en los estudios de ingeniería de detalle y cronograma de ejecución, lo cual se realiza en conjunto con la CNE.

La Isla Quenu es parte de este proyecto. Se midió el recurso eólico y solar para determinar el recurso renovable disponible para una posterior electrificación. Los beneficiados serían 45 viviendas, la escuela y la capilla. La adjudicación y ejecución del proyecto de electrificación lo decide el Gobierno Regional, a través de la municipalidad de Calbuco.

Es importante destacar que el proyecto de electrificación que se presenta en esta tesis es un trabajo independiente al que realiza la empresa a cargo del proyecto final, no tienen vinculación alguna, salvo por la utilización de los registros de viento que son propiedad de CNE, quienes autorizaron su utilización para tal fin.

Capítulo III: Desarrollo del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de electrificación de la Isla Quenu utilizando energía eólica, para lo cual el primer paso es desarrollar un proyecto de electrificación que se enmarque en la zona de estudio, bajo las condiciones de viento y terreno que se dispone y considerando la demanda que se generará. La metodología seguida en este desarrollo da origen a una serie de pasos que llevan a concretar el proyecto, los que van desde un análisis completo de los registros de vientos de la zona hasta un diseño completo de la central eólica.

Uno de los puntos de estudio de este capítulo es el análisis de los datos de vientos de isla Quenu obtenidos a través del proyecto “Remoción de barreras para la electrificación rural con energías renovables”. Con los valores derivados de este análisis es posible conseguir, mediante fórmulas, una altura de torre que permita lograr una velocidad de viento óptima para realizar el proyecto de electrificación planteado en esta tesis.

La altura de torre conseguida en forma empírica da lugar a nuevos valores de velocidad de viento, los que son estudiados y analizados en todos los aspectos que pueden influir en el diseño de la central eólica.

La elección de un lugar factible para la instalación de la central se llevó a cabo después de examinar las ventajas y desventajas de los diferentes lugares que se presentan. Se realizó una visita completa a la isla para identificar posibles lugares y para estudiar el terreno presente en la zona, tomando en cuenta la disposición de los terrenos en caso de una posible instalación de central eólica.

Para estimar un consumo total de la isla fue necesario recorrer las viviendas de la zona, conversar con los habitantes y solicitar información a la municipalidad de Calbuco, lo que permite estimar una demanda energética para la cual se puede diseñar la central eólica. Además, se tomaron en cuenta los consumos que existen actualmente en lugares cercanos a la zona de estudio, para estimar una demanda futura y diseñar en función de este parámetro.

3.1 Análisis de datos de vientos

El informe de los registros de vientos con los cuales se trabaja en esta tesis fue obtenido del Informe Final Consolidado de la Isla Quenu preparado por la empresa Wireless Energy Chile Ltda. por petición de la CNE para el proyecto CHI/00/G32 GEF – PNUD – CNE [4]. Anexo a este informe, Wireless Energy publicó un reporte general del recurso eólico [26] obtenido del estudio nombrado anteriormente, el que abarca el periodo comprendido entre el 9 de diciembre de 2002 al 9 de diciembre de 2003, lo que permite tener datos registrados y analizados en un periodo de 1 año, que es el mínimo que se requiere para realizar un proyecto eólico. Estos datos son de importancia para el proyecto porque serán utilizados en la obtención de nuevos valores de viento.

Para tal estudio se instaló una torre de monitoreo de viento en la Isla Quenu para cumplir con una de las tareas planteadas por el proyecto GEF y por el Gobierno Regional de la Xª Región de Los Lagos.

El objetivo del estudio se basa en la evaluación del potencial eólico y solar de la isla, con el fin de determinar la dirección y potencial del viento existente en la zona y la radiación solar, todo esto a cargo de Wireless Energy.

En la Isla Quenu se instaló una estación de medición meteorológica marca NRG Systems, modelo Symphonie con sistema remoto I – Pack GSM, que además incluye:

- Datalogger Symphonie de NRG Systems.
- Sistema de comunicación remota I – Pack GSM 1900 Mhz de NRG Systems.
- Torre tubular ventada de 20 metros auto montante de NRG Systems.
- Anemómetro a 20 metros de altura.
- Anemómetro a 10 metros de altura.
- Veleta de dirección de viento a 20 metros de altura.
- Piranómetro Ly – Cor.
- Cerco perimetral.
- Software Data Retriever Versión 4.22.2.

Esta estación recolecta datos cada 10 minutos y los almacena en tarjetas multimedia no volátiles.

La fecha de instalación fue el 21 de octubre de 2002. El registro de los datos se llevó a cabo desde octubre del año 2002 hasta junio del año 2003.

Esta instalación se hizo en la parcela del sr. Alfredo Agüero, la que se describe más adelante, su posición exacta dentro de la isla se muestra en la Figura N° 12, marcado con la letra b.



FUENTE: CHI/00/G32

Figura N° 12. *Ubicación de la estación de monitoreo.*

En el diseño y rendimiento de los aerogeneradores influyen algunas características tales como: las leyes de distribución de la velocidad y dirección, las variables con la altura, la influencia de la topografía y las leyes estadísticas de las ráfagas y sus valores extremos. A continuación se realiza un análisis de los datos obtenidos del informe para su posterior utilización en la elección del generador eólico y el respectivo diseño de la central.

3.1.1 Dirección del viento

La dirección del viento es uno de los elementos principales para el posterior diseño de la central, ya que indica la dirección predominante de éste y el sentido que debe tener el sistema de orientación para mantener el rotor en un plano perpendicular a la dirección del viento.

Para obtener la dirección del viento se utilizó la rosa de los vientos de las cuales se obtuvo la frecuencia y la distribución de las diferentes direcciones.

En el estudio realizado se pudo comprobar que el viento predominante es el viento Norte, el cual trae las mayores velocidades. Esta dirección se presenta en los meses de noviembre de 2002 hasta enero de 2003, parte de abril, mayo y junio. Mientras que en los meses de febrero y marzo se registró vientos de dirección Sur. En el Anexo 1 se presentan los Gráficos de Dirección de Vientos (rosa de los vientos) correspondientes a los meses de octubre de 2002 a junio de 2003. En general, el recurso eólico presenta una tendencia hacia el Norte, la que se puede observar en la figura N° 13 [4]. Esta dirección posee el 20% de las frecuencias, mientras que la dirección Sur presenta el 12% al igual que la dirección NNE.

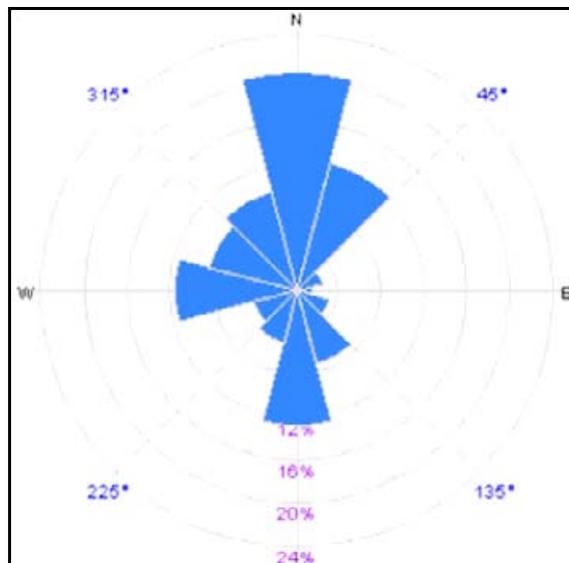


Figura N° 13. Rosa de los vientos

3.1.2 Distribución de frecuencia de velocidad

Los registros de velocidad de viento mensual muestran bajas velocidades promedio de viento, comprendidas entre 4 y 5 m/s, a una altura de 20 metros. Entre los meses de enero y abril se presentan las velocidades más bajas, llegando a 3.7 m/s en el mes de abril.

En la Figura N° 14 [4] se pueden observar las velocidades promedio de viento registradas durante todos los meses del año 2003. Se presentan velocidades máximas de 6.5 m/s en el mes de junio, mientras que en los meses de julio a octubre y diciembre todos los valores superan los 5 m/s.

Los Gráficos de Frecuencia de Distribución se pueden ver en el Anexo 2, el que presenta el estudio de viento comprendido desde octubre de 2002 hasta junio de 2003.

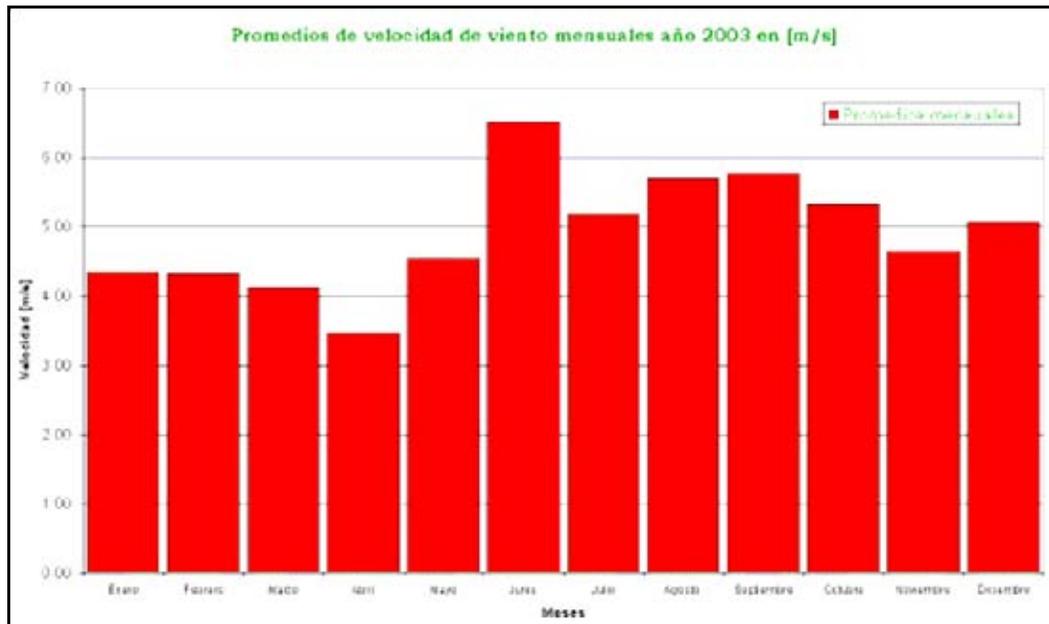


Figura N° 14. Promedios de velocidad de viento año 2003.

La velocidad promedio de vientos medidos a 10 metros de altura [26] disminuye en valor respecto a los obtenidos a 20 metros. Entre los meses de enero a mayo los valores obtenidos no superan los 3 m/s, por estas razones los datos obtenidos a 10 metros de altura no serán utilizados en este estudio.

Para obtener la distribución de frecuencia de velocidad de viento y su variabilidad se utilizó la distribución de Weibull, la cual utiliza el método de ajuste por mínimos cuadrados. Es una forma estadística de representar el viento para saber si el lugar del emplazamiento es adecuado o no.

La distribución de Weibull se basa en dos parámetros: un parámetro de escala c y un parámetro de distribución de forma k . Estos factores indican lo ventoso del lugar del emplazamiento, lo que depende de las condiciones climáticas locales, del paisaje y de su superficie. Los valores de k están comprendidos entre 1.3 y 4.3.

El valor k indica la relación existente entre la potencia obtenida en un año y la potencia media que se obtendría en ese año si la velocidad del viento se mantuviera constante. La curva o pendiente que se adquiere de esta distribución representa una probabilidad tal como se observa en el ejemplo de la Figura N° 15, el cual sirve para esclarecer la forma en que funciona el gráfico. El área bajo la curva vale exactamente 1, ya que la probabilidad que el viento sople a cualquier velocidad debe ser el 100%. La línea negra vertical marca el centro del área, pero no indica la velocidad media, la que se calcula entre el promedio de las observaciones de la velocidad del viento que se tiene en ese emplazamiento.

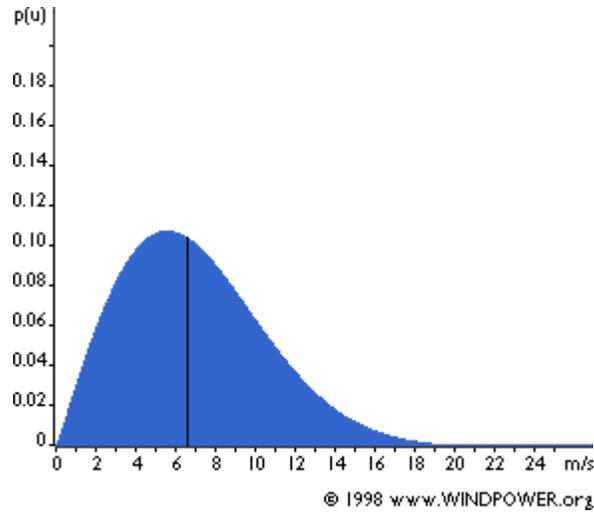


Figura Nº 15. Ejemplo de curva distribución de Weibull

En el estudio de los registros de viento se obtuvo los valores de los parámetros k y c de los meses de octubre de 2002 a junio de 2003 para comprobar la confiabilidad de los datos obtenidos y las distribuciones de estos, obteniendo la velocidad media de cada mes. En la Tabla Nº 1 se demuestran los valores obtenidos por Wireless Energy en la Isla Quenu, los cuales se pueden comparar con los valores de frecuencia de viento graficados en el Anexo 2.

Tabla Nº 1. Valores de parámetros k y c de Weibull

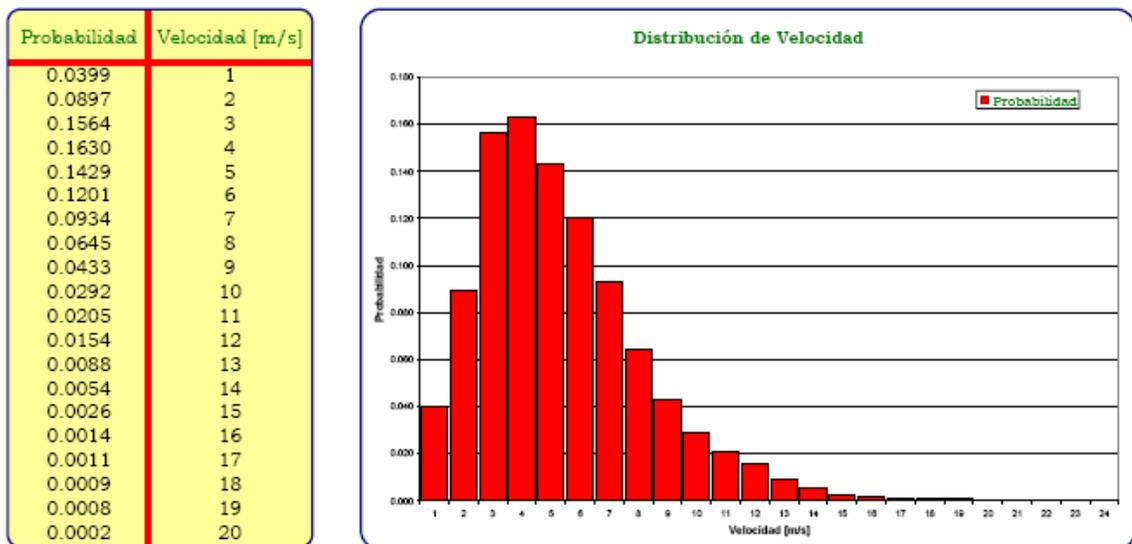
Mes	Forma (Factor k)	Escala (Factor c)
Octubre 2002	1.835	5.799
Noviembre 2002	2.140	6.056
Diciembre 2002	2.118	5.143
Enero 2003	1.950	4.879
Febrero 2003	2.527	4.999
Marzo 2003	1.902	4.645
Abril 2003	1.650	3.880
Mayo 2003	1.913	5.107
Junio 2003	2.112	7.341
<i>Periodo 23- Nov- 2002 al 30- Jun- 2003</i>	1.876	5.270

FUENTE: CHI/00/G32 GEF PNUD CNE

Los valores obtenidos del factor k para el periodo comprendido entre el 23 de noviembre de 2002 y el 30 de junio de 2003 es de 1.876 lo que indica una distribución con acumulación de datos hacia la izquierda, que muestra una probabilidad que el 95% de las velocidades de viento sean inferiores a 1.876 veces el promedio de velocidades (CHI/00/G32); esto significa que el 95% de los valores de velocidad de viento serán inferiores a 9.2 m/s, mientras que el 5% restante serán valores superiores a 9.2 m/s. Esto se puede observar claramente en los valores de velocidad de viento de cada mes que se muestran en los gráficos del Anexo 2.

Respecto al valor del parámetro c los valores revelan una propensión hacia velocidades de viento de 5 m/s, tal como se indicó anteriormente al analizar los gráficos de distribución. Estos valores indican un buen emplazamiento de la central en este lugar, aunque al aumentar la altura los valores de velocidad de viento aumentarían, lo que puede favorecer la instalación y funcionamiento de la central eólica.

En la Figura N° 16 se puede observar un resumen de la distribución de velocidad, en la que se pueden demostrar los resultados obtenidos de los parámetros c y k.



FUENTE: CNE – GEF – PNUD, proyecto CHI/00/G32.

Figura N° 16. *Distribución de velocidad.*

3.1.3 Variaciones y desviación estándar del viento

Las variaciones mensuales de viento por horario promedio entre los valores máximos y mínimos obtenidos indican una tendencia entre los meses de octubre de 2002 y febrero de 2003 de aumentar el valor de velocidad promedio entre las 13.00 horas hasta las 19.00 horas, llegando estos valores a sobrepasar los 5 m/s. Este lapso de horas es de bastante demanda de consumo de energía, lo que podría ser ampliamente utilizado para la generación de electricidad. En el Anexo 3 se presentan los Gráficos de Variaciones Mensuales de Viento por Hora Promedio con los cuales se pueden comprobar los valores antes descritos. Por otro lado, la Figura N° 17 [4] muestra la velocidad de viento promedio diaria obtenida de los valores mensuales comprendidos en el estudio.

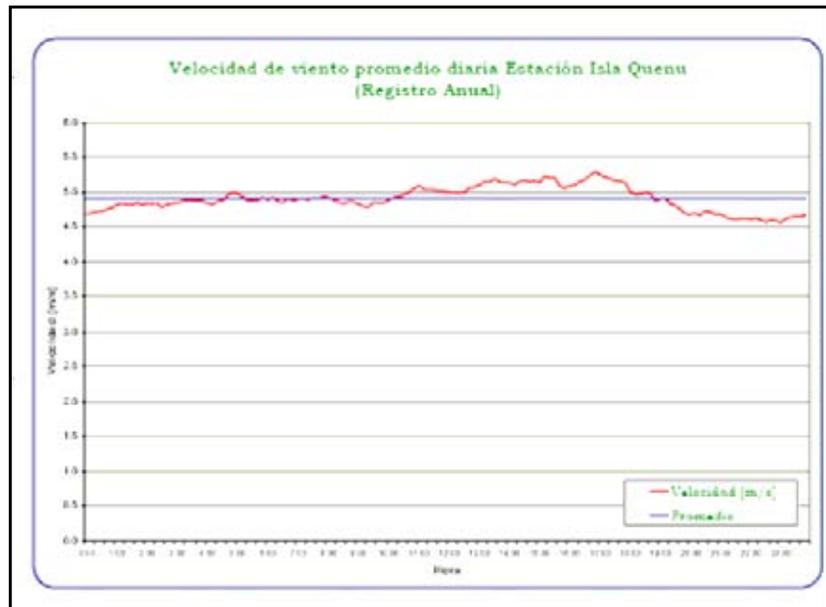


Figura N° 17. Velocidad de viento promedio diaria.

El promedio de velocidades de viento se mantuvo bajo los 5 m/s a una altura de 20 metros, a excepción de los meses noviembre de 2002 y de junio a octubre de 2003, lo que se podría explicar por el viento preponderante Norte que influye en estos meses. Según lo graficado en el Anexo 3 se pudo demostrar que el viento Norte trae mayores velocidades de viento en los meses de invierno (noviembre de 2002 a enero de 2003, mayo y junio) con rachas de viento que provocan variaciones de éste; por otro lado el viento Sur que prevalece en los meses de febrero, marzo y parte de abril de 2003 trae menores velocidades de viento, pero con intensidad constante durante gran parte del día.

Las desviaciones estándares sirven para identificar las turbulencias atmosféricas ocurridas en los periodos de medición de viento. Las desviaciones fueron altas en las mediciones realizadas a 10 metros de altura, lo que se debe a la cercanía con el terreno rugoso y a la existencia de matorrales que interrumpe el flujo del viento, mientras que a 20 metros de altura estas desviaciones son menores, lo que se puede observar en los gráficos de desviación estándar del Anexo 3. Este factor indica que la torre se debería instalar a más de 20 metros de altura para evitar las turbulencias.

Las turbulencias entregan información sobre las rápidas perturbaciones de la velocidad del viento (variación brusca de dirección) y su incidencia en la turbina eólica. Esto indica que a mayor turbulencia es menor la energía entregada por la turbina y mayor la carga mecánica que deben soportar sus componentes. La turbulencia indica la dispersión de los datos y se calcula utilizando la desviación estándar por sobre el promedio de velocidades; por lo tanto a mayor turbulencia mayor dispersión de los datos, estos antecedentes se grafican en el Anexo 3. Se debe tener presente que sólo se tomaron en cuenta los datos a 20 metros de altura, y se hace mención de los valores obtenidos a 10 metros como antecedentes del estudio presentado por Wireless Energy.

En la Tabla N° 2 se muestra un resumen de la cantidad de horas de ocurrencia de velocidades basadas en los promedios obtenidos a 20 metros de altura. Esta tabla muestra las variaciones de viento ocurridas en los distintos meses del estudio.

Tabla Nº 2. Resumen de cantidad de horas de ocurrencia de velocidades.

Isla Quenu Mes	Año	V Promedio m/s	Número de horas sobre promedio				
			<3.9 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s
Octubre	2002	5,15	No se considera por falta de datos				
Noviembre	2002	5,36	0	1	20	3	0
Diciembre	2002	4,55	0	19	5	0	0
Enero	2003	4,33	5	14	5	0	0
Febrero	2003	4,44	0	22	2	0	0
Marzo	2003	4,12	0	16	8	0	0
Abril	2003	3,47	24	0	0	0	0
Mayo	2003	4,53	0	23	1	0	0
Junio	2003	6,5	0	0	3	16	5

FUENTE: CHI/00/G32 GEF PNUD CNE

La tabla muestra que no existen variaciones muy altas entre las velocidades promedios de los distintos meses, los valores se mantienen principalmente entre los 4 y 5 m/s. Las ocurrencias de velocidades se mantienen en rangos similares, como por ejemplo el mes de Noviembre que posee la mayoría de sus datos (20 de un total de 24) en 5 m/s, los restantes valores se sitúan en velocidades de 4 m/s y 6 m/s; la misma situación ocurre en todos los meses del estudio, lo que significa que a 20 metros de altura el viento no tiene grandes variaciones de velocidad. Si se sitúa una torre a 30 metros de altura las variaciones serían mínimas, por lo tanto la altura para una nueva ubicación de torre debe ser apreciable respecto a 20 metros. Esta teoría es comprobable más adelante.

3.1.4 Densidad de potencia

La densidad de potencia de viento es un factor que indica el potencial eólico real que hay en un lugar pues se calcula con los valores de velocidad, promedios de datos para un mes o año, densidad de aire y altura; factores que influyen directamente en la evaluación del emplazamiento que se le dará a la central.

A continuación se presenta la Tabla N° 3 en la cual se dan a conocer los valores obtenidos de densidad de potencia procedentes de los promedios de velocidad por mes.

Tabla N° 3. *Velocidades promedio de viento por mes y densidad de potencia*

<i>Isla Quenu mes</i>	<i>Año</i>	<i>V (20 m) m/s</i>	<i>Densidad de Potencia W/m2</i>
Octubre	2002	5,15	162,64
Noviembre	2002	5,36	156,76
Diciembre	2002	4,55	99,65
Enero	2003	4,33	90,55
Febrero	2003	4,44	77,91
Marzo	2003	4,12	79,9
Abril	2003	3,47	58,35
Mayo	2003	4,53	105,88
Junio	2003	6,5	288,69
Julio	2003	5,1	139,28
Agosto	2003	5,7	199,08
Septiembre	2003	5,8	214,62
Octubre	2003	5,2	167,46
Noviembre	2003	4,6	99,77
Diciembre	2003	5,05	136

FUENTE: CHI/00/G32 GEF PNUD CNE

La fórmula utilizada para el cálculo de densidad de potencia (Wind Power Density ó WPD) es la referencia 2.1.

$$WPD = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\rho)(v_i^3) \quad (2.1)$$

Donde: (Unidades métricas)

WPD : densidad de potencia (W/m^2)

ρ : densidad del aire ($Kg./m^3$)

n : número de registros en el intervalo promedio

v_i^3 : cubo del i (enésimo) valor de velocidad de viento (m/s)

La Tabla N° 3 muestra que los meses de mayor energía son octubre y noviembre de 2002 y los meses de junio a octubre y diciembre de 2003, alcanzando valores de densidad de potencia que no superan los $300 W/m^2$. Tal como se observa en la tabla, los demás meses presentan cifras muy bajas de densidad de potencia. Según lo expuesto por la empresa Wireless Energy esta baja de potencia se debería al viento norte que marca su dominio en los meses invernales (junio a septiembre), lo que justifica la baja de potencia en verano.

Además existen otros factores que influyen en el viento y su potencial, los que son abordados por el estudio ya nombrado y que son: las turbulencias y el nivel de escalamiento con la altura. Por su parte las turbulencias fueron estudiadas y se llegó a la conclusión que a menor altura son más fuertes, por lo que se debería emplazar la central por sobre los 20 metros de altura para que los obstáculos del terreno no ocasionen problemas. El nivel de escalamiento con la altura llamado Wind Shear o Factor N es definido como el cambio en la velocidad horizontal del viento con un cambio en la altitud, es específico para cada sitio y es influenciado por características propias del terreno. El nivel de escalamiento se calcula mediante la fórmula de la referencia 2.2.

$$n = \frac{\text{Log}_{10}[V2/V1]}{\text{Log}_{10}[Z2/Z1]} \quad (2.2)$$

Donde: (Unidades métricas)

n : factor N

$V2$: velocidad de altura Z2 (20 m)

$V1$: velocidad de altura Z1 (10 m)

Utilizando la fórmula de la referencia 2.2 se realizó la Tabla N° 4 con los valores de factor N para los meses considerados en el estudio de la Isla Quenu.

Tabla N° 4. Factor N desde Octubre de 2002 a Junio de 2003

Quenu	V2	V2 Altura	V1	V1 Altura	Factor N
Mes (año)	m/s	m	m/s	M	%
Octubre (2002)	5,15	20	4,34	10	0,25
Noviembre (2002)	5,36	20	4,45	10	0,27
Diciembre (2002)	4,55	20	3,79	10	0,26
Enero (2003)	4,33	20	3,53	10	0,3
Febrero (2003)	4,44	20	3,62	10	0,29
Marzo (2003)	4,12	20	3,37	10	0,29
Abril (2003)	3,47	20	2,86	10	0,28
Mayo (2003)	4,53	20	3,59	10	0,34
Junio (2003)	6,5	20	5,17	10	0,33

FUENTE: CHI/00/G32 GEF PNUD CNE

Los valores del factor N van desde 0 a 1.0, siendo el valor 1.0 el que indica el mayor grado de rugosidad (casas, edificios). El promedio obtenido en este caso es de 30%, lo que se refiere a vegetación (pasto alto, matorrales) e indica que el sitio de emplazamiento es medianamente rugoso. Esto influye en la medición de viento, lo que indica que la torre eólica debe ser instalada a una altura mayor a 20 metros para lograr óptimas condiciones de funcionamiento con una intensidad de viento constante y sin rachas.

3.2 Lugares factibles para la instalación

La selección de un lugar adecuado para la instalación de la central eólica se realizó a través de mapas del lugar y de visitas en terreno para comprobar las ventajas y desventajas de los diferentes lugares que presenta la isla, los que no son numerosos dadas las características de la zona. Isla Quenu es un lugar que se asemeja a un cerro cubierto de vegetación, principalmente de arrayanes y matorrales, donde no se encuentran muchos lugares planos ni despejados. En todo su contorno se presenta playa y algunos lugares son muy rocosos (peñascos).

El lugar de emplazamiento debe ser lo más despejado posible, ya que las torres eólicas son perjudicadas con cualquier obstáculo en el terreno. En isla Quenu se distinguen pocos lugares que cuentan con estas condiciones, ya que el terreno en general se encuentra cubierto de matorrales, piedras y árboles, y la topografía del lugar genera obstáculos naturales en gran parte de la isla.

Los lugares factibles observados en la isla para la instalación de una central eólica son tres, los que fueron elegidos por su cercanía con los centros de consumo (casas), fácil acceso que se presenta en el caso de construir la central y una posterior mantención de la misma, terreno despejado de obstáculos naturales y artificiales que podrían perturbar la dirección del viento. Estos lugares se describen de forma general a continuación, considerando los elementos favorables y desfavorables, además se exponen en los respectivos mapas para obtener una visión de su ubicación.

a) *Terreno cercano a la capilla:* en la Figura N° 18 se indica el lugar exacto donde se ubica este terreno. Entre las ventajas se destaca que es un lugar libre de matorrales a varios metros, con pasto corto, ubicado en la parte baja de la isla; también se presenta un terreno apto para el anclaje de la torre. Su cercanía con dos viviendas, la capilla, el cementerio y el colegio provocan interferencia en el viento disponible, ya que forman obstáculos artificiales. Otra desventaja se debe a que el terreno se ubica en la parte baja de la isla y el viento proveniente del lado norte no alcanza su máxima velocidad en este lugar, ya que la vegetación existente en las zonas altas lo impide. Al ser un lugar bajo respecto al nivel del mar el viento incidente en esta zona es bajo. El acceso al lugar es favorable por encontrarse cercano a la costa y al camino vecinal que une todas las parcelas.



Figura N° 18. *Ubicación del lugar cercano a la capilla.*

b) *Las cuatro puntas de la isla:* las cuatro puntas que posee la isla son: Pinto, Lilecura, Huechuquenu y Rumén, las que se pueden observar en la Figura N° 19. Estos lugares son bastante despejados y no poseen vegetación que presente algún tipo de obstáculo. El viento llega desde todos lados. La desventaja se presenta en el terreno que es arenoso e inestable, y en algunas zonas es rocoso, lo cual no sirve para emplazar una torre eólica. El acceso es una de las mayores ventajas que se presentan en estas zonas.

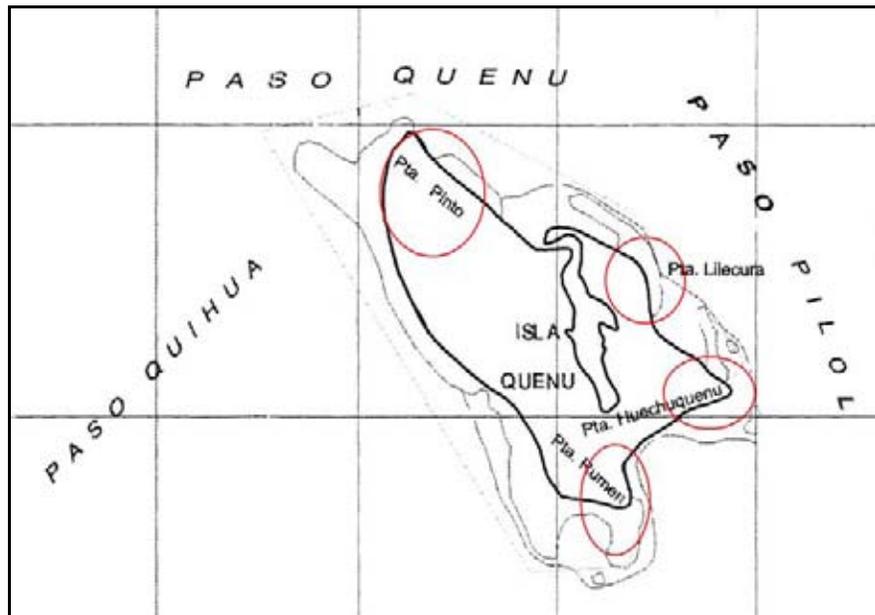


Figura N° 19. *Ubicación de las cuatro puntas de la isla.*



Figura N° 20. *Vista de la punta Rumén y Huechuquenu.*

c) *Parcela del sr. Alfredo Agüero:* en este lugar se realizaron los registros de viento de la isla por la empresa Wireless Energy. En la Figura N° 21 se puede ver el lugar exacto donde se ubicó la torre de medición. Esta parcela pertenece al sr. Alfredo Agüero, quien posee un tercio de los terrenos de la isla y cedió un lugar para medir vientos y radiación solar. Este lugar es el más alto de la isla respecto al nivel del mar, el acceso se puede realizar a través del camino vecinal, el cual permite el acceso a toda la isla. La parcela se encuentra completamente despejada de obstáculos naturales y artificiales, ya que los matorrales son eliminados frecuentemente por el dueño, no existen árboles en el lugar y no hay casas cercanas. El terreno es ideal para el anclaje de la torre, además de ser amplio y plano.



Figura N° 21. *Ubicación de parcela*

3.2.1 Selección del lugar

Con los tres lugares presentados se puede definir el más conveniente respecto a diferentes variables como son: tipo de terreno, las características topográficas del lugar, la ausencia de vegetación y el acceso hacia la zona de instalación; el factor más importante es el potencial eólico que se puede obtener del lugar, que en este caso es un dato inexistente en dos de los lugares, por esta razón la selección se realiza desde otra perspectiva, como es el caso del terreno apto para una posible instalación de la central eólica.

Entre los lugares descritos y analizados en forma breve el más conveniente y apto resulta ser la parcela perteneciente al sr. Alfredo Agüero. Este lugar es óptimo por la topografía que presenta, ya que es un lugar plano y libre de árboles, sólo cuenta con algunos matorrales y pasto. En la Figura N° 22 se pueden observar fotos del paisaje que presenta este lugar. Es un lugar amplio y el más alto respecto al resto de la isla. Los habitantes concuerdan que es el lugar más óptimo, ya que se encuentra ubicado en un lugar cercano al centro de la isla y se puede acceder a él a través del camino vecinal para una posterior instalación y mantención.

El potencial eólico de esta zona fue medido a través de una torre de medición que se instaló entre los años 2002 y 2003, a petición de la CNE para el proyecto CHI/00/G32, como monitoreo del recurso eólico que es parte de la cartera de proyectos de éste. Es el único lugar de la isla que cuenta con un monitoreo de viento conocido, los demás lugares se descartaron por otros factores que imposibilitan la instalación viable de una central eólica. La velocidad media se estima en 4.9 m/s para una altura de torre de 20 metros. A esta altura la velocidad de viento no es ideal para competir con la generación eléctrica convencional, ya que el potencial que se obtiene no es el más apropiado para abastecer eléctricamente a la isla. El viento debe ser superior a una velocidad media anual de 5 m/s, por lo tanto la altura de torre se debe elevar sobre los 20 metros con el fin de conseguir mayor velocidad de viento y, por ende, mayor potencial eólico.

Las horas del día en que se presenta mayor velocidad de viento son entre las 13 y 19 horas y de las 4 a las 8 horas, lo que debería aumentar al elevar la posición de la torre a 40 metros.

Por la razón ya expuesta se realizarán correlaciones en este lugar a una altura de torre de 40 metros, utilizando el análisis de viento a 20 metros de altura, para lo cual se utilizarán fórmulas empíricas.

Es importante destacar que los matorrales que se observan en las dos últimas fotos de la Figura N° 22 son eliminados esporádicamente del lugar, lo que permite tener una zona completamente despejada. Durante la medición de datos de recurso eólico este sector contaba con este tipo de vegetación lo que pudo incrementar las turbulencias y desviaciones antes señaladas, lo que lleva a una velocidad de viento menor a la que se puede conseguir en un lugar despejado.

La posible instalación de una central eólica en este sector no provocaría un impacto visual negativo, no interfiere de mayor forma en el entorno, más bien le otorga un atractivo diferente al lugar, lo que podría atraer turistas y por ende beneficios económicos para los lugareños. Es válido destacar que este factor es subjetivo y el impacto visual podría ser visto de forma diferente por otras personas. Se desconoce el impacto sobre las aves en lo concerniente al choque en las palas. Los animales de pastoreo de la isla no se ven afectados y pueden interactuar con el lugar sin ningún problema.

Este lugar se encuentra alejado de las viviendas y no provocaría impacto por emisión de ruido.

Esta zona se destaca por un clima lluvioso templado, en que la temperatura media alcanza los 8.5° C y no es posible encontrar meses secos a lo largo del año. Este factor se debe tener en cuenta para el material de la torre que se instalará en la zona.



Figura N° 22. *Lugar seleccionado para instalar central eólica.*

En la Figura N° 21 se puede observar un mapa del lugar en el cual se muestra el lugar específico seleccionado para la instalación de la central a través de un mapa. La parcela se ubica en el lugar más alto de la isla, lo que se demuestra al revisar la simbología de éste. También se observa que el lugar se encuentra libre de árboles y grandes obstáculos.

3.3 Altura final de la torre eólica

Con los datos obtenidos en el estudio nombrado con anterioridad se puede establecer que es necesario situar la torre eólica por sobre los 20 metros de altura, con la finalidad de obtener mayores valores de velocidad de viento durante todos los meses del año y alcanzar valores de densidad de potencia más elevados.

La altura que aconseja el estudio elaborado por la empresa Wireless Energy es entre 40 y 50 metros de altura. En este caso particular se tomará el valor de 40 metros, con los cuales se obtendrán nuevos valores de velocidad y densidad de potencia. Para conseguir estos nuevos valores se utilizó la fórmula 2.3 [17] la cual utiliza la velocidad de referencia obtenida en el informe elaborado por Wireless Energy.

$$V = V_0 \times k \tag{2.3}$$

Donde: (Unidades métricas)

V_0 : velocidad de referencia (m/s)

k : coeficiente multiplicador

El coeficiente multiplicador k se obtiene de la Tabla N° 5, en la cual se presenta la relación entre velocidad de viento a diferentes metros de altura y la rugosidad de distintas superficies.

Tabla Nº 5. *Relación entre velocidad de viento y rugosidad de superficie.*

Rugosidad de la superficie	Altura en metros							
	6	12	18	24	30	36	42	48
Superficie suave: mar, arena	0,94	1,04	1,10	1,15	1,18	1,21	1,24	1,26
Pasto bajo o tierra llana	0,94	1,05	1,12	1,17	1,21	1,25	1,28	1,31
Pasto alto o matorrales	0,93	1,05	1,13	1,19	1,24	1,28	1,32	1,35
Bosques bajos	0,92	1,06	1,16	1,23	1,29	1,34	1,38	1,42
Bosques altos	0,89	1,08	1,21	1,32	1,40	1,47	1,54	1,60
Suburbios o pueblillos	0,82	1,15	1,39	1,60	1,78	1,95	2,09	2,23

FUENTE: REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA [17]

En este caso en la Isla Quenu para una altura de 40 metros y una rugosidad de superficie de terreno de pasto alto o matorrales, considerando que los matorrales son eliminados esporádicamente y no en forma definitiva, el coeficiente obtenido en forma aproximada es el valor 1.32.

Utilizando la fórmula de la referencia 2.3 se obtienen los nuevos valores de velocidad de viento y densidad de potencia a 40 metros de altura, los que se indican en la Tabla Nº 6.

Tabla Nº 6. *Velocidad de viento y densidad de potencia (40 metros)*

<i>Isla Quenu mes</i>	<i>Año</i>	<i>V (20 m) m/s</i>	<i>Densidad de Potencia W/m²</i>	<i>V (40 m) m/s</i>	<i>Densidad de Potencia W/m²</i>
Octubre	2002	5,15	162,64	6,80	374,49
Noviembre	2002	5,36	156,76	7,08	361,28
Diciembre	2002	4,55	99,65	6,01	229,56
Enero	2003	4,33	90,55	5,72	208,67
Febrero	2003	4,44	77,91	5,86	179,09
Marzo	2003	4,12	79,9	5,44	183,93
Abril	2003	3,47	58,35	4,58	134,16
Mayo	2003	4,53	105,88	5,98	243,57
Junio	2003	6,5	288,69	8,58	663,97
Julio	2003	5,1	139,28	6,73	320,05
Agosto	2003	5,7	199,08	7,52	457,15
Septiembre	2003	5,8	214,62	7,66	494,40
Octubre	2003	5,2	167,46	6,86	384,49
Noviembre	2003	4,6	99,77	6,07	229,24
Diciembre	2003	5,05	136	6,67	313,36
				<i>k= 1,32</i>	

En la Tabla N° 6 se puede observar que todos los valores de velocidad de viento aumentan por sobre los 5 m/s, a excepción del mes de abril de 2003. Estos nuevos valores son favorables para un desarrollo viable del proyecto de electrificación, ya que se alcanzan velocidades de viento de hasta 8,58 m/s en el periodo de invierno. Los meses del periodo de verano presentan velocidades bajas, por lo que se debe elegir una turbina eólica que genere energía en este rango de valores de velocidad. En la Figura N° 23 se pueden observar los valores de velocidad de viento obtenidos a 40 metros de altura. Estos valores indican la efectividad de elevar la turbina eólica a los 40 metros, ampliando las ventajas de realizar el proyecto.

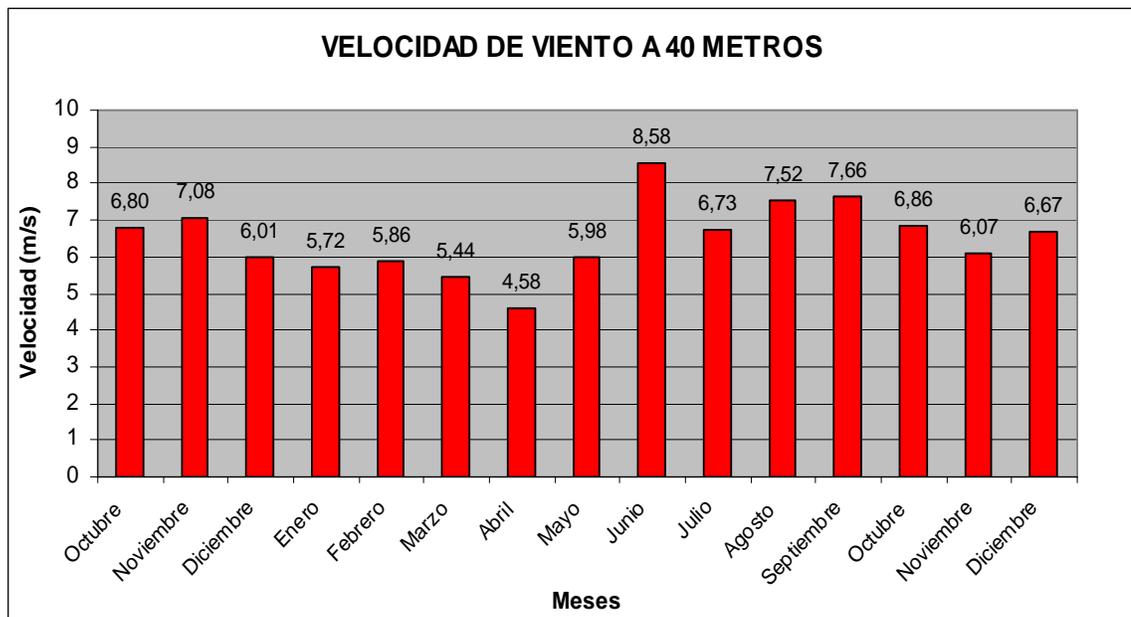


Figura N° 23. *Velocidad de viento a 40metros*

La densidad de potencia se calculó según la fórmula 2.1 para lo cual se consideró una densidad de aire independiente para cada mes, la que fue obtenida de los valores de densidad de potencia a 20 metros de altura, otorgados por el estudio de Wireless Energy. Con estos valores de densidad de aire se calculó la densidad de potencia para cada mes del periodo comprendido entre octubre de 2002 a diciembre de 2003. Los valores de densidad de aire calculados para este caso se encuentran en el Anexo 4.

Los valores de densidad de potencia obtenidos a 40 metros de altura muestran una mejora notable de la densidad de potencia, hasta en el triple de los valores obtenidos a 20 metros de altura, tal como se demuestra en la Figura N° 24. Este factor aumenta considerablemente las posibilidades para una instalación eólica en la zona elegida.

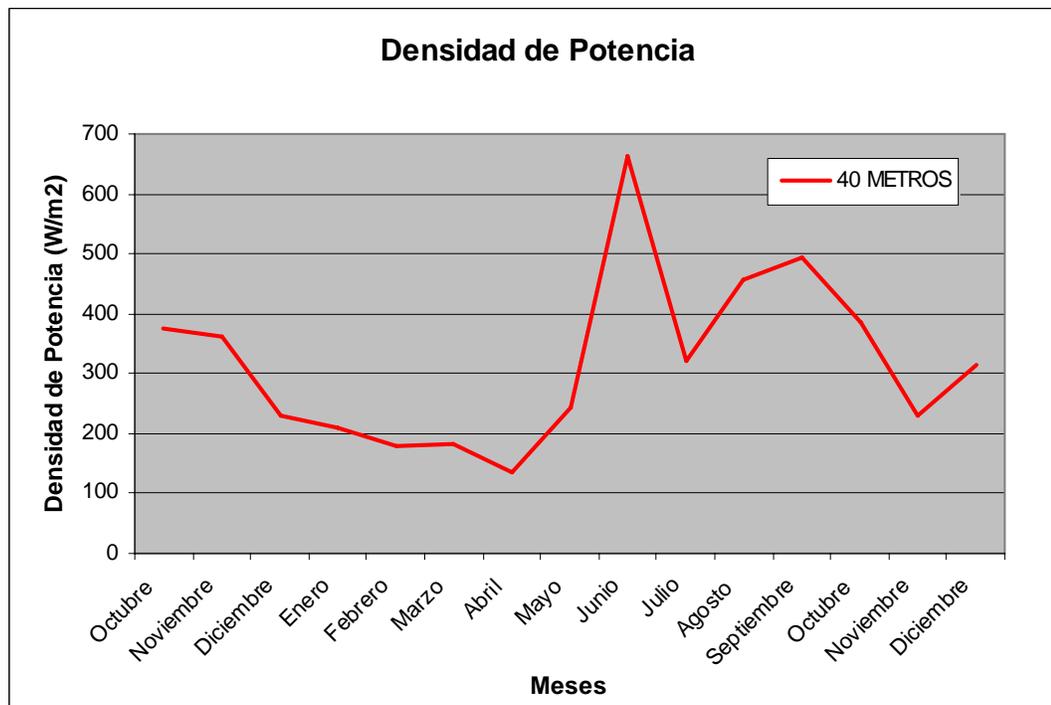


Figura N° 24. Densidad de potencia a 40 metros.

3.3.1 Características del viento a 40 metros de altura.

La dirección del viento a 40 metros de altura continúa siendo predominante hacia el Norte, ya que la única variación hecha es respecto a la altura, lo cual no impide que el viento siga su curso normal. Por lo tanto, esta es la dirección adoptada para la posterior ubicación de la turbina eólica.

Las velocidades promedio calculadas a una altura de 40 metros superan casi en su totalidad los 5 m/s, a excepción del mes de abril de 2003. En la Figura N° 25 se pueden apreciar las diferencias adquiridas en la velocidad del viento al elevar de 20 a 40 metros la altura final de la turbina eólica. La velocidad promedio obtenida a esta altura alcanza un valor de 6.5 m/s. Este aumento en las cifras facilita la instalación de una central eólica en la zona de estudio, ya que, regularmente, las máquinas eólicas de media potencia presentan una velocidad de partida de 3 a 4 m/s, pero se genera energía de forma constante por sobre los 5 m/s de velocidad.

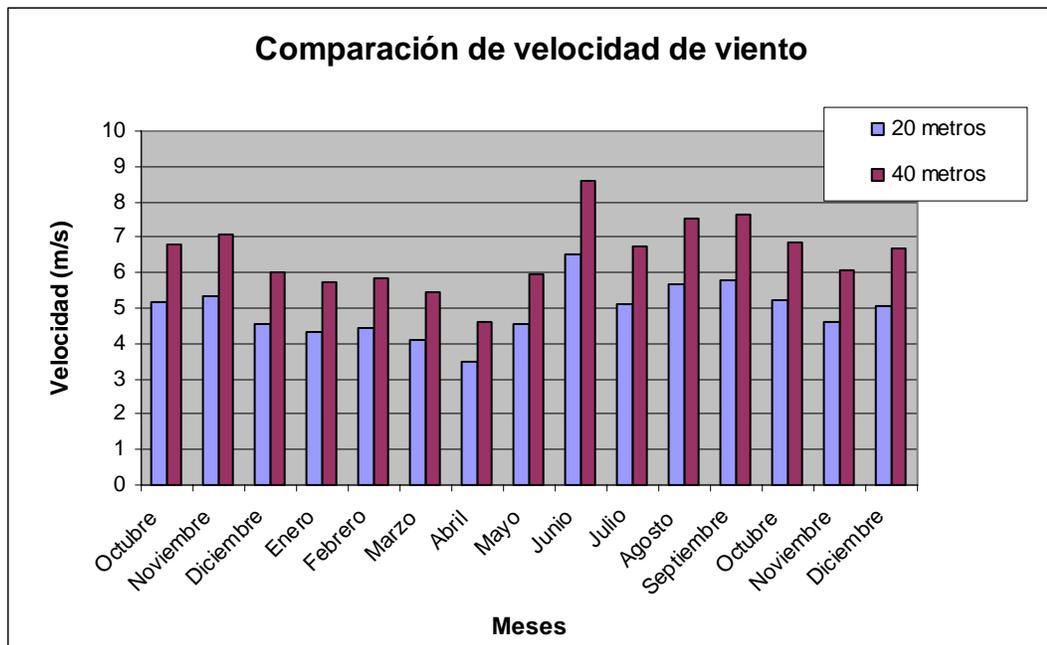


Figura N° 25. Comparación de velocidad de viento.

Tal como se explicó anteriormente, las turbulencias que se presentan en la zona se deben a la cercanía del terreno con la altura del anemómetro, este hecho concibe la idea de ubicar la torre eólica sobre los 20 metros de altura, evitando así las turbulencias generadas a menor altura y logrando una mayor eficiencia de generación de energía. Por lo tanto, la altura final escogida de 40 metros es adecuada para el diseño de la central, según lo expuesto en el estudio de Wireless Energy y considerando los cálculos ya realizados.

La desviación estándar es un factor que identifica las turbulencias, el cual se verá afectado tomando en consideración que a mayor altura las turbulencias disminuyen. Por esta razón, las desviaciones ocurridas a 20 metros de altura debido a la existencia de obstáculos en el terreno, disminuyen, provocando que la intensidad del viento sea más continua.

La evaluación de las horas del día que presentan mayor velocidad de viento se realiza utilizando la fórmula de la referencia 2.3, obteniendo los resultados que se indican en la Figura N° 26. En el Anexo 5 se pueden encontrar las cifras individuales de las velocidades promedio diarias.

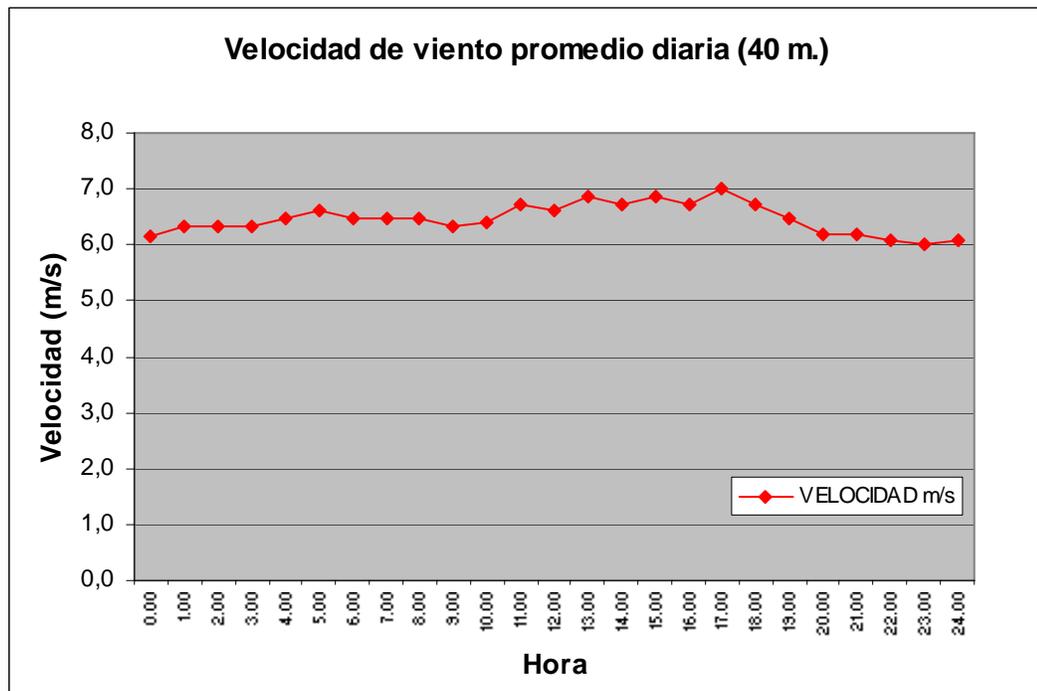


Figura N° 26. *Velocidad de viento diaria a 40 metros.*

La figura N° 26 indica una clara tendencia de aumento del recurso eólico entre las 12 y 18 horas, al igual que lo señalado en los valores obtenidos a una altura de 20 metros, con la diferencia de las cifras, que en este caso promedian los 6,5 m/s de velocidad. Esta similitud entre el rango de horas de mayor de velocidad se debe exclusivamente a la forma en que se calcula la velocidad empírica a 40 metros (referencia 2.3).

La Figura N° 27 muestra la comparación entre las velocidades promedio diarias calculadas a 20 y 40 metros. Las velocidades diarias aumentan por sobre los 6 m/s las 24 horas del día, lo que hace viable el uso de turbinas eólicas en la zona y aumenta la posibilidad de producción de energía durante todo el día, dadas las condiciones favorables del recurso eólico.

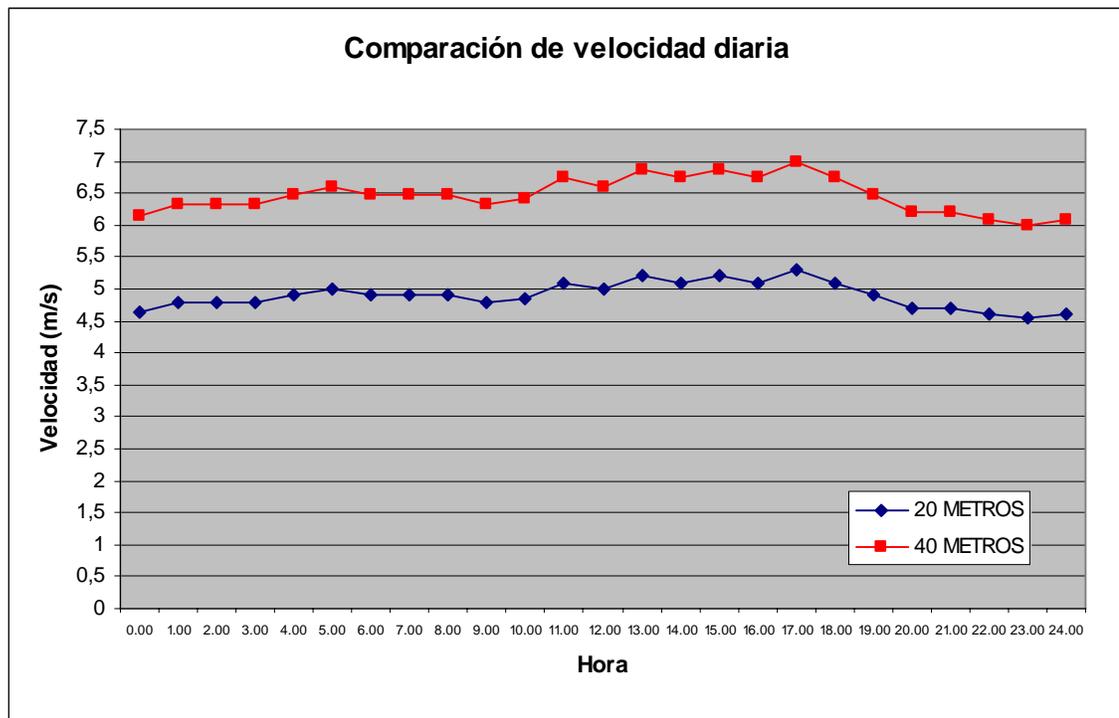


Figura N° 27. Comparación de velocidad promedio diaria.

La densidad de potencia es uno de los factores primordiales para el desarrollo del proyecto de electrificación con energía eólica, considerando que es un indicador de la potencia disponible para la explotación del recurso natural como fuente de electricidad. Al comparar los valores de densidad obtenidos a 40 metros en relación a los valores que existían a 20 metros, es importante señalar que el aumento de densidad que se produce es de hasta tres veces. En la Figura N° 28 se observa la comparación hecha entre ambas densidades de potencia, y se muestra el gran aumento que se produce al elevar la altura de torre; este factor favorece considerablemente la instalación de la central eólica en el lugar.

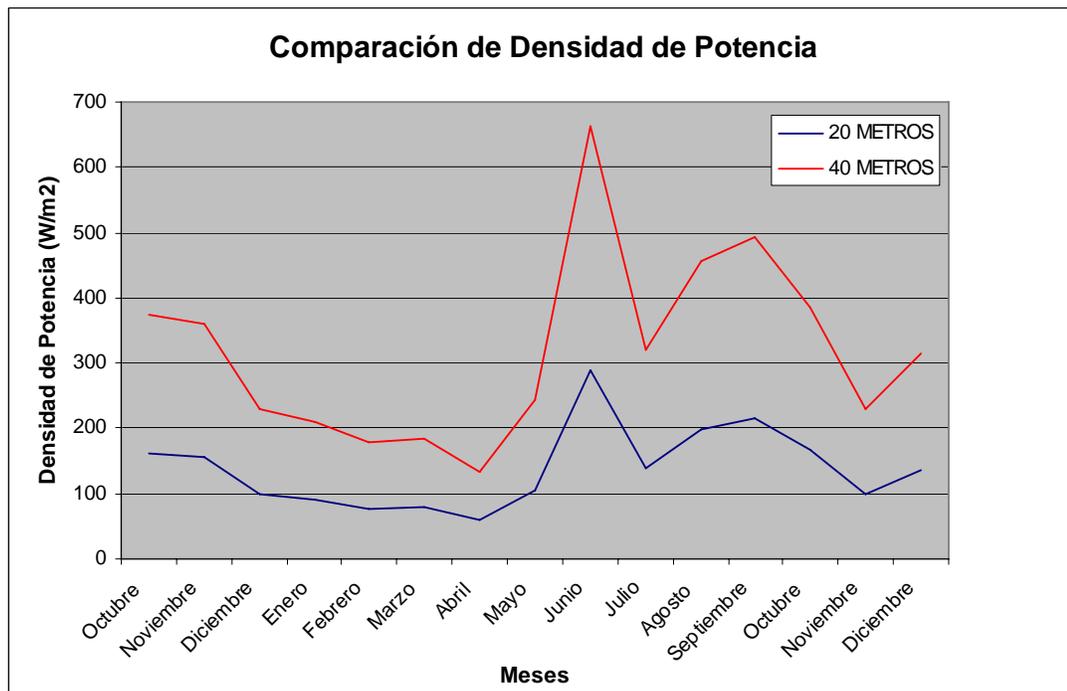


Figura N° 28. Comparación de densidad de potencia.

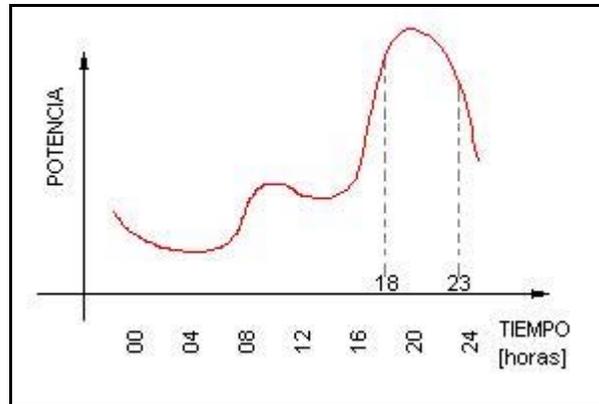
3.4 Estimación del consumo total

Isla Quenu no cuenta con servicio eléctrico actualmente, por lo tanto el consumo que se genere en este lugar será estimado según referencias.

El cálculo del consumo eléctrico total de la Isla Quenu se realiza estimando los consumos de futuros electrodomésticos que podrían ser utilizados por los lugareños y contemplando sólo alumbrado domiciliario, ya que el alumbrado público no se considera una prioridad en este proyecto, pero no se descarta para un análisis independiente.

Es importante tener en cuenta algunos factores como el tiempo y las horas del día en que se presentan los mayores consumos. Tal como se indicó anteriormente, las condiciones del viento permiten la generación de energía eléctrica durante la mayor parte del día, considerando los valores promedio generales diarios obtenidos a 40 metros de altura. La diferencia de generación se da en los meses del año, ya que varían los promedios de velocidad a lo largo del año, siendo los meses de verano (enero – abril) los que presentan las velocidades más bajas. Es importante destacar que el mes de abril es el único que posee velocidades y densidad de potencia por debajo del promedio, lo que se debe compensar con otra forma de generación eléctrica.

Las horas de mayor consumo en el periodo de invierno (Mayo a fines de Septiembre), según lo señalado por la empresa eléctrica Saesa, es el periodo comprendido entre las 18 horas y las 23 horas. Este consumo descende en los meses de verano, ya que se utiliza menor cantidad de energía en los hogares, tanto en calefacción como alumbrado (Fuente: Chilectra [3]). En la Figura N°29 se observa el ciclo diario de consumo de energía característico en el periodo de invierno a lo largo del país (Chile), se muestra claramente el rango de horas de mayor consumo (18 a 23 horas). Este gráfico se puede utilizar para estimar las horas de mayor consumo en Isla Quenu, ya que las zonas aledañas a esta comunidad presentan estas características horarias, lo que supone se cumpliría en la zona de estudio dada la cercanía y similitud con las zonas de Calbuco y Puluqui.



FUENTE: CHILECTRA

Figura N° 29. *Gráfico de ciclo diario de consumo de energía.*

Con los datos señalados se confirma que se puede abastecer eléctricamente la isla utilizando energía eólica, dadas las condiciones de generación y a través de acumulación en baterías en los horarios de consumo.

Los consumos específicos que se otorgan a la zona de estudio en un plazo de 5 años se enumeran en la Tabla N° 7. Para tal efecto se consideraron algunas especificaciones observadas en terreno, en islas aledañas y según antecedentes de equipamiento en hogares rurales entregados por la CNE [19].

En la visita realizada en Isla Quenu se corroboró que la gran mayoría de las casas cuenta con radio y televisión, sólo tres casas contaban con lavadora automática. Los demás artefactos se estiman según el grado de importancia que los lugareños le otorgan y según el poder de adquisición que presentan. Cabe mencionar que la mayoría de los lugareños viven de actividades que no reportan grandes ingresos económicos, lo que limita el poder adquisitivo. Electrodomésticos tales como lavadora y refrigerador no resultan imprescindibles para los habitantes de la isla, ya que se acostumbra a lavar en lavabos, pero se estima que alrededor de un 50% de la población llegará a obtener estos artefactos en el plazo antes señalado para una mayor comodidad.

De la misma forma, elementos como plancha eléctrica, hervidor eléctrico y secadora de ropa no se utiliza en estas zonas, ya que la principal fuente de calefacción la constituyen las estufas a leña, las cuales permanecen encendidas la mayor parte del día, tal como se acostumbra en el sur de Chile. La calefacción que otorga una estufa a leña cubre los requerimientos de secado de ropa, calefacción de las viviendas, planchado de ropa y además permite mantener el agua caliente y cocinar; por esta razón se les otorga un mínimo o nulo grado de importancia y adquisición. Cabe destacar que esta clase de electrodomésticos son los que consumen mayor cantidad de energía, lo que no los hace convenientes para el sistema en diseño ni para el consumidor.

Para el alumbrado domiciliario de la isla se considera seis ampolletas de ahorro energético por cada casa, tomando en cuenta la cantidad promedio de habitaciones por vivienda que es cinco. Las ampolletas de ahorro se utilizan para economizar lo máximo de electricidad.

Es importante estimar un consumo realista a largo plazo para no saturar el sistema de inmediato, y diseñar un sistema eléctrico que cumpla con las expectativas y necesidades de los lugareños.

Tabla N° 7. Cuadro de consumos y potencia total de Isla Quenu.

	CANTIDAD	PRODUCTO	POTENCIA (W)	TOTAL (W)
CASAS	270	Ampolleta	15	4050
	30	Lavadora	330	9900
	25	Refrigerador	155	3875
	5	Congelador	160	800
	5	Plancha	1000	5000
	45	Televisor de 21"	75	3375
	45	Radio	25	1125
ESCUELA	12	Equipo fluorescente	40	480
	4	Ampolleta	15	60
	2	Pc escritorio c/monitor	350	700
	1	Refrigerador	155	155
CAPILLA	12	Ampolleta	15	180
			POTENCIA (W)	29700
			POTENCIA (kW)	29,7

El consumo total estimado para la Isla Quenu es de 30 kW. Este consumo es sobreestimado ya que la Tabla N° 7 considera los supuestos consumos que se podrían presentar en las casas una vez que se electrifique la isla, lo que no se encuentra alejado de la realidad, considerando las demandas que habitualmente se presentan en una casa cualquiera. La estimación de este consumo es a largo plazo, considerando a lo menos un plazo de diez años, dadas las condiciones económicas de los lugareños y el grado de importancia que se le otorgue a estos aparatos una vez que se electrifique la isla. La potencia nominal se calculó según las especificaciones que se describen en el Anexo 6.

Este consumo total estimado indica una referencia de la potencia máxima que se podría llegar a consumir en la zona de estudio si todos los elementos considerados (electrodomésticos y sistemas de alumbrado) funcionaran al mismo tiempo; pero este no es un valor real de una potencia promedio común. Por esta razón, el diseño de la central eólica debe considerar un consumo realista teniendo de referencia lo sucedido en las islas aledañas al lugar de estudio, para tener una idea clara del consumo que se podría llegar a concretar en la isla. Por esta razón no se utiliza el valor de potencia de 30 kW, ya que resulta un exceso, pero se considera para el diseño de la central eólica un 50% de la potencia obtenida, considerando que en la zona del Archipiélago de Calbuco las casas consumen por unidad una potencia máxima aproximada de 320 W (Fuente: SAESA Calbuco). Cabe mencionar que Isla Quenu cuenta con 45 casas y 1 escuela lo que se aproxima a un valor real estimado de 15 kW de potencia máxima para la zona.

Capítulo IV: Diseño de la central eólica.

El recurso renovable disponible en Isla Quenu y el espacio físico de la zona abren la posibilidad al diseño de una central eléctrica que permita la electrificación de la isla en forma completa y así mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta comunidad.

En este capítulo se dan conocer los fundamentos de la elección del sistema de generación de energía que se proyecta en Isla Quenu, comenzando por la elección del recurso renovable y el motivo que condujo al diseño de un sistema híbrido, combinando los recursos existentes con recursos fósiles y sistemas de almacenamiento de corto plazo. En este paso es necesario especificar todos los elementos constituyentes de la central para una posterior selección en el diseño.

Otro de los aspectos importantes de abordar es el cumplimiento de la normativa ambiental vigente del país, para lo cual es necesario proyectar y analizar la central eólica a una etapa de construcción, operación y un eventual abandono. Este aspecto se centra, básicamente, en el cumplimiento de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley 19.300) y del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Finalmente, cumpliendo la normativa ambiental y teniendo claridad de los recursos disponibles con los cuales se cuenta en Isla Quenu, es posible la elección de los componentes de la central en proyección, obteniendo el diseño final de ésta. Es necesario realizar cotizaciones y analizar los diferentes elementos que presenta el mercado, tanto nacional como internacional, para conseguir los mejores precios, alta calidad y un diseño eficiente.

4.1 Fundamentos de diseño

El proyecto de generación de electricidad en Isla Quenu, fundamentado principalmente en el uso de energía eólica, es diseñado según las condiciones y características de viento existentes en la zona, las que se dieron a conocer anteriormente; es por esta razón que se opta por un sistema híbrido que cubra los requerimientos de energía que se presentan al utilizar un recurso disperso como es el viento.

Los sistemas eólicos de baja potencia, que presentan potencias medias de alrededor de 50 kW, como es este caso, utilizados para consumos en pequeñas comunidades, normalmente se combinan con sistemas diesel o de gas y sistemas de almacenamiento de corto plazo para cubrir los consumos que se generan durante todo el día.

Un sistema híbrido se basa en la conexión de una determinada combinación de equipos generadores, tales como recursos renovables (viento, sol, agua y/o biomasa), con sistemas generadores convencionales (que utilizan petróleo o gasolina) y sistemas de almacenamiento de energía, para alimentar cargas eléctricas utilizando el mínimo de combustibles fósiles y, a la vez, dar solución a la demanda de electricidad que las energías renovables no puedan brindar en algunas ocasiones debido a su comportamiento cíclico.

La utilización de sistemas híbridos permite optimizar el uso de distintas fuentes energéticas, con lo cual se logra reducir costos, tanto de operación como de tarifas por consumo, además disminuye el daño al medio ambiente provocado por los combustibles fósiles, lo cual favorece al desarrollo sustentable de las zonas que utilizan estos sistemas [4].

La central eólica de Isla Quenu es diseñada para cumplir con los requerimientos de consumo de los habitantes de la isla, los cuales fueron estimados en 30 kW aproximadamente. Se opta por un sistema híbrido, el que debido a las fuentes energéticas de la zona debe ser eólico – diesel. Se utiliza el viento, ya que resulta ser el recurso renovable más significativo en la zona de estudio, esto se demuestra con los valores obtenidos a 40 metros de altura.

Además, la utilización de aerogeneradores permite el uso del suelo en actividades agrícolas y ganaderas. El viento no es excelente, pero es óptimo para generar energía eléctrica a una comunidad que se estima llegaría a consumir una potencia estimada máxima de 30 kW, lo cual se considera baja potencia.

Se analizó la posibilidad de utilizar otro tipo de fuente energética renovable en combinación con la energía eólica, pero no se encontró una que satisfaga las necesidades de la comunidad o, simplemente, no se pueden utilizar los recursos existentes por otros inconvenientes. La energía solar no alcanza niveles apropiados para la generación de electricidad, ya que existe una alta nubosidad baja durante la mañana hasta el medio día, además es destacable la nubosidad y pluviosidad a lo largo del año lo que afecta a la radiación solar en la zona [26]. Por su parte, la energía mareomotriz también se descarta debido a la presencia de bajos, que se puede observar cuando baja la marea, estos se encuentran alrededor de la isla lo que haría imposible la utilización de este recurso.

La energía eólica se combina con un sistema de generación convencional que en este caso es un generador diesel, puesto que resulta el combustible más económico del mercado actual. La elección de este sistema se hace por la falta de otras fuentes energéticas renovables y debido a la irregularidad de la frecuencia del viento en la zona, por lo que corresponde disponer de un sistema alternativo para cuando la demanda y las condiciones del sistema lo requieran. En el diseño y utilización de éste, se trata de minimizar el uso de combustible, por lo que es necesario utilizar un sistema de almacenamiento (baterías), con el fin de almacenar la energía producida por el viento y usar el generador diesel sólo cuando la demanda lo requiera.

Para la elección de un sistema eléctrico aislado se analizaron varios aspectos y los motivos que llevan a la elección de este sistema son tanto económicos como técnicos. Para conectar al Sistema Interconectado Central se necesita hacer una extensión de red eléctrica mediante cables submarinos o aéreos que cruce el Canal Calbuco, lo que no resulta rentable al considerar la

gran inversión que se debe hacer para la baja cantidad de personas que resultan beneficiadas. Las extensiones de red que se han realizado en el Canal Calbuco corresponden a la Islas Puluqui (1200 familias) y se encuentra en proyecto la extensión hasta la Isla Chidguapi (141 familias), las que son islas vecinas de la Isla Quenu, pero que cuentan con una cantidad considerable de habitantes, al contrario de la isla en estudio. También es importante destacar que las extensiones de red que se han realizado en este sector son líneas aéreas que generan menor inversión que los cables submarinos, por lo cual se debieron cambiar las rutas marítimas; este es otro aspecto que trae inconvenientes al sector, ya que los alrededores de la isla son rutas marítimas frecuentemente utilizadas por todo tipo de embarcaciones e incluso por los mismos habitantes. En consecuencia realizar una extensión de red, ya sea aérea o submarina, no es rentable para la isla.

En la Figura N° 30 [21] se puede observar la configuración de la central híbrida eólica – diesel de Isla Tac ubicada en el Archipiélago de Chiloé, muy cercano geográficamente a la Isla Quenu.

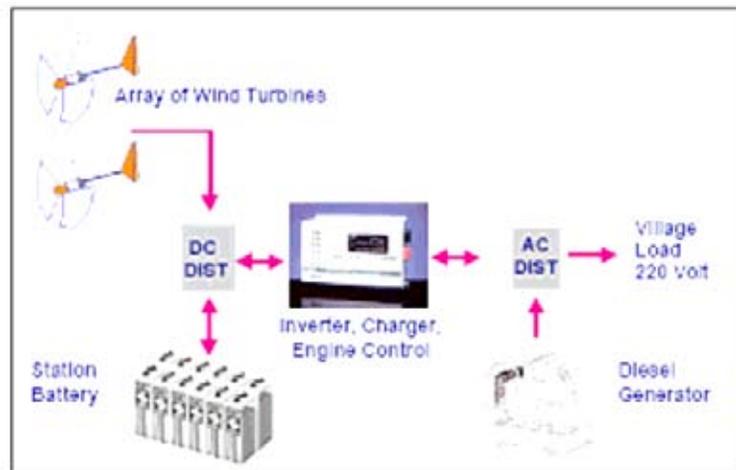


Figura N° 30. Disposición de central eólica - diesel de Isla Tac.

Los principales elementos que conforman la central eólico- diesel se seleccionarán a través de cotizaciones, y se describe a continuación.

4.1.1 Aerogenerador tripala

El tipo de turbina eólica elegida para esta aplicación corresponde a una máquina eólica de eje horizontal, dadas las características de trabajo que presentan. Según lo expuesto en el capítulo I de este estudio, el desarrollo alcanzado por este tipo de turbinas eólicas es superior al que presentan las turbinas de eje vertical, por lo que pueden alcanzar mayores potencias y mejores rendimientos de funcionamiento. Son más difundidos, ya que son ampliamente utilizados en aplicaciones que van desde bombeo hasta electrificación con megawatt de potencia.

En el mercado actual se brindan aerogeneradores de una, dos y tres palas, repartiéndose el mercado en el 2%, 24% y 74% respectivamente.

Las turbinas de eje horizontal comúnmente utilizadas son las tripalas, ya que son más equilibrados al mismo tiempo que producen una menor contaminación acústica. Respecto a los costos, los aerogeneradores de tres palas son más baratos que los aerogeneradores bipalas debido a los inconvenientes que estos presentan al tener sus palas en dirección opuesta y generar fuerzas excesivas en algunos momentos [8].

Un generador tripala se compone de un rotor con tres aspas y buje situado en la copa de una torre, la góndola con caja multiplicadora, generador eléctrico y freno mecánico, controlador electrónico y mecanismo de orientación. En la Figura N° 31 [6] se pueden observar los principales componentes de un aerogenerador tripala.

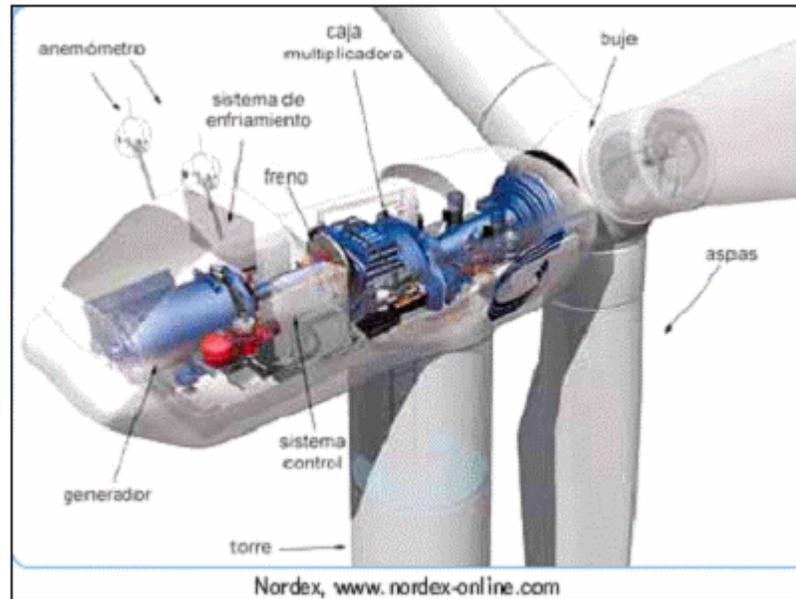


Figura N° 31. *Componentes principales de un aerogenerador.*

Los componentes del aerogenerador deben ser de un material resistente a la humedad debido a que la zona de ubicación presenta altos índices de humedad durante todo el año.

El sistema de orientación que se aplica al aerogenerador tripala en este estudio es el viento arriba o barlovento (ver Figura N° 1 del Capítulo I), puesto que es el sistema más utilizado en mantener el rotor en un plano perpendicular a la dirección del viento y extraer la máxima energía del viento. El inconveniente que posee el sistema a sotavento son las fuerzas adicionales que se originan en el rotor cuando una de las palas pasa por la sombra eólica de la torre. Para mantener el plano del rotor perpendicular a la dirección del viento se utilizan servomecanismos, que constituyen la unión entre la torre y la góndola.

El consumo estimado máximo en Isla Quenu es de **30 kW**, pero el consumo real estimado en esta zona será considerado como el 50% de este valor total, es decir, **15 kW**. Esta potencia será utilizada para el diseño de la central y fue corroborada por el encargado de SAESA Calbuco, puesto que es un valor real una potencia máxima por hogar de **320 W**; aunque no significa que cada casa debe llegar a presentar esa potencia, porque no todas las viviendas

consumen igual cantidad a la misma hora. Es un valor razonable y sobreestimado considerado por la empresa eléctrica de la zona (Fuente: SAESA Calbuco).

En lugares cercanos tales como Isla Puluqui, la cual es alimentada por cables aéreos e Isla Tac, alimentada por una central eólica – diesel, al instalar electricidad no fueron considerados los consumos que se podrían generar a futuro, por lo cual se produjo un exceso de consumo en estas zonas, provocando finalmente un colapso de los respectivos sistemas de electrificación. En el caso de Isla Tac se diseñó una central con capacidad de 15 kW, la que al cabo de cinco años ya se encontraba saturada, porque no se realizó una proyección del consumo máximo por vivienda. Esta isla cuenta con un total de 82 viviendas y hoy en día deben seguir un sistema de turnos para utilizar lavadoras y electrodomésticos que requieren una potencia elevada. Isla Puluqui está conectada al Sistema Interconectado Central por lo que el exceso de consumo provoca un desequilibrio de este sistema, lo que provoca cortes en el suministro eléctrico y baja de voltaje en los horarios de mayor consumo (Fuente: SAESA Calbuco). Con un consumo real estimado de 15kW, considerando los parámetros de potencia máxima de 320 W por vivienda que se presentan en las zonas aledañas a Isla Quenu, el diseño final estará compuesto por dos aerogeneradores de 7.5 kW cada uno, los que se deben seleccionar a través de cotizaciones. Este tipo de turbina eólica se encuentra en Chile, lo que es beneficioso para el proyecto, ya que implica un ahorro económico.

El principal motivo que lleva a la elección de dos aerogeneradores es la autonomía que presenta la central. Al tener un aerogenerador con almacenaje de energía como principal componente de la central híbrida, se podría producir una detención parcial o total del suministro eléctrico si se presenta una falla que obligue a la parada del aerogenerador. Este hecho puede generar una detención total de la central generadora, o bien, se tendría que utilizar el equipo de respaldo, lo que genera un gasto innecesario de combustible fósil. Por esta razón se opta por la utilización de dos aerogeneradores para evitar la detención en caso de falla o mantención, y para ahorrar combustible.

4.1.2 Generador diesel

La central híbrida eólica - diesel tiene como segundo componente de importancia al generador diesel, el cual sirve de respaldo en caso de detención de los aerogeneradores, o bien, si la potencia supera los valores de selección de los aerogeneradores. Tiene la misión de apoyar la generación de electricidad, que proveen los aerogeneradores.

La selección del generador diesel también será realizada a través de cotizaciones. La potencia usada para tal selección es igual a la potencia estimada como real en la zona, lo que equivale a 15 kW. Se utiliza esta potencia porque en caso de falla de los aerogeneradores puede suplir los requerimientos eléctricos y, en caso de exceder el consumo estimado en el diseño, el generador respalda al equipo de aerogeneradores, con lo cual se puede producir potencia total de 30 kW, sin considerar las pérdidas en los equipos.

El generador diesel es el respaldo de los aerogeneradores, por lo tanto, cuando la potencia de diseño se sobrepase, el generador debe suplir esta alza, o en el caso de falla debe actuar y satisfacer las necesidades de suministro eléctrico. Estos fundamentos son válidos para la selección adecuada de un generador.

4.1.3 Acumuladores de energía

La generación de electricidad en zonas aisladas y con la utilización de energías renovables aleatorias, como es el caso de la energía eólica, necesita de un soporte para los casos en que no se genera electricidad directamente. Esta es la principal razón que conduce a la utilización de acumuladores de energía, con el fin de mantener un suministro continuo de electricidad.

Un acumulador de energía es un dispositivo que almacena energía eléctrica por procedimientos electroquímicos y que la devuelve después casi en su totalidad. Actúa como un generador eléctrico secundario, ya que sólo funciona cuando se le suministra electricidad, es decir, cuando se carga. Por lo tanto, un acumulador es un aparato capaz de retener una cantidad específica de energía en su interior, suministrada externamente, para usarla cuando se necesite. La conexión de varios acumuladores en serie se denomina batería; esto se realiza para aumentar el voltaje suministrado [27].

El principal objetivo de los acumuladores es almacenar la energía producida por el aerogenerador y mantener lo más constante que se pueda el voltaje que es suministrado a la comunidad.

La cantidad de energía que es capaz de almacenar una batería depende de su capacidad, la que se mide en amperios hora. Lo mismo sucede con la capacidad de días que puede almacenar energía, por lo tanto la selección y dimensión de la batería debe ser acorde a los días u horas de autonomía que necesita el sistema. La autonomía mínima recomendada para el banco de baterías de Isla Quenu es de 24 horas, ya que este es el tiempo utilizado para detener las turbinas eólicas en caso de realizar mantenimiento. Para los días en que no se genere electricidad a través de aerogeneradores y el banco de baterías no dé abasto en el suministro, debe actuar el generador diesel.

4.2 Evaluación ambiental

Las energías renovables no convencionales son una contribución a la seguridad energética y al desarrollo sustentable en Chile, para lo cual se trabaja en la diversificación de la matriz energética, promover el uso eficiente de la energía y lograr grados de autonomía frente a los combustibles fósiles [6].

Todos los proyectos se deben someter a la Ley de Bases del Medio Ambiente, Ley 19.300 del año 1994, para obtener los permisos ambientales necesarios que le permitan concretados. Esta ley ambiental establece como uno de sus instrumentos de gestión al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), por medio del cual se evalúa el impacto ambiental que pueden originar los proyectos de inversión. El fin de este instrumento es garantizar el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, preservar la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental [4].

Para que los proyectos de energía eólica ingresen al SEIA deben cumplir con algunas características, las que se indican en la respectiva ley ambiental (Ley 19.300) y en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental que rige a esta ley. Existen dos modalidades de ingreso: Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Un proyecto eólico se constituye por uno o varios aerogeneradores separados adecuadamente entre sí, los transformadores correspondientes a cada equipo, cables internos subterráneos, caminos de acceso, caseta de control y equipos de monitoreo de viento. El área total de los parques puede ser significativa, pero sólo el 1% al 3% es ocupado por los aerogeneradores, pudiéndose desarrollar actividades de agricultura o ganadería en el resto del terreno.

Los impactos ambientales que se generan en un proyecto eólico se estudian en tres etapas: construcción, operación y abandono.

En la fase de construcción se pueden producir los siguientes efectos en el ambiente:

- Emisiones de polvo.
- Emisiones de material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono (provocado por el uso de vehículos).
- Pérdida de vegetación y alteración de fauna por la construcción de caminos.
- Generación de residuos sólidos (escombros).
- Generación de ruido.
- Impacto vial por traslado de equipos de gran envergadura.

Los impactos ambientales que se producen en la fase de operación se enumeran de la siguiente forma:

- Alteración de paisaje por la introducción de elementos artificiales.
- Emisión de ruido. El sonido tiene dos principios: aerodinámico, que es el flujo de viento sobre las aspas y, mecánico, el cual se produce por el sistema de transmisión y generación. Este problema se ha solucionado en un amplio rango con la tecnología existente en la actualidad. En zonas rurales en Chile se permite un máximo ruido de fondo de 10 (dB), el cual se debe cumplir dentro del predio del proyecto.
- Sombra. Producido por la presencia del sol, si en el lugar hay casas cercanas.
- Otros. Alteración de costumbres de grupos humanos.

Finalmente, es importante analizar los efectos que se podrían producir en una eventual etapa de abandono de la central eólica, los que se asemejan a los impactos emanados en la fase de construcción.

Por otro lado es necesario tener en cuenta el riesgo de colisión de aves que se produce en la fase de operación, para lo cual es preciso realizar un estudio al respecto.

En la Tabla N° 8 es posible observar un resumen de los impactos ambientales que se producen en la etapa de construcción, operación y

abandono de un proyecto eólico y las medidas que se pueden seguir para evitar tales efectos.

Tabla Nº 8. Impactos ambientales y medidas de un proyecto eólico.

Medio y/o Componente Ambiental	Impactos Ambientales			Medidas
	Etapa del Proyecto			
	Construcción	Operación	Abandono	
Medio Físico	Levantamiento de polvo, emisiones de contaminantes y ruido por movimiento de tierra y maquinaria		Levantamiento de polvo, emisiones de contaminantes y ruido por movimiento de tierra y maquinaria	Humedecer superficies a remover y mantención adecuada de máquinas, herramientas y equipos.
	Emisión de ruido	Emisión de ruido	Emisión de ruido	Seleccionar máquinas y equipos que minimicen los niveles de emisión de ruido. Cumplir con el D.S. 148/98 dentro de los límites del predio.
	Generación de residuos sólidos producto de la construcción			Disposición final de residuos en lugares autorizados.
Medio Biótico	Pérdida de vegetación por la construcción de caminos y fundaciones			Revegetar las áreas intervenidas.
Medio Humano		Alteración de las costumbres de grupos humanos protegidos		Evitar la alteración de modos de vida o costumbres de grupos humanos protegidos.
	Impacto vial por transporte de equipos		Impacto vial	Planificación de flujo vial para no afectar a la población.
Patrimonio histórico y arqueológico	Habituales para cualquier obra	No hay impactos	No hay impactos	Evitar la instalación de la obra en un lugar sensible desde el punto de vista del patrimonio arqueológico.
Paisaje	Habituales para cualquier obra	Intrusión de elementos artificiales en el paisaje natural	No hay impactos	Considerar la mejor integración en el paisaje en la zona de emplazamiento del proyecto.

FUENTE: CNE [6]

Respecto a lo indicado por la ley ambiental, el proyecto de generación de electricidad en Isla Quenu utilizando un sistema híbrido eólico – diesel diseñado en este estudio, no requiere un ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, ya que no cumple con lo estipulado en el artículo 10 de la Ley 19300 [15]. Dicho artículo indica que existen proyectos de generación de energía eléctrica que deben someterse al SEIA para iniciar su construcción, para lo cual se analiza lo siguiente:

- La letra c) del artículo 10 indica que los proyectos de generación de energía eléctrica con una potencia mayor a 3 MW deben ingresar al SEIA. En función de esto el proyecto en diseño no aplica a esta letra, ya que alcanza una potencia máxima de 30 kW.

- La letra p) indica que los proyectos menores a 3 MW que se proyecten en un parque nacional o área protegida también deben ingresar al SEIA, lo cual no es el caso del proyecto en Isla Quenu, el que se planea realizar en una zona sin protección oficial.
- La letra b) del artículo 10 y la letra b) del artículo 3 mencionan que las líneas de transmisión de alto voltaje y subestaciones que van asociadas a la central generadora deben ingresar al SEIA si tienen una tensión mayor a 23 kV. En el caso del proyecto en Isla Quenu cabe mencionar que sólo se proyecta el diseño de la central eólica y no la transmisión ni distribución de ésta, por lo tanto este análisis corresponde a otro estudio y el presente proyecto no requiere un ingreso al SEIA.

Con este análisis se comprueba que no es obligatorio el ingreso al SEIA del proyecto en diseño, pero puede ingresar voluntariamente como una Declaración de Impacto Ambiental, para lo cual es necesario demostrar que se cumple la normativa aplicable.

4.3 Elección componentes de central por selección

La cotización y selección de todos los componentes de la central es posible realizarla dentro de Chile, ya que existen empresas dedicadas al estudio y generación de proyectos con energías renovables y respaldos para la generación. La empresa de generación más cercana a la zona de estudio es Wireless Energy Chile Ltda., la que se ubica en la ciudad de Puerto Varas, X región. Esta empresa trabaja con aerogeneradores e inversores de corriente con la capacidad requerida en el diseño. El banco de batería fue necesario cotizarlo en la empresa Solener Ltda., dedicada a la generación eléctrica con energías renovables a menor escala en la ciudad de Santiago. El generador diesel fue cotizado en empresas ubicadas en la ciudad de Puerto Montt, tomando en cuenta la potencia y costo más conveniente. El valor del dólar utilizado equivale a \$519.3.

a) Aerogeneradores

Se cotizaron dos aerogeneradores de 7.5 kW cada uno, que presentan las siguientes características:

“La turbina BERGEY Excel es la turbina de mediana capacidad más confiable del mundo. Instalada en casi todos los países del mundo incluso en la Antártica, la Bergey Excel es la opción para aplicaciones en zonas de climas extremos y en zonas donde se desea tener muy baja mantención.

Una Bergey Excel puede suplir la demanda de electricidad de una pequeña aldea o villa en zonas con velocidades de viento de 5,5m/s” (Wireless Energy, 2007) .Esta turbina actúa como cargador de baterías, por lo que incluye un control de voltaje VCS para 48VDC, el que monitorea el voltaje de las baterías cuando alcanzan un determinado nivel y reduce el voltaje para evitar un sobrevoltaje. Este control cumple la función, además, de ecualización para aumentar la vida útil de las baterías. El diseño simple y estilizado de esta turbina permite una armonía con el lugar de instalación, esta característica se puede observar en la Figura N° 32.



FUENTE: WIRELESS ENERGY

Figura N° 32. *Turbina eólica Bergey Excel.*

Las características técnicas de la turbina Bergey Excel son:

- Velocidad de arranque de 3.4 m/s.
- Potencia de salida 7.5 kW en corriente alterna y 10 kW en corriente continua.
- Máxima velocidad soportada 200 Km/h.
- Diámetro del rotor: 7 metros (3 aspas).
- Largo de la turbina: 5 metros.
- Peso 477 kg.
- Soporta temperaturas de -40° a 60° C.
- Altura mínima de la torre 24 metros.
- Energía por día a 6 m/s es de 48 KWH/día.

Las cotizaciones hechas a Wireless Energy se pueden ver detalladamente en el Anexo 7, en el cual se muestra la ficha técnica entregada por la empresa.

El valor neto de una turbina Bergey Excel es de US\$ 30745,75. Por lo tanto el valor de dos turbinas es de US\$ 61491,5. El valor con IVA incluido es de US\$ 73174,88.

b) Banco de baterías:

La gama de baterías que ofrece el mercado es amplia, pero la elección se debe acotar a baterías que resistan las inclemencias del tiempo de la zona en la cual se proyecta la central. Es un lugar que presenta gran nivel de humedad durante todo el año.

Las cotizaciones de baterías para respaldar un sistema eólico se hicieron en lugares dedicados al rubro de las energías renovables, en este caso la empresa Solener, quienes ofrecen un sistema de baterías que contempla el conjunto de baterías en celdas.

El banco de baterías selladas Power Sonic seleccionadas cumplen con la capacidad de acumular energía durante 24 horas, para 48V en corriente continua. La capacidad total del banco es de 3000 AH, y se compone de 24 baterías en celdas de 2V. Poseen una vida útil de hasta 10 años, lo que equivale a 500 ciclos. La tecnología utilizada garantiza una operación segura, libre de mantenimiento. Presenta baja descarga en periodos de tiempo extendidos.

El valor neto del banco de baterías es de US\$ 30040,5. Este valor con IVA incluido es de US\$ 35748,2.

La cotización hecha a Solener se realizó vía correo electrónico, en el Anexo 8 se puede ver la descripción técnica de las baterías.

c) Inversor de corriente:

Este aparato debe cumplir con el requerimiento de invertir la corriente en corriente continua que entregan los aerogeneradores a corriente alterna en 220v que utilizan los electrodomésticos y luminarias que se proyectan en Isla Quenu. La cotización de este producto se realizó en Wireless Energy por tener una variedad que cumple con las características requeridas y por la cercanía con la zona.

La selección de los inversores se realizó a través de las siguientes características: como la corriente continua entregada por las baterías es de 48 volt, el inversor debe invertir esta corriente a 220 volt en corriente alterna; por lo tanto, debe tener un terminal para 48 volt. Además se incorporó un cargador para el generador diesel. El inversor de corriente seleccionado de la lista entregada por Wireless Energy es un inversor/cargador senoidal Xantrex, modelo SW4548E, con una potencia de 4500 W, 48VDC/220V, 50Hz.

El valor neto del inversor es de US\$ 4486,60 por lo tanto el valor de dos inversores es de US\$ 8973,2. El valor total con IVA incluido es de US\$ 10678,1.

En el Anexo 9 se pueden observar las cotizaciones obtenidas de Wireless Energy, en la que se despliega una variedad de inversores, con diferentes características técnicas.

d) Torre:

La empresa Wireless Energy presenta torres con una altura de 24 metros, formadas por acoples de 6 metros. Las torres son reticuladas, ventadas en base triangular y poseen una estructura armable que permite la incorporación de secciones para alcanzar la altura de 40 metros requerida por el proyecto.

En la Figura N° 33 se puede observar la torre utilizada para las turbinas eólicas Bergey Excel.

El valor de la torre de 24 metros es de US\$ 6554,25 mientras que los acoples se estiman en un valor de US\$ 1638,56 los 6 metros.

El valor neto total para una torre de 40 metros es de aproximadamente US\$ 11469,9. Por lo tanto, el valor total para ambas torres es de US\$ 22939,8. El valor total con IVA incluido es de US\$ 27298,4.

En el Anexo 10 es posible observar la cotización realizada en la empresa Wireless Energy.



FUENTE: SAESA- EDELAYSÉN.

Figura N° 33. Torre ventada con base triangular.

e) Generador diesel:

Este equipo debe cumplir con la misión de respaldo a los aerogeneradores, por lo tanto el principal requisito que debe cumplir es una potencia de 15 kW.

Las cotizaciones se realizaron en la ciudad de Puerto Montt, por ser esta zona la más cercana a la isla y con disponibilidad de generadores diesel, lo cual disminuye los costos de transporte. La elección del generador se realizó por costos y potencia. La empresa Lureye Generación S.A.

El generador diesel seleccionado cuenta con una potencia de 16kW – 20kVA, trifásico, 1500rpm, regulador mecánico, las dimensiones son 1700mm x 896mm x 1121mm. El peso es de 790 Kg. en vacío, 890 Kg. en funcionamiento.

El valor neto del generador diesel es de US\$ 9243,2. El valor con IVA incluido es de US\$ 10999,4.

La cotización y características técnicas del generador se pueden observar en el Anexo 11.

La disposición final de los componentes de la central híbrida eólica – diesel de 15 kW de Isla Quenu se grafica en la Figura N° 34.

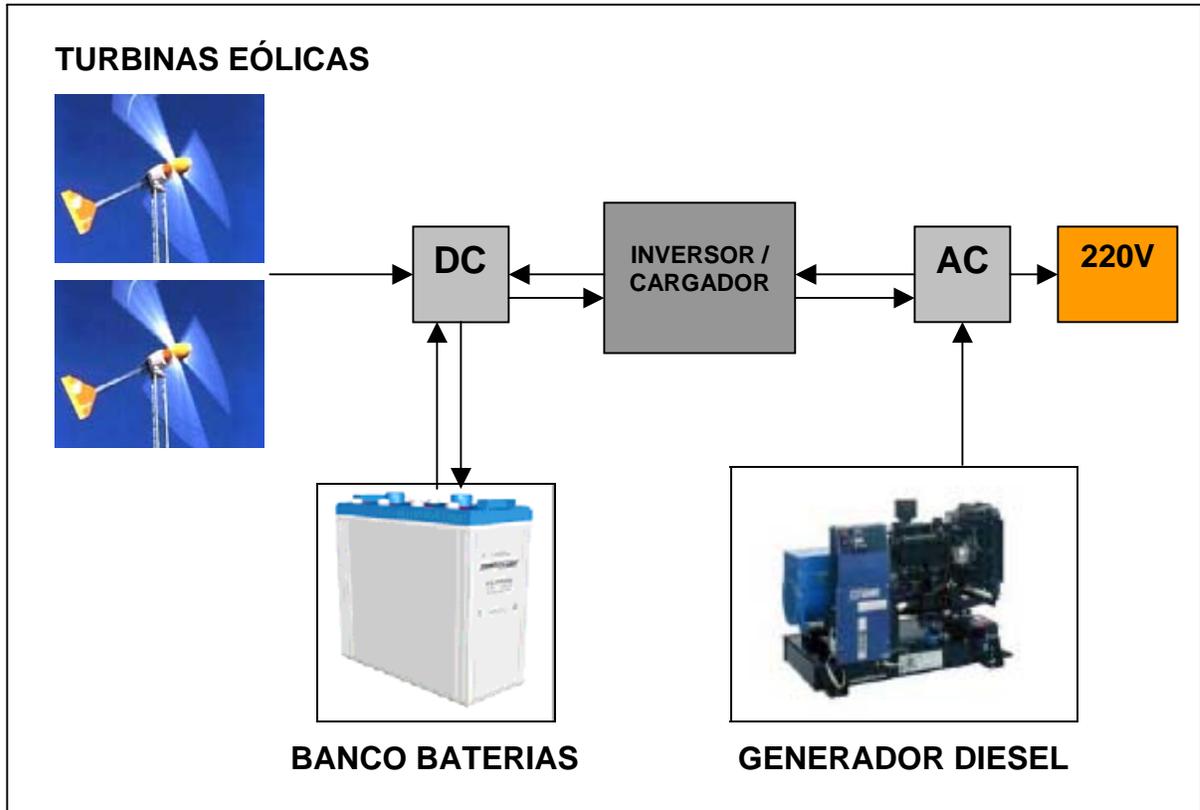


Figura N° 34. Diagrama de central híbrida eólica – diesel Isla Quenu.

Capítulo V: Evaluación técnica y económica del proyecto

La evaluación técnica y económica son criterios económicos aplicables para saber si un proyecto es conveniente o no.

El proyecto de electrificación rural es un proyecto social, ya que se miden los beneficios y costos que generará el proyecto de electrificación de la Isla Quenu a toda la sociedad que involucra directa e indirectamente.

Uno de los aspectos que se presentan en este capítulo es la evaluación técnica del proyecto de electrificación con energía eólica, para lo cual es necesario describir detalladamente la localización del proyecto, el tamaño, procesos y tecnología utilizada y las obras físicas que conforman la central en sí. Se describen, además, los costos de una eventual mantención y operación de los equipos.

Otro aspecto a tener en cuenta en este capítulo es la estimación de los ingresos anuales que generará el proyecto una vez que los habitantes de Isla Quenu inicien su consumo de energía.

La evaluación económica es un factor que se debe tener presente para evaluar la factibilidad del proyecto de electrificación, ya que se trabaja con una inversión inicial elevada, la que debe recuperarse en un mediano plazo.

Finalmente se presenta la estructura de financiamiento de proyectos de electrificación rural en Chile, la que se presenta como alternativa de financiamiento para el proyecto de Isla Quenu.

5.1 Evaluación técnica.

La evaluación en este caso es para un proyecto social, dada las características del proyecto en diseño y la magnitud de los efectos que traerá a la sociedad.

Las estimaciones se realizan bajo condiciones de riesgo, ya que existe un conocimiento parcial del comportamiento de las variables que se relacionan directamente con el proyecto. Ejemplo claro queda demostrado en la estimación del consumo que presentará Isla Quenu una vez que se electrifique, es una variable que se conoce sólo por las condiciones que se han dado en lugares cercanos a la isla en estudio.

Los beneficios que se pueden obtener con el proyecto en diseño se determinan a través de una evaluación técnica y económica.

El proyecto de electrificación se enmarca específicamente en una isla del Archipiélago de Calbuco, la cual no cuenta con suministro eléctrico. El área en estudio corresponde a un área rural aislada, que lleva como nombre Isla Quenu, ubicada en la X región de Chile.

La población se caracteriza por realizar actividades básicas como pesca, agricultura, ganadería y comercio en las ciudades de Calbuco y Puerto Montt, algunas personas trabajan en las pesqueras que se ubican en las ciudades cercanas. Estas actividades otorgan una baja calidad de vida a los habitantes dados los bajos niveles de ingreso que perciben. La falta de electricidad limita el desarrollo de la isla y, por ende, el de sus habitantes.

Los habitantes de la isla actualmente utilizan velas, lámparas a parafina, baterías y pequeños motores para usar algunos electrodomésticos y luminarias, lo que no permite su uso las 24 horas del día dadas las condiciones de estos equipos y lo costoso que resulta utilizarlos por periodos prolongados.

El proyecto de electrificación con un sistema híbrido eólico – diesel que se proyecta en Isla Quenu tiene como objetivo eliminar las limitaciones de desarrollo presentes en la isla, para aumentar la calidad de vida de los lugareños.

Para determinar la factibilidad del proyecto de electrificación es necesario realizar una evaluación técnica. Con esta evaluación se obtienen los costos de inversión y operación. Los aspectos que se estudian en esta etapa son: tamaño, proceso, localización, obras físicas e inversiones.

a) Localización.

El proyecto se localiza geográficamente en Isla Quenu, ubicada en el Archipiélago de Calbuco, X Región de Los Lagos, Chile. Los motivos de localización están dados por la necesidad de electrificación que se presenta en la isla. La elección del lugar se hizo una vez analizadas las islas que componen el Archipiélago de Calbuco y comprobar que es la única isla que no cuenta con electricidad y que no existe proyecto alguno para una futura electrificación.

El proyecto se enmarca dentro de esta zona con el objetivo específico de otorgar un servicio a la comunidad, que se prolongue en el tiempo y que sea conveniente a mediano plazo.

La central eólica – diesel que se proyecta se plantea ubicar físicamente en una parcela ubicada al centro de Isla Quenu, perteneciente al sr. Alfredo Agüero, quien cede el terreno para la instalación. Este lugar está situado en la parte más alta de la isla, lo que facilita la obtención del recurso viento para generar electricidad. Es un terreno de superficie aproximada 300 m x 200 m, que se encuentra despejado de arbustos y casas.

El arribo a la isla es a través de embarcaciones marítimas, mientras que el acceso a la parcela se realiza por un camino apto para transitar que se inicia desde el muelle y recorre todas las parcelas de la zona.

b) Tamaño del proyecto.

El proyecto de electrificación se acota específicamente a la Isla Quenu y las 45 viviendas, 1 escuela y 1 capilla que la componen.

Se limita exclusivamente al diseño de la central y no a la distribución de electricidad; por lo tanto, se obtiene una inversión inicial que contempla el equipamiento de la central y no la puesta en marcha. Por esta razón se cotizan sólo los equipos principales, sin considerar cableado y control eléctrico (lo que corresponde diseñar a la empresa eléctrica).

La potencia de diseño es de 15 kW, teniendo en cuenta las consideraciones de consumo domiciliario obtenidas en el Capítulo III.

La central se conforma por dos turbinas eólicas de 7,5 kW cada una, un generador diesel de 15 kW de potencia, un banco de 24 baterías como respaldo de los aerogeneradores, dos inversores de corriente y las respectivas torres de 40 metros de cada turbina. Las turbinas tienen un diámetro de 7 metros, por lo tanto deben estar separadas por 21 metros (3 veces el diámetro) [8]. El largo total de terreno utilizado por la central es de 35 a 40 metros, por lo tanto el terreno a utilizar cumple con este requisito. Los demás componentes se distribuyen de forma armónica dentro del espacio, según se estime por la empresa eléctrica.

c) Procesos y tecnología.

La tecnología utilizada en el proyecto de electrificación es la utilización de energías renovables no convencionales como es el caso de la energía eólica, la que va en combinación con un generador diesel de respaldo. El recurso eólico disponible en Isla Quenu se puede utilizar para generar electricidad y cubrir el 100% de las necesidades de los lugareños. En caso de ausencia de viento o de presentarse algún inconveniente con los aerogeneradores, actúa el generador. Se pretende economizar en combustibles fósiles, por lo tanto el generador sólo se utiliza de apoyo.

La naturaleza del proyecto es la electrificación para cubrir una necesidad de la sociedad.

Los componentes de la central eléctrica es posible encontrarlos dentro del país. Tanto los aerogeneradores, inversores y generador diesel fueron cotizados en la X región; mientras que el banco de baterías fue cotizado en la ciudad de Santiago. Los equipos seleccionados son de materiales resistentes al clima de la zona, además no requieren de un mantenimiento continuo, lo que disminuye los costos de operación y mantenimiento.

Si fuese necesario aumentar la capacidad el terreno tiene suficiente superficie para extender la central.

Las consideraciones ambientales fueron analizadas en el Capítulo IV, y el proyecto se rige bajo la normativa de la Ley de Bases del Medio ambiente, por lo cual no debe ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

d) Obras físicas.

Las obras físicas del proyecto están constituidas por los equipos precisos para el diseño de la central eólica – diesel, las estructuras necesarias para el levantamiento de las turbinas y los servicios que se utilizan para el montaje. En la Tabla N° 9 se puede ver un desglose de la inversión del proyecto de electrificación.

Todos los equipos y servicios fueron cotizados dentro del país.

Los valores de las estructuras fueron calculados por estudiantes de Ingeniería en Construcción de la Universidad Austral de Chile. Para las fundaciones de hormigón se considera 0,5 m³ por cada aerogenerador. La empresa a cargo de las turbinas eólicas se hace cargo del diseño de las fundaciones, por esta razón se hace un cálculo estimado de esta estructura y la mano de obra. La construcción de casetas para el generador y para el banco de baterías se estima según valores señalados para otras casetas en construcción en Isla Tac. El valor total considera mano de obra.

Los servicios de montaje fueron consultados vía telefónica. El flete de barcaza se consultó en Barcazas Miranda, de la ciudad de Calbuco. Se considera 6 viajes en total, con un valor de US\$ 154 el viaje (\$80.000). El transporte terrestre incluye el traslado del banco de baterías desde Santiago a Calbuco, el que fue consultado en la empresa Tur Bus. El valor de arriendo de grúa se estima de US\$ 48,1 (\$25.000) la hora y se consideran 5 días, ya que el montaje por turbinas es de 2 días más los imprevistos. La mano de obra del montaje se estima de US\$ 1008,5 por día, considerando 2 técnicos y 2 ayudantes. Los valores fueron estimados considerando datos entregados por Wireless Energy.

El valor total de la inversión es de US\$ 190598.

Tabla Nº 9. Inversiones físicas del proyecto.

	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (US\$)
EQUIPOS	2 TURBINAS EÓLICAS BERGEY EXCEL	73174,9
	BANCO DE BATERIAS POWER SONIC	35748,2
	GENERADOR DIESEL LUREYE	10999,4
	2 INVERSORES XANTREX	10678,1
	2 TORRES	27298,4
	TOTAL	157899,0
ESTRUCTURAS	FUNDACIONES DE HORMIGÓN	190,0
	CASETA BANCO BATERIAS	1925,7
	CASETA GENERADOR DIESEL	2888,5
	TOTAL	5004,2
MONTAJE	FLETE BARCAZA	924,3
	TRANSPORTE TERRESTRE	610
	GRUAS	5777
	MANO DE OBRA	4034
	TOTAL	11345,3
	TOTAL INVERSIÓN	190598,0

La depreciación de la central se considera depreciación lineal de 15 años, tomando en cuenta la vida útil de la central como conjunto.

e) Estructura de ingresos y egresos.

Los ingresos son por concepto de consumo de energía de los habitantes. La empresa eléctrica encargada de administrar el proyecto debe estudiar el comportamiento del consumo una vez electrificada la isla, para obtener un valor de kWh y un cargo fijo mensual. Para la potencia diseñada de 15 kW se calculó un consumo mensual por casa de 80 kWh. Para obtener un valor estimado del consumo se tiene como referencia el valor del kWh en Isla Tac, el cual está en proceso de análisis para un cobro definitivo. El valor promedio del kWh es de \$450 [21] y el valor que se le otorga al cargo fijo mensual es de \$2960. Por lo tanto el ingreso mensual por casa (45 casas y 1 escuela) es de \$ 38.960 y el ingreso anual fijo se estima en **\$ 21.505.920**, lo que equivale a **US\$ 41413,3**.

Es importante destacar que actualmente el valor del kWh asciende a \$2500, pero los lugareños no pueden contar con estos elementos las 24 horas del día debido a lo costoso que resulta. El ahorro y la posibilidad de utilizar electricidad las 24 horas del día se traduce en un beneficio para los habitantes de Isla Quenu.

Los egresos corresponden a operación y mantención de la central, los que se estiman según valores entregados por la empresa Wireless Energy Chile Ltda. Se considera mantención preventiva planificada dos veces por año [12] y una persona encargada de la operación del generador cuando sea necesario. El costo anual de la mantención es de US\$ 5157,94 y el costo anual de operación es de US\$ 2772,9 (sueldo mínimo mensual). Por lo tanto costo anual total es de **US\$ 7930,84**.

Los aspectos analizados en la evaluación técnica confirman la factibilidad del proyecto, en lo que se refiere a obras físicas, estructuras, montaje y mantenimiento. Se tiene una estimación de los ingresos anuales que se pueden generar con el proyecto. Por lo tanto es posible obtener los costos de inversión y operación del proyecto y los ingresos a favor del proyecto.

La selección de equipos se realizó en lugares cercanos a la zona de estudio con el objetivo de disminuir los costos finales. La mano de obra fue cotizada de igual forma para obtener los valores más convenientes y buena calidad.

Los costos de operación sólo consideran mantención y operación de la central, sin tomar en cuenta los inconvenientes que puedan ocurrir, ya que no se puede tener un conocimiento acabado de las situaciones futuras que se presenten en la central. La empresa eléctrica a cargo de la administración de la central debe cubrir estos requerimientos.

El ahorro conseguido con el proyecto de electrificación se refiere exclusivamente al valor del kWh, el que actualmente es de \$2500. Con el proyecto diseñado se puede llegar a disminuir este valor a \$450 el kWh, con la importante diferencia que se puede contar con electricidad las 24 horas del día.

5.2 Evaluación económica.

La evaluación económica se realiza con el fin de establecer si el proyecto es viable de realizar en el plano financiero, para lo cual es necesario aplicar criterios de evaluación acorde al proyecto de electrificación.

Las centrales eólicas conformadas por aerogeneradores de baja o mediana capacidad de potencia, tienen el objetivo de reducir el mantenimiento por su aplicación en zonas aisladas. El tamaño de la central determina el costo de la instalación y de la energía. En este caso, mientras mayor sea la instalación, menor será su costo por kW. Al comparar la instalación de una central eólica con una central convencional, el costo de la inversión inicial es alto, pero se justifica por el ahorro de combustible, durante una vida útil que va de 15 a 25 años. Por esta razón es importante determinar el período en que se recupera la inversión inicial del proyecto, y resulta rentable en una perspectiva de largo plazo. La mayoría de las inversiones en energía eólica se recuperan en un plazo de 7 a 10 años.

Para el proyecto en Isla Quenu el criterio que se utiliza es el PRI Período de Recuperación de la Inversión, el cual consiste en estimar la cantidad de períodos en que se recupera la inversión inicial. Este criterio se utiliza para estimar los años en que se puede recuperar la inversión del proyecto de electrificación con energías renovables.

La tasa de interés utilizada para calcular el Período de Recuperación de la Inversión es de 10%, valor asignado por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional para proyectos sociales concernientes a electrificación con energías renovables en zonas rurales.

Para el cálculo del Período de Recuperación de la Inversión se utiliza la fórmula 5.1.

$$PRI = (-I_0 \times i) + (FNO) \quad (5.1)$$

Donde:

PRI : Periodo de recuperación de la inversión.

I₀ : Inversión inicial.

i : Tasa de interés.

FNO : Flujo neto operacional (Ingresos – egresos).

El *FNO* está dado por la diferencia entre ingresos y egresos anuales, lo que equivale a:

$$FNO = (INGRESOS - EGRESOS) = (US\$41413,3 - US\$7930,84) = US\$33482,44$$

El valor de dólar se considera de \$ 519.3.

La inversión inicial se recupera en el noveno periodo del proyecto, tal como se observa en la Tabla N° 10, la que se realizó utilizando la referencia 5.1. En el noveno año la inversión tiene signo positivo, lo que significa que es una ganancia o beneficio.

Tabla Nº 10. *Periodo de recuperación de la inversión.*

PERIODO	US\$
0	-190598
1	-176175,4
2	-160310,5
3	-142859,1
4	-123662,5
5	-102546,3
6	-79318,5
7	-53767,9
8	-25662,3
9	5253,9

Tomando en cuenta la depreciación de 15 años de la central eólica-diesel, es factible económicamente realizar el proyecto ya que se recupera la inversión en un plazo inferior a la vida útil de la central, por esta razón resulta beneficioso el proyecto de generación de electricidad con una central eólica – diesel.

5.3 Financiamiento.

La estructura de financiamiento de los proyectos de electrificación ha sido diseñada por el Estado con el objetivo de incentivar las inversiones a través de un mecanismo de subsidios, para lograr concretar proyectos de esta índole en lugares apartados que no resultan rentables para las empresas eléctricas [7].

El Estado subsidia la inversión inicial, y no el consumo ni la operación. La tasa de descuento utilizada es de 10%.

Los aportes se dividen de la siguiente forma:

- Estado: 60- 70% de la inversión.
- Beneficiarios: 10%, equivalente a instalaciones interiores, medidor y empalme a la red.
- Empresas eléctricas que se adjudican el proyecto: 30 – 20%.

El aporte del Estado proviene de dos fondos

- El Fondo Nacional de Desarrollo Regional: es la fuente de financiamiento de las regiones para concretar diversos proyectos sectoriales de inversión social [7].

- FNDR – ER: es una provisión especial destinada a electrificación rural, que se asigna la CNE a las distintas regiones mediante la Ley de Presupuesto del respectivo año.

Los costos de operación, mantención y administración de las soluciones eléctricas particulares deber ser cubiertos por los usuarios a través del pago de una tarifa.

El proyecto de electrificación rural diseñado en Isla Quenu, puede ser financiado por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional, ya que es una zona aislada y alejada de las líneas de distribución eléctrica del continente. Además es proyecto enfocado a solucionar una necesidad social y a mejorar la calidad de vida de los habitantes de esta zona.

6. Conclusiones

Los objetivos planteados al inicio de esta tesis se han cumplido en su totalidad, ya que se logró realizar un estudio de viabilidad técnica y económica de electrificación de Isla Quenu utilizando energía eólica, y todo lo que lleva a su posterior desarrollo.

La necesidad de plantear un proyecto de electrificación en esta zona rural y aislada del país está dada por la mala calidad de vida que tiene sus habitantes en este momento.

La recopilación de los datos de vientos de la zona y el análisis de estos, dieron a conocer las características eólicas presentes en la zona de estudio. Isla Quenu presenta velocidades de viento de mediana intensidad, lo que elevado a 40 metros de altura llega a una velocidad teórica promedio de 6.5 m/s. Esta velocidad de viento permite la instalación de turbinas eólicas para la generación de electricidad.

La dirección de viento que predomina en esta zona es el viento Norte, el que trae las mayores velocidades. Se presenta durante gran parte del año, a excepción de los meses de febrero y marzo donde predomina el viento Sur.

Todos los meses del año, a excepción del mes de abril, presentan velocidades de viento sobre los 5 m/s. Las horas en que se presentan mayores velocidades de viento es entre las 12.00 y las 18.00 horas, pero se puede generar energía durante todo el día, dadas las características del recurso.

El lugar más idóneo para la instalación de la central es el lugar en el cual se midió el recurso eólico, ya que es la zona ubicada a mayor altura en la isla, lo que permite una circulación frecuente de viento. Este lugar es la parcela del sr. Alfredo Agüero, quien la mantiene libre de matorrales y despejada para un posible uso en la instalación de turbinas eólicas.

Por todas las razones antes señaladas se puede decir que es posible realizar el proyecto de explotación del recurso eólico en la zona.

El cálculo de la potencia total requerida por Isla Quenu se hace a través de estimaciones de los consumos que se podrían presentar una vez electrificado el sector. Para esto se tomaron como referencia los sectores rurales electrificados en los últimos años y que resultan cercanos a la isla en estudio. La potencia final sobreestimada es de 30 kW, pero esta potencia se presentaría en la isla sólo si todos los electrodomésticos y luminarias estimados estuviesen encendidos al mismo tiempo. Por esta razón, la potencia utilizada en el diseño de la central es de 15 kW. Una potencia razonable para una zona que tiene 45 casas, 1 capilla y 1 escuela.

La central diseñada en la zona es una central híbrida eólica – diesel. Se utiliza un respaldo de combustible fósil por las características aleatorias y dispersas que presenta el recurso eólico.

La selección de los componentes de la central eólica se hizo a través de cotizaciones en lugares cercanos a la zona de estudio.

La evaluación técnica realizada al proyecto otorgó los costos asociados a inversión y operación (mantenimiento). La localización y tamaño del proyecto lo hacen rentable para la instalación de una central eólica, dadas las buenas condiciones del viento existente en la zona, la disponibilidad de sectores adecuados para una instalación con vías de acceso y la posibilidad de ampliar la central diseñada si fuese necesario en un futuro.

El valor del kWh que actualmente presenta la isla posee un valor de 2500\$/kWh, mientras que el proyecto permite reducir este costo a 450 \$/kWh, lo que implica un ahorro importante de los lugareños y, además, pueden contar con energía eléctrica durante las 24 horas del día, lo que no se puede realizar actualmente.

No se puede hacer una comparación de costos entre la central eólica y una conexión con el Sistema Interconectado Central, ya que técnicamente la conexión no se puede realizar, considerando las vías de acceso marítimo que se presentan alrededor de la isla, lo que hace imposible una conexión a la red a través de líneas aéreas por este sector.

Por su parte la evaluación económica analizada bajo el criterio del PRI Período de Recuperación de la Inversión, otorga rentabilidad en este plano al proyecto, ya que se recupera la inversión en un plazo de nueve años, siendo la vida útil de éste 15 años.

Los subsidios entregados por el Estado a los proyectos de electrificación rural permiten financiar el proyecto de la central híbrida eólica – diesel en Isla Quenu, considerando el problema social que significa la falta de electricidad en estas zonas aisladas.

Finalmente es importante destacar que se requiere un equipo multidisciplinario para realizar proyectos de esta envergadura, para lograr cubrir todas las áreas que implica el desarrollo correcto de un proyecto de electrificación rural con energías renovables no convencionales.

7. Bibliografía

[1] ASOCIACIÓN DANESA DE LA INDUSTRIA EÓLICA. Junio de 2003. Visita guiada sobre la energía eólica. (Disponible en: www.windpower.org/es/tour. Consultado en junio de 2006).

[2] BARRUEL, E.; 1992. Breve descripción geográfica y toponímica de Calbuco y apellidos aborígenes de Chiloé. Chile. 240 p.

[3] CHILECTRA. 2007. Comportamiento del consumo. (Disponible en www.chilectra.cl/link.exe/Tarifas/ComportamientoConsumo/. Consultado en abril de 2007).

[4] CNE – GEF – PNUD, proyecto CHI/00/G32, Remoción de barreras para la electrificación rural con energías renovables. (Disponible en: www.renovables-rural.cl. Consultado el: 25 de octubre de 2005).

[5] COLEGIO DE INGENIEROS DE CHILE A.G. 2006. Chile y su estrategia ante el panorama mundial y nacional de la energía. Informe de la Comisión de energías alternativas. Revista Ingenieros. (180) 14p.

[6] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Octubre de 2006. Guía para evaluación ambiental, energías renovables no convencionales: proyectos eólicos. Santiago, Chile. 88 p.

[7] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Estructura de financiamiento de un proyecto de electrificación rural. (Disponible en www.cne.cl/per/f_per.html. Consultado en junio de 2007).

[8] DELGADO M., J.; sf. Energía eólica en la Comunidad Autónoma de la región de Murcia. Murcia, España, Agencia de gestión de energía de la región de Murcia. 95p.

[9] DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE. 2001. Descripción climatológica décima región. (Disponible en: www.meteochile.cl/climas. Consultado el: 29 de septiembre de 2006).

[10] ECKHART, M. Julio de 2006. Energía renovable: en busca de de la fuente inagotable. Revista e- Journal USA. (11): 19 – 23p.

[11] FERNÁNDEZ D., P.; 1993. Energía eólica. Santander, Universidad de Cantabria, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. 129p.

[12] GANDOLFO, F. s.f. Proyecto de hibridización eólico – diesel Isla Robinson Crusoe – Archipiélago Juan Fernández (CNE). Chile. 18p.

[13] HUNT, V. D.; 1981. Windpower; A handbook on wind energy conversion systems. Canadá, Van Nostrand Reinhold. 610p.

[14] INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DE CHILE. 2006. Mapa cartográfico de Calbuco. Escala 1:50.000.

[15] MINISTERIO SECRETARIA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. 1994. Ley 19.300: Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. Chile.

[16] MORENO, M. 2006. Autoabastecimiento energético: una opción real. Revista Ingenieros. (180): 18 – 20.

[17] PAKARATI I., R. 2000. Aplicación de energía eólica para generar energía eléctrica en Isla de Pascua. Tesis Ing. Eléctrica; Valparaíso, Pontificia Univ. Católica de Valparaíso, Fac. Ing. 108 p.

[18] PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO. Agosto de 2005. Talleres de política energética sustentable. (Disponible en: www.pnud.cl/areas/Energia-Medio-Ambiente/talleres-politica-energetica.asp. Consultado en noviembre de 2006).

[19] SEMINARIO INTERNACIONAL: SIN PETRÓLEO Y SIN GAS, PERO CON IDEAS. Santiago, Chile. 26 y 27 octubre de 2006. (Disponible en: www.chileambiente.cl/seminario.htm. Consultado en noviembre de 2006).

[20] SOLENER: SOLUCIONES ENERGÉTICAS LTDA. Julio – agosto de 2007. Cotización de banco de baterías y catálogos de baterías Power Sonic. Contacto vía correo electrónico: solener@solener.cl.

[21] STEVENS, N. (Wireless Energy Chile Ltda.; Región de Los Lagos); Noviembre 2001. Isla Tac Power System: First Year Status Report (CNE, NREL, Wireless Energy). 10p.

[22] STRODTHOFF, I. 2005. Energías renovables: solución eficiente en un mercado afligido. Revista Ingenieros. (175): 6- 8p.

[23] THAUBY B., M.; H. FERNANDO M.; 2003. Isla Robinson Crusoe, Informe Final. Chile. 53p.

[24] UNIVERSIDAD DE CHILE; CORFO; 1993. Proyecto EOLO, Evaluación del potencial eólico nacional. 147p.

[25] WALKER, J., V. SEQUEL; 2007. Energía eólica, Vestas. Chile. (Charlas técnicas de energía, elecgas). 63p.

[26] WIRELESS ENERGY CHILE LTDA. 2003. Isla Quenu, Informe final consolidado. Santiago, Chile. 58p. (Propiedad de CNE).

[27] WIRELESS ENERGY CHILE LTDA. Julio – agosto de 2007. Catálogos y cotización de turbinas eólicas, baterías, inversores de corriente, torres. Cotización de prestación de servicios. Contacto vía correo electrónico: vcea@renovable.cl, sales@wireless-energy.cl.

8. Anexos

Anexo 1. Gráficos de dirección de viento a 20 metros de altura.

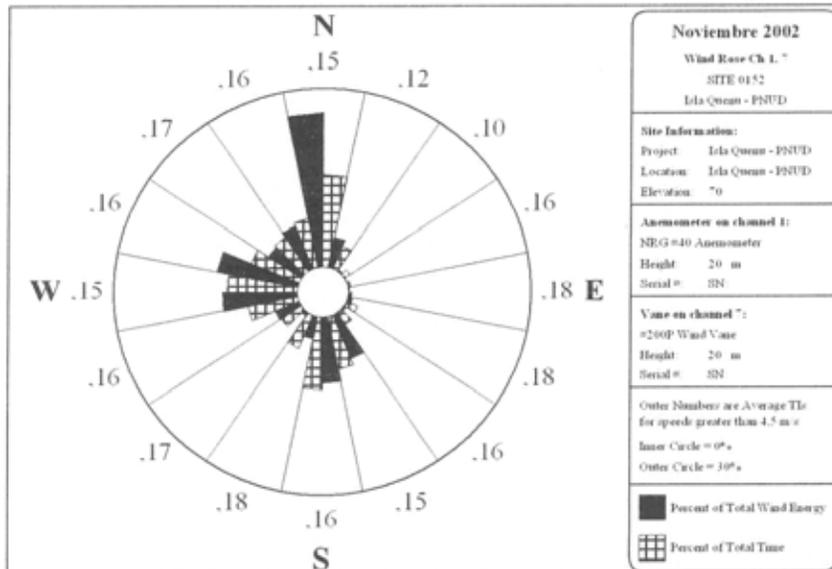


Gráfico 1.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros durante Noviembre 2002

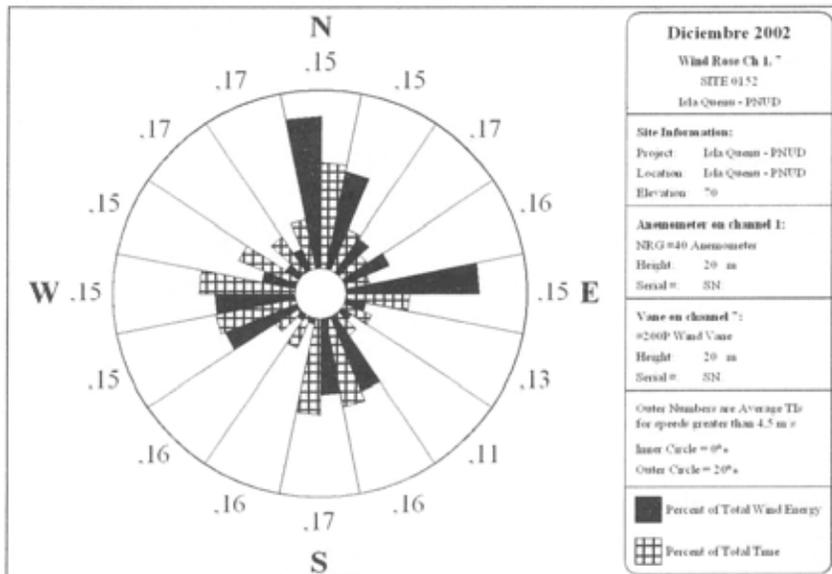


Gráfico 2.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros durante Diciembre 2002

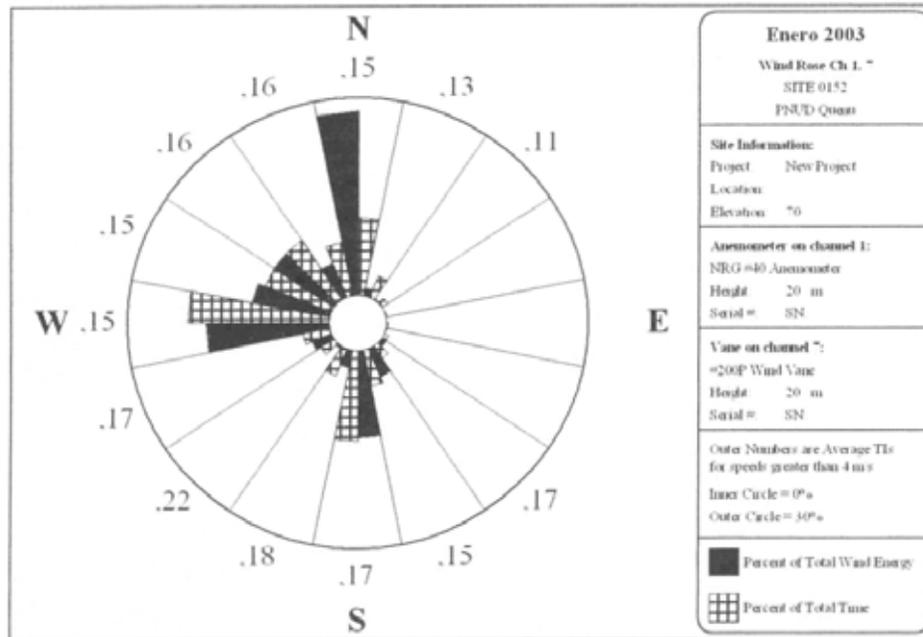


Gráfico 3.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros Enero 2003

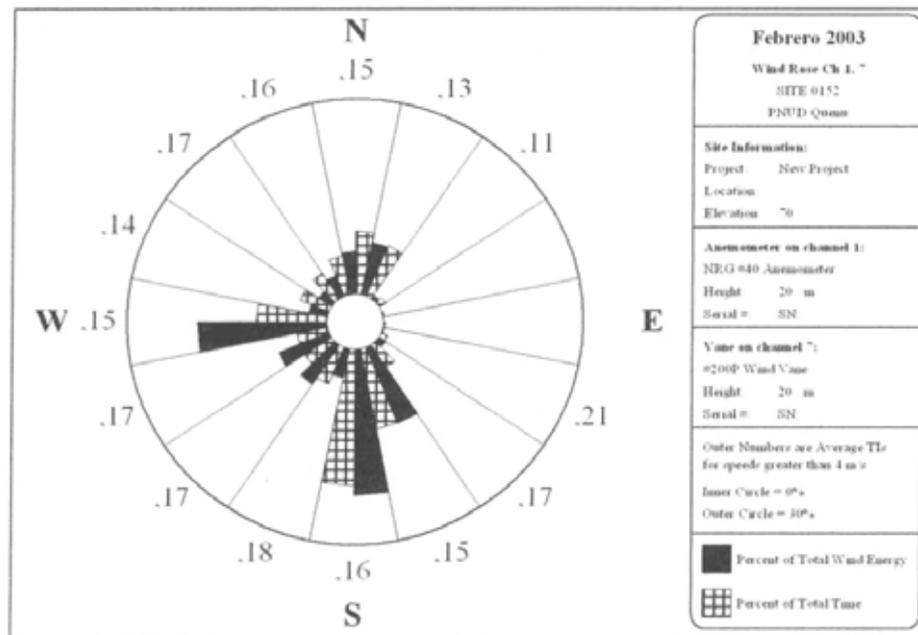


Gráfico 4.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros Febrero 2003

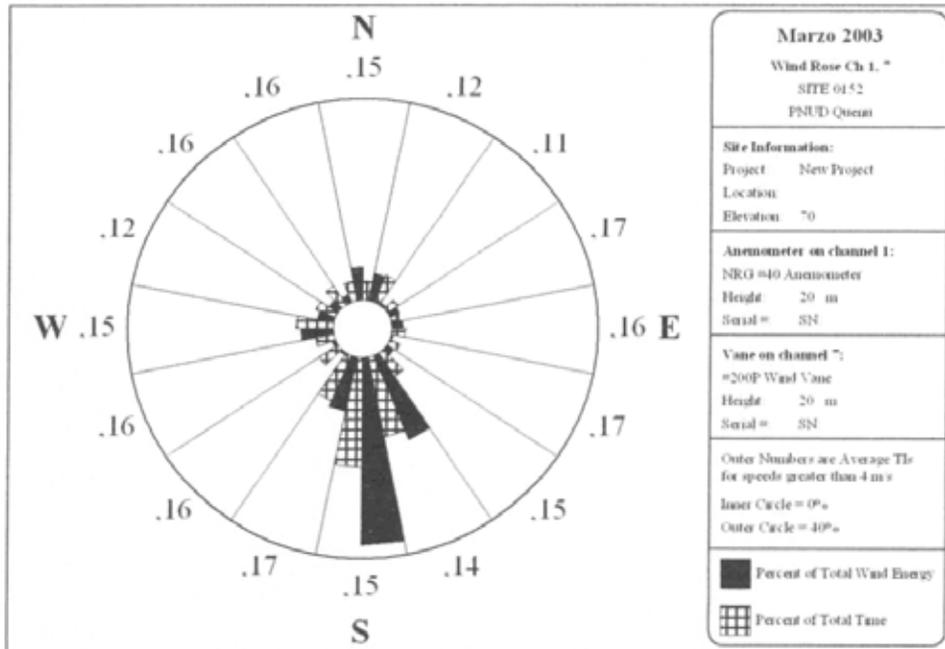


Gráfico 5.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros Marzo 2003

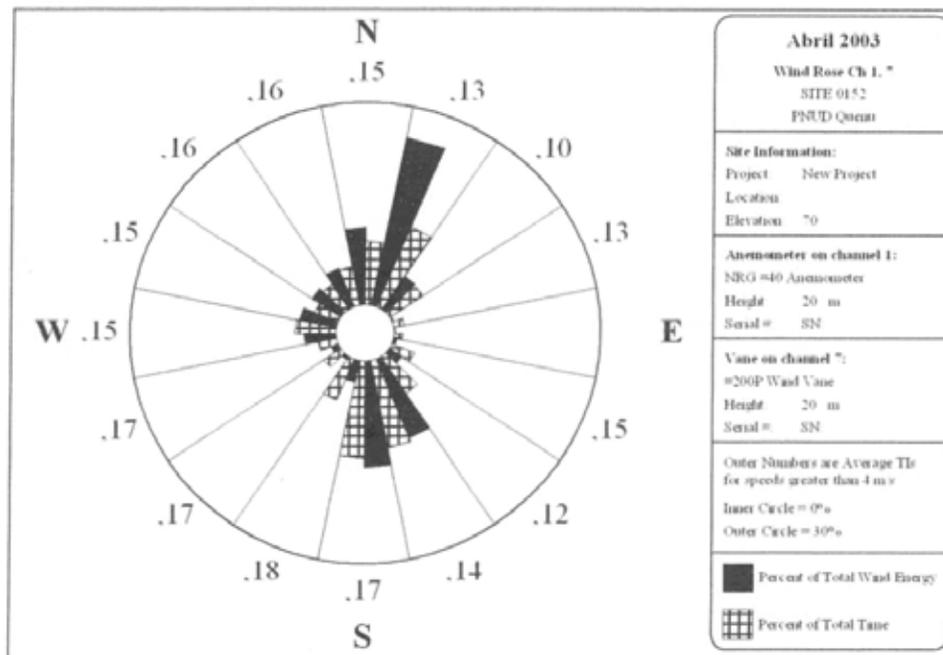


Gráfico 6.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros Abril 2003

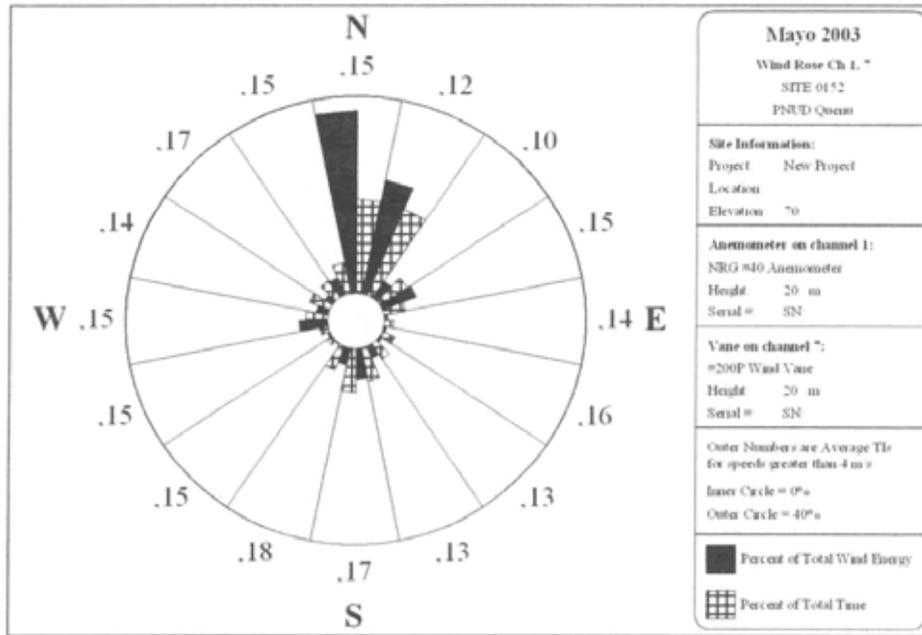


Gráfico 7.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros Mayo 2003

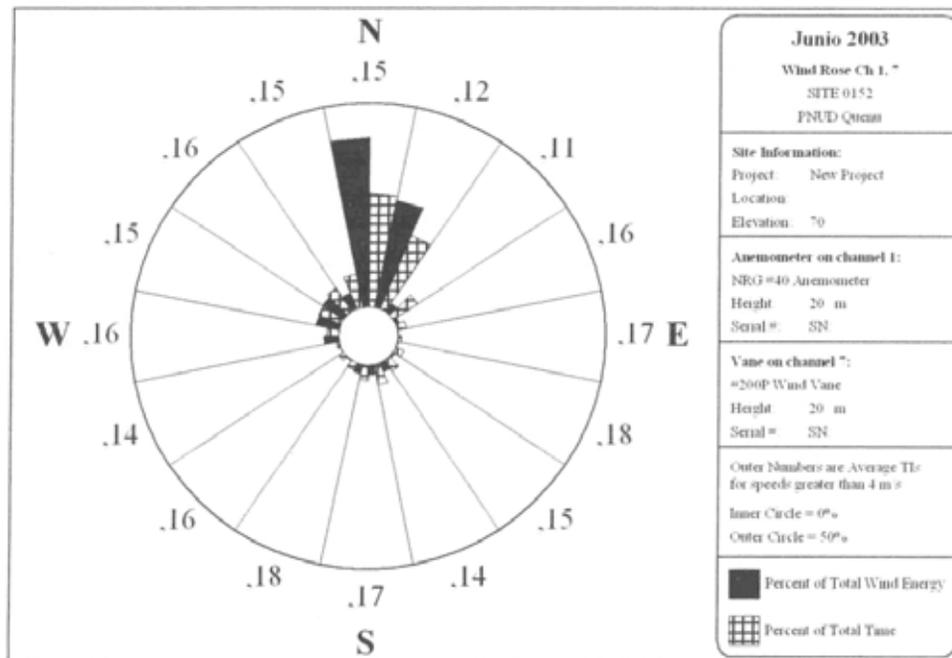


Gráfico 8.- Dirección de viento versus Frecuencia a 20 metros Junio 2003

Anexo 2. Gráficos de distribución de frecuencia de velocidad de viento.

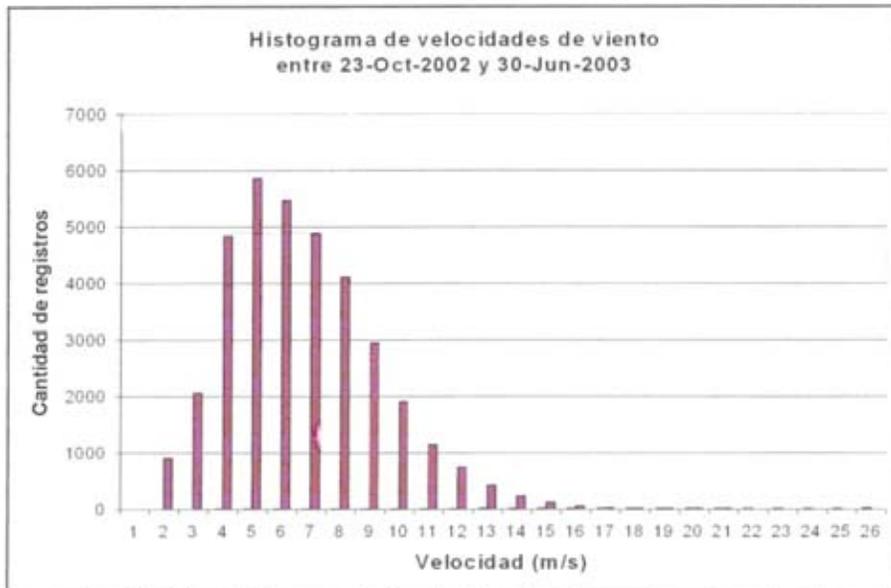


Gráfico 9.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura entre el 23 de Noviembre del 2002 y el 30 de Junio del 2003.

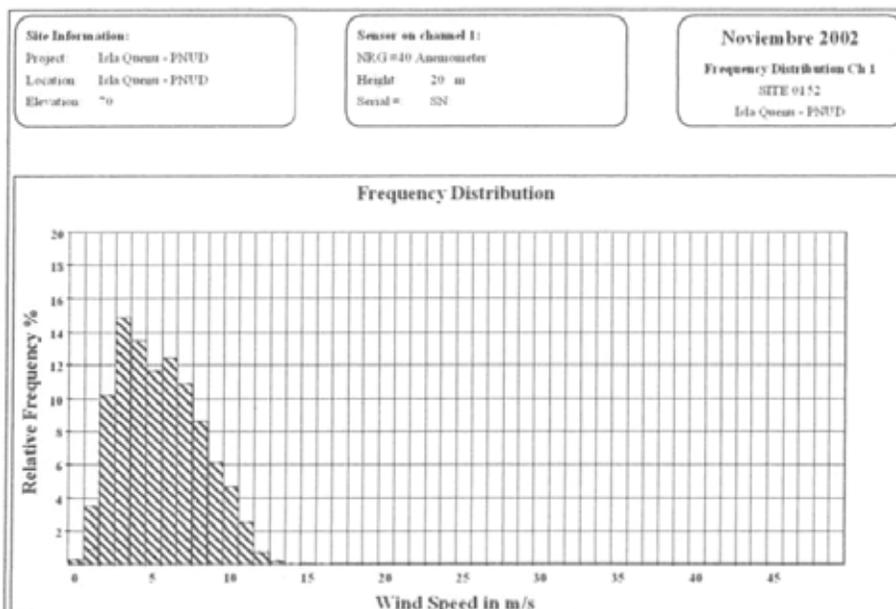


Gráfico 10.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura en Noviembre del 2002

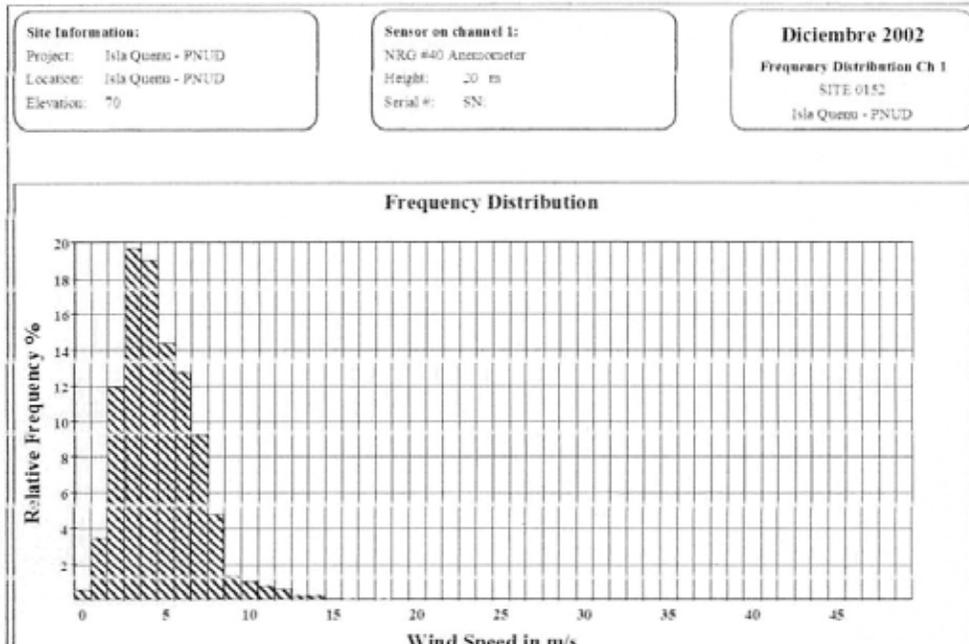


Gráfico 11.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura en Diciembre del 2002

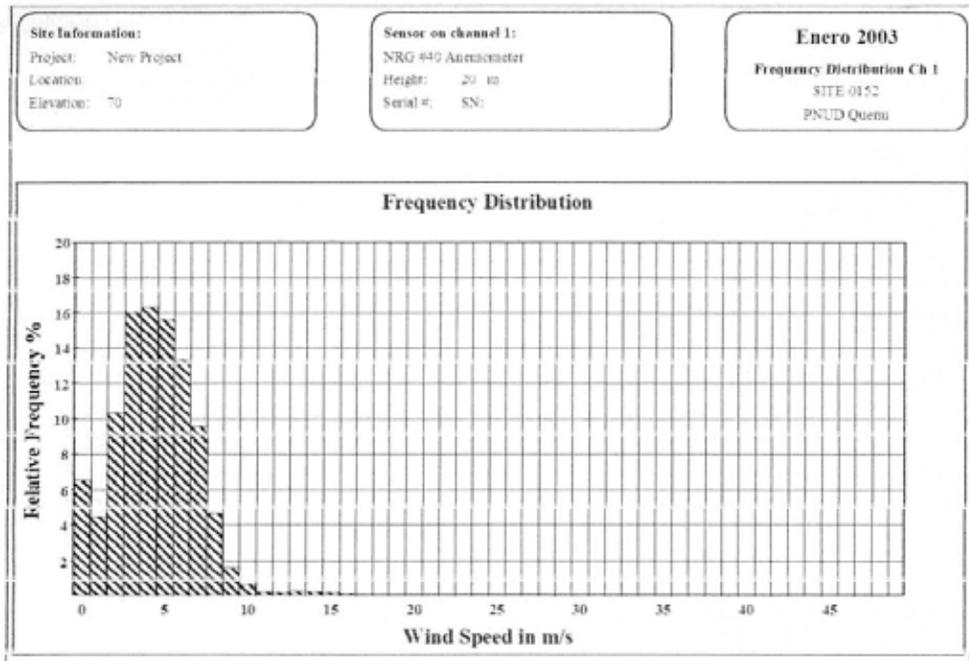


Gráfico 12.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura Enero 2003

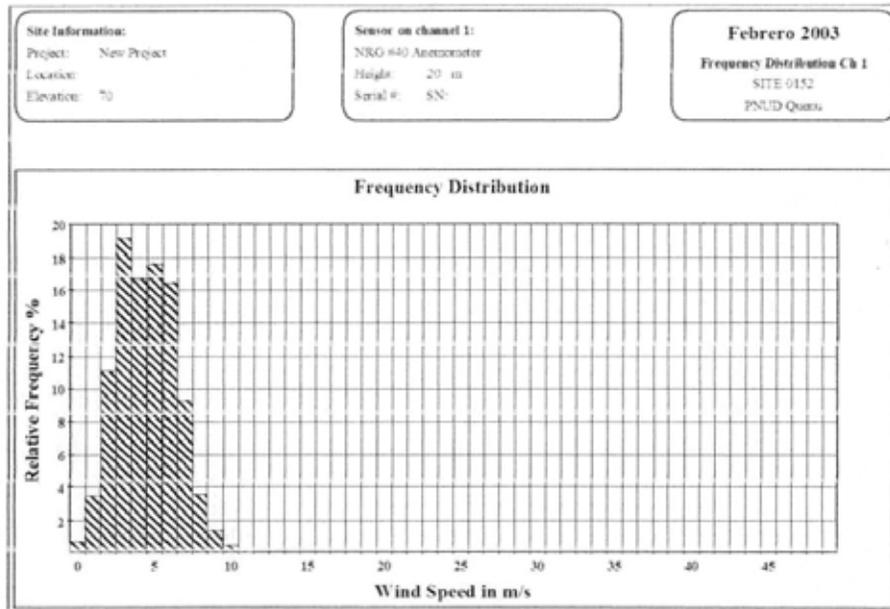


Gráfico 13.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura Febrero 2003

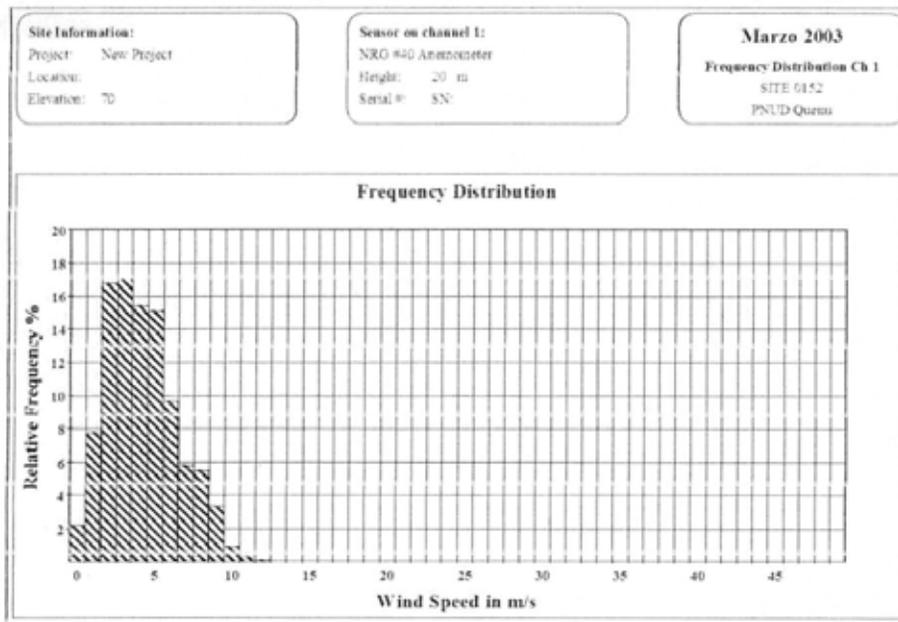


Gráfico 14.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura Marzo 2003

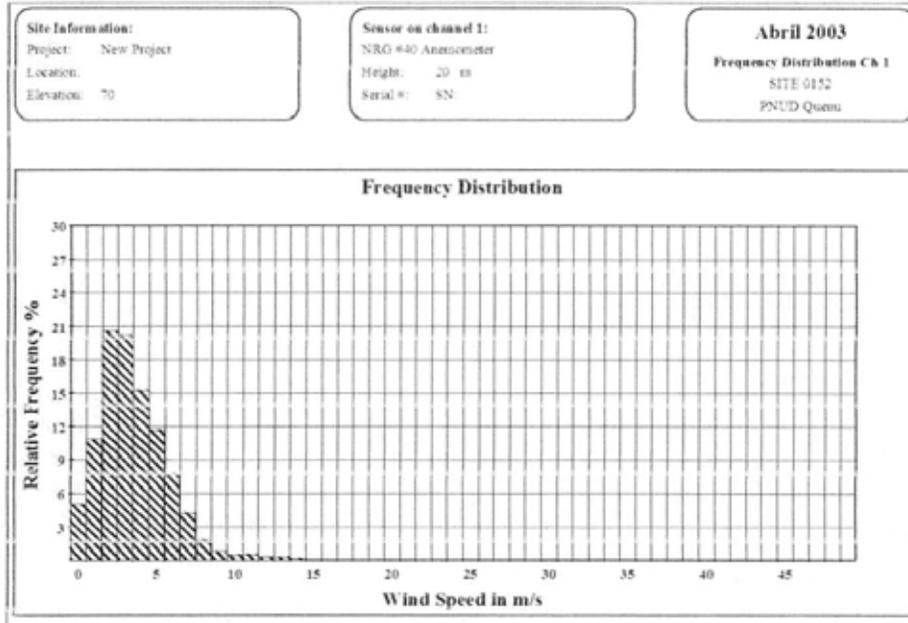


Gráfico 15.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura Abril 2003

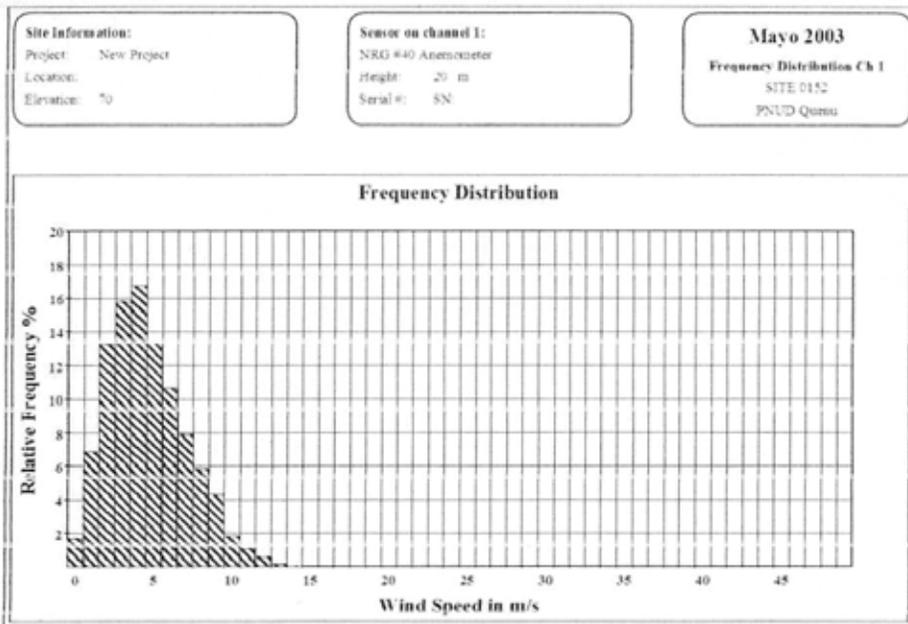


Gráfico 16.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura Mayo 2003

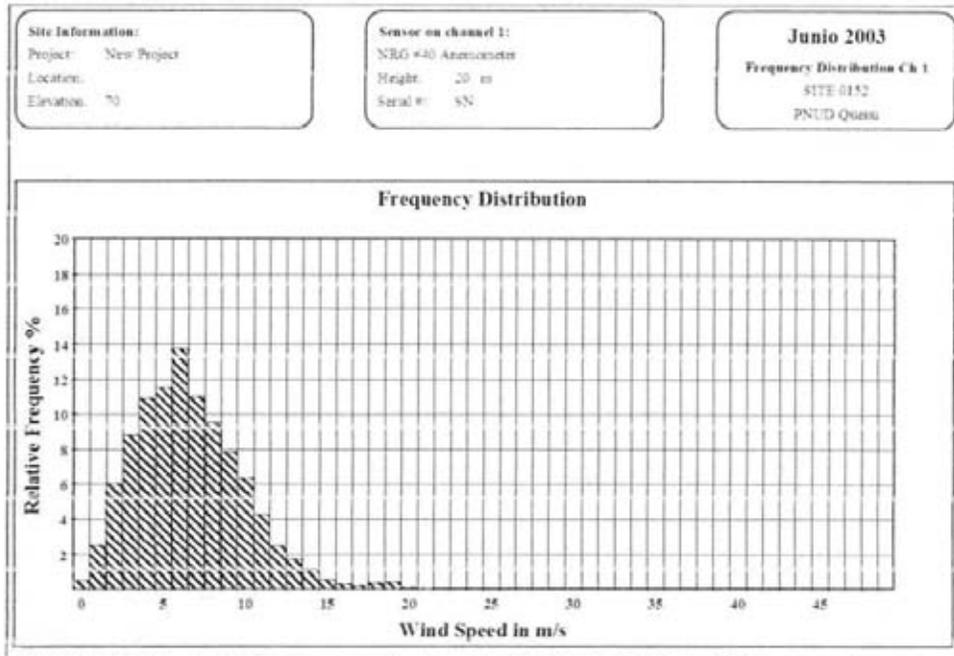


Gráfico 17.- Distribución de frecuencia de velocidad de viento a 20 metros de altura Junio 2003

Anexo 3. Gráficos de variaciones mensuales de viento por hora promedio.

Variaciones Mensuales de Viento por Hora Promedio, Máximo y Mínimos

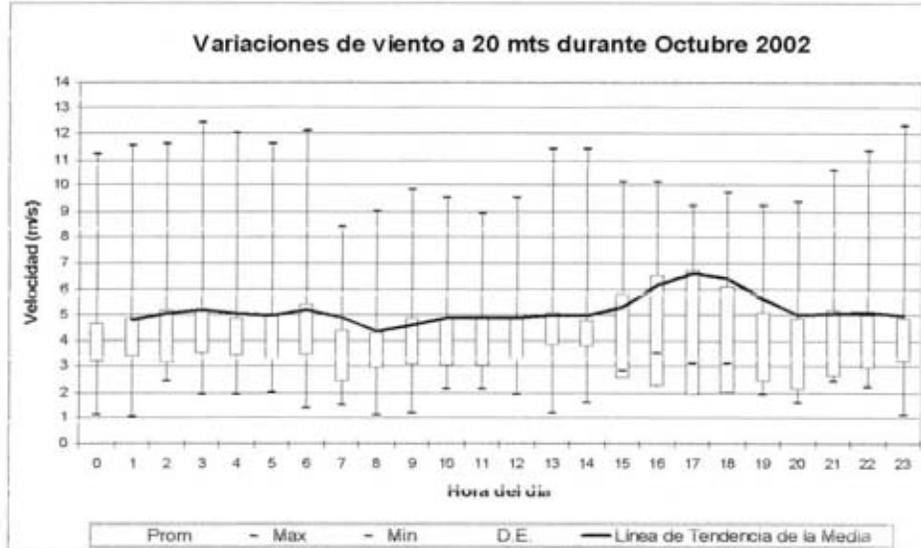


Gráfico 45.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Octubre 2002



Gráfico 46.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Noviembre 2002

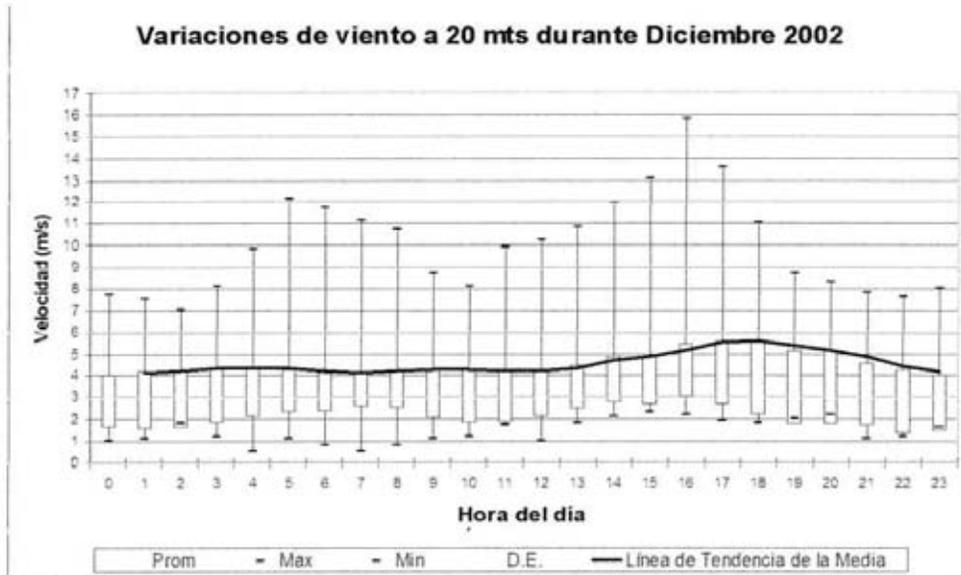


Gráfico 47.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Diciembre 2002

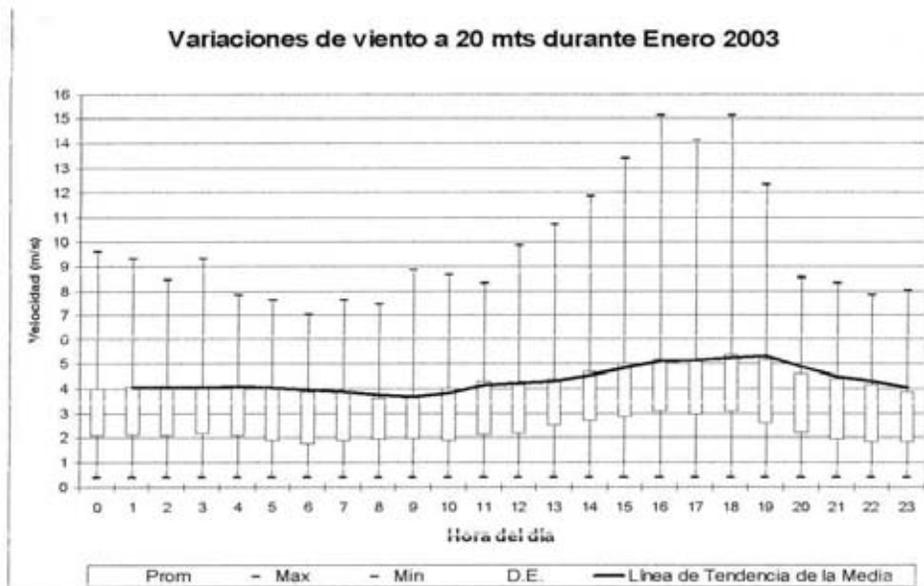


Gráfico 48.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Enero 2003

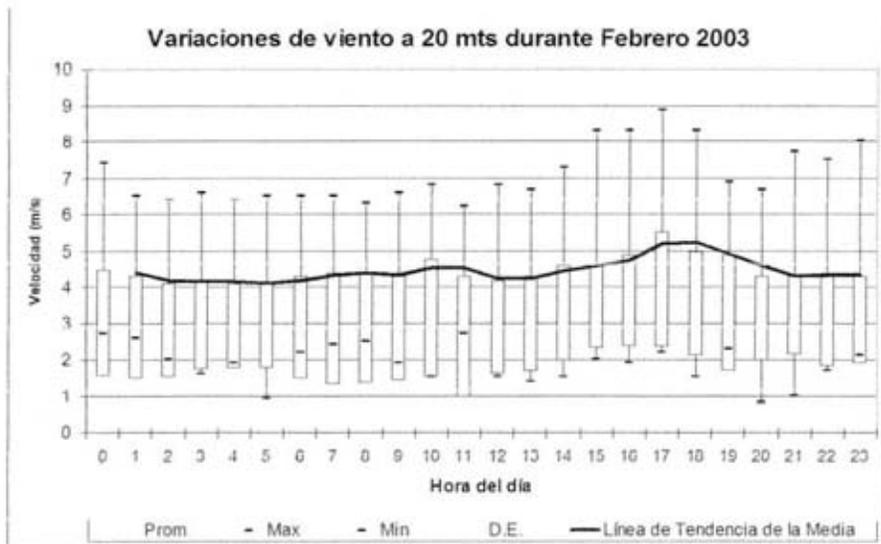


Gráfico 49.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Febrero 2003

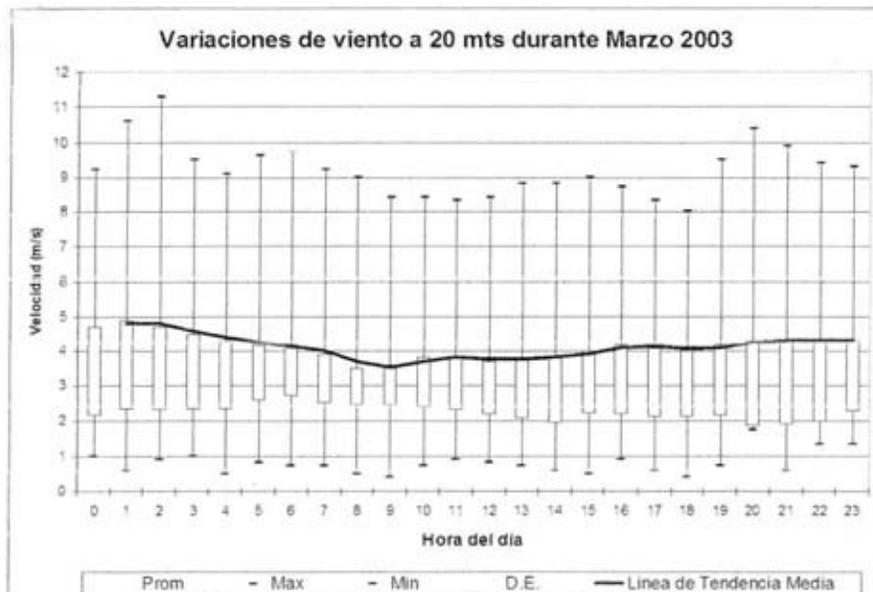


Gráfico 50.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Marzo 2003

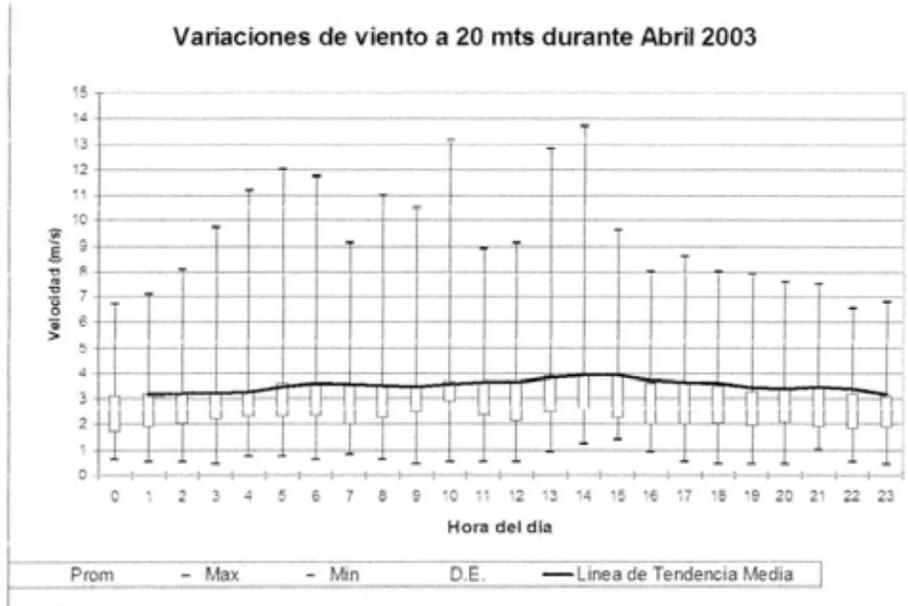


Gráfico 51.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Abril 2003

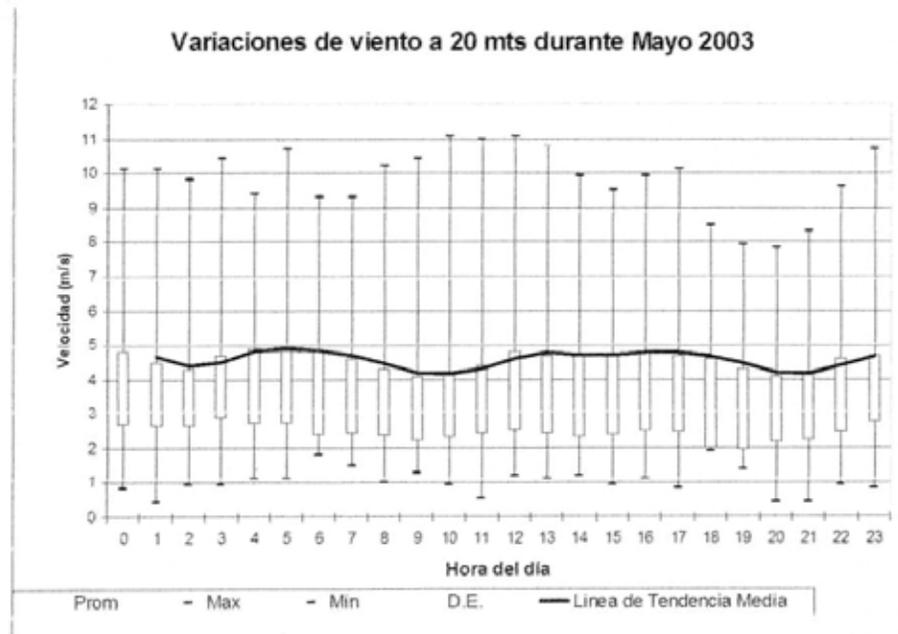


Gráfico 52.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Mayo 2003

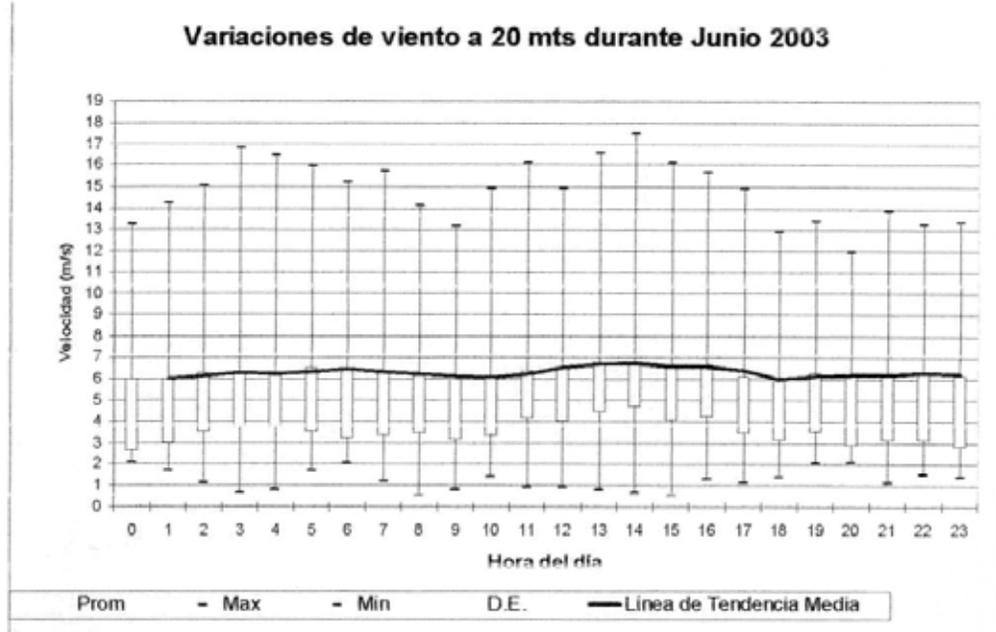


Gráfico 53.- Promedios, desviaciones estándar, máximos y mínimos mensuales de velocidad de viento a 20 metros de altura, agrupados por hora durante Junio 2003

Anexo 4. Cálculo de densidad de aire.

Para el cálculo de densidad de aire se utilizó la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{DP}{\frac{1}{2}v^3}$$

Donde:

ρ : Densidad de aire (Kg/m³)

DP : Densidad de potencia (W/m²)

v^3 : Velocidad cúbica a 20 m. de altura

Con esta fórmula se obtuvo los valores individuales de densidad de aire para cada mes en estudio, los cuales fueron utilizados para el cálculo final de la densidad de potencia a 40 metros de altura. Cabe destacar que la densidad de aire puede variar con la altura, pero no se considera este factor en el estudio.

Los valores de densidad de aire se presentan en la siguiente tabla:

MES	AÑO	VELOCIDAD 20 M	DENS. AIRE (Kg/m3)
Octubre	2002	5,15	2,382
Noviembre	2002	5,36	2,036
Diciembre	2002	4,55	2,115
Enero	2003	4,33	2,23
Febrero	2003	4,44	1,78
Marzo	2003	4,12	2,285
Abril	2003	3,47	2,793
Mayo	2003	4,53	2,278
Junio	2003	6,5	2,1024
Julio	2003	5,1	2,0999
Agosto	2003	5,7	2,15
Septiembre	2003	5,8	2,2
Octubre	2003	5,2	2,382
Noviembre	2003	4,6	2,05
Diciembre	2003	5,05	2,112

Anexo 5. Valores de velocidades promedio diarias por hora.

Los valores promedio de velocidades diarias se presentan a continuación, ya que en el estudio sólo se muestran los gráficos y sus tendencias.

HORA	VELOCIDAD 20 M	VELOCIDAD 40 M
0.00	4,65	6,1
1.00	4,8	6,3
2.00	4,8	6,3
3.00	4,8	6,3
4.00	4,9	6,5
5.00	5	6,6
6.00	4,9	6,5
7.00	4,9	6,5
8.00	4,9	6,5
9.00	4,8	6,3
10.00	4,85	6,4
11.00	5,1	6,7
12.00	5	6,6
13.00	5,2	6,9
14.00	5,1	6,7
15.00	5,2	6,9
16.00	5,1	6,7
17.00	5,3	7,0
18.00	5,1	6,7
19.00	4,9	6,5
20.00	4,7	6,2
21.00	4,7	6,2
22.00	4,6	6,1
23.00	4,55	6,0
24.00	4,6	6,1
PROMEDIO	4,90	6,5

Anexo 6. Tabla de electrodomésticos y potencia nominal.

La potencia nominal de los electrodomésticos que se estiman en Isla Quenu se calculó promediando la potencia nominal de los electrodomésticos que más se compraron en la tienda Dimarsa, una vez que se electrificó Isla Puluqui, con lo cual se puede hacer una estimación de los aparatos a usar en Isla Quenu. Esta tienda se ubica en la ciudad de Calbuco.

<i>ELECTRODOMÉSTICO</i>	<i>POTENCIA NOMINAL (W)</i>	<i>PROMEDIO</i>
TELEVISOR 21"	80	75
	50	
	90	
RADIO O EQUIPO MUSICAL	40	25
	20	
	13	
REFRIGERADOR 260 L.	155	155
CONGELADOR 200 L.	160	160
LAVADORA 5 KILOS	330	330

Anexo 7. Cotización de aerogeneradores de 7.5 kW.

Cotización RCB-Bergey-Westwind 20060719			
Fecha: 19 de Julio			
Cliente: Cotizaciones Generales			
At: Precios Retail			
Fono/Fax:			
Dirección			
Los precios están en dólares, no incluye IVA. El pago es en Pesos Chilenos al valor del dólar cotizado o el dolar observado. (No menos que lo cotizado)			
----- TIPO DE CAMBIO \$ -----			
Validez	Condiciones de Pago	Plazo de Entrega	Lugar de Entrega
2 días	Anticipo 30%. Saldo contra entrega	2 A 6 SEMANAS	Por pagar a todo Chile
Cant.	Descripción	Cod.	
Bergey 1KWmáximo en 24VCC			
1	Bergey XL1 - 24VDC - 1000W con Powercenter incluido Turbina Eólica - Bergey XL1 - 24VDC - 1000W con Powercenter incluido - USA- Para especificaciones ver catálogo	BWC XL.1-24	
			Subtotal 3.538,46
Bergey 1KWmáximo en 24VCC para zonas marinas			
1	Bergey XL1- Marine (ECP) - 24VDC - 1000W con Powercenter incluido + Pintura Anti Corrosion para lugares marinos (ECP) Turbina Eólica - Bergey XL1+ECP - 24VDC - 1000W con Powercenter incluido + Pintura Anti Corrosion para lugares marinos (ECP) - USA- Para especificaciones ver catálogo	BWC XL.1-24.	
			Subtotal 4.000,00
Bergey 7,5kWmaximo en 48VCC para zonas marinas			
1	Bergey Excel-R/48 Turbina Eólica 7,5kW, Cargador de Baterías,48VDC, con Export Packing (CRATE) y Pintura Anticorrosion (ECP) + Aspas Negras (BLK) Turbina Eólica - Bergey Excel-R/48 Turbina Eólica 7,5kW, Cargador de Baterías,48VDC, con Export Packing (CRATE) y Pintura Anticorrosion (ECP) + Aspas Negras (BLK) - USA- Para especificaciones ver catálogo	BWC Excel-R.	
			Subtotal 30.745,75



Wireless Energy

Wireless Energy Chile Ltda.
Parcela 6: Km 6.5, Ruta 5
Puerto Montt, Chile
RUT: 78-882-560-9
Fono: (56) 65-292-100
Fax: (56) 65-292-102
sales@wireless-energy.cl

Anexo 8. Cotización de baterías.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>PG-2V1000 2 Volt 1050 A.H.</p> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>POWER SONIC POWER-GUARD SERIES®</p> </div>
<p>UPS / TELECOM BATTERY</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>FEATURES</p> </div> <p>Long Service Life Thick plate design and efficient gas recombination yield a service life expectancy of 15 years in standby mode.</p> <p>Low Internal Resistance Superb high-rate discharge characteristics ensure reliable performance in UPS and Telecom applications.</p> <p>Maintenance-Free, Non-Spillable Proven VRLA technology guarantees safe operation without maintenance and 'non-restricted article' status for transportation.</p> <p>Low Self-Discharge Lead-calcium alloy grids and use of high purity lead account for superior shelf-life characteristics permitting storage for extended periods of time.</p> <p>Designed-In Reliability Cutting-edge manufacturing and process control combined with meticulous quality assurance procedures guarantee consistent and dependable performance.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>PRODUCT</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>CE  ISO9001 MH20045</p> </div>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>SPECIFICATIONS</p> </div>	
<p>Nominal Voltage</p>	<p>2 Volt (1 cell)</p>
<p>Nominal Capacity</p>	
<p>20-hr. rate (54.3A to 1.80V)</p>	<p>1086 0AH</p>
<p>10-hr. rate (105.0A to 1.80V)</p>	<p>1050 0AH</p>
<p>5-hr. rate (183.8A to 1.75V)</p>	<p>919 0AH</p>
<p>3-hr. rate (278.3A to 1.75V)</p>	<p>835 0AH</p>
<p>1-hr. rate (682.5A to 1.60V)</p>	<p>682 5AH</p>
<p>Approximate Weight</p>	<p>145.6 lbs. (66.0 kg)</p>
<p>Energy Density (10-hr. rate)</p>	<p>1.22 W-hrs/in³ (74.20 W-hrs/l)</p>
<p>Specific Energy (10-hr. rate)</p>	<p>13.73 W-hrs/lb (30.30 W-hrs/kg)</p>
<p>Internal Resistance</p>	<p>0.15 milliohms</p>
<p>5-min. Discharge Current to 1.60V/cell</p>	<p>3000 A</p>
<p>Terminals</p>	<p>threaded insert w. 8 mm stud fastener</p>
<p>Shelf Life — (% of nominal capacity at 68° F (20° C))</p>	
<p>1 Month</p>	<p>97%</p>
<p>3 Months</p>	<p>91%</p>
<p>6 Months</p>	<p>83%</p>
<p>Operating Temperature Range</p>	
<p>Charge</p>	<p>-4°F (-20°C) to 122°F (50°C)</p>
<p>Discharge</p>	<p>-4°F (-20°C) to 140°F (60°C)</p>
<p>Case Material</p>	<p>ABS plastic</p>

Anexo 9. Cotización de inversores.

Cotización RCB7-Inversores e Inversores Cargadores				
Fecha: Mié, 18 Abr 2007				
Cant.	Descripción	Cód.	Unitario	Precio Calculado
Inversores con cargador Senoidales 12, 24 y 48VCC				
1	Outback - FX2012ET - Inversor Senoidal con cargador (USA) con RTS, switch de transferencia de 55Amp AC y LED de estatus. 2000W / 12VCC / 230VCA 50Hz / Cargador de 100Amp.	Outback -	2117,78	2117,78
1	Outback - VFX2612E- Inversor Senoidal Ventilado con cargador (USA) con RTS, switch de transferencia de 30Amp AC y LED de estatus. 2600W / 12VCC / 230VCA 50Hz / Cargador de 125Amp.	Outback -	2670,15	2670,15
1	Outback - VFX3012E - Inversor Ventilado / Cargador (USA) con switch de transferencia de 60Amp AC y LED de estatus. 2600W / 12VCC / 230VCA 50Hz / Cargador de 125Amps	Outback -	2624,00	2624,00
1	Outback - FX2024ET - Inversor Senoidal Turbo con cargador (USA) con RTS, switch de transferencia de 30Amp AC y LED de estatus. 2000W / 24VCC / 230VCA 50Hz / Cargador de 55Amp.	Outback -	2117,78	2117,78
1	Outback - VFX3024E - Inversor Ventilado / Cargador (USA) con switch de transferencia de 60Amp AC y LED de estatus. 3000W / 24VCC / 230VCA 50Hz / Cargador de 85Amps	Outback -	2624,00	2624,00
1	Xantrex - SW3024E Inversor/Cargador, 3300W, 24VDC/220V, 50Hz, SW3024E, Xantrex -	Xantrex -	3953,68	3953,68
1	Outback - FX2348ET - Inversor Senoidal Turbo con cargador (USA) con RTS, switch de transferencia de 60Amp AC. 2300W / 48VCC / 230VCA 50Hz / Cargador de 35Amp. y RTS	Outback -	2548,77	2548,77
1	Outback - VFX3048E - Inversor Ventilado/ Cargador (USA) con switch de transferencia de 60Amp AC y LED de estatus. 3000W / 48VCC / 230VCA 50Hz / Cargador de 45Amps	Outback -	2624,00	2624,00
1	Xantrex - SW3048E Inversor/Cargador, 3000W, 48VDC/220V, 50Hz, SW3048E, Xantrex -	Xantrex -	3953,68	3953,68
1	Xantrex - SW4548E Inversor/Cargador, 4500W, 48VDC/220V, 50Hz, SW4548E, Xantrex -	Xantrex -	4486,60	4486,60

RENÉ CONTRERAS BASTIDAS

Anexo 10. Cotización de torre.

<p>Opción A2</p> <p>Suministro de Turbina Bergey + Torre</p>	<p>Bergey Excel-R/46 Turbina Eólica 7.5kW. Cargador de Baterías, 48VDC, con Export Parking, Pintura Anticorrosión y Aspas Negras</p> <p>Torre reticulada ventada de base Triangular, 24m de altura. Tensores en 4 direcciones de viento, accionados 6 m. Tipo Tit Up con Fluma.</p>	<p><i>No incluye montaje, instalación ni fundaciones</i></p>	<p style="text-align: center; border: 2px solid red; padding: 10px;">USD 37.300</p>
			<p>Sin estimación. Valor</p>

Anexo 11. Cotización de generador diesel.

<i>Ítem</i>	<i>DESCRIPCIÓN DEL SUMINISTRO T22K</i>	<i>PRECIOS</i>	
01	Un Grupo Electrónico modelo T22K, con Panel de control Mics Nexys	4.800.000.-	+IVA
TOTAL		4.800.000.-	+IVA



T22K

GRUPO DIESEL

MODELO	T22K
Potencia de emergencia @ 50Hz	18 kW / 22 kVA
Potencia primaria @ 50Hz	16 kW / 20 kVA

Características estándares

- Motor (MITSUBISHI , S4Q2.5D)
- arranque eléctrico, alternador de carga 12 V, regulación Meca .
- Alternador (MECC ALTE , ECO 28 1U/4)
- Alternador monocojinete IP 23 , clase H /H
- Radiador 50°C [532°F]°C - máximo T° a nivel del haz.
- Chasis y bomes antivibración
- Filtro de aire
- Caja digital de microprocesador
- Disyuntor
- Baterías 12 V , cable y soporte
- Silenciador tipo industrial (separado)
- Documentación del usuario



Potencia de los grupos electógenos

Tensión	HZ	Phase	P.F	Amperios de emergencia	Potencia de emergencia kW/KVA	Potencia primaria kW/KVA
415/240	50	3	0.8	31	18 / 22	16 / 20
400/230	50	3	0.8	32	18 / 22	16 / 20
380/220	50	3	0.8	33	18 / 22	16 / 20
240/120	50	3	0.8	53	18 / 22	16 / 20
230/115	50	3	0.8	55	18 / 22	16 / 20
220/110	50	3	0.8	58	18 / 22	16 / 20
220/127	50	3	0.8	52	18 / 20	15 / 18
200/115	50	3	0.8	64	18 / 22	16 / 20

PRP : Potencia principal disponible en continuo en carga variable durante un número limitado de horas al año de acuerdo con el ISO8528-1. Es posible una sobrecarga de 10% una hora cada 12 horas según ISO3045-1.

ESP : Potencia de emergencia disponible para una utilización de emergencia en carga variable de acuerdo con el ISO8528-1. Opción sobrecarga no disponible