



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA PARA LA
GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN UN ASENTAMIENTO
HUMANO DE SAN JUAN DE MARCONA**

Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico

Presentado por:

JOAQUÍN JORDÁN ARIAS

ASESOR:

Fernando Jiménez

Lima, agosto del 2009

© 2009, Joaquín Jordán Arias
Se autoriza la reproducción total o parcial,
Con fines académicos a través de cualquier
Medio o procedimiento, incluyendo la cita
Bibliográfica del documento.

RESUMEN

El panorama actual del Perú nos indica, según datos del Ministerio de Energía y Minas (MEM), que aproximadamente 6 millones de pobladores no cuentan con el servicio básico de energía eléctrica, lo cual resulta ser un importante impedimento en el crecimiento de cualquier país; ya que lo limita de muchos beneficios y perjudica su calidad de vida al no tener acceso a las telecomunicaciones y a otros servicios que podrían perjudicar su salud. Dentro de este universo de peruanos se encuentran los pobladores de Ruta del Sol, ubicados en el Distrito de San Juan de Marcona, al sur del departamento de Ica, un asentamiento humano cuyos habitantes se dedican principalmente a la pesca y comercio, los cuales ven complicadas sus posibilidades de desarrollo por no contar con energía eléctrica.

Para encontrar la mejor solución a este problema se analizó el aprovechamiento del recurso más abundante con el que cuenta la localidad, el cual según estudios hechos por el MEM resulta ser el eólico. El asentamiento humano "Ruta del Sol", zona que fue motivo del presente estudio, tiene una población de 300 familias, con un promedio de 5 habitantes por familia (según el INEI); cada poblador requiere una potencia instalada de 60 W aproximadamente (datos de la MEM). El potencial eólico en la zona de San Juan de Marcona es aproximadamente de 100 MW, con lo cual es capaz de abastecer a todo el Departamento de Ica, cuyo consumo aproximado es de 104 MW. Estos datos, así como la frecuencia de utilización de la electricidad, permitieron dimensionar los sistemas a estudiar, los cuales resultaron de las combinaciones de dos recursos de distinto origen: El eólico y el fósil (diesel). Se estudiaron tres distintos escenarios: Sistema eólico, híbrido (eólico-diesel) y diesel, cada uno con sus ventajas y desventajas; al analizar el aporte de cada fuente energética en el cómputo global de la energía requerida en la comunidad, se ha elaborado un análisis que contempla los costos asociados a los tres distintos escenarios. El estudio de las alternativas se basa en calcular el coste normalizado (\$/kWh) de cada sistema, valor que facilitará la elección de la configuración más adecuada. Este proceso incluye todos los gastos asociados a un proyecto durante todo su ciclo de vida, dando por resultado el coste normalizado del sistema, (\$/kWh). Dentro de los costos tomados para este cálculo se consideró la inversión inicial, la vida útil de los distintos componentes, los costos de operación y mantenimiento y el costo asociado al consumo del combustible.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA PARA
LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN UN
ASENTAMIENTO HUMANO DE SAN JUAN DE MARCONA

ÁREA : Energía # 267

PROPUESTO POR : Dr. Vassili Samsonov

ASESOR : Ing. Fernando Jiménez

TESISTA : Joaquín Jordán Arias

CÓDIGO : 20030246

FECHA : 19 de junio del 2008



DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

La utilización de la energía eólica en lugares donde este recurso es abundante, como es la zona de San Juan de Marcona en Ica, motiva a evaluar las posibilidades de generar electricidad para mejorar la calidad de vida en asentamientos humanos a los cuales la red eléctrica no llegará por no ser económicamente atractivo.

En tal sentido el presente tema de tesis realizará una evaluación técnico-económica comparando la generación eléctrica mediante las alternativas de aerogeneración, grupo electrógeno y un sistema híbrido (diesel-eólico) que suministre energía a un asentamiento humano de 300 familias en las cercanías de la localidad de San Juan de Marcona.

4



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA PARA LA GENERACIÓN DE
ELECTRICIDAD EN UN ASENTAMIENTO HUMANO DE SAN JUAN DE MARCONA

Introducción

1. Determinación de los parámetros del estudio.
2. Determinación de las características técnicas de la alternativa de generación eólica.
3. Determinación de las características técnicas de la alternativa de grupo electrógeno.
4. Determinación de las características de la alternativa de generación híbrida (eólica-diesel).
5. Evaluación de alternativas.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

MÁXIMO 100 PÁGINAS




Ing. Fernando Jiménez
Asesor


26/08/08
DANTE ECUAS

Máximo 100 pág.

Este logro profesional y personal es el resultado del apoyo constante de mis padres, los cuales lograron inculcarme su perseverancia y disciplina para alcanzar las metas propuestas. Asimismo un reconocimiento especial a mi hermano por su apoyo, a mi pareja, por su paciencia, comprensión y fuente inagotable de motivación para el logro de esta meta, a mi asesor, por su guía y motivación sin el cual no se hubiera podido culminar este trabajo. Dedico este trabajo de investigación y consecuentemente la obtención del título de Ingeniero Mecánico a mis seres queridos de quienes estoy inmensamente agradecido.

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
APROBACIÓN DEL TEMARIO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
INTRODUCCION.....	1
1. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE ESTUDIO.....	3
1.1. Marco de referencia.....	3
1.2. Objetivos del trabajo.....	6
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Situación eléctrica actual en el Perú.....	7
1.4. Selección del lugar de análisis.....	11
1.5. Alternativas de solución.....	22
1.5.1. Combustibles fósiles.....	22
1.5.2. Recurso eólico.....	23
2. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ALTERNATIVA DE GENERACION EOLICA.....	25
2.1. Marco de referencia.....	25
2.1.1. Aprovechamiento de la energía eólica.....	26
2.2. Potencial eólico en el Perú.....	27
2.2.1. Situación del Perú respecto al resto del mundo.....	36
2.3. Capacidad de generación eléctrica con energía eólica	38
2.4. Capacidad de generación eléctrica en San Juan de Marcona.....	39
2.5. Dimensionamiento del sistema eólico.....	48
3. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ALTERNATIVA DE GENERACION DIESEL.....	58
3.1. Marco de referencia.....	58
3.1.1. Introducción.....	58
3.1.2. Utilización de grupo electrógeno en sistemas aislados.....	59
3.2. Marco teórico.....	60
3.2.1. Características.....	60
3.2.2. Dimensionamiento del grupo electrógeno.....	60
3.2.3. Ventajas.....	63
3.2.4. Desventajas.....	63
3.3. Dimensionamiento del sistema diesel.....	64
4. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ALTERNATIVA DE GENERACION HIBRIDA.....	70
4.1. Marco de referencia.....	70
4.2. Antecedentes.....	71
4.3. Características.....	75
4.4. Dimensionamiento del sistema híbrido.....	76

5.	ANALISIS DE ALTERNATIVAS.....	86
5.1.	Estudio de alternativas.....	86
5.2.	Análisis de alternativas.....	86
5.2.1.	Estimación de cada escenario.....	88
5.2.1.1.	Escenario 1: Sistema eólico.....	88
5.2.1.2.	Escenario 1: Sistema hibrido.....	90
5.2.1.3.	Escenario 1: Sistema diesel.....	92
5.3.	Resultados obtenidos.....	93
	CONCLUSIONES.....	96
	BIBLIOGRAFIA.....	98
	ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

El panorama actual del Perú nos indica, según datos del Ministerio de Energía y Minas, que aproximadamente 6 millones de pobladores no cuentan con el servicio básico de energía eléctrica, el cual resulta un impedimento importante dentro del crecimiento de cualquier país, ya que priva de muchos beneficios como el de las telecomunicaciones por medio del televisor y/o radio así como de menguar la calidad de vida de algunos hogares al no poder acceder a servicios básicos que muchas veces perjudican su salud como por ejemplo, no poder preservar sus alimentos por largos períodos de tiempo, además de que la pobreza y la carencia de servicios básicos están estrechamente relacionados y son indisolubles entre sí. Por ejemplo, el número de peruanos en extrema pobreza es igual al número de peruanos que aún no acceden a los servicios básicos de agua, desagüe, **luz**, telefonía, etc. Estamos hablando de 6 millones de peruanos que se encuentran en condición de “no usuarios” y que se encuentran en pobreza extrema. Así, tenemos que los departamentos con mayores índices de pobreza coinciden con los menores niveles de electrificación, como son los casos de Cajamarca y Huanuco, con 35% y 37% de coeficientes de electrificación y 77% y 83% de niveles de pobreza, respectivamente.

Los esfuerzos realizados por el estado de aumentar las líneas eléctricas y que de esta manera lleguen a todo el país no se pueden discutir, pero como se explicará más adelante, nuestro país posee una geografía muy difícil, entiéndase esto como la

característica de poseer muchos relieves y terrenos irregulares, lo cual incrementa de sobremano el precio de instalación de líneas eléctricas, son estos los casos donde se presenta otro tipo de tecnologías, como se hace en muchos países, aprovechando los grandes recursos que se tienen como lo son las fuentes renovables, las cuales poseen el agregado de ser limpias (entiéndase como fuente de energía que no genera gases de efecto invernadero), una fuente de energía renovable no muy utilizada es la energía eólica, pero nos falta mucho para poder aprovecharla ya que primero se debería realizar un atlas eólico del país, el cual resulta ser el primer inconveniente en el desarrollo de este tipo de energía ya que nunca se realizó un mapa eólico del Perú de manera formal, solo se realizaron aproximaciones, y de esto hace más de 20 años, aunque se sabe a priori que existen muchos microclimas que te brindan vientos permanentes y que estos se sitúan en la costa aunque también exista la posibilidad de encontrar estos microclimas en otros sitios, como se verá más adelante el potencial eólico del país es muy grande, y una apropiada inversión puede originar un gran desarrollo en el país.

El análisis básicamente va dirigido a brindarle una posibilidad de desarrollo a la población que no cuentan en estos momentos con energía eléctrica.

El modelo planteado busca comparar y de esta manera demostrar el ahorro que significaría la utilización de un sistema híbrido de generación de energía que estaría constituido por un aerogenerador y un grupo electrógeno, ambos interconectados para satisfacer las necesidades de un poblado de nivel socioeconómico D y E, contra un sistema que sólo emplee grupos electrógenos o aerogeneradores para la generación de electricidad.

El trabajo se limita a la selección de componentes que serán parte de los distintos sistemas que puedan proponerse para la solución del problema mencionado anteriormente.

CAPITULO 1

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE ESTUDIO

1.1. MARCO DE REFERENCIA.

Desde tiempos pasados, hablando de antes de la creación de la máquina de vapor, la principal fuerza de origen no animal para la realización de trabajos mecánicos era la energía eólica, han pasado muchos años desde entonces y muchos grandes científicos han aportado para desarrollar la teoría de la aerodinámica de los álabes, permitiendo comprender la naturaleza y el comportamiento de las fuerzas que actúan alrededor de las palas de las turbinas. Los mismos científicos que la desarrollaron para usos aeronáuticos Joukowski, Drzewiechy y Sabinin en Rusia; Prandtl y Betz en Alemania; Constantin y Enfield en Francia, etc., establecen los criterios básicos que debían cumplir las nuevas generaciones de turbinas eólicas.[1]

Actualmente, se ha logrado grandes avances en el área de la producción de la energía eléctrica mediante este recurso renovable, según la ITDG¹ (soluciones prácticas para la pobreza), la cual afirma que:

¹ Soluciones Prácticas - ITDG es un organismo de cooperación técnica internacional que contribuye al desarrollo sostenible de la población de menores recursos

- La energía eólica es la industria energética de mayor crecimiento en la última década.
- Se ha llegado a costos de generación competitivos, tan bajos como 4 ctvo. US\$/kW-h. [5]

Existen muchas maneras de aprovechar la energía eólica, una de las más empleadas es la de usarla en paralelo con otro tipo de fuente de energía, básicamente un sistema de este tipo se denomina sistema híbrido, el cual se explicará a continuación:

Un sistema híbrido de energía es aquél que utiliza más de una forma primaria de energía, dependiendo de la disponibilidad de recursos para generar y distribuir energía eléctrica de manera optimizada y con costos mínimos, dada la capacidad de una fuente de suprimir la falta temporal de la otra, permitiendo de esta manera la producción de electricidad con mínimas interrupciones.

Los sistemas híbridos de energía en el mundo comúnmente son para zonas aisladas e incorporan alguna fuente renovable (módulos fotovoltaicos, aerogeneradores, turbinas hidráulicas, etc.), grupos electrógenos, banco de baterías, convertidores, como se muestra en la Figura 1.

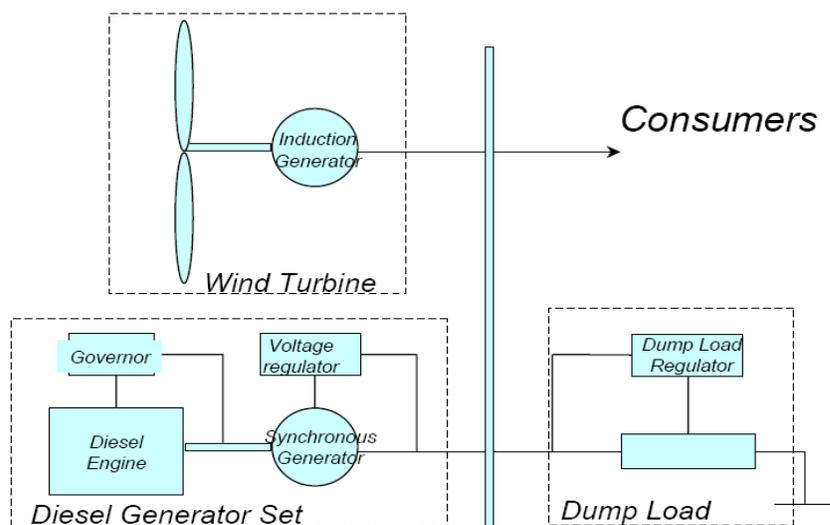


Figura 1. Configuración general de un sistema híbrido viento-diesel (Ref. RISO)

DATOS DE LA FIGURA:**Induction Generator: Generador de inducción****Wind turbina: Turbina Eólica****Consumers: Consumidores****Governor: Regulador****Voltaje regulador: Regulador de voltaje****Diesel Engine: Grupo electrógeno****Synchronous Generator: Generador síncrono**

La atención se ha centrado en el uso de aerogeneradores para la producción de electricidad en áreas aisladas imposibilitadas de conectarse a la red eléctrica. Generalmente estas zonas son abastecidas por grupos electrógenos, aquí es donde una solución técnica y económica resultan ser los sistemas híbridos arriba explicados, utilizando en este caso como fuente de energía renovable al viento y fuente que compensa temporalmente la falta de viento que se pueda presentar, un combustible, en este caso el Diesel.

Los sistemas híbridos viento-diesel resultan una interesante solución para la electrificación de lugares aislados. El sistema, consigue una importante reducción de consumo de combustible, en comparación con una instalación que utilice el diesel como única fuente de energía, además de proteger al grupo electrógeno del desgaste, aumentando de este modo su vida útil y reduciendo la contaminación ambiental.

Una medida común para evaluar el desempeño de un sistema híbrido viento-diesel es la penetración del viento, el cual es la relación entre la potencia generada por el viento y la potencia total, por ejemplo, 60% de penetración del viento implica que 60% de la potencia del sistema proviene del viento. Las cifras de penetración del viento pueden ser dadas como picos a largos plazos.

1.2. OBJETIVO DEL TRABAJO

1.2.1 Objetivo General

Se busca mediante la siguiente tesis investigar sistemas híbridos en el ámbito técnico y económico y de generación eléctrica en operación aislada de la red eléctrica y en entornos de redes débiles, que reúnan las condiciones mínimas para que una turbina eólica pueda funcionar (velocidad del viento), se piensa lograr esta labor comparando un sistema que integre el aprovechamiento de la energía eléctrica producida por la turbina eólica, y el de un grupo electrógeno que funcione cuando las turbinas eólicas no produzcan la suficiente potencia para abastecer a los usuarios, con la utilización exclusiva de turbinas eólicas y de grupos electrógenos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Se busca colocar un sistema híbrido viento-diesel en la ciudad de San Juan de Marcona, ubicada en Ica, al sur de Lima, cumpliendo los siguientes objetivos específicos:

a. Determinar recursos eólicos de la zona.

Se elegirá un lugar de estudio por tener una velocidad de vientos promedio mayores a 5 m/s y el análisis se realizará con la frecuencia de vientos del mismo, comparándolo con la curva de potencia del aerogenerador.

b. Selección de componentes que conformen los tres sistemas a comparar.

Se seleccionan mediante la potencia que se requiera, confiabilidad, costos y disponibilidad en el mercado peruano.

c. Evaluación técnico-económica de la generación de electricidad mediante un Sistema híbrido frente a solo utilizar un grupo electrógeno o solo emplear turbinas eólicas.

Se calculará el tiempo de utilización del grupo electrógeno así como la cantidad de diesel que se consumirá, además de los costos de instalación conociendo la

frecuencia de velocidades del lugar seleccionado, así como el consumo diario de electricidad de los pobladores.

1.3. SITUACIÓN ELÉCTRICA ACTUAL EN PERÚ.

Según datos del Ministerio de Energía y Minas del Perú, en los últimos años se ha incrementado a 78 % [3] el porcentaje de la población peruana que cuenta con servicio eléctrico. A pesar del gran esfuerzo de aumentar la electrificación en el Perú, básicamente a través de la extensión de redes eléctricas, esto significa que todavía hay 6 millones de peruanos sin electricidad. Casi toda esta gente vive en áreas rurales y en la medida que aumenta la electrificación, cada vez es más costoso aumentar un punto porcentual más a la electrificación, debido a la baja densidad poblacional y las dificultades geográficas de gran parte del territorio peruano.

Para estos millones de peruanos la única posibilidad económicamente viable a corto y mediano plazo es la generación local de electricidad, basada sobre todo en recursos renovables: hidráulica, eólica, solar y biomasa.

A pesar de que esta situación es ampliamente reconocida, poco se ha hecho a la fecha en este campo. Esto se explica por varias razones, principalmente porque es más costoso electrificar regiones remotas y aisladas que regiones que están cerca de la red eléctrica interconectada existente.

¿Cuáles son los retos de la electricidad en Perú? Según el último censo del INEI², estamos hablando de un país con un bajo nivel de desarrollo económico, donde hay 11 millones de personas en el umbral de la pobreza y, de ellos, 4 millones en un nivel cercano a la indigencia, con una renta promedio de 120 soles mensuales. En Lima, siendo la más desarrollada del país, la composición de la población es, a grandes rasgos, un 19% que se pueden calificar de extrema pobreza, con un ingreso mensual medio de

² Instituto Nacional de Estadística e Informática

220, un 34% adicional con un ingreso medio un poco mayor, 400 soles. Entre estos dos segmentos ya estamos casi en el 55% del total de la población. [2]

El gran reto debe ser aprovechar responsablemente los recursos naturales de generación que permitan un desarrollo eléctrico.

Todo ello sin olvidar el desarrollo de proyectos especiales dedicados a aquellas zonas más necesitadas, más aisladas y donde los programas sociales a menudo no funcionan.

En cuanto al problema de la electrificación, Perú es el segundo país dentro de Latinoamérica con más población sin electricidad. En Brasil la cifra es de 10-12 millones de personas sin acceso a la electricidad. Perú, siendo mucho más pequeño, tiene 6.2 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad; los cuales representa el 22% de la población.

Es cierto que probablemente la electricidad es uno de los servicios básicos de más penetración porque, por ejemplo en las zonas urbanas, el 92% de la población tiene acceso a alumbrado eléctrico mientras sólo el 78% tiene agua canalizada o el 71% que tiene acceso al alcantarillado. [4]

Este tipo de observaciones también nos proyecta importantes diferencias regionales, en la zona de Lima prácticamente se tiene ya una cobertura del 100% de electrificación, mientras que en zonas como Cajamarca o Piura estos niveles son inferiores al 50%.

Se debe observar también el problema de calidad de servicio, en el que también se observa disparidad entre regiones. Existen zonas con una calidad de servicio comparable a la que se pueda tener en España, concretamente Lima, la cual se encuentra en esos niveles, pero aún otras tienen tiempos de interrupción de hasta 25 horas al año. [4]

Los datos oficiales del Ministerio de Energía y Minas respaldan la información dada anteriormente, los cuales se pueden apreciar en el gráfico en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Cuadro del coeficiente de electrificación (Ref. <http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/GVEP/villa.pdf>)

Población	Total	Población con servicio	Coeficiente (%)	Población sin servicio
Urbano Nacional	20.192.725	18.695.151	92,6%	1.497.574
Rural Nacional	7.611.222	3.030.956	39,8%	4.580.266
Total	27.803.947	21.726.107	78,1%	6.077.840

Y comparando los datos obtenidos por el Ministerio con las realidades en Latinoamérica, nos deja en un incómodo penúltimo puesto como se aprecia en la Cuadro 2.

Cuadro 2. Coeficiente de Electrificación en el contexto latinoamericano (Ref. Olade, Cier)

País	Coeficiente de Electrificación(%)		Incremento (%)
	1993	2002	
Argentina	83,5	97,7	14,2
Uruguay	94,0	95,0	1,0
Brasil	86,0	95,0	9,0
Venezuela	87,7	94,7	7,0
Chile	93,2	93,3	0,1
Colombia	83,0	93,1	10,1
Paraguay	60,3	83,2	22,9
Ecuador	74,4	82,6	8,2
Panamá	70,0	81,0	11,0
Perú	57,0	75,3	18,3
Bolivia	53,3	67,1	13,8

En el Perú, en los últimos años se han dado leyes para promover el uso de los recursos renovables con los que contamos, específicamente:

- LEY N° 28749 LEY GENERAL DE ELECTRIFICACIÓN RURAL
 - Declara de necesidad nacional pública la electrificación de zonas rurales y localidades aisladas y de frontera del país.
 - Crea los recursos destinados a la ejecución de proyectos de electrificación rural.

- Declara prioritario el uso de los recursos energéticos renovables solar, eólico, geotérmico, hidráulico y biomasa.
- LEY N° 28546 LEY DE PROMOCIÓN Y UTILIZACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN ZONAS RURALES, AISLADAS Y DE FRONTERA DEL PAÍS
 - Promueve el uso de las energías renovables no convencionales para fines de electrificación en zonas rurales del país.
 - Promueve el desarrollo de proyectos de investigación de fuentes de energías renovables destinados a la electrificación rural.
 - Los proyectos de electrificación rural con energías renovables deberán contar con normas estándares de diseño y construcción, así como un régimen tarifario especial.

La DEP/MEM³ viene utilizando energías renovables no convencionales, como una alternativa de suministro de energía a localidades rurales y comunidades muy aisladas, donde no es posible, en términos económicos, llegar con sistemas convencionales.

Dentro de estas políticas se encuentran los trabajos realizados en Malabrigo y San Juan de Marcona, los cuales consistían en la instalación de aerogeneradores, este proyecto comenzó en 1989, como se muestra en el siguiente cronograma.

- En 1989 ELECTROPERÚ S.A. Inició los estudios de investigación de energía eólica en el litoral del Perú, definiendo la potencialidad eólica en Puerto Chicama (Malabrigo - La Libertad) y en San Nicolás (Marcona - Ica).
- En 1996 la DEP/MEM implementó el proyecto piloto Malabrigo de 250 kW y en 1999 el proyecto piloto San Juan de Marcona de 450 kW.
- El año 2000 ambos proyectos se transfirieron a ADINELSA para su administración comercial y para monitorear su operación, actualizando la información del potencial eólico que les permita formular planes de desarrollo.

³ Dirección Ejecutiva de Proyectos, el cual es un órgano del Ministerio de Energía y Minas

1.4. SELECCIÓN DEL LUGAR DE ANALISIS

Dado que la mejor propuesta depende de las condiciones geográficas y socio-económicas del lugar al que se aplica, el estudio se focaliza y limita a un pueblo del departamento de ICA, específicamente del Distrito de San Juan de Marcona del que se han estudiado en profundidad todas las características naturales necesarias para llevar a cabo el estudio.

Por consiguiente, el proyecto se limita a la caracterización de la localidad en cuestión y a la evaluación de sus recursos energéticos disponibles que permitirá estudiar las distintas alternativas que se presentan para la producción energética. De esta manera, se podrá establecer el diseño de una instalación óptima, en cuanto a costes de inversión y de operación, que permita suplir las necesidades de los habitantes bajo los criterios de sostenibilidad, fiabilidad y manejabilidad.

El departamento de ICA así como la mayoría de los lugares en la costa del Perú tiene grandes posibilidades de utilización del recurso eólico por su cercanía al mar, lo que origina una buena frecuencia de vientos, además de tener una gran cantidad de pobladores sin electrificación, como lo muestra el Cuadro 3.

Se puede observar del gráfico que el coeficiente de electrificación es alto comparando con el departamento de Ayacucho o Cajamarca pero también es cierto que por tener este, relativo alto coeficiente de electricidad es por lo que no es considerado prioritario la electrificación de zonas como San Juan de Marcona en Ica, del cual hablare mas adelante.

Cuadro 3. Población total y población que no cuenta con servicio de electricidad.
 (<http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/GVEP/villa.pdf>)

	C.E (b/a)	Población (a)	Población atendida (b)	Población sin servicio (a-b)
Amazonas	0.591	397,884	235,041	162,843
Ancash	0.672	1,052,927	707,879	345,048
Apurímac	0.551	426,003	234,820	191,183
Arequipa	0.901	1,160,204	1,044,793	115,411
Ayacucho	0.374	624,912	233,995	390,917
Cajamarca	0.276	1,380,767	380,626	1,000,141
Cusco	0.647	1,187,904	768,098	419,806
Huancavelica	0.543	452,419	245,650	206,769
Huánuco	0.402	745,488	299,821	445,667
Ica	0.840	678,238	569,417	108,821
Junín	0.764	1,106,902	845,310	261,592
La Libertad	0.674	1,565,950	1,055,830	510,120
Lambayeque	0.736	1,111,183	818,285	292,898

El Distrito San Juan de Marcona, muy conocido por sus típicos vientos Paracas⁴, es uno de los cinco Distritos de la Provincia de Nazca, ubicada en el Departamento de Ica. Limita por el norte con la provincia de Nazca; por el sur con la provincia de Caravelí (Arequipa); por el este con la provincia de Lucanas (Ayacucho) y por el oeste con el Océano Pacífico, como se aprecia en la Figura 3.

El Distrito de San Juan de Marcona es un pequeño pueblo que ocupa un área geográfica de 1955.36 km² y cuenta con una población de 12 876 hab. Según la página de la municipalidad de San Juan de Marcona y el INEI respectivamente.

(<http://www.munimarcona.gob.pe/distrito/index.php>)

San Juan de Marcona resulta ser un lugar muy adecuado para la instalación de aerogeneradores no sólo por su alto régimen de velocidades, sino también porque ya se ha realizado una medición de vientos por parte de ADINELSA⁵, registrando frecuencia de vientos y número de horas donde la velocidad del viento resulta muy alta.

⁴ Fuertes vientos de arena y tierra que se producen durante cada cambio de estación.

⁵ EMPRESA DE ADMINISTRACION DE INFRAESTRUCTURA ELECTRICA S.A., es una empresa estatal de derecho privado, que tiene como finalidad administrar las obras de electrificación rural.

Los datos registrados muestran que la velocidad promedio registrado a una altura de 40 m aproximadamente oscila entre 6,70 a 11,09 m/s, tal como se puede observar en la curva de datos de velocidad media horaria mostrada en la Figura 2 cuyos valores promedios resultan ser superiores a 6 m/s.

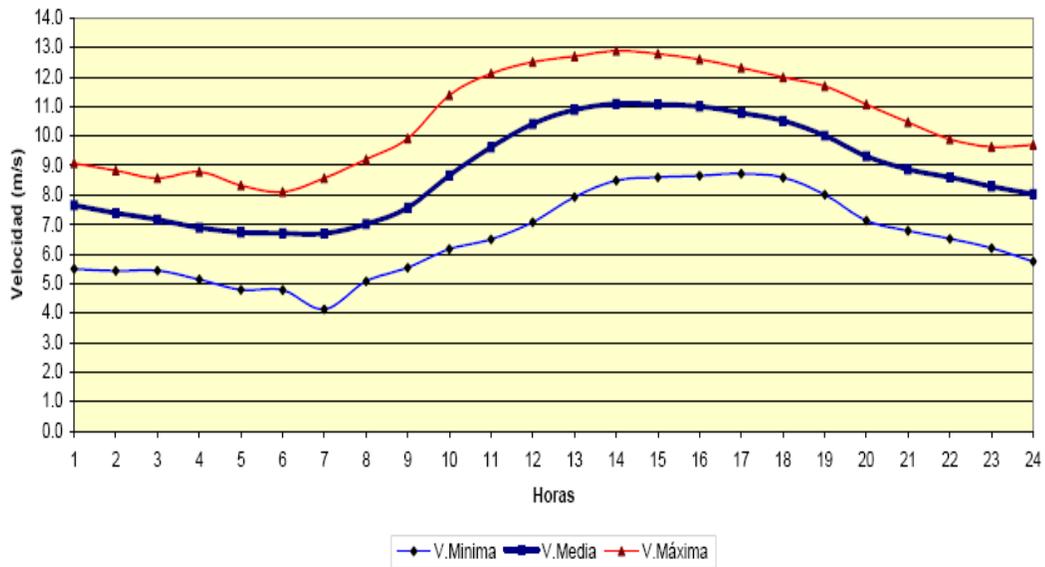


Figura 2. Curva de velocidades. (Fuente ADINELSA)

Si se mide las velocidades del viento a lo largo de un año observará que en la mayoría de áreas los fuertes vendavales son raros, mientras que los vientos frescos y moderados son bastante comunes.

La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada Distribución de Weibull, la cual se detallará en el capítulo 2, pero resulta importante mencionar los parámetros que definen dicha función.

Los parámetros estadísticos de promedio anual de Weibull registrado a 40 m de altura son los siguientes:

$$K_{\text{Weibull}} = 1,92$$

$$C_{\text{Weibull}} = 9,30 \text{ m/s}$$

Dirección predominante = Sur

Con los valores de **k** y **c** se puede obtener, mediante la fórmula (1.1) la velocidad media del viento:

$$v_m = c \cdot \Gamma(1 + k^{-1}) \dots\dots\dots (1.1)$$

Donde “ Γ ” significa la función Gamma, la cual se especificará en el capítulo 2.

Obteniéndose que: $V_{promedio} = 8.25 \text{ m/s}$



Figura 3. Mapa de San Juan de Marcona.

Existen dos tipos de poblados rurales sin electricidad:

- Población energizable con una extensión de la red actual.

- Población energizable con sistemas de autogeneración, debido a la considerable distancia de los canales de distribución y/o que no dispone de recursos para solventar el suministro eléctrico convencional.

En dicho distrito se encuentra el Asentamiento Humano Ruta del Sol, objeto del estudio realizado en este proyecto, a partir del cual se pretende crear un modelo que pueda ser aplicado a las comunidades de la zona que tengan características similares, así como a pueblos residentes en la Costa del Perú o en la Sierra que presenten recursos eólicos similares.

El poblado de Ruta del Sol ubicado a 6 Km. aproximadamente del centro de la ciudad, se encuentra formado por 300 familias en situación de pobreza, dedicadas básicamente a la pesca y al comercio, este poblado podría ubicarse en el segundo tipo de la diferenciación de los poblados rurales sin electricidad ya que la distancia a la fuente de electricidad es considerable.

Hoy en día, el 90% de la población vive exclusivamente de la pesca combinado con el comercio, que cada vez reporta más ingresos a los habitantes de la zona. Por su parte, la ganadería no representa una de las actividades económicas predominantes de las familias del Asentamiento Humano Ruta del Sol.

A continuación se muestran algunas fotografías del Asentamiento Humano Ruta del Sol, en la visita llevada a cabo en el mes de Marzo del presente año para fines del presente trabajo.



Figura 4. Camino principal del poblado.



Figura 5. Condiciones de vivienda en el poblado.



Figura 6. Actividad para recolectar fondos



Figura 7. Principal medio de transporte

Según el Instituto Nacional Estadística e Informática (INEI) una familia típica en el Distrito de San Juan De Marcona tiene un promedio de 5 habitantes por familia, además

que según la “Guía para la elaboración de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas destinadas a la electrificación rural del Perú”, la potencia instalada per capita w/hab. es de 30 W - 60W por habitante.

Según los datos de “Guía para la elaboración de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas destinadas a la electrificación rural del Perú”, la demanda de poblaciones rurales se muestra en la cuadro 4. [6]

Cuadro 4. Demanda para distintas poblaciones [6]

POBLACIONES (habitantes)	DEMANDA DE POTENCIA (kW)
500 - 1000	15 - 35
1000 - 2000	35 - 80
2000 - 4000	80 - 180
4000 - 10000	180 - 500
10000 - 20000	500 - 1200

Según el cuadro 4 la demanda de potencia se encuentra en el rango de 35 a 80 kW, en nuestro caso, para 1500 habitantes le corresponde una potencia de 58 kW pero como este cuadro fue hecho en el año 1980, tomaremos el consumo máximo por habitante que es de 60 W, lo que nos da una potencia del poblado de 90 kW, este valor incluye el consumo de alumbrado público que se instalaría, además considera que a mayor cantidad de habitantes el consumo aumentaría, ya que las necesidades de los habitantes aumentaría, como por ejemplo cines o supermercados, entre otras cosas.

Del gráfico de coeficiente de electrificación rural tomado del Ministerio de Energía y Minas el mismo año (Fig. 8) [6], se puede entender que el coeficiente de electrificación en su primero año solo llega la 0.7 es decir que solo el 70% población va a utilizar la

energía eléctrica que se les proporciona y al cabo de 11 años llega a 0.8 y a partir de ese momento se mantiene inmóvil el coeficiente de penetración.

Se está tomando la recta más optimista debido a que ya pasaron 25 años desde ese estudio y los equipos eléctricos se han vuelto más asequibles para las personas.

Basándome en el “Pronóstico de la demanda en una micro región, hecha por el Ministerio de Energía y Minas” en el año 1980.[6]

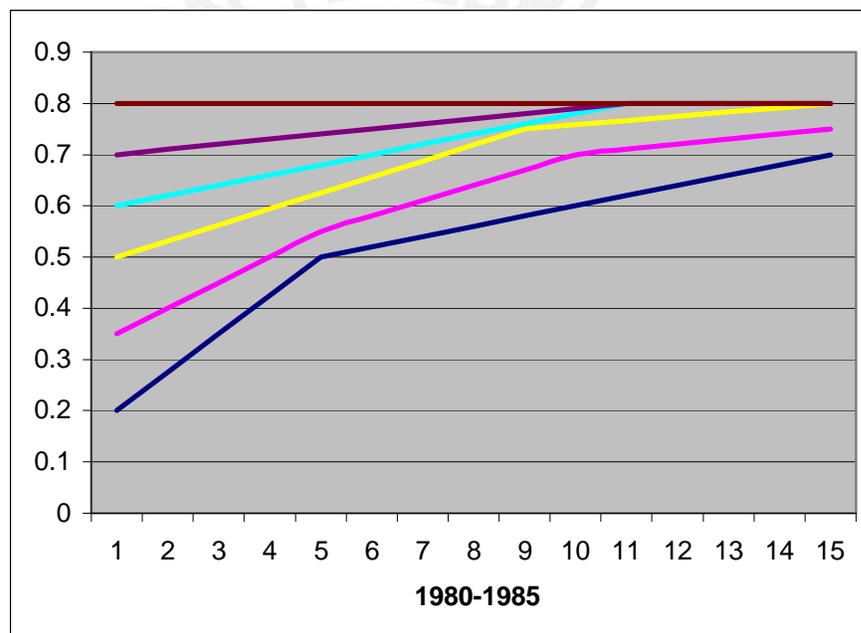


Figura 8. Coeficiente de electrificación rural. [6]

Con la curva mostrada en la figura 9 se puede obtener el cuadro 5. el cual nos da el consumo horario de la población. Tomando en consideración que entre las 12 y 18 horas el servicio eléctrico está restringido para solo 18 horas del día, escenario el cual no se plantea en este trabajo por considerar que el servicio eléctrico debe ser capaz de brindar electricidad tanto a la población como al alumbrado público.

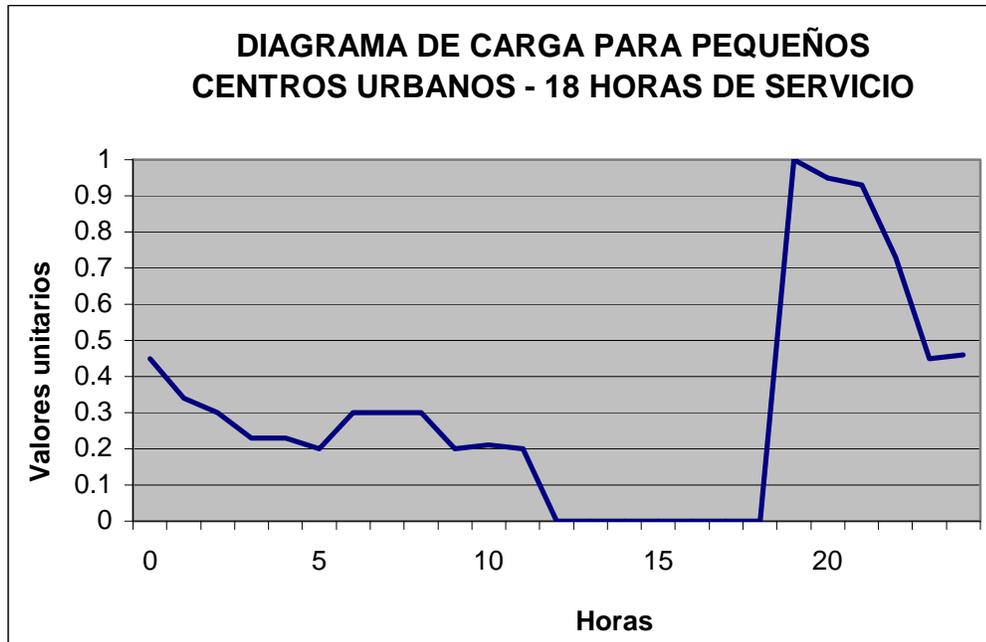


Figura 9. Curva típica de consumos horarios para pequeños centros urbanos. [6]

Se puede observar en la figura 10 que la demanda pico se da a las 8 y 9 de la noche, este pico va a definir las capacidades de los equipos a utilizar en los distintos sistemas que propondremos para suplir esta necesidad de electrificación, ya que no será posible obviar esas horas para dimensionamiento de nuestros sistemas.

Cuadro 5. Cuadro de la demanda de la población

Hora (h)	Vel. Media (m/s)	Frecuencia	Demanda (kW.h)	Demanda (kW.h) (considerando C.E ⁶)
0	8	0.45	40.5	32.4
1	7.6	0.33	29.7	23.76
2	7.4	0.3	27	21.6
3	7.2	0.24	21.6	17.28
4	6.9	0.24	21.6	17.28
5	6.8	0.2	18	14.4
6	6.8	0.2	18	14.4
7	6.8	0.2	18	14.4
8	7	0.2	18	14.4
9	7.6	0.2	18	14.4
10	8.8	0.22	19.8	15.84
11	9.6	0.2	18	14.4
12	10.3	0.3	27	21.6
13	10.9	0.3	27	21.6
14	11	0.3	27	21.6
15	11	0.3	27	21.6
16	11	0.3	27	21.6
17	10.8	0.3	27	21.6
18	10.5	0.63	56.7	45.36
19	10	1	90	72
20	9.2	0.95	85.5	68.4
21	8.8	0.93	83.7	66.96
22	8.6	0.73	65.7	52.56
23	8.4	0.63	56.7	45.36
24	8	0.45	40.5	32.4

⁶ Coeficiente de electrificación, parámetro que da una calificación a las localidades en función de su tamaño, expectativas de crecimiento, situación del servicio en relación con los equipos del sistema y la confiabilidad del mismo.

Del Cuadro 5 se obtiene la siguiente Curva de Demanda:

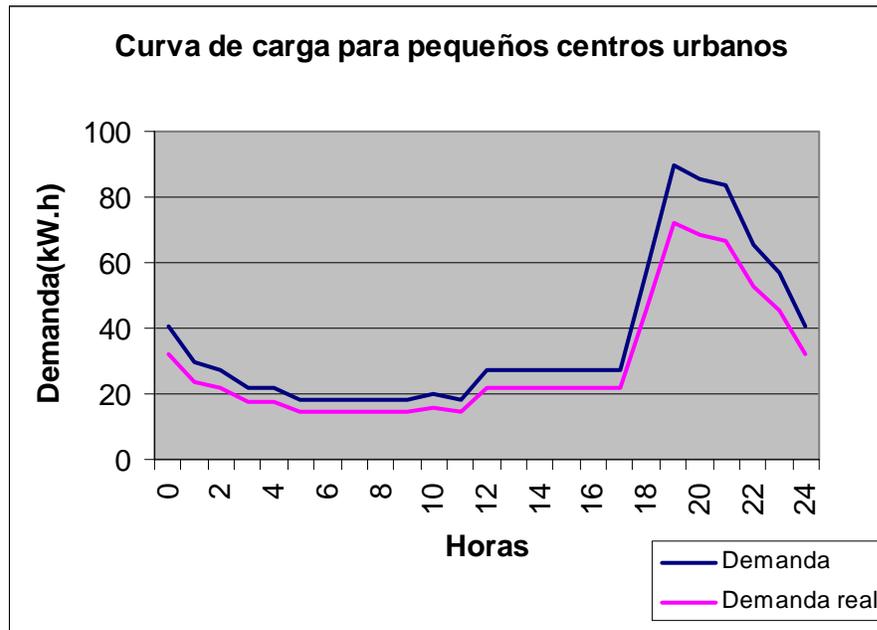


Figura 10. Curva de demanda para San Juan de Marcona

1.5. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Lo que se quiere plantear en este trabajo es probar las muchas soluciones que se pueden presentar para un problema muy común en nuestro país, como es el de la electrificación, se plantea un caso particular como el del asentamiento humano ruta del sol, pero el análisis se puede extender a otros lugares del país.

Existen muchas alternativas para la generación de electricidad, pero solo tomaremos en consideración dos fuentes para su análisis individual y formando ambas un sistema.

1.5.1 Combustibles fósiles

Este sistema se tratará en el capítulo 3, y a pesar de los efectos contaminantes de los combustibles fósiles, estos pueden aportar ciertas prestaciones como accesibilidad y manejabilidad.

Sus ventajas y desventajas se analizarán en los siguientes capítulos.

1.5.2 Recurso eólico

Se estudiará la factibilidad de usar este recurso en el capítulo 2 y es conocido las altas velocidades que los vientos logran en la costa de nuestro país, con lo que el uso de aerogeneradores en esta zona siempre es una buena opción además de estar divulgado su uso ya que actualmente, San Juan de Marcona cuenta con un aerogenerador de 450 kW.

Es por esto que resulta muy viable la utilización de este tipo de recurso.



REFERENCIAS

- [1] Fernández Diez, PEDRO, (2003). Energía eólica. Universidad de Cantabria 147, 1-2. ISBN 84-8102-019-2
- [4] La pobreza en el Perú en el año 2007. En INEI Homepage [en línea]. 2007. Disponible en World Wide Web: < <http://www1.inei.gob.pe/>>
- [3] Visión estratégica de la electrificación rural en el Perú. Marzo 2005. Disponible en World Wide Web: < <http://www.grupoice.com/index.html>>
- [5] Rivals, MARTIN. La energía eléctrica y el desarrollo [En línea], pp. 20-26 Disponible en Internet: <http://www.energiasinfronteras.org>
- [2] Sánchez Campos, TEODORO. Programa de ITDG-Perú [En línea], diap. 2. Disponible en Internet: <http://www.ilzrorapsperu.org>
- [6] Zelada, MILCIADES (1980). Pronóstico y demanda en una micro región. Lima. pp. 3-15. [23 p.]. Ministerio de Energía y Minas.

CAPITULO 2

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ALTERNATIVA DE GENERACION EOLICA.

2.1 MARCO DE REFERENCIA.

La energía eólica o del viento tiene su origen en la energía solar, específicamente en el calentamiento diferencial de masas de aire por el Sol, ya sea por diferencias de latitud (vientos globales) o el terreno (mar-tierra o vientos locales). Las diferencias de radiación entre distintos puntos de la Tierra generan diversas áreas térmicas y los desequilibrios de temperatura provocan cambios de densidad en las masas de aire que se traducen en variaciones de presión que es el origen de estos vientos de gran intensidad. [2]

De la energía solar que llega a la Tierra por radiación (unos 1.018 Kwh. por año), sólo alrededor del 0,25% se convierte en corrientes de aire. Esta cantidad es todavía 25 veces mayor al consumo energético total mundial. [4]

2.1.1. Aprovechamiento de la energía eólica.

La cantidad de energía (mecánica o eléctrica) que pueda generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento vigentes en el sitio de instalación.

De hecho, la producción puede variar en un factor⁷ de dos a tres entre un sitio regular y uno excelente, de manera que la rentabilidad de un proyecto depende directamente del recurso eólico local. Por esta razón, es necesario un estudio técnico detallado de las características del viento en un sitio específico antes de avanzar en un proyecto de cualquier magnitud.

Hay tres componentes del viento que determinan la potencia disponible de un sistema de conversión de energía eólica: [4]

- 1. Velocidad del viento:** Es un parámetro crítico porque la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento, o sea, una o dos veces más alta significa ocho veces más de potencia. Además, la velocidad varía directamente con la altitud sobre el suelo, por la fricción causada por montañas, árboles, edificios y otros objetos.

Las turbinas eólicas requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar energía: para pequeñas turbinas, este valor es aproximadamente, de 3,5 metros por segundo (m/s); para turbinas grandes, 6 m/s, como mínimo.

La selección de San Juan de Marcona obedece en gran manera a este factor ya que la velocidad de los vientos es muy elevada, como se muestra en la Figura 1. Donde la velocidad promedio registrada por el SENAMHI es de 17.8 nudos (9.15 m/s), y como se verá más adelante no está muy alejado de la velocidad registrada por ADINELSA, realizada con anemómetros por un periodo de 4 años.

- 2. Características del viento (turbulencia):** Mientras que los modelos de viento globales ponen el aire en movimiento y determinan, a grandes rasgos, el recurso del viento en una región, rasgos topográficos locales, que incluyen formaciones

⁷ Factor de Capacidad. Comportamiento de un aerogenerador trabajando a su potencia nominal con el funcionamiento real que tendría en el lugar donde se realizara la instalación.

geográficas, flora y estructuras artificiales, pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es.

Como es conocido San Juan de Marcona, así como toda la costa se extienden sobre extensas zonas desérticas, así que los obstáculos naturales como montañas o bosques no presentan ningún inconveniente así como los obstáculos artificiales como los edificios.

- 3. Densidad del aire:** Temperaturas bajas producen una densidad del aire más alta. Mayor densidad significa más fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado y más fluidez de las moléculas encima de una pala de la turbina produce un rendimiento más alto de la potencia para una velocidad del viento dada, pero también ofrece una mayor resistencia al movimiento de los alabes del rotor

Según la Figura 11. se puede apreciar que a mayor altura menor es la densidad del aire, en el caso particular de San Juan de Marcona, pueblo que se encuentra situado a una altura de 800 m (2625 pies), la densidad del aire resulta 1.15 kg/m^3 aproximadamente.

2.2 POTENCIAL EÓLICO EN EL PERÚ

El potencial eólico probable no aprovechado en nuestro litoral es de 65,152 MW en un área de $4,654 \text{ Km}^2$, es decir, un aproximado del 2% del área de cada uno de los departamentos de nuestro litoral, comprende los departamentos de la Costa, a excepción del Departamento de Lima.

Cuadro 6. Condiciones atmosféricas de San Juan de Marcona (Fuente. SENAMHI)



**REPORTE MENSUAL DE LAS
CONDICIONES OCÉANO – ATMOSFÉRICAS
EN LA COSTA PERUANA**



MES DE MAYO 2007

Se observan los valores medios mensuales de las variables océano-meteorológicas de las Estaciones Automáticas del Departamento Ambiente - División de Modelamiento Numérico:

Variable / Estación	Caleta La Cruz	Talara	Paíta	Isla Lobos de Afuera	Chicama	Chimboe	Callao	Pisco	San Juan
Oceanográficas									
Temp. Sup. Mar (°C)	S/D	17.9	15.8	17.6	15.7	18.6	16.0	17.0	13.4
Oxígeno (mg/L)	S/D	4.80	1.13	1.90	2.28	4.75	S/S	0.99	3.65
Nivel Medio Mar (m)	S/D	1.33	1.22	1.43	S/D	1.55	1.09	2.00	2.05
Salinidad (‰)	S/D	34.423	35.048	34.296	35.982	34.683	S/S	34.984	34.981
Meteorológicas									
Temp. Sup. Aire (°C)	25.8	21.9	22.2	23.1	17.3	17.4	16.5	17.9	17.7
Presión Superficial (hPa)	1011.2	1012.1	1012.7	1010.6	1013.2	1014.4	1015.1	1013.7	1014.4
Humedad Relativa (%)	71	68	66	S/D	88	93	94	80	82
Dirección del Viento (°)	202	156	164	138	169	169	S/D	215	156
Velocidad del viento (nudos)	4.6	10.0	6.8	11.8	13.1	4.7	S/D	9.8	17.8
Precipitación (mm)	10.0	2.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Nota:

S/D : Información no disponible por fallas técnicas.

S/S : Sin sensor

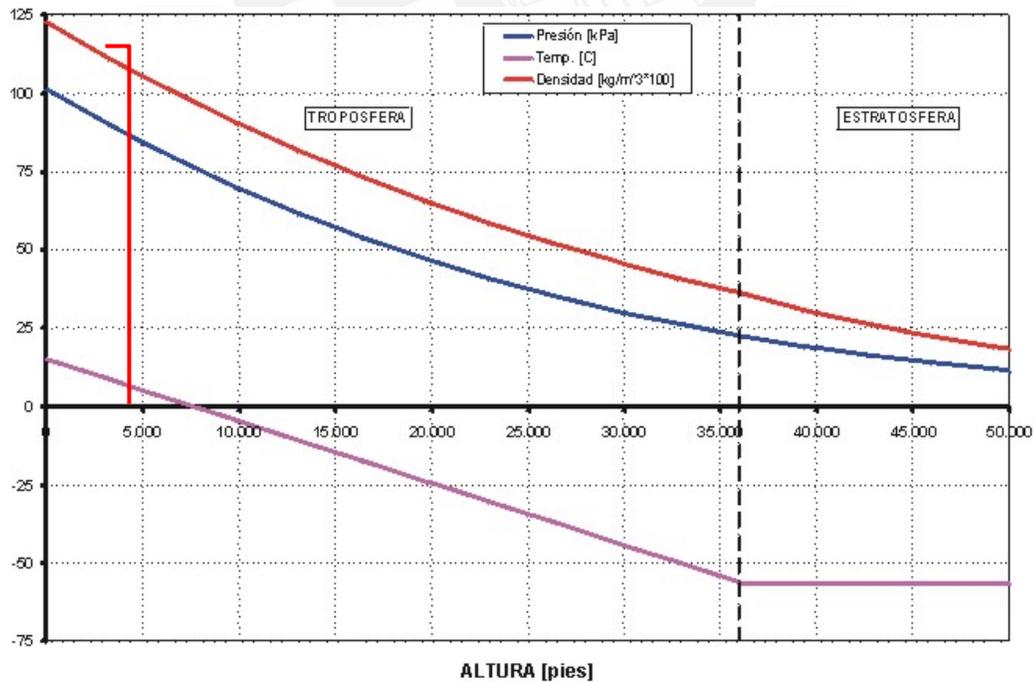


Figura 11. Propiedades del aire a diferentes alturas. (Ref. <http://asficheros.org/aeronautica.htm>)

Los Departamentos con áreas a ser aprovechadas para bosques eólicos son: Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna, se estima un promedio del 2 % del área de cada departamento que resulta 4,654 Km² aprovechables, como se muestra en la Figura 3. Como referencia, los diseños de bosques eólicos consideran turbinas de 750 kW, se estima una densidad superficial de potencia 14 MW/Km², es decir, un potencial energético probable de **65,152 MW** (La capacidad instalada a Diciembre del 2006 alcanzó los 6 658 MW⁸, de los cuales 48% fue de origen hidráulico y 52% térmico), lo que nos indica que si aprovecharíamos solamente el potencial eólico de la Costa este sería suficiente y superaría con creces el consumo del país. [5], el estimado la capacidad eólica del Perú se muestra en la Figura 12.

También se realizó un estudio por el Ministerio de Energía y Minas, especificando las velocidades medias en cada departamento del país, así como la energía aprovechable por este recurso, los cuales se muestran en el cuadro 7. [1]

La implementación de proyectos que aprovechen fuentes de energía renovable como la energía eólica dependen en gran manera de la rentabilidad de los mismos y esto se ve afectado directamente en los incentivos que el Estado pueda reglamentar sobre el sistema tarifario de la utilización de las fuentes de energías renovables no convencionales (FERNC) como forma alternativa de generación eléctrica.

Actualmente es muy difícil competir contra las otras fuentes de generación de electricidad como lo son el agua (Energía Hidroeléctrica) y los combustibles de origen fósil (carbón, gas natural y petróleo) que generan Energía termoeléctrica, y al resultar más costosa la electricidad generada por las FERNC, no estimula la inversión y por lo tanto no hay desarrollo de este sector.

⁸ Dato registrado en la página del ministerio de energía y minas (MEM).

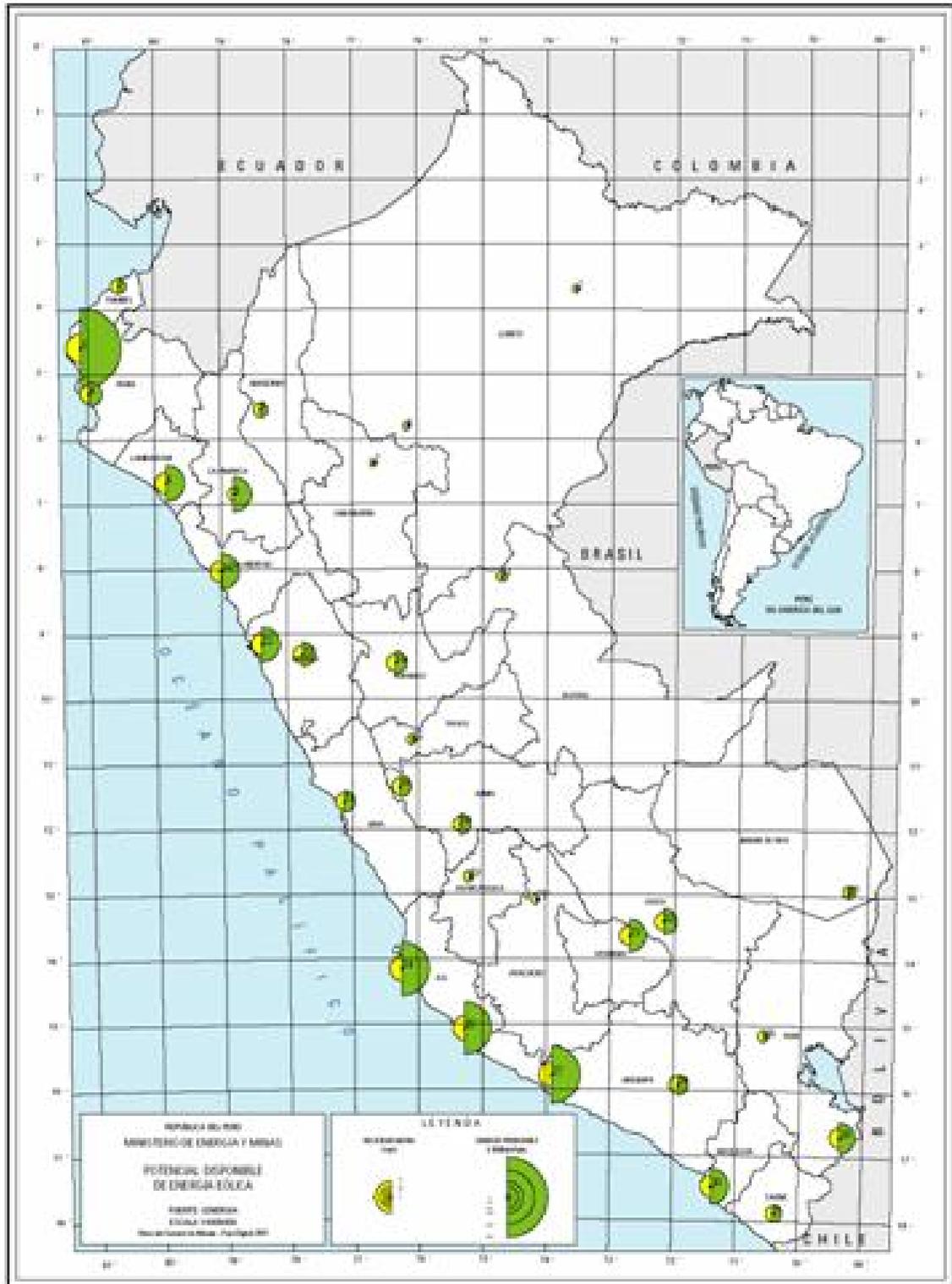


Figura 12. Mapa eólico del Perú en el 2001 según la MEM (Fuente: http://www.adinelsa.com.pe/energia_eolica/mapa_eolico.pdf)

Cuadro 7. Velocidades medias de los vientos en los departamentos del país, dados por la MEM.
 (http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/atlasmineriaenergia2001/electricidad/energia_eolica.pdf)

No.	NOMBRE	DEPTO.	ALTITUD (m.s.n.m.)	VELOCIDAD MEDIA V (m/s)	ENERGÍA PRODUCIBLE E (kWh/m ² -año)
1	Iquitos	Loreto	104	1	31
2	Tumbes	Tumbes	25	2.6	252
3	Talara	Piura	50	8.5	4993
4	Piura	Piura	46	4	642
5	Yurimaguas	Loreto	184	1.1	34
6	Chiclayo	Lambayeque	27	5.1	1281
7	Cajamarca	Cajamarca	2620	1.9	1157
8	Chachapoyas	Amazonas	1834	2.4	271
9	Tarapoto	San Martín	356	0.9	31
10	Chimbote	Ancash	11	5.5	1157
11	Trujillo	La Libertad	33	5	1243
12	Huánuco	Huánuco	1859	3.6	554
13	Pucallpa	Pucallpa	145	1.6	156
14	Anta	Ancash	2748	3.8	638
15	Aeropuerto	Lima	13	3.4	507
16	Marcapomacocha	Junín	4413	3.5	499
17	Cerro de Pasco	Pasco	4333	1.7	94
18	Pto. Maldonado	Madre de Dios	256	1.8	188
19	Cusco	Cusco	3399	3.8	692
20	Huancayo	Junín	3350	2.6	457
21	Huancavelica	Huancavelica	6670	1.8	105
22	Ayacucho	Ayacucho	2761	1.5	59
23	Curahuasi	Apurímac	2678	4.4	1052
24	San J. de Marcona	Ica	31	6.4	2329
25	Laguna Grande	Ica	10	6.5	2465
26	Juliaca	Puno	3824	1.9	113
27	Arequipa	Arequipa	2518	3.6	452
28	Punta Atico	Arequipa	20	6.7	2701
29	Punta de Coles	Moquegua	50	5	1223
30	Desaguadero	Puno	3809	4.5	935
31	Tacna	Tacna	452	2.5	363

Comparándonos con otro país que si impulsa el uso de este tipo de fuentes de energías renovables no convencionales (FERNC), notamos una gran diferencia, Estados Unidos es un claro ejemplo ya que según su legislatura obligan a las empresas distribuidoras de electricidad a comprar esta energía a cualquier persona que genere electricidad en su casa, incentivando de esta manera la utilización de este tipo de fuente de energía.

El miércoles 30 de enero del año 2008 hubo un interesante debate en la Comisión Permanente del Congreso de la República alrededor del dictamen recaído sobre el proyecto “Ley de promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energías renovables no convencionales”, de la cuál a continuación se muestran los artículos más importantes.

Artículo 6°.- Opciones para la venta de electricidad generada con FERNC

Para vender, total o parcialmente, la producción neta de energía eléctrica, los titulares de las instalaciones a los que resulte de aplicación la presente Ley deberán elegir una de las opciones siguientes:

- a) Suscripción de contratos bilaterales con las empresas de distribución, sin exceder por máximo de las tarifas reguladas, mediante la entrega de electricidad al sistema a través de la red de transporte o distribución.
- b) Vender la electricidad en el Mercado de Corto Plazo, al precio que resulte en dicho mercado, complementado con la prima fijada por OSINERGMIN.
- c) Suscripción de contratos con empresas de distribución a precios que resulten de los Procesos de Licitación a que se refiere la Ley N° 28832; para este fin, OSINERGMIN establecerá los lineamientos para que en estos procesos de licitación las FERNC puedan participar en condiciones comparables de igualdad, debiendo establecer Precios Máximos diferenciados que promuevan la inversión en estas tecnologías.

Aquí existe un problema económico real pues los costos de instalación entre las energías hidráulicas, eólicas, solar y biomasa son distintos. Evidentemente el de menos costo es la central hídrica de hasta 20 MW y por economía desplazará a las otras fuentes energéticas que sí son renovables no convencionales como la energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y mareomotriz.

Artículo 8°.- Determinación de las tarifas reguladas de generación aplicables a las FERNC

8.1. Es competencia del OSINERGMIN establecer las tarifas aplicables para cada tipo de tecnología según la clasificación establecida por el Ministerio de acuerdo al

mandato del literal i.e) del numeral 5.2. del Artículo 5° de la presente Ley, así como establecer los procedimientos y plazos de fijación tarifaria.

8.2. En el caso de los contratos bilaterales con distribuidores, los recursos necesarios para cubrir las tarifas de generación a base de FERNC serán obtenidos de las siguientes fuentes:

- a) El pago de los respectivos distribuidores, valorizando la energía recibida a precios en barra.
- b) La diferencia, para cubrir las tarifas establecidas para las FERNC, será obtenida como aportes de los consumidores a través de recargos en el Peaje por Conexión a que se refiere el Artículo 61° de la Ley de Concesiones Eléctricas. Los respectivos generadores recibirán esta diferencia vía las transferencias que efectuará el COES, según el procedimiento que se establece en el Reglamento.

8.3. OSINERGMIN establecerá anualmente el recargo esperado en el Peaje por Conexión, en el cual se incluirá la liquidación del recargo del año anterior.

8.4. OSINERGMIN establecerá los costos de conexión necesarios para la integración de un nuevo productor que alimente a la red interconectada mediante electricidad generada a partir de FERNC.

Por último, el subsidio referido a la liquidación de la energía no vendida. Este en la práctica es otro subsidio:

10.3. Adicionalmente, los excedentes no contratados de energía y potencia, cuando corresponda, serán liquidados por el COES, valorizándose conforme a los respectivos procedimientos aplicables a las transferencias de energía y potencia.

Se trata en verdad de apostar por las “energías limpias para el desarrollo” en un cambio de la matriz energética que nos haga menos dependientes de los

hidrocarburos sean de los derivados del petróleo como el diesel 2 o los residuales, como del gas natural que debiera tener un mayor valor agregado. Así, podríamos tener un balance en la generación eléctrica de fuente hídrica de 33 %, de fuente térmica a gas natural de ciclo combinado un 33 % y de las genuinas energías renovables no convencionales un 33 %.

En la economía social de mercado como en la energía debieran primar la racionalidad económica y ambiental sobre los intereses privados, pues como alguna vez sostuviera Adam Smith⁹ “En algunos casos los intereses privados resultan contrapuestos al interés público”. En este caso, el interés social apunta al fomento de las genuinas energías renovables no convencionales.

Asimismo, se debería considerar ingresos o beneficio por venta de toneladas de CO₂ evitados, esta venta de toneladas de CO₂ puede resultar muy rentable para nuestro país según lo expresado por Julia Justo¹⁰ en la última conferencia “Centrales de Energía Eólica y El mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)”, desarrollada el 24 de julio del 2008, ya que el Perú al haber firmado el convenio de Kyoto del cual se beneficia a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Este permite que los países con metas de reducción de emisiones de gases contaminantes puedan adquirir gases de proyectos ejecutados en países en vías de desarrollo como el nuestro, actualmente el costo de 1 tonelada de CO₂ se encuentra valorizada en \$10.

A nivel internacional, existe un futuro mercado de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y los proyectos eólicos serán beneficiados, los ingresos por este concepto, contribuirá a la rentabilidad de los proyectos.

⁹ Economista y filósofo escocés, uno de los máximos exponentes, si no el mayor, de la economía clásica.

¹⁰ Directora del Fondo Nacional del Ambiente -FONAM

Además del valor agregado de no contaminar el ambiente por ser la energía eólica una fuente no contaminante a diferencia de las otras fuentes de energía, como lo muestra la Tabla 8.

Cuadro 8. Equivalencias de CO₂ de distintas fuentes de energía. (Fuente: http://www.astrogranada.org/cieloscuro/htm/la_cl_cifras.htm)

Equivalente de CO₂ de las diferentes fuentes de energía	
1 kw.h producido con carbón :	0,75 kg de CO₂ (valor poco exacto, y dependiente del tipo de carbón)
1 kw.h producido con fuel o gasoil :	0,60 kg de CO₂
1 kw.h producido con gas "natural", central convencional :	0,37 kg de CO₂
1 kw.h producido con gas "natural", central de ciclo combinado :	0,26 kg de CO₂
1 kw.h producido con nuclear :	Poco, pero no despreciable (minería de uranio, transportes, etc.)
1 kw.h producido con hidráulica :	despreciable
1 kw.h producido con eólica :	despreciable

Otro paso importante será sembrar especialmente en la conciencia del país, el hecho de que nuestros recursos energéticos, como el petróleo y gas natural tienen un período relativamente corto, aproximado de 20 a 40 años comparado a las fuentes renovables (hidráulica, eólica, solar y biomasa), también influye las políticas del gobierno dadas al respecto; por lo que el Estado debe priorizar la investigación y aplicación oportuna para el desarrollo de las fuentes de energías renovables y no quedarse en el campo académico sino hacer viables aplicaciones prácticas a la comunidad. Estamos observando y sintiendo el cambio climático en el Perú y en el mundo debido fundamentalmente a la destrucción de la capa de ozono que constituye un daño irreparable, un ejemplo actual,

sería el que muchas centrales hidroeléctricas han disminuido la producción de energía eléctrica por falta de agua iniciándose de esta manera la crisis energética.

Es importante mencionar que en Perú poseemos una gran diversidad de recursos naturales que podríamos aprovechar, el paso siguiente que debe darse es sensibilizar a la población y a los entes encargados para la aceleración del Marco Legal a fin de abrir paso a muchos inversionistas nacionales y extranjeros interesados en desarrollar y comercializar esta fuente de energía en los bosques eólicos y como añadidura crear nuevas fuentes de trabajo e investigación, así como la transferencia de conocimientos para el desarrollo tecnológico en el Perú.

2.2.1. Situación del Perú respecto al resto del mundo

Según la WWEA¹¹ (World Wind Energy Association) en el año 2007 se han logrado instalar un total de 19.696 MW generados gracias a la energía eólica, logrando de esta manera alcanzar una capacidad instalada de 93.849 MW [6] a finales del año 2007. La capacidad agregada muestra un incremento del 26,6%, después de un incremento del 25,6% en el año 2006.

Actualmente la energía eólica genera 200 TW.h por año, igualando el 1,3% del consumo mundial de electricidad, en algunos países y regiones llega hasta el 40%. [8]

En el Perú tenemos una potencia instalada de 700 kW, distribuida como se aprecia en el Cuadro 9, aún cuando tenemos un potencial de viento mayor que muchos de los lugares en Europa, Asia y USA, la capacidad instalada en nuestro país todavía es incipiente e inmadura que queda claramente demostrado en el Cuadro 10, donde Perú ocupa el puesto número 67, solo por encima de 7 países.

¹¹ WWEA es una asociación internacional sin fines de lucro que abarca el sector del viento en todo el mundo.

Cuadro 9. Distribución de la producción de energía eólica en el Perú (Fuente: ADINELSA)

UBICACIÓN	POTENCIA INSTALADA (kW)
MALABRIGO	250
SAN JUAN DE MARCONA	450

Cuadro 10. Crecimiento en la utilización de la energía eólica (Fuente: <http://www.wwindea.org/home/index.php>)

Ranking total 2007	Country/region	Total Capacity installed end 2007	Additional Capacity 2007 (Difference 2007-2006)	Rate of Growth 2007	Ranking total 2006	Total Capacity installed end 2006	Total Capacity installed end 2005
		[MW]	[MW]	[%]		[MW]	[MW]
1	Germany	22.247,4	1.625,4	7,9	1	20.622,0	18.427,5
2	USA	16.818,8	5.215,8	45,0	3	11.603,0	9.149,0
3	Spain	15.145,1	3.515,1	30,2	2	11.630,0	10.027,9
4	India	7.850,0	1.580,0	25,2	4	6.270,0	4.430,0
5	China	5.912,0	3.313,0	127,5	6	2.599,0	1.266,0
6	Denmark	3.125,0	-11,0	-0,4	5	3.136,0	3.128,0
7	Italy	2.726,1	602,7	28,4	7	2.123,4	1.718,3
8	France	2.455,0	888,0	56,7	10	1.567,0	757,2
9	United Kingdom	2.389,0	426,2	21,7	8	1.962,9	1.353,0
10	Portugal	2.130,0	414,0	24,1	9	1.716,0	1.022,0
11	Canada	1.846,0	386,0	26,4	12	1.460,0	683,0
12	The Netherlands	1.747,0	188,0	12,1	11	1.559,0	1.224,0
13	Japan	1.538,0	229,0	17,5	13	1.309,0	1.040,0

60	Nigeria	2,2	0,0	0,0	58	2,2	2,2
61	Cuba	2,1	1,7	366,7	67	0,5	0,5
62	Jordan	1,5	0,0	0,0	60	1,5	1,5
63	Martinique	1,1	0,0	0,0	61	1,1	1,1
64	Belarus	1,1	0,0	0,0	62	1,1	1,1
65	Indonesia	1,0	0,2	25,0	63	0,8	0,8
66	Eritrea	0,75	0,00	0,0	64	0,75	0,75
67	Peru	0,70	0,00	0,0	65	0,70	0,70
68	Uruguay	0,60	0,45	300,0	70	0,15	0,15
69	Kazakhstan	0,50	0,00	0,0	66	0,50	0,50
70	Namibia	0,47	0,22	88,0	69	0,25	0,25
71	Netherl. Antilles	0,33	0,33		74	0,00	0,00
72	Syria	0,30	0,00	0,0	68	0,30	0,30
73	North Korea	0,01	0,00	0,0	71	0,01	0,01
74	Bolivia	0,01	0,00	0,0	72	0,01	0,00
	Total	93.849,1	19.695,8	26,6		74.153,3	59.033,0

..

2.3. CAPACIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍA EÓLICA.

El problema como en cualquier máquina es la eficiencia de la misma. Los aerogeneradores no están excluidos de esta realidad y es que ninguna turbina de viento puede aprovechar el 100% de la energía del viento. Para una corriente abierta como el viento, una turbina representa un fuerte obstáculo en su camino, lo que obliga al flujo aéreo a desviar el rotor. Según el famoso límite de Betz¹², una turbina ideal sin pérdidas puede aprovechar solo 59% de la energía que atraviesa su área A , y el resto se desvía. [6]

Además existen otras pérdidas que se dan en los componentes de una turbina real: en el mismo rotor, en el sistema de transmisión, en el generador, etc. Por lo tanto lo máximo que puede transformar el mejor aerogenerador es solo aproximadamente la mitad de la energía de viento que atraviesa su área barrida, como se puede apreciar en la Figura 13. [6]

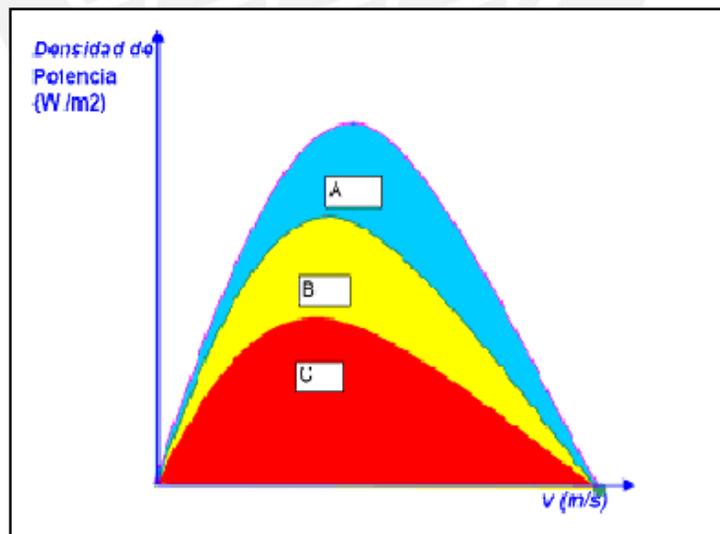


Figura 13. Esquema de la potencia aprovechable por el viento.

¹² Albert Betz. Físico alemán que postuló su ley de Betz en 1919.

Donde:

- A: Potencia total de entrada (por el viento)
- B: Potencia aprovechable (Teorema de Betz)
- C: Potencia producida por la turbina

2.4. CAPACIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN SAN JUAN DE MARCONA.

Este análisis dependerá de los datos que se dispongan, se podrían dar dos situaciones, las cuales procederé a explicar:

1º) Se puede presentar la posibilidad de obtener las mediciones del campo durante un periodo largo T, la salida eléctrica se calcula con mayor precisión a través de a fórmula (2.1), este tipo de análisis no se pudo realizar debido a la falta de datos ya que dentro del informe que presentó ADINELSA sobre la instalación del aerogenerador no muestra las mediciones de vientos de forma detallada:

$$S = \sum P(v).t(v) \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde:

P (v)=Potencia de la turbina eólica para la velocidad, v.

t (v)=igual al número total de horas en el periodo T en el transcurso del cual se observó una velocidad del viento v dentro de un intervalo Δv dado (en la práctica se acostumbra tomar un intervalo $\Delta v=1$ m/s).

En conclusión, para obtener la salida S durante un periodo T, hay que multiplicar la curva característica (P vs. v) de la turbina eólica (Fig. 14) por la gráfica de distribución del viento (Fig. 15), pudiendo ser esta teórica (Weibull) o real (medición de repetición

de vientos por un período de tiempo considerable), del lugar, obteniendo la potencia que se puede extraer de la turbina.

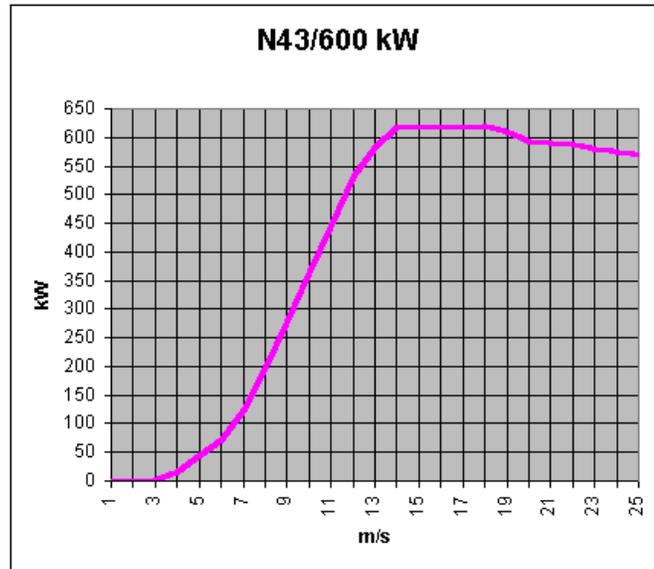


Figura 14. Gráfica de potencia de un aerogenerador de 600 kW

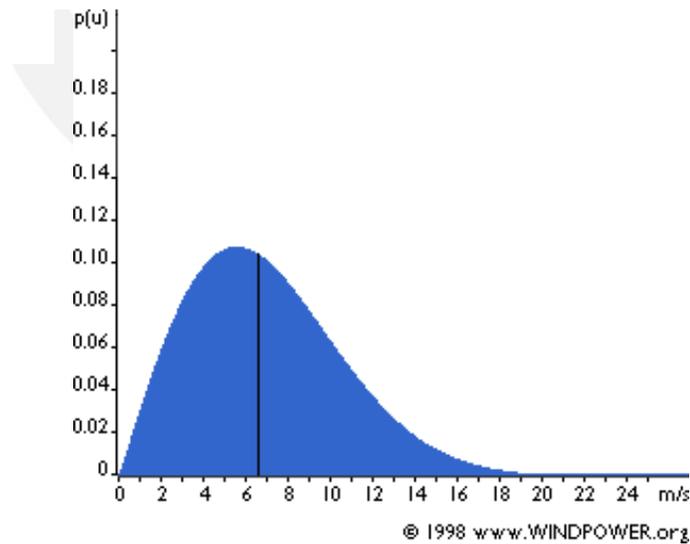


Figura 15. Gráfica de distribución del viento para un, lugar determinado.

2º) Si se dispone de la distribución del viento según alguna interpolación teórica (Weibull, Rayleigh, etc.).

Procederé a explicar una de las posibilidades de distribución del viento, dentro de las cuales, la más utilizada por ser la que más se aproxima a la realidad es la distribución de Weibull, y se define mediante la siguiente ecuación:

$$f(V) = \frac{k}{c} x \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} x \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde:

$f(v)$ = función de Weibull

k = Parámetro de Forma

C = Parámetro de Escala

El parámetro k tiene gran influencia en la expresión **$f(v)$ distribución de Weibull¹³**, determina la forma de la curva, y en este caso, representa el tipo de comportamiento del viento en la zona; con los datos registrados, se han determinado los siguientes valores: en **San Juan de Marcona**

$K_{weibull} = 1.92$

$C_{weibull} = 9.3 \text{ m/s}$

La velocidad promedio v_m está relacionada con los valores de k y c según la fórmula:

$$v_m = c.\Gamma(1 + k^{-1}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Donde Γ es una integral estándar que se llama función Gamma, y se define de la siguiente manera:

¹³ Cabe aclarar que cada lugar específico de la tierra cuenta con una propia y única distribución de vientos. Cualquier curva teórica, sea simple (Pomortsev, Gullen, Rayleigh) o sofisticada (Weibull), es una aproximación a la realidad que se trata de perfeccionar día a día. Se reconoce como la más precisa a la curva de Weibull.

$$\Gamma(x) = \int y^{x-1} \cdot e^{-y} dy \dots\dots\dots (2.4)$$

Y reemplazando los parámetros de forma y escala en la ecuación (2.3), se obtiene el siguiente resultado

$$\text{Velocidad Promedio} = 8.3 \text{ m/s}$$

Velocidad que resulta similar a la medida por ADINELSA, la cual nos da un valor de 9 m/s.

Con estos datos y mediante la ayuda de un software trazador de la distribución de Weibull, se introducen los datos que el programa requiere, los cuales son la velocidad media (V_m) y el factor de forma k .

El programa está disponible en URL:

<http://www.windpower.org/es/tour/wres/weibull/index.htm>

Y presento nuestro caso, para:

$$V_m = 8.3 \text{ m/s}$$

$$k = 1.92$$

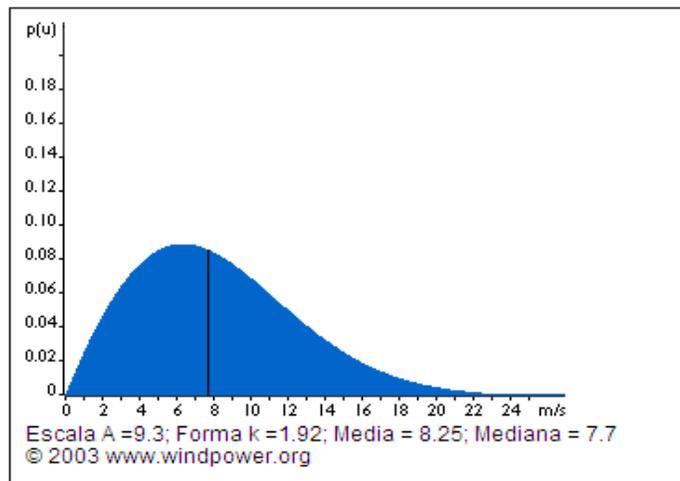


Figura 16. Distribución de Weibull en San Juan de Marcona

Después de haber obtenido la distribución del viento se debe aplicar la siguiente ecuación (2.5) para obtener la salida eléctrica de la turbina eólica.

$$S = \int_0^T P(v)dt = T \cdot \int_0^{\infty} P(v) \cdot f(v) \cdot dV \dots\dots\dots (2.5)$$

De la siguiente manera, como se mencionó, con la curva de Weibull se obtuvo la frecuencia de vientos la cual se muestra en el cuadro 11:

Cuadro 11. Frecuencias de viento.

VIENTO	
Según la distribución de Weibull (k=1.92)	
Vel. (m/s)	f (V)
1	0.02
2	0.04
3	0.06
4	0.07
5	0.08
6	0.09
7	0.09
8	0.08
9	0.08
10	0.076
11	0.06
12	0.05
13	0.046
14	0.038
15	0.035
16	0.03
17	0.025
18	0.015
19	0.01
20	0.005
Total de Repeticiones.	1

Y también se necesitaría la curva de potencia de un aerogenerador comercial, se ha seleccionado un aerogenerador Northwind100 de potencia nominal 100 kW, con las siguientes características técnicas.

- Potencia nominal: 100 kW
- Diámetro rotor: 20m
- Altura de la torre: 40 m.
- Voltaje de salida: 480V
- Trifásico

Cuadro 12. Tabla de potencia del aerogenerador.

Hora (h)	Vel. Media (m/s)	EW-50(50 kW)
0	8.00	23
1	7.60	20
2	7.40	17.6
3	7.20	15.8
4	6.90	13.3
5	6.80	12.6
6	6.80	12.6
7	6.80	12.6
8	7.00	14
9	7.60	20
10	8.80	30.2
11	9.60	37.4
12	10.30	42.8
13	10.90	46.4
14	11.00	47
15	11.00	47
16	11.00	47
17	10.80	45.8
18	10.50	44
19	10.00	41
20	9.20	33.8
21	8.80	30.2

22	8.60	28.4
23	8.40	26.6

Con las frecuencias de vientos y la curva de potencia del aerogenerador se puede realizar el cuadro 13 que presenta la salida anual de potencia, que genera este aerogenerador en particular.

Cuadro 13. Tabla de salida de potencia de aerogenerador para las condiciones dadas en San Juan de Marcona.

Cuadro de resultados	
V (m/s)	S=P(kW) x f (V)
1	0.66
2	1.16
3	1.56
4	1.68
5	1.84
6	2.07
7	2.07
8	2
9	2.64
10	3.648
11	3.3
12	3.6
13	3.772
14	3.23
15	2.975
16	2.55
17	2.025
18	1.155
19	0.62
20	0.265

Salida Anual	S (kW-h/año)	375103.2
Factor de Pot. Instalada	%	42.82%
Potencia media del aerogenerador	kW	42.82

Como se puede ver, el factor de capacidad es muy elevado comparado con Europa (Alemania) donde sus instalaciones evaluadas promedian un FC de 21 %. (Ref.: Greenpeace-Campaña de Energía-Junio 2001).

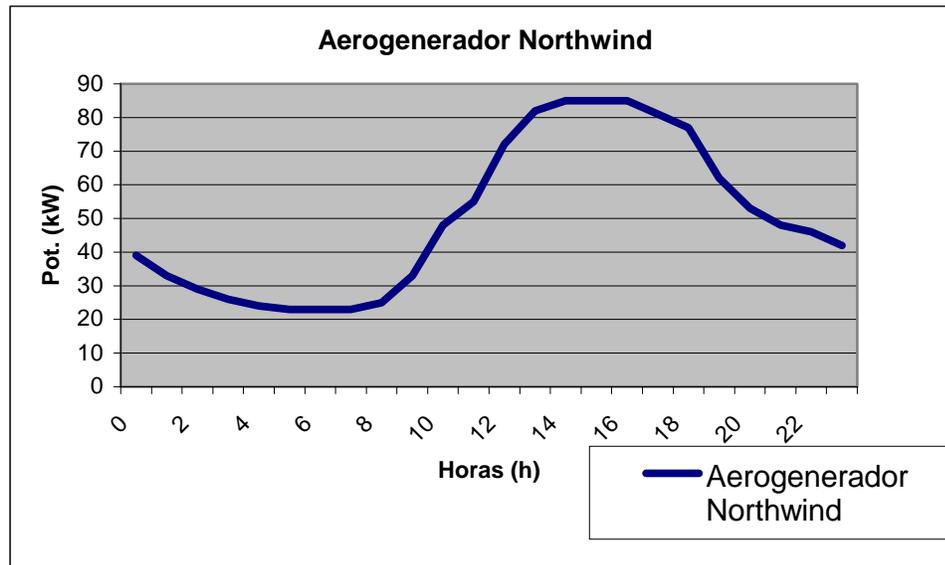


Figura 17. Curva de potencia de aerogenerador Northwind 100

Resulta fundamental comparar la potencia generada por el aerogenerador y la demanda de los pobladores ya que nos permitirá definir en qué intervalo de horas el aerogenerador no cumplirá con la demanda de electricidad.

Realizando un balance entre la energía que te puede brindar el aerogenerador y la energía que requiere el poblado se obtiene el siguiente cuadro que nos permite realizar la curva que se muestra, y poder apreciar en que intervalos de horas se va a necesitar el aerogenerador.

Cuadro 14. Tabla de salida de potencia de aerogenerador para las condiciones dadas en San Juan de Marcona.

Hora (h)	Vel. Media (m/s)	Potencia total (100 kW)	Demanda REAL (300 fam.)	Demanda (300 fam.)	Diferencia
0	8.00	39	32.4	40.5	6.60
1	7.60	33	24.48	30.6	8.52
2	7.40	29	21.6	27	7.40
3	7.20	26	17.28	21.6	8.72
4	6.90	24	17.28	21.6	6.72
5	6.80	23	14.4	18	8.60
6	6.80	23	14.4	18	8.60
7	6.80	23	15.84	19.8	7.16
8	7.00	25	14.4	18	10.60
9	7.60	33	14.4	18	18.60
10	8.80	48	15.84	19.8	32.16
11	9.60	55	14.4	18	40.60
12	10.30	72	12.96	16.2	59.04
13	10.90	82	21.6	27	60.40
14	11.00	85	21.6	27	63.40
15	11.00	85	21.6	27	63.40
16	11.00	85	21.6	27	63.40
17	10.80	81	21.6	27	59.40
18	10.50	77	46.8	58.5	30.20
19	10.00	62	72	90	-10.00
20	9.20	53	68.4	85.5	-15.40
21	8.80	48	66.96	83.7	-18.96
22	8.60	46	44.64	55.8	1.36
23	8.40	42	32.4	40.5	9.60

Como se puede apreciar en el Cuadro 14; solo tres de las veinticuatro horas el sistema eólico no podría cubrir la demanda del poblado, y como se puede notar, son las horas pico, como era previsible.

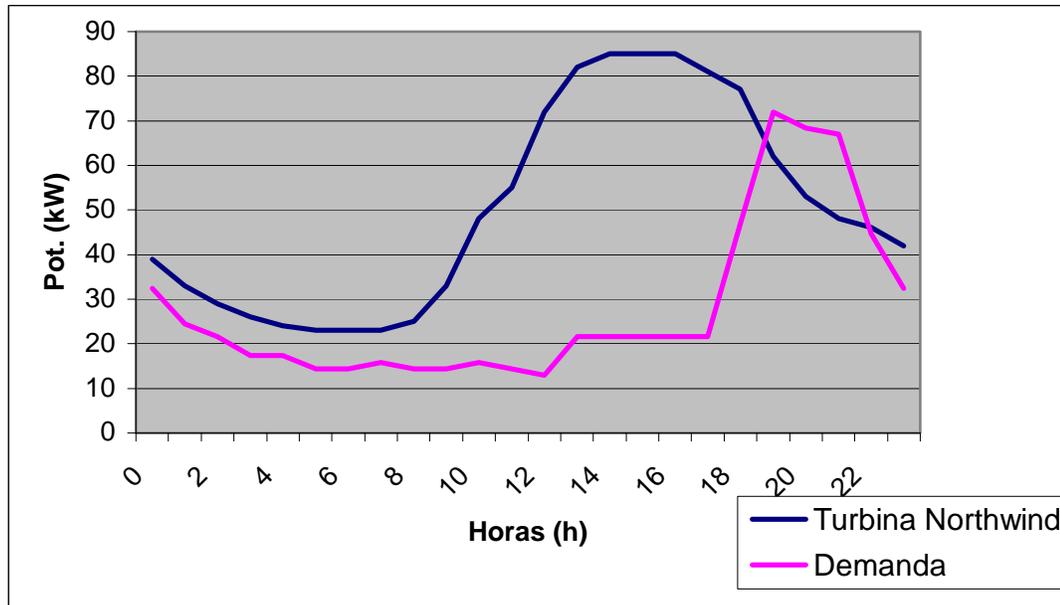


Figura 18. Curva de Potencia vs. Demanda

2.5. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA EOLICO.

Para poder cumplir con el requerimiento de los pobladores, es necesario diseñar un sistema capaz de satisfacer las necesidades eléctricas de los consumidores todo el tiempo, como el que se muestra en la figura 19.

El proyecto de generación eléctrica basado en el uso exclusivo de aerogeneradores consiste en la instalación de un aerogenerador aislado que funcione en conjunto con un banco de baterías, es decir, se forma una red propia aislada que permite el autoconsumo. Este sistema aislado consta de los siguientes elementos:

- Generación eólica: un aerogenerador asíncrono de una potencia de 100 kW
- Inversor: capacidad de 5 kW.
- Transformador de 480/220V
- Sistema de almacenamiento: baterías con una capacidad de 3787 A.h

El esquema del diseño que se plantea es el siguiente:

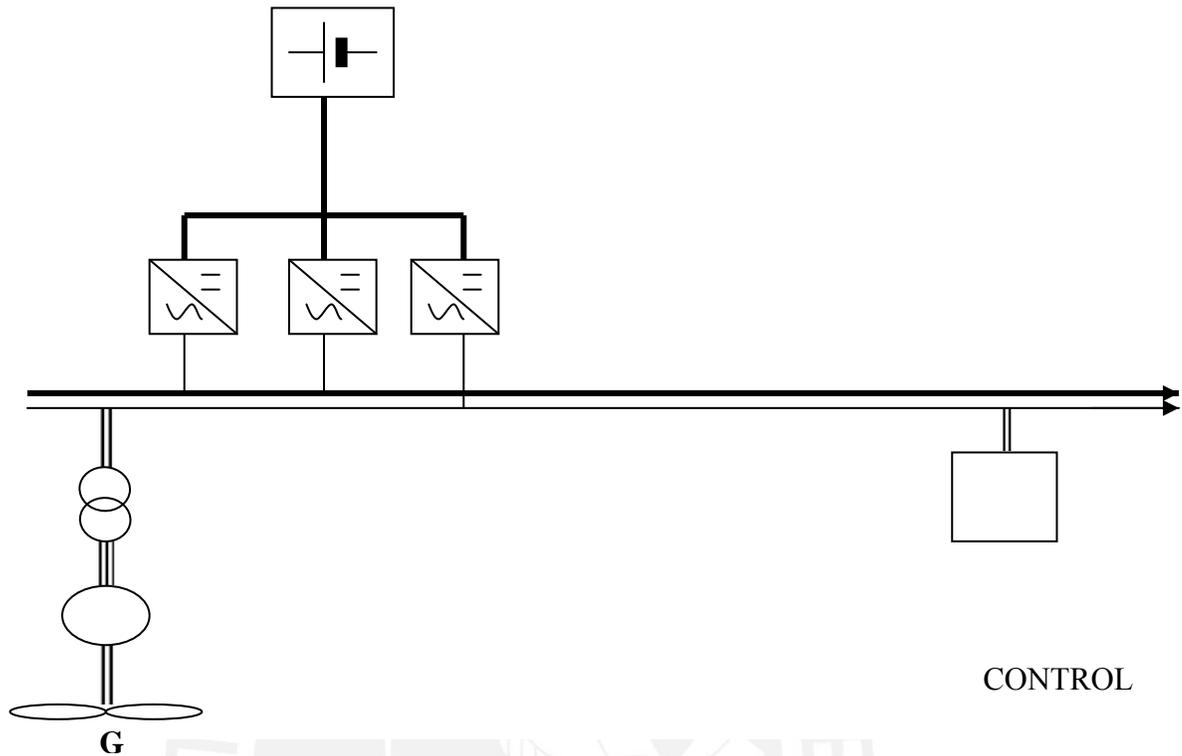


Figura 19. Esquema del sistema Eólico.

Los componentes que forman parte del diseño del sistema eólico son los siguientes:

- **AEROGENERADOR**

Se ha instalado un aerogenerador asíncrono de una potencia de 100 kW, éste tiene una torre de una altura de 40 metros. El diámetro del rotor es de 20 metros.

La particularidad de este aerogenerador es que el voltaje de salida es de 480 V. Además el aerogenerador se conecta a la red alterna por medio de unos contactores, gobernados por el sistema de control. (Anexo 1)

- Potencia nominal: 100 kW
- Diámetro rotor: 20m
- Altura de la torre: 40 m.
- Voltaje de salida: 480V

- Trifásico
- Precio del aerogenerador y la torre: \$ 275 000
- Costo total (incluye instalación): \$ 400 000

- **INVERSOR**

Se ha seleccionado el inversor Sunny Island (5 kW), el inversor de las baterías, tiene la capacidad de trabajar en modo bidireccional, es decir, por un lado suministra la corriente alterna de salida a tensión y frecuencia constante a los consumidores y, por otro lado, carga las baterías (estas operaciones las puede realizar al mismo tiempo). El sistema de control de este inversor posibilita tener conectados a la vez los sistemas de generación, las cargas y el sistema de almacenamiento, con lo que opera en los cuatro cuadrantes. Esto requiere que el inversor controle a la vez la tensión, la frecuencia, la potencia activa y la potencia reactiva en la red de alterna.

Además, el inversor también controlará la tensión DC de las baterías, su temperatura y las corrientes de carga, para tener una operación normal en los ciclos de carga.

La potencia de trabajo de este inversor se puede aumentar, ya que permite poner en paralelo hasta 10 unidades, consiguiendo una potencia máxima de 50KW por fase. El inversor puede trabajar en modo monofásico y en trifásico si se amplían los grupos hasta tres. En este proyecto se trabaja con una potencia total de 50KW monofásicos, compuesta por dos grupos de cinco inversores cada uno de ellos. (Anexo 2)

Otra característica muy importante de este tipo de inversores es que toda la estrategia de control viene implementada en un microprocesador que lleva

situado en su interior, por lo que se encargará de la gestión de la red. Entre las tareas que realiza se pueden destacar:

- Conexión /desconexión de la energía eólica
- Conexión /desconexión de las cargas
- Gestión de comunicaciones entre el inversor y dispositivos de campo (inversores, sensores, etc).

- **TRANSFORMADOR**

Debido a que el voltaje de salida del aerogenerador es diferente a la tensión común de los equipos que los usuarios utilizan el cual es 220 V, se empleará un transformador que permitirá obtener esa tensión de salida. El transformador tendrá los siguientes datos técnicos: (Anexo 3)

Cuadro 15. Hoja técnica del transformador.

TRANSFORMADOR EN BAÑO DE ACEITE CON ARROLLAMIENTO DE COBRE Y NUCLEO DE HIERRO LAMINADO EN FRIO DE ALTO RENDIMIENTO	
MARCA	: HIGH POWER®
NORMA DE FABRICACION	: ITINTEC 370-002,
POTENCIA	: 85 KW / 106,25 KVA
FASE	: TRIFASICO
VOLTAJE DE ENTRADA EN EL PRIMARIO	: 480V
VOLTAJE DE ENTRADA EN EL SECUNDARIO	: 220V
ALTURA DE TRABAJO	: 1000 MSNM
FRECUENCIA NOMINAL	: 60Hz
GRUPO DE CONEXION	: Dyn 5
CONEXIÓN	: DELTA ESTRELLA
REFRIGERACION	: ONAN
EFICIENCIA	: MAYOR A 96%
TIPO DE MONTAJE	: EXTERIOR
PRECIO	: \$ 3,717.00

- **SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

Las baterías son unos elementos indispensables en los sistemas eólicos ya que se encargan de almacenar la energía cuando ésta no es consumida.

Este caso se da habitualmente en las instalaciones aisladas a red ya que la mayoría de electrodomésticos se utilizan en horario nocturno. En el caso de comunidades en países en desarrollo este efecto se acentúa ya que las curvas de demanda son mucho más pronunciadas en horario nocturno, tal y como se ha visto en el capítulo 1.

A parte del voltaje (V), las principales características a tener en cuenta para dimensionar un subsistema acumulador en un sistema fotovoltaico son las siguientes:

- Capacidad: Es una medida del poder de la batería para almacenar o suministrar energía eléctrica y se expresa en amperios-hora (Ah).
- Profundidad de descarga (DOD): Es el porcentaje de energía extraída de la batería. Normalmente, a mayor DOD disminuye el número de ciclos de la batería, es decir, su vida útil.

Para aplicaciones eólicas predominan dos tipos de baterías, las de níquel- cadmio (Ni- Cd) y las de plomo-ácido (Pb-a). Las primeras presentan ventajas respecto a las de Pb-a como son la posibilidad de descargarse profundamente o permanecer largos períodos en baja carga sin deterioro, así como una menor auto descarga y un menor mantenimiento. Su principal problema es su altísimo coste, motivo por el cual no se utilizan en aplicaciones convencionales. Aún así, las baterías de Pb-a tienen un funcionamiento suficientemente bueno para aplicaciones eólicas aunque se necesite un mayor mantenimiento.

Las baterías de Pb-a pueden ser abiertas o selladas. Las primeras ofrecen un ciclado más profundo que las segundas, aunque precisan un poco más de mantenimiento al tener que rellenarlas con agua destilada cada 3 años aproximadamente. A pesar de precisar un mayor mantenimiento, para este trabajo se han considerado que las baterías idóneas para la aplicación son las abiertas de Pb-a por su coste relativamente bajo, su alta profundidad de descarga y su larga vida útil. En concreto, se han elegido baterías estacionarias abiertas tubulares (OpZs14) por ser las más utilizadas en proyectos de electrificación rural, por tener una DOD del 80 % y una vida útil de 8 a 10 años.

Para dicho sistema se ha considerado unas pérdidas del 20% por carga/descarga de las propias baterías, inversor y cables. A partir de ahí se puede estimar la capacidad necesaria del acumulador:

$$C_{necesaria} = \frac{Demanda(Wh)}{Rend.V_N} . N_{AD}$$

$$C_{nominal} = \frac{C_{necesaria}}{DOD}$$

NAD se refiere a los días de autonomía del sistema acumulador y DOD a la profundidad de descarga de las baterías que viene determinado por el fabricante. Para este proceso también se ha elegido el componente final de acuerdo con el precio mínimo.

Cuadro 16. Dimensionamiento de baterías.

Voltaje banco de baterías (V)	24
Días de autonomía (N _{AD})	1
Profundidad de descarga	0,8
Eficiencia de la batería	0,8

¹⁴ Designación de acuerdo a la norma DIN para elementos estacionarios con placas tubulares

Cuadro 17. Capacidad de baterías.

$C_{necesaria}$ (Ah)	2310
$C_{nominal}$ (Ah)	2888

Como sistema de almacenamiento de energía se piensa instalar dos bancadas de baterías de la marca Enersys-Hawker. (Anexo 4)

Cuadro 18. Hoja técnica de baterías.

Precio (\$)	10262
Modelo	2.AT.2300
Diferencia de Capacidad (Ah)	562
Nº BATERIAS SERIE	6
Nº BATERIAS PARALELO	3
Nº BATERIAS TOTAL	18
CAPACIDAD (Ah)	3450
VOLTAJE(V)	24
ENERGIA ALMACENADA (kWh)	82.8

• INSTRUMENTACIÓN

El sistema de control para gestionar correctamente el funcionamiento de todos los dispositivos, utilizaría una serie de sensores que le suministrarían la información requerida. Estos serían los siguientes:

- Medida de tensión, corriente y potencia en cada uno de los sistemas de generación
- Medida de los caudales de combustible en los grupos diesel
- Medida de la temperatura del ácido en las baterías.

Todas estas medidas se llevan a un dispositivo encargado de su control, el cual podría ser DEEP BLUE, una computadora encargada de la gestión del sistema y de la transferencia automática del aerogenerador, teniendo en cuenta los requerimientos del

sistema y como se desea que este opere, a su vez, este ordenador está comunicado con los inversores.

ESTRATEGIA DE CONTROL

El funcionamiento de este tipo de sistema es muy sencillo. En este caso, hay una red formada por un aerogenerador, los inversores y un banco de baterías. La estrategia implementada en este proyecto es que siempre que haya un excedente de energía se cargarán las baterías, si estas lo permiten. Si las baterías están completamente cargadas y además hay energía sobrante se irán desconectando los sistemas generadores para no sobrecargar las baterías.

El sistema de control detectará el nivel de carga de las baterías y, a medida que no sea necesaria más energía, irá desconectando el aerogenerador. Si en algún momento se detecta que el nivel de carga de las baterías está por debajo del 65%, automáticamente se conectará algún sistema de generación para su carga. De esta forma se obtiene un sistema aislado basado en energías renovables, que forma una red propia, controlada por el procesador (DEEP BLUE) y los inversores, que se encargan de mantener los parámetros de tensión y frecuencia en su valor adecuado.

EXCEDENTE DE ENERGIA

Uno de los principales problemas de la electrificación rural es que resulta muy difícil dimensionar un sistema sin que haya excedentes de energía que no se puedan almacenar. Por este motivo, resulta interesante visualizar en qué momentos aparece excedente de energía que no se podrá aprovechar.

Como se puede ver en el figura 18, parte de la potencia desarrollada por el aerogenerador se desperdicia, este sobrante se podría utilizar para una infinidad de usos

como calentar agua o calentar algún ambiente, pero un uso resulta particularmente útil en una zona como San Juan de Marcona y es la de desalinización del agua. La desalación o desalinización es el proceso de eliminar la sal del agua de mar, obteniendo agua dulce.

Este proceso se puede realizar siguiendo distintos procedimientos, como:

- Osmosis inversa
- Destilación
- Congelación
- Evaporación relámpago
- Formación de hidratos.

Un método económico a utilizar sería el de evaporación relámpago ya que el proceso resulta sencillo, es básicamente el calentamiento del agua hasta que se evapore pasando por distintos estanques disminuyendo la presión en cada uno de ellos.

Se sabe que para hervir agua (1 litro) desde los 20°C hasta evaporarlo se considera un gasto energético aproximado de 100W.h, considerando que al día no se aprovechan 495 Kwh., se podría entender que se puede producir 495 litros de agua potable diarias mediante este método de desalinización.

REFERENCIAS

- [1] Generación eléctrica a partir de fuentes nuevas: Energía eólica [En línea].2001.
Disponible en World Wide Web:
<<http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/atlasmineriaenergia2001>>
- [2] GUIA BASICA DE METEOROLOGIA GENERAL (11). Cap7. 01.
Disponible en URL: <http://www.senamhi.gob.pe/main.php?u=inter&p=1502>
- [3] Informe Stern: El cambio climático amenaza la economía mundial [En línea].
Disponible en World Wide Web:
<http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm,>
- [4] Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA).
1 Edición. -San José, C.R : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. Pag 6. 48
p. il. ; 28x22 cm. ISBN: 9968-904-00-7
- [5] Velasquez, J. Mapa Eólico Preliminar del Perú [En línea]. 2007. pp. 4.
Disponible en World Wide Web :< http://www.adinelsa.com.pe/energia_eolica>
- [6] Samsonov, Vassili. Aerodinámica y control de turbinas eólicas. Lima: Marketing
de las ideas. 2006. ISBN: 9972285200. 207 p.
- [7] Velásquez Santos, JORGE. Evaluación Técnica Centrales Eólicas de Malabrigo y
Marcona. ADINELSA.
- [8] World wind energy association. Wind turbines. [En línea]. 21 febrero 2008
Disponible en World Wide Web: < <http://www.wwindea.org>>

CAPITULO 3

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ALTERNATIVA DE GENERACION DIESEL

3.1. MARCO REFERENCIAL

3.1.1. Introducción

Se podría definir a una máquina simplemente por su función principal, en este particular caso se puede decir que el grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador de electricidad a través de un motor de combustión interna. Su función básicamente consiste en actuar como una fuente de energía al momento de suplir posibles defectos de la red de alimentación, como así también para generar energía en lugares que no existan redes de tensión.

Generalmente se utiliza para generar electricidad en zonas apartadas donde no hay suministro eléctrico, usualmente estas zonas apartadas carecen de infraestructura y poseen una baja densidad de personas, otro caso sería el de lugares que requieren del servicio eléctrico a tiempo completo como lo son los hospitales, fábricas, centros

comerciales que a falta de energía eléctrica de red, necesiten otra fuente de energía alterna para abastecerse.

La primera de las dos situaciones expuestas en el párrafo anterior sería el caso en el cual se emplea el grupo electrógeno, en los lugares alejados de la urbe, que carecen del servicio de saneamiento básico como es la electricidad.

3.1.2. Utilización del grupo electrógeno en sistemas aislados.

En los emplazamientos aislados, no conectados a la red pública, la alimentación de energía eléctrica proviene de un cierto número de grupos electrógenos. El número de grupos, n , dependerá de la potencia necesaria, pero también de la necesidad de mantenimiento periódico de uno de ellos, por lo que la energía necesaria deberá poder quedar asegurada por $(n - 1)$ grupos, sin necesidad de desconexión de cargas. [1]

La potencia de los grupos electrógenos debe escogerse de manera que éstos funcionen al menos a un 50% de su carga nominal [1]. Una tasa de carga menor es perjudicial para el grupo. Por ejemplo, un grupo electrógeno diesel cargado a menos del 30% girará en frío [1], dificultando una buena combustión y provocando una degradación rápida del aceite de lubricación.

La recomendación de la utilización de un grupo electrógeno manda que no deba estar ligeramente cargado, el grupo necesita un período de tiempo suficiente para alcanzar su temperatura nominal de operación y la excesiva operación durante el período final de carga debe evitarse. El rango óptimo de operación debe estar dentro del 78%-80% de la potencia nominal¹⁵. Se tomarán en consideración estos datos para el dimensionamiento del sistema diesel.

¹⁵ Según el autor El-Hefnawi en su libro “photovoltaic diesel-generator hybrid power system sizing”

3.2. MARCO TEORICO

3.2.1. Características.

Los grupos electrógenos básicamente están formados por un conjunto integrado que contiene un motor térmico primario (turbina de gas, motor Otto o Diesel), un generador eléctrico (generalmente de corriente alterna) acoplado en el mismo eje y los correspondientes elementos auxiliares y sistemas complementarios, como los distintos indicadores de estado, tableros de maniobra, tanques, radiadores, circuitos de lubricación, combustible, agua y eventualmente aire comprimido; excitatrices, cargadores de baterías, equipos de control de tensión y frecuencia, automatismos de transferencia, protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos, etc.

3.2.2. Dimensionamiento del grupo electrógeno.

La potencia útil de un grupo electrógeno es probablemente el criterio más importante a definir. La potencia obtenida de un grupo electrógeno se deduce normalmente a la vista del diagrama de las potencias activa/reactiva representado en la Figura 20.

La potencia activa que suministra un grupo electrógeno depende del tipo de combustible utilizado, de las condiciones del lugar, incluida la temperatura ambiente, la temperatura del fluido de refrigeración, la altitud y la humedad relativa. [1]

Los grupos electrógenos portátiles de baja potencia se accionan con motores Otto, mientras que los de potencias superiores a los 5 kVA se suelen equipar con motores Diesel (en algunos casos sobrealimentados), reservándose el uso de turbinas de gas para las unidades más grandes [1]. El sistema a usar considera una potencia aproximada de 53 kVA por lo que se emplean grupos accionados con motores Diesel.

La refrigeración directa con aire se emplea en motores Diesel con potencias de hasta 200 kW y la cantidad de aire de refrigeración ronda los $70 \text{ m}^3 / \text{Kwh}$.

Depende también de las características de la carga, como son la posibilidad de sobrecarga y las variaciones de carga en el tiempo. La norma ISO 3046-1 indica, para motores diesel, tres variantes para la definición de la potencia nominal y concreta la definición de las diversas capacidades de sobrecarga.

Se definen, por tanto, estas nociones: [1]

- **Potencia continua:** el motor puede entregar el 100% de su potencia nominal durante un tiempo ilimitado. Es la noción utilizada para grupos de producción.
- **Potencia de emergencia:** es la potencia máxima que la máquina puede entregar durante un tiempo limitado, generalmente menos de 500 horas al año. Esta definición no debe de aplicarse a los grupos electrógenos que trabajan exclusivamente como emergencia. Puesto que el motor no está en condiciones de entregar una potencia superior, conviene aplicar un factor de seguridad de al menos un 10% para la determinación de la potencia de emergencia necesaria.

La capacidad de sobrecarga se define como la potencia adicional de un 10% durante 1 hora en un periodo de 12 horas de funcionamiento. Si la potencia nominal se determina por la potencia de emergencia, ya no queda margen para la sobrecarga.

La mayor parte de los fabricantes admite una sobrecarga normal respecto a la potencia continua y a la potencia principal, pero teniendo en cuenta las excepciones se aconseja siempre precisar la capacidad de sobrecarga necesaria y precisar la

definición de potencia nominal. Por ejemplo, el grupo electrógeno seleccionado queda definido por: una potencia continua de 1550 kW y una potencia de emergencia de 1880 kW.

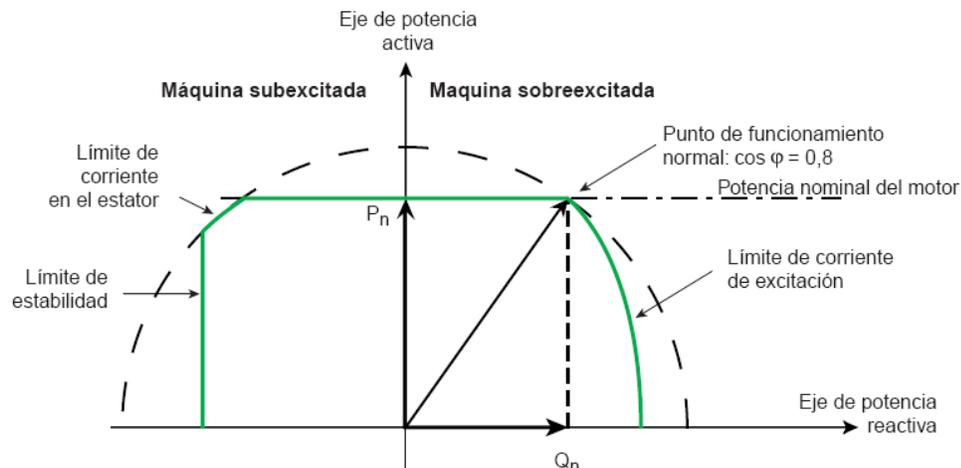


Figura 20. Diagrama de las potencias activa/reactiva y sus límites de funcionamiento. (Fuente: Schneider Electric)

Habiendo entendido las distintas definiciones de la potencia y entendiendo que los fabricantes de grupos electrógenos así como los distribuidores ofertan los grupos, especificando la potencia aparente en kVA, entonces el método para calcular el grupo electrógeno no resulta complicado, por lo cual lo hallamos como se demuestra a continuación.

Conociendo el consumo en Watts de las cargas que vamos a conectar al mismo tiempo, información que podemos obtener de las placas de cada uno de los artefactos, procedemos a sumarlas para saber que generador nos conviene comprar.

En el cálculo de la potencia de los aparatos eléctricos, se debe considerar el arranque donde los motores eléctricos consumen 3 veces su valor de consumo, como se aprecia en la Figura 21 para luego estabilizarse. Y siempre se debe tener en cuenta lo

mencionado anteriormente sobre dividir la potencia aparente (kVA) entre el factor de potencia ($\cos\phi = 0.8$), para obtener la potencia activa en kW.

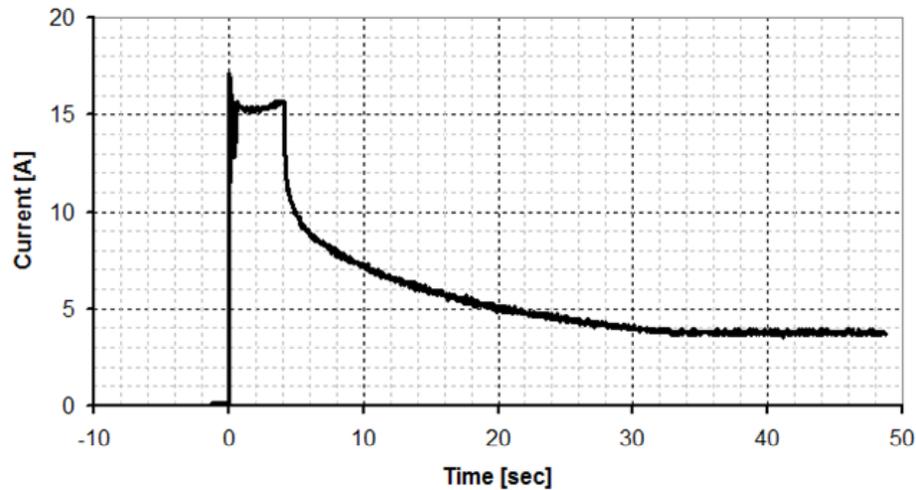


Figura 21. Gráfica típica de Corriente(A) vs. Tiempo (s)

3.2.3. Ventajas.

Las ventajas que presenta el empleo de grupos electrógenos como solución al problema de la electrificación en las zonas aisladas son las siguientes:

- Los costos iniciales no son tan elevados.
- Confiabilidad de producción de electricidad durante todas las horas, sin depender de las condiciones climáticas.

3.2.4. Desventajas

Los problemas serían los siguientes:

- Alto consumo de diesel, como se aprecia en el Cuadro 21 y aumento en el precio del combustible como se observa en el Cuadro 19, lo cual resulta caro a largo plazo, debido a que los pobladores son en general de escasos recursos económicos.
- Contaminación por la generación de gases de efecto invernadero.
- Difícil y elevado costo de mantenimiento, ya que se tendría que especializar a algún poblador para su correcto mantenimiento o traer a un especialista para que lo efectuó de manera adecuada.

Cuadro 19. Precios de los combustibles vigentes a marzo del 2008 (Fuente: <http://facilito.osinerg.gov.pe/portal/actions/PreciosCombustibleAutomotorAction.do>)



Osinergmin
Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería

Precio de Gasolina, Kerosene y Petróleo en Estaciones de Servicio y Grifos formales Fecha de Actualización : 04/10/2008

Departamento: ICA Provincia: NAZCA Distrito: NAZCA Producto: Diesel 2

Distrito	Dirección	Precio de Venta Anterior (S/.)	Ultimo Precio de Venta Reportado		Establecimiento
			Precio (S/.)	Fecha	
NAZCA	CARRETERA PUQUIO KM 2.17	0.00	10.30	07/05/2007	LORENZO MURIEL TITO
NAZCA	CALLE LIMA NO. 100	10.70	10.70	07/07/2007	MIGUEL ANGEL RAMOS COBEÑAS
NAZCA	AV. GUARDIA CIVIL S/N	11.12	10.81	31/05/2007	JESUS ABELARDO ALEMAN DE LA TORRE
NAZCA	AV. SAN CARLOS S/N Y CALLE SUCRE	11.15	11.60	13/08/2008	PETROLEOS EL SOL E.I.R.L.
NAZCA	CARRETERA PANAMERICANA SUR KM 441.85	11.57	11.60	13/08/2008	ESTACION DE SERVICIOS EL SOL S.R.L.
NAZCA	CARRETERA PANAMERICANA SUR KM. 442.8 Y AV. LOS INCAS S/N.	11.18	11.68	02/09/2008	EL OASIS DE ICA S.A.C.

1 de 1

El Martes 12 de Agosto del 2008 se registró un incremento en los precios Ex-Planta de Ventas de los siguientes combustibles: Gasolina 84 (5.87%) y Diesel 2 (4.60%).
Nota: Promedio Simple

Nota: Precio en Nuevos Soles / Galón

3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DIESEL.

La instalación de grupos electrógenos en localidades ubicadas en zonas aisladas, ha sido una alternativa de solución de rápida ejecución y de carácter temporal hasta su integración, en los casos que sean factibles, a los sistemas eléctricos en expansión, posibilitando la reubicación de estos grupos en otras localidades con características

similares. En esa perspectiva, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) ha efectuado la instalación de dichos grupos en las 27 localidades donde fue factible y según las disponibilidades.

En el caso particular del poblado de San Juan De Marcona, no cuenta con ninguna tipo de fuente de electricidad que abastezca a sus habitantes.

Como se mencionó anteriormente, la ventaja de este sistema es su baja inversión inicial así mismo tiene un elevado costo debido al combustible, además de tener la necesidad de trabajar entre ciertos límites de carga.

Es por esto que el sistema diesel resulta el más sencillo de implementar, como lo muestra la figura 22:

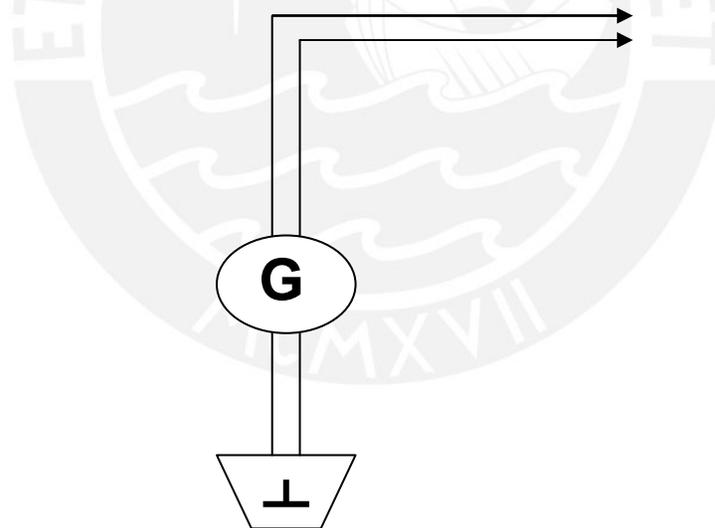


Figura 22. Esquema del sistema Diesel.

Las especificaciones técnicas del grupo electrógeno que se va a emplear son las siguientes: (Anexo 5)

Cuadro 20. Datos técnicos del grupo electrógeno a instalar.

MODELO GRUPO ELECTRÓGENO	UNID	MP – 45
Potencia continua	kW	42
Potencia Stand By	kW	45
Voltaje	V	220/440
Dimensiones Largo	mm	2.08
Dimensiones Ancho	mm	0.73
Dimensiones Alto	mm	1.286
Peso	Kg.	903
Capacidad de tanque	l	170
MODELO MOTOR PERKINS	UNID	1103 A –33TG1
Potencia continua	kW	48.9
Nº de cilindros (en línea)		3
Sistema eléctrico	VDC	12
Alimentación de Aire		Turbo
Gobernación		Mecánica
Consumo combust. Al 75% P. Cont.	l / hora	9.9
Precio Total	\$	13102

Se trabajará con dos grupos electrógenos en paralelo, cada uno de una potencia nominal en continua de 42 kW cada uno, se trabajará con uno al 100 % de su carga mientras que el otro se utilizará como respaldo cuando este no sea capaz de suplir la demanda.

La razón por la que se esta utilizando dos grupos en paralelo en vez de utilizar solo uno de potencia de 88 kW, es que como nuestra carga es tan variable en muchos momentos del día la potencia requerida es muy baja y el grupo se estaría subutilizando, por eso es recomendable utilizar dos de menor potencia en paralelo para que se reduzcan las horas de trabajo por debajo de lo recomendado.

Cuadro 21. Consumo de combustible total que requiere el poblado durante un día.

Hora (h)	Demanda (300 fam.)	1º Grupo electrógeno (30kW)	2º Grupo electrógeno (30kW)	Consumo combustible (l)
0	32.4	77%	0	8.6
1	24.48	58%	0	7.1
2	21.6	51%	0	6.6
3	17.28	41%	0	6.3
4	17.28	41%	0	6.3
5	14.4	34%	0	6
6	14.4	34%	0	6
7	15.84	38%	0	6.2
8	14.4	34%	0	6
9	14.4	34%	0	6
10	15.84	38%	0	6.2
11	14.4	34%	0	6
12	12.96	31%	0	6
13	21.6	51%	0	6.6
14	21.6	51%	0	6.6
15	21.6	51%	0	6.6
16	21.6	51%	0	6.6
17	21.6	51%	0	6.6
18	46.8	100%	11%	15.47
19	72	100%	71%	22.27
20	68.4	100%	63%	21.17
21	66.96	100%	59%	20.7
22	44.64	100%	6%	14.27
23	32.4	77%	0%	8.6

CONSUMO TOTAL	218.78
----------------------	---------------

Con el consumo de combustible se puede estimar el costo mensual que implica el uso de un grupo electrógeno para electrificación en zonas aisladas.

Considerando que el coste del galón de diesel 2 es de 11.68 soles según el cuadro 19, se realizó la Cuadro 22 especificando los costos que tendrían que considerar los pobladores.

Cuadro 22. Costos del combustible diario, mensual y anual.

	CONSUMO (l)	COSTO (0.9 \$/l)
CONSUMO DIARIO	218.78	196.902
CONSUMO MENSUAL	6563.4	5907.06
CONSUMO ANUAL	78760.8	70884.72

Siguiendo estos resultados cada familia debería considerar un pago aproximado de 60 soles mensuales solo considerando el consumo de combustible, más no el de mantenimiento.

Este análisis considera lo siguiente:

- La inversión (I_0) inicial solo ha tomado en cuenta el costo del equipo (G.E) y sus gastos de instalación.
- La vida útil según fabricante es de 26000 horas en modo continuo.
- El costo del galón de Diesel 2 es de S/.11.68.
- Se asumió que el mantenimiento es lineal en todos los años y es aproximadamente de \$1941.
- A los dos grupos se recomienda que se encuentren conectados a un depósito de combustible nodriza de una capacidad de 350 litros, para evitar demasiadas recargas de combustible

REFERENCIAS

- [1] Terence, HASEL, (2001).Cuaderno técnico n° 196 de Schneider Electric S.A., 28. 11.



CAPITULO 4

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA ALTERNATIVA DE GENERACION HIBRIDA.

4.1. MARCO DE REFERENCIA

A menudo el dimensionado de la instalación eólica, por si sola, está por debajo del margen de seguridad que garantizaría la cobertura del suministro eléctrico todo el año, ya sea por razones económicas o bien porque se dispone de otra fuente de generación eléctrica que complementará la generada por la instalación.

Incluso aún siendo el dimensionado correcto se producen puntas de consumo muy por encima de lo habitual, o simplemente, hay período anormales sin suficiente velocidad del viento para mover nuestros aerogeneradores. El objetivo del sistema es asegurar el suministro de electricidad la máxima cantidad de horas posibles a los pobladores tomando en cuenta los costos.

Por tanto, hay casos en que es recomendable disponer de algún sistema de generación auxiliar que permita hacer frente con seguridad a los períodos anteriormente citados.

Es por esto que desde la maduración de la industria de los aerogeneradores, la atención se ha centrado en el enfoque de la producción de electricidad en áreas aisladas. Generalmente, las áreas remotas son abastecidas por grupos electrógenos. Sin embargo, la introducción y diseminación de los aerogeneradores en el sistema de generación reemplaza de esta manera los grupos electrógenos actuales, como es lógico el resultado es la disminución de consumo de diesel y eventualmente la menor producción de gases de efecto invernadero.

La combinación de ambas fuentes de producción de electricidad suplantando las desventajas que tendría el empleo de cada una individualmente, por un lado se evita el consumo masivo de diesel y por otro lado se asegura una producción de electricidad independiente de los recursos naturales, como el viento.

4.2. ANTECEDENTES

En muchas partes del mundo se instalan sistemas híbridos viento-diesel, para locaciones aisladas debido a su fácil instalación y a su bajo costo operativo, ya que se sabe que para tender redes eléctricas esto requiere de tiempo, que en la mayoría de casos es el problema principal para que estos poblados puedan acceder a tal servicio.

A continuación se presentan casos de pequeños poblados donde se emplean este tipo de sistemas, llegando en lugares como Mawson, Coral Bay¹⁶ y Bremen Bay¹⁷ a penetraciones del viento con picos del 90%.

¹⁶ Coral Bay, pequeño pueblo en las costas de Australia.

¹⁷ Bremen Bay, pueblo costero situado en la zona Oeste de Australia.

Cuadro 23. Ciudades que generan su propia electricidad. (Ref. wikipedia.org/wiki/Wind-Diesel_Hybrid_Power_Systems)

Comunidad	País	Diesel MW	Wind MW	Población	Fecha de toma de datos	Penetración del viento
Denham	Australia		0.69 MW		1998	
Osmussaare	Estonia		0.40 MW		2002	
Mawson	Antarctica		0.30 MW		2003	
Hopetoun	Australia	1.37 MW	0.60 MW	350	2004	
Rottneest Island	Australia	0.64 MW	0.60 MW		2005	
Bremer Bay	Australia	1.28 MW	0.60 MW	240		
Coral Bay	Australia	2.24 MW	0.60 MW		2007	

En el Cuadro 23 se presentaron varias comunidades en distintos países, así como estos, otros países han asumido políticas de utilización de la energía eólica tal es el caso de Filipinas, Chile, Rusia, Brasil, España, México.

- **CHILE [4].** Al sur de Chile se encuentra ubicado el archipiélago de Chile, el cual consiste en 32 islas con más de 3,500 familias, resultaba imposible de

extender la red eléctrica hasta ese lugar debido al costo, es por eso que se realizó un proyecto piloto en la isla de Tac.

El sistema comenzó a operar en Octubre del 2000. El suministro eléctrico (220V, 50Hz) es suministrada al servicio postal, colegios, durante las 24 horas del día a 71 familias.

El sistema consiste en:

- Dos Aerogeneradores Bergey de 7,5 kW cada uno.
- Baterías de ciclo profundo (48 V, 2100 Ah).
- Dos inversores Trace (4,5kW) cada uno conectados en paralelo.
- Grupo electrógeno de 12 Kw.

El sistema anteriormente descrito se esquematiza en la Figura 23:

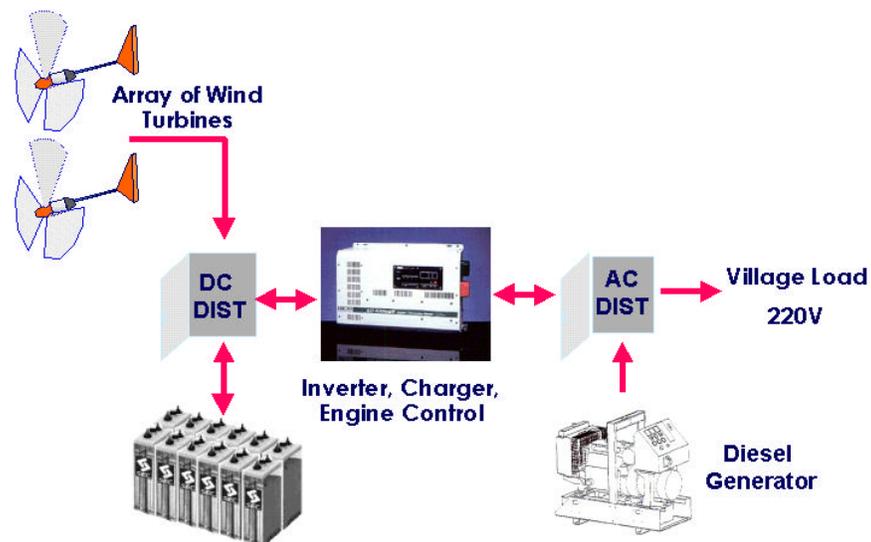


Figura 23. Esquema de sistema de generación eólico-diesel en Chile.

- **RUSIA.** [3] En septiembre del 1993 se firmó una cooperación Rusa- Americana en energías renovables, debido a este convenio Estados Unidos envió 40 turbinas eólicas marca Bergey de 7.5 kW cada una, estas 40 turbinas eólicas deben

ubicarse en la parte Norte del país donde la velocidad promedio del viento es de 6 m/s tal como se aprecia en la Figura 2, una particular ubicación se dio en la villa de Krasnoe, donde las 30 familias que habitan esa zona se abastecen de electricidad mediante un generador diesel de 8 kW, el cual sólo les brindaba electricidad durante cuatro horas (6:00-10:00 p.m.). Aquí se optó por un sistema híbrido que consistía en:

- Dos Aerogeneradores Bergey de 7,5 kW cada uno.
- Baterías de ciclo profundo (48 V, 200 Ah).
- Dos inversores Trace (4,5kW) cada uno conectados en paralelo.
- Grupo electrógeno de 8 Kw.

El sistema híbrido montado seguía la configuración mostrada en la figura 25.

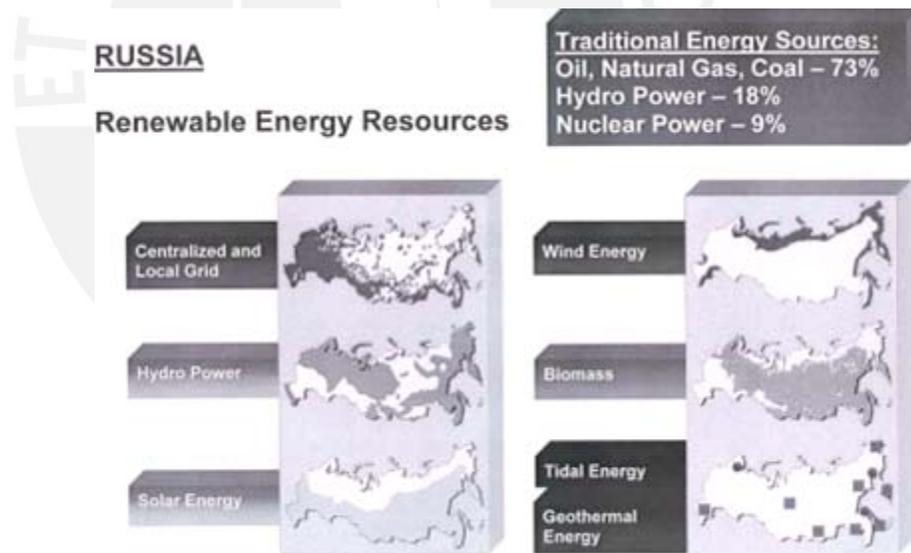


Figura 24. Mapa de Recursos Renovables en Rusia (Ref. NREL)

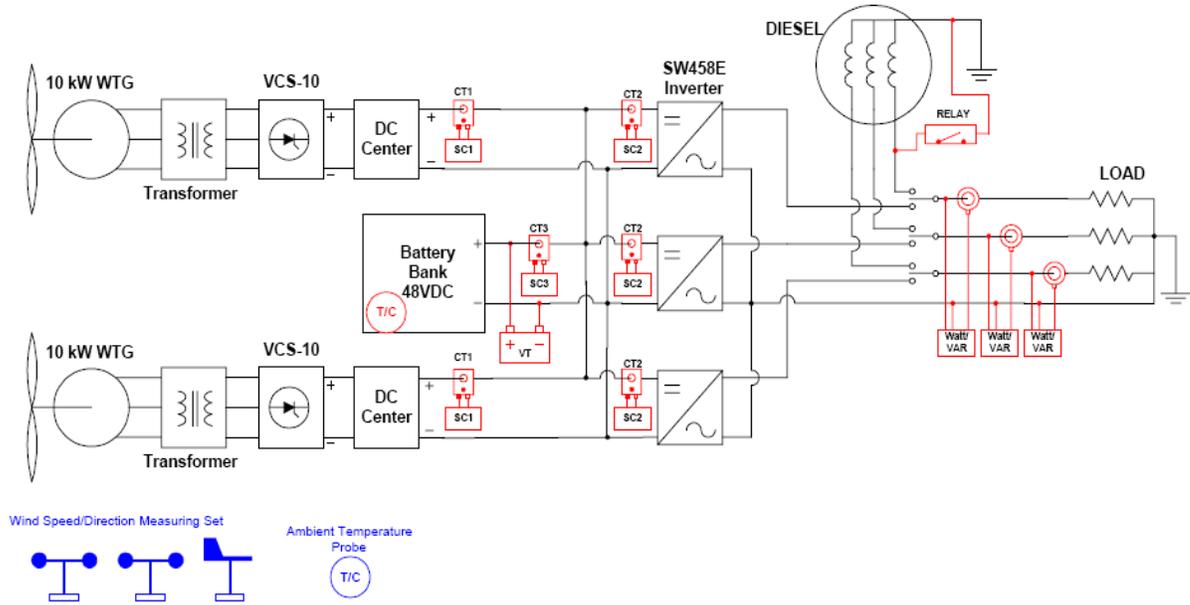


Figura 25. Diagrama del sistema híbrido en Krasnoe. (Ref. NREL¹⁸)

4.3. CARACTERÍSTICAS.

Diseño de un sistema híbrido.

Como se mencionó los sistemas híbridos trabajan eficientemente para proveer de electricidad a localidades que no cuentan con ningún abastecimiento principal de electricidad. Para que un sistema híbrido independiente del sistema de red eléctrica funcione adecuadamente, dos parámetros deben ser determinados: [1]

- Carga pico. Esta es la suma de todas las cargas eléctricas individuales que el sistema soporta al mismo tiempo. Este dato es determinante ya que con este valor podremos seleccionar adecuadamente los componentes del sistema que estamos diseñando.

¹⁸ Laboratorio nacional de energía renovable, ubicado en USA operado por el instituto de investigación MIDWEST.

- Consumo promedio diario. Este es el consumo de las cargas individuales y el que están prendidas cada día. Con esta información podremos calcular la capacidad del grupo electrógeno, entre otros parámetros.

Demostramos en el primer capítulo los dos parámetros que en el párrafo anterior se solicitan, de ese modo se encontraron los siguientes resultados:

- Carga Pico: 72 kW, que se da a las 7 de la noche.
- Consumo promedio diario: 669 kW/día

4.4. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA HÍBRIDO.

Los sistemas híbridos viento-diesel resultan una interesante solución para la electrificación de lugares aislados. El sistema propuesto, consigue una importante reducción de consumo de combustible, en comparación con una instalación que utilice el diesel como única fuente de energía, además de proteger al grupo electrógeno del desgaste, aumentando de este modo su vida útil y reduciendo la contaminación ambiental.

En muchas partes del mundo se instalan sistemas híbridos viento-diesel, para localidades aisladas debido a su fácil instalación y a su bajo costo operativo, ya que se sabe que para tender redes eléctricas esto requiere de tiempo, que muchas veces es la limitante a la que tienen que enfrentarse estas poblaciones para poder acceder a este servicio.

Como se puede apreciar en la Figura 26, en los primeros años resulta más conveniente utilizar un grupo electrógeno pero conforme pasen los mismos se hace más rentable el empleo de un sistema híbrido.

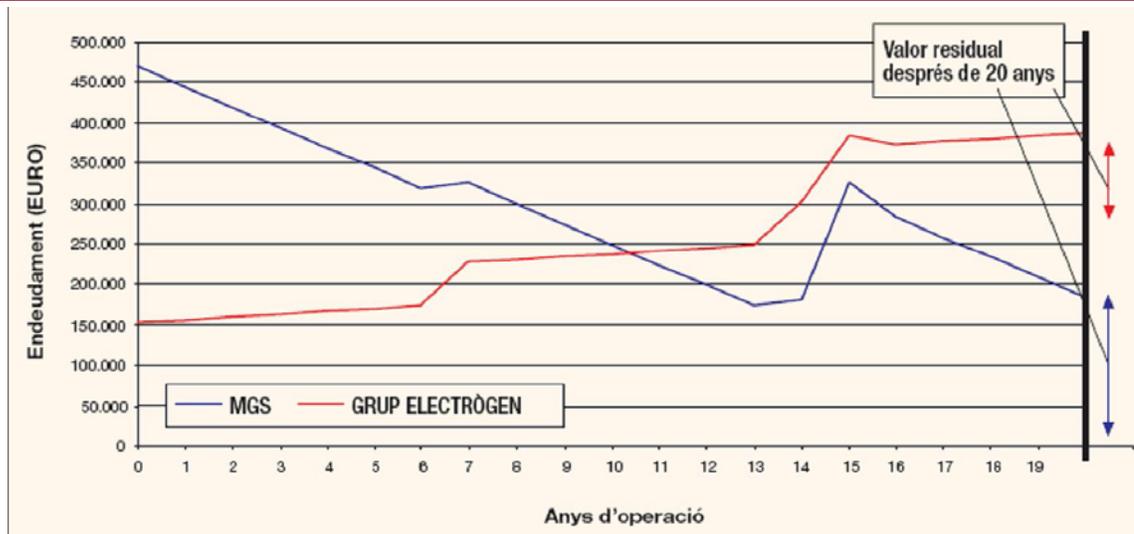


Figura 26. Evolución de la deuda en una microrred y una red con generación eléctrica directa con grupo electrógeno [2]

Traducción:

Endeudament: Endeudamiento

Anys d'operació: Años de operación

MGS: Generación eólica híbrida

GRUP ELECTRÒGEN: Grupo electrógeno

Este sistema aislado consta de los siguientes elementos:

- Generación eólica: un aerogenerador asíncrono de una potencia de 10KW
- Generación auxiliar: un grupo diesel asíncrono de potencia de 8KVA monofásico y 20KVA trifásico.
- Transformador: Equipo que realizar el cambio de tensión de 480V a la tensión de consumo común de 220V.

Se plantea el siguiente sistema esquematizado en la Figura 27 y posteriormente se procederá a explicar el mismo:

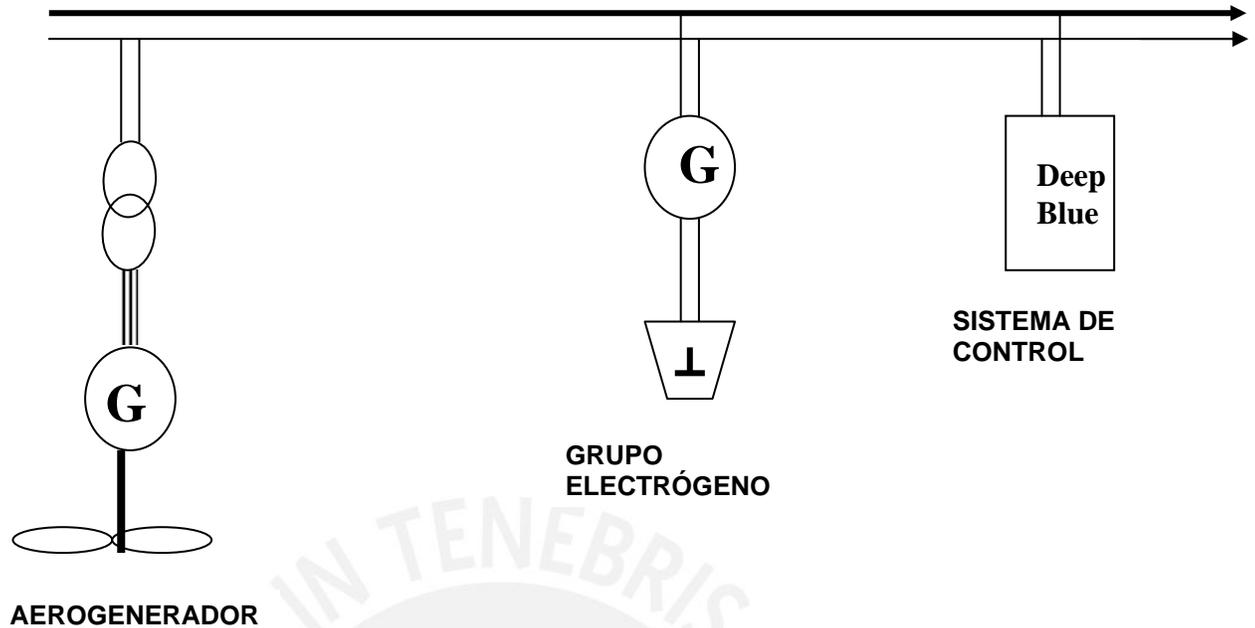


Figura 27. Esquema del diseño del Sistema híbrido.

Una vez mostrado el esquema del diseño del sistema híbrido, se debe diseñar la composición del sistema mediante la selección de los componentes. A continuación se intentará ofrecer una solución para dichas configuraciones estableciendo el aerogenerador a utilizar con su respectivo transformador y el sistema auxiliar de generación.

Para llevar a cabo la selección de componentes del sistema híbrido se ha considerado la demanda pico durante el día.

- **AEROGENERADOR**

Se ha instalado un aerogenerador asíncrono de una potencia de 100 kW. Este aerogenerador tiene una torre de 40 metros de altura. El diámetro del rotor es de 20 metros. La particularidad de este aerogenerador es que el voltaje de salida es de 480 V.

Además el aerogenerador se conecta a la red alterna por medio de unos contactores, gobernados por el sistema de control. (Anexo 1)

- Potencia nominal: 100 kW
- Diámetro rotor: 20m
- Altura de la torre: 40 m.
- Voltaje de salida: 480V
- Trifásico
- Precio del aerogenerador y la torre: \$ 275 000
- Costo total (incluye instalación): \$ 400 000

- **GRUPO ELECTRÓGENO**

Como se mencionó el grupo electrógeno cumplirá la función de fuente auxiliar y debido a que se trata de un equipo de las mismas características que el utilizado en el sistema diesel se ha tomado los mismos parámetros de selección. En este sentido, se ha optado por la misma marca PERKINS / NEWAGE STAMFORD.

Formado por un grupo asíncrono, el primero de ellos de una potencia de 37.5 KVA Stand By. A continuación en la Cuadro 24 se adjunta la ficha técnica del modelo elegido MP-30 al cual corresponde el precio de \$10650. (Anexo 6)

Cuadro 24. Ficha técnica de grupo electrógeno

MODELO GRUPO ELECTRÓGENO	UNID	MP-30
Potencia Continua	kW	28
Potencia Stand By	kW	30
Voltaje	V	3 x 380/220
Frecuencia	Hz	60
Cilindros	-	3
Inyección	-	Directa
Alimentación	-	Aspiración normal
Combustible	-	Diesel 2
Velocidad	rpm	1800
Tanque de combustible	Gal	35
Consumo combust. al 75% P. Cont.	l / hora	8.2
Precio	\$	10650

El uso de este grupo electrógeno solo se debe realizar durante las horas pico como se muestra a continuación en la Cuadro 24.

Cuadro 24. Consumo total que requiere el poblado durante un día.

Sistema híbrido				
Hora (h)	Diferencia	Demanda (300 fam.)	% Utilización (Dem./Pot.nom)	Consumo combustible(l/h)
0	6.6	32.4		
1	8.52	24.48		
2	7.4	21.6		
3	8.72	17.28		
4	6.72	17.28		
5	8.6	14.4		
6	8.6	14.4		
7	7.16	15.84		
8	10.6	14.4		
9	18.6	14.4		
10	32.16	15.84		
11	40.6	14.4		
12	59.04	12.96		
13	60.4	21.6		
14	63.4	21.6		
15	63.4	21.6		
16	63.4	21.6		
17	59.4	21.6		
18	30.2	46.8		
19	-10	72	33%	5
20	-15.4	68.4	51%	5.5
21	-18.96	66.96	63%	7
22	1.36	44.64		
23	9.6	32.4		
CONSUMO TOTAL(l)				17.5

Con el consumo de combustible se puede estimar el costo mensual que implica el uso de un grupo electrógeno para electrificación en zonas aisladas. Considerando que el coste del galón de diesel 2 es de 11.68 soles según se mostró en el Cuadro 19, se realizó el Cuadro 25 especificando los costos que tendrían que considerar los pobladores.

Cuadro 25. Costos del combustible diario, mensual y anual.

	CONSUMO (l)	COSTO (0.9 \$/l)
CONSUMO DIARIO	17.5	15.8
CONSUMO MENSUAL	525	474

- **TRANSFORMADOR**

Debido a que el voltaje de salida del aerogenerador es diferente a la tensión de los equipos empleados por los usuarios cotidianamente, el cual corresponde a 220 V, se utiliza un transformador que permitirá obtener esa tensión de salida para tal fin el transformador tendrá los siguientes datos técnicos, que se muestran en la Cuadro 26. (Anexo 3).

Cuadro 26. Ficha técnica del transformador.

TRANSFORMADOR EN BAÑO DE ACEITE CON ARROLLAMIENTO DE COBRE Y NUCLEO DE HIERRO LAMINADO EN FRIO DE ALTO RENDIMIENTO	
Marca	: High power
Norma de fabricación	: Itintec 370-002,
Potencia	: 85 kw / 106,25 kva
Fase	: Trifasico
Voltaje de entrada en el primario	: 480v
Voltaje de entrada en el secundario	: 220v
Altura de trabajo	: 1000 msnm
Frecuencia nominal	: 60hz
Grupo de conexión	: Dyn 5
Conexión	: Delta estrella
Refrigeración	: Onan
Eficiencia	: Mayor a 96%
Tipo de montaje	: Exterior
Precio	: \$ 3,717.00

ESTRATEGIA DE CONTROL

El funcionamiento de este tipo de sistema es muy sencillo. En este caso, hay una red formada por dos distintos elementos generadores (aerogenerador y grupo diesel).

En ausencia de viento, se conectará el grupo diesel que dará servicio a las cargas, el cual trabaja en paralelo con el aerogenerador, cubriendo de esta manera la potencia de energía requerida por los pobladores en las horas del día correspondientes.

De esta forma se obtiene un sistema aislado basado en energías renovables, que forma una red propia, controlada por un sistema de control que se encarga de mantener los parámetros de tensión y frecuencia en los valores adecuados.

El sistema de control es el mostrado en la figura 6, y básicamente se rige por dos principios básicos, los cuales son los siguientes:

$$P_{usuario} > P_{Aerogenerador} \Rightarrow P_{G.E} = P_{usuario} - P_{Aerogenerador} \dots\dots\dots \text{Escenario 1}$$

Y los dos equipos trabajarían en paralelo.

Y también si:

$$P_{usuario} \leq P_{aerogenerador} \Rightarrow P_{G.E} = 0 \dots\dots\dots \text{Escenario 2}$$

Donde solo trabajaría el aerogenerador.

Estos son los escenarios que se plantean para el control del sistema y básicamente se obtendría la información que requiere para seguir los escenarios arriba mencionados, de la lectura de tres parámetros, los cuales son como se aprecia en el esquema de la figura 25, la frecuencia, el voltaje y la corriente.

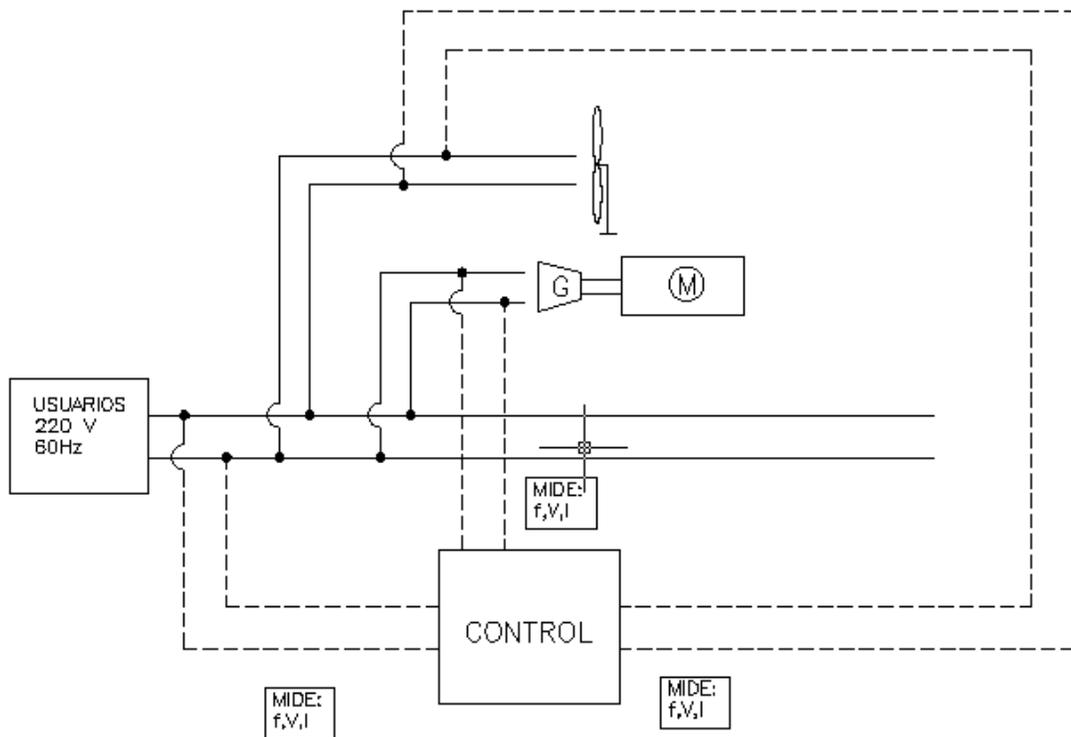


Figura 28. Esquema de control del sistema.

REFERENCIAS

- [1] Cruz Cruz, IGNACIO. Diseño de sistema híbridos para poblaciones rurales aisladas [En línea].pp.18-22. (2004). Disponible en World Wide Web: <<http://www.renovables-rural.cl>>
- [2] ICAEN. L'alternativa sostenible per a l'electrificació rural. Micro-xarxes elèctriques amb generació solar híbrida-MGS. Barcelona.
- [3] Karghiev, V y Bezrukikh P, (1999). Wind-Diesel Irbid system for Russia's Northern Territories.12. 1-3
- [4] Stevens, NELSO y Miranda, ROLANDO. Proyecto eólico Isla Tac. Grupo SAESA. 6 p.

CAPITULO 5

ANALISIS DE ALTERNATIVAS

5.1. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Durante la evaluación de los recursos naturales se han determinado las posibilidades energéticas disponibles en la localidad de Ruta del Sol, observando que ciertos sistemas no eran adecuados para la generación de electricidad como son: biomasa, centrales hidráulicas o la extensión de la red eléctrica. En cambio, se ha demostrado que la energía eólica es una posibilidad que puede paliar los problemas del sistema actual a lo largo del año debido a su alta frecuencia de viento, la cual es constante durante todo el año. Por último, cabe considerar que la opción del empleo de motores Diesel es una alternativa que puede apoyar a un sistema base en ciertos instantes.

5.2. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

De los sistemas que se escogieron se plantean tres escenarios, los cuales fueron detallados y analizados en los capítulos previos.

Para analizar las diversas configuraciones y el aporte de cada fuente energética en el cómputo global de la energía requerida en la comunidad, se ha elaborado un análisis

que contempla los costes asociados a los tres escenarios distintos. El estudio de las alternativas se basa en calcular el coste normalizado (\$/kWh) de cada sistema, valor que facilitará la elección de la configuración más adecuada. Este proceso contabiliza todos los gastos asociados a un proyecto durante todo su ciclo de vida concluyendo en el coste normalizado del sistema, (\$/kWh).

Los principales parámetros a tener en cuenta para el cálculo del coste normalizado son los siguientes:

- **Inversión inicial:** Se consideran todos los costes de compra del conjunto de equipos; es decir, baterías, aerogeneradores y su torre, inversores y grupo auxiliar.
- **Vida útil:** Se refiere al desembolso que deberán hacer los habitantes para reemplazar los equipos al final de su vida útil en caso que ésta sea menor que la duración del proyecto, que en este caso se ha estimado en 20 años.
- **Operación y mantenimiento (O&M):** Estos costes son imputados directamente a la comunidad, y se refieren a los gastos correspondientes a los trabajadores responsables del sistema, recambios de lubricantes, limpieza de los equipos, etc. En este sentido, cada equipo precisa de un mantenimiento particular dependiendo de las características asociadas y condicionado por su grado de autonomía.
- **Combustible:** El coste del combustible es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de elegir un sistema. Ya se mencionó en capítulos anteriores el precio del combustible.

5.2.1 ESTIMACIÓN DE CADA ESCENARIO

Una vez establecidos los parámetros esenciales del sistema, se puede calcular el coste normalizado (\$/kWh) de las alternativas mediante el proceso detallado a continuación, obteniendo los siguientes resultados:

5.2.1.1. ESCENARIO 1: SISTEMA EÓLICO

El sistema eólico ya fue analizado con anterioridad, solo se mencionarán los costos de los parámetros antes señalados para poder obtener el coste normalizado.

- **Inversión inicial.** Se presentan los costos unitarios de cada equipo que conformará el sistema eólico.

Cuadro 27. Costos de los equipos del sistema eólico

EQUIPO	COSTO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (\$)
Aerogenerador	440000	1	440000
Transformador	3500	1	3500
Baterías	570.1	18	10262
Inversor	4630.3	6	27781.56
		TOTAL (\$)	481544

- **Vida útil.**

Cuadro 28. Vida útil de los equipos del sistema eólico

EQUIPO	Aerogenerador	Transformador	Baterías	Inversor
VIDA UTIL(Años)	20	40	7	8

- **Operación y mantenimiento (O&M):**

- Aerogenerador: Estos equipos no precisan un mantenimiento muy elevado ya que su grado de autonomía es muy alto, con lo que solo precisan de limpieza cada cierto tiempo. Por lo usual, se considera 2% de su costo inicial, pero ya que el aerogenerador trabajará como sistema aislado se considera un mantenimiento de 4% anual.

- Transformador: A parte de los datos proporcionados por el fabricante se considera que el mantenimiento es mínimo, solo requiere de limpieza, por esta razón se ha considerado el costo de \$15 anuales.

- Baterías: Al igual que en un aerogenerador, las baterías tienen un alto grado de autonomía, con lo que las únicas tareas a realizar son la limpieza de los bornes de las conexiones y el recambio del agua en su interior cada tres años. Por este motivo, se han considerado el costo de \$ 47 anuales de mantenimiento.

- Inversor: A parte del control sobre los datos informativos del estado del sistema que los inversores pueden proporcionar, no hace falta mantenimiento alguno para estos equipos. Por este motivo, se han considerado el costo de \$90 anuales de mantenimiento, debido a la limpieza.

- **Combustible:**

Sólo se empleará el grupo electrógeno para el suministro en horas pico como se mencionó en el Capítulo 4.

Considerando todos los parámetros resulta:

Cuadro 29. Costo del kW.h del sistema eólico

Sistema	San, kWh	Io, \$	S20, kWh	I20, \$	\$/kWh
Sistema Eólico	244141.2	481543.56	4882824	912576.68	0.19

5.2.1.2. ESCENARIO 2: SISTEMA HÍBRIDO

El sistema híbrido también fue analizado en capítulos anteriores, en esta sección sólo se mencionarán los costos de los parámetros para poder obtener el coste normalizado.

- **Inversión inicial.** Se presentan los costos unitarios de cada equipo que formará parte del sistema híbrido.

Cuadro 30. Costos de los equipos del sistema híbrido

EQUIPO	COSTO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (\$)
Aerogenerador	440000	1	440000
Transformador	2967	1	2967
Grupo Electrónico	10650	1	10650

TOTAL (\$)	453617
------------	--------

- **Vida útil.** Para el caso del grupo electrónico, por recomendación de fabricantes y debido a su uso intermitente, su vida útil promedio es de 25000 horas lo que equivale aproximadamente a 10 años.

Cuadro 31. Vida útil de los equipos del sistema híbrido

EQUIPO	Aerogenerador	Transformador	Grupo Electrógeno
VIDA UTIL(Años)	20	40	10

- **Operación y mantenimiento (O&M):**

- **Aerogenerador:** De la misma manera que el sistema anterior, se considera 4% del costo inicial.

- **Transformador:** Al igual que en el caso anterior, es decir, un costo de \$15 anuales.

- **Grupo Electrónico:** A pesar de que el sistema no está diseñado para un funcionamiento periódico del grupo eléctrico sino para aportaciones esporádicas, este precisará de mantenimientos periódicos referidos a factores como: cambios de aceite, cuyo costo es de 110 \$/año.

Además, en caso de elegir un generador con encendido automático, éste aumenta notablemente la autonomía del sistema y reduce, por consiguiente, los costos de operación, la cuál es una variable a tener en cuenta.

Considerando todos los parámetros anteriormente mencionados resulta la siguiente tabla:

Cuadro 32. Costo del kW.h del sistema híbrido.

Sistemas	San, kWh	Io, \$	S20, kWh	I20, \$	\$/kWh
Sistema Híbrido	244141.2	453617	4882824	959292	0.20

5.2.1.3. ESCENARIO 3: SISTEMA DIESEL

El sistema Diesel también fue analizado en capítulos anteriores, en esta sección sólo se mencionarán los costos de los parámetros, para de esta forma poder obtener el coste normalizado.

- **Inversión inicial.** Se presentan los costos unitarios de cada equipo, los cuales formarán el sistema Diesel.

Cuadro 33. Costos de los equipos del sistema diesel

EQUIPO	COSTO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	COSTO TOTAL (\$)
Grupo Electrónico	13102	2	26204

- **Vida útil.** Para el caso del grupo electrónico, por recomendación de fabricantes y debido a su uso continuo, el tiempo de vida útil se reduce notablemente, según datos de fabricantes se considera una vida útil de 9000 horas.

Cuadro 34. Vida útil de los equipos del sistema diesel

EQUIPO	Grupo Electrónico
VIDA UTIL(Años)	5

- **Operación y mantenimiento (O&M):**
 - **Grupo Electrónico:** Debido a que el uso va a ser continuo, el mantenimiento también debe ser más frecuente y por lo tanto, más costoso, es por esto que se considera un mantenimiento de un costo aproximado de 200 \$/año.

Considerando todos los parámetros anteriormente mencionados resulta de la siguiente tabla:

Cuadro 35. Costo del kW.h del sistema diesel.

Sistemas	San, kWh	Io, \$	S20, kWh	I20, \$	\$/kWh
Sistema Diesel	244141.2	26204	4882824	1546200.6	0.32

Partiendo de lo explicado en párrafos anteriores sobre cada sistema en particular, podemos resumir las variables en la siguiente tabla, de este modo se logrará realizar un mejor análisis:

Cuadro 36. Comparación de los tres escenarios respecto al kW.h.

Sistemas	San, kWh	Io, \$	S20, kWh	I20, \$	\$/kWh
Sistema Eólico	244141.2	481543.56	4882824	928650.68	0.19
Sistema Diesel	244141.2	26204	4882824	1581020.6	0.32
Sistema Híbrido	244141.2	453617	4882824	961192	0.20

5.3.RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez establecidos los parámetros esenciales del sistema, se pudo calcular el costo normalizado (\$/kWh) de cada alternativa.

En la siguiente Figura se muestran los resultados de los tres escenarios propuestos anteriormente, se utilizan los parámetros expuestos anteriormente en cada apartado, de este modo se muestra la Figura 29:

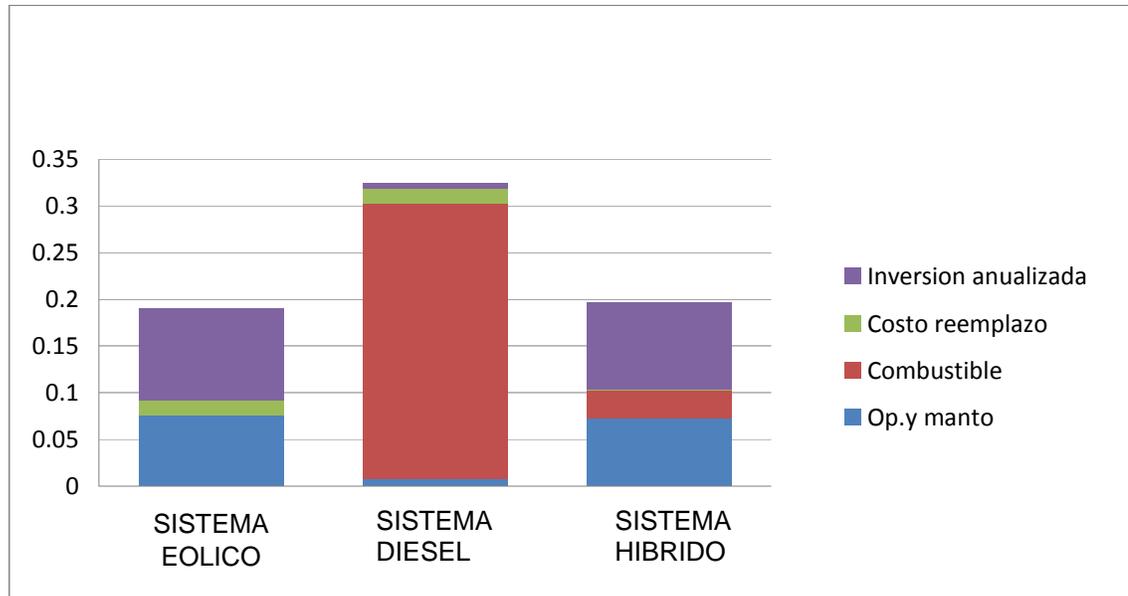


Figura 29. Comparación de los costes para distintas alternativas.

A partir de la Figura 29 y los puntos anteriormente analizados se pueden plantear las siguientes observaciones para la elección del escenario óptimo para el poblado de Ruta del Sol. En primer lugar, se corrobora que las opciones de empleo de fuentes de energía renovables son económicamente más viables a largo plazo, además el utilizar un grupo electrógeno resulta ser una opción económicamente no viable en comparación con el sistema híbrido propuesto. En segundo lugar, se puede apreciar que el sistema híbrido comparándolo con el sistema Diesel, reduce notablemente el consumo de combustible, pero aumenta la inversión inicial así como los costos de operación y mantenimiento.

Por otra parte, los costos asociados directamente a la comunidad, es decir, el combustible, reemplazo de equipos y O&M, conforman un importante gasto por unidad de energía generada. Además, se puede observar que no existe mucha diferencia entre el sistema híbrido y eólico, ya que, lo que el primer sistema gasta en combustible, el segundo lo gasta en unidades de reemplazo.

Además no se considera dentro de los costos la venta por toneladas de CO₂ que se obtendrían por la reducción de el uso de Diesel, tomando en cuenta que en motores

Diesel, se producen 2,6kg de CO₂ por cada litro del combustible, y cada tonelada de CO₂ se esta cotizando en \$7, lo que reduciría el costo (\$/Kwh.) del sistema híbrido y eólico.

De lo expresado anteriormente se puede concluir que el sistema que resulta más económico es el eólico, aunque los costos calculados (\$/Kwh.) no consideran el valor del dinero en el tiempo, nos ayuda a poder comparar los tres sistemas de una forma objetiva, así mismo se puede observar que los valores aumentarían de manera considerable para los tres sistemas si consideraríamos intereses, lo que imposibilitaría cualquier posibilidad de inversión privada, es decir dejaría de ser un proyecto económicamente rentable desde el punto de vista comercial, debido a los altos costos que implica (inversión, mantenimiento y suministros); otros factores que se vuelven relevantes en situaciones como esta son valores intangibles como una mejor alimentación, posibilidades de crecimiento económico por negocios, mejor educación, etc.; es decir, una mejor calidad de vida, lo que se entiende como beneficio social, el cual debe ser un factor decisivo para entidades como el Estado (dígase gobierno central, regional o municipal), el cual tiene un rol social, y que debería incentivar o asumir el costo de este proyecto sin considerar una rentabilidad económica a corto, mediano o largo plazo.

Es por esto que no se va a considerar en el análisis de los sistemas el valor del dinero en el tiempo. De esta forma podemos comparar alternativas de solución a un problema como lo es la carencia de electricidad, considerando la posibilidad del aprovechamiento de recursos de la zona, los cuales tienen la ventaja de ser recursos renovables además de abundantes, en nuestro particular caso, el eólico, que al mismo tiempo de ser una fuente de energía limpia, también resulta ser más económica que los suministros de energía convencionales como lo es un grupo electrógeno.

CONCLUSIONES

1. Existen 7 millones de personas sin acceso a la electricidad, lo cual demuestra que hay mucho por mejorar en este sector, y a pesar de que Ica tiene un aceptable coeficiente de electrificación, hay zonas donde la red eléctrica no llega, principalmente por motivos económicos.
2. La investigación se basa en el poblado de San Juan de Marcona, específicamente, el asentamiento humano “Ruta del Sol” el cual tiene una población de 300 familias, lo que no da un promedio de 1500 personas, se considera según estudios del Ministerio de Energía y Minas que cada habitante consume en promedio 60 W.
3. Se ha evaluado tres posibles sistemas que solución el problema de la electrificación, tanto el sistema híbrido como diesel, que dan respectivamente costos de 0.20 \$/Kwh. y 0.32 \$/Kwh., resultan tanto económica como técnicamente menos viables que el sistema eólico, el cual representa un costo de 0.19 \$/Kwh.
4. La instalación de grupos electrógenos en localidades ubicadas en zonas aisladas, ha sido una alternativa de solución de rápida ejecución y de carácter temporal. Se trabajará con dos grupos electrógenos marca en paralelo, cada uno de una potencia nominal en continua de 42 kW cada uno, se trabajará con uno al 100 % de su carga mientras que el otro se utilizará como respaldo cuando este no sea capaz de abastecer la demanda.

5. Los sistemas híbridos viento-diesel son una interesante solución para la electrificación de lugares aislados. El sistema híbrido busca reducir el consumo de combustible, se trabajara con un aerogenerador asíncrono de 10 KV, un grupo diesel asíncrono de potencias de 8KVA monofásico y 20KVA trifásico y un transformador de 480/220V.
6. El sistema seleccionado (eólico) está conformado técnicamente por: un aerogenerador de 100 kW, un banco de baterías con capacidad de 3787 A.h, 10 inversores de 5 kW y un transformador de 480/220V.
7. Es importante mencionar que los resultados obtenidos en este trabajo no se puede extrapolar a otros lugares, ya que los valores obtenidos están influenciados por la zona, cada lugar debe ser trabajado independientemente.
8. El análisis presentado puede servir como precedente para que análisis similares se puedan realizar en otras zonas geográficas de nuestro país, empleando los recursos naturales con los que cuentan pudiendo ser estos la biomasa, energía solar, energía hidráulica utilizándolos como única fuente de energía o como base para el empleo de sistemas híbridos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Cruz Cruz, IGNACIO. Diseño de sistema híbridos para poblaciones rurales aisladas [En línea].pp.18-22. (2004). Disponible en World Wide Web: <<http://www.renovables-rural.cl>>
- [2] Fernández Diez, PEDRO, (2003). Energía eólica. Universidad de Cantabria 147, 1-2. ISBN 84-8102-019-2
- [3] Generación eléctrica a partir de fuentes nuevas: Energía eólica [En línea].2001. Disponible en World Wide Web: <<http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/atlasmineriaenergia2001>>
- [4] GUIA BASICA DE METEOROLOGIA GENERAL (11). Cap7. 01. Disponible en URL: <http://www.senamhi.gob.pe/main.php?u=inter&p=1502>
- [5] ICAEN. L'alternativa sostenible per a l'electrificació rural. Micro-xarxes elèctriques amb generació solar híbrida-MGS. Barcelona.
- [6] Informe Stern: El cambio climático amenaza la economía mundial [En línea]. Disponible en World Wide Web: <http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm>
- [7] Karghiev, V y Bezrukikh P, (1999). Wind-Diesel Irbid system for Russia's Northern Territories.12. 1-3
- [8] La pobreza en el Perú en el año 2007. En INEI Homepage [en línea]. 2007. Disponible en World Wide Web: < <http://www1.inei.gob.pe/>>

- [9] Manuales sobre energía renovable: Eólica/ Biomass Users Network (BUN-CA). 1 Edición. -San José, C.R : Biomass Users Network (BUN-CA), 2002. Pag 6. 48 p. il. ; 28x22 cm. ISBN: 9968-904-00-7
- [10] Rivals, MARTIN. La energía eléctrica y el desarrollo [En línea], pp. 20-26 Disponible en Internet: <http://www.energiasinfronteras.org>
- [11] Samsonov, Vassili. Aerodinámica y control de turbinas eólicas. Lima: Marketing de las ideas. 2006. ISBN: 9972285200. 207 p.
- [12] Sánchez Campos, TEODORO. Programa de ITDG-Perú [En línea], diap. 2. Disponible en Internet: <http://www.ilzrorapsperu.org>
- [13] Stevens, NELSO y Miranda, ROLANDO. Proyecto eólico Isla Tac. Grupo SAESA. 6 p.
- [14] Terence, HASEL, (2001).Cuaderno técnico n° 196 de Schneider Electric S.A.,28. 11.
- [15] Velásquez Santos, JORGE. Evaluación Técnica Centrales Eólicas de Malabrigo y Marcona. ADINELSA.
- [16] Velasquez, J. Mapa Eólico Preliminar del Perú [En línea]. 2007. pp. 4. Disponible en World Wide Web :< http://www.adinelsa.com.pe/energia_eolica>
- [17] Visión estratégica de la electrificación rural en el Perú. Marzo 2005. Disponible en World Wide Web: < <http://www.grupoice.com/index.html>>
- [18] World wind energy association. Wind turbines. [En línea]. 21 febrero 2008 Disponible en World Wide Web: < <http://www.wwindea.org>>

- [19] Zelada, MILCIADES (1980). Pronóstico y demanda en una micro región. Lima. pp. 3-15. [23 p.]. Ministerio de Energía y Minas.



ANEXO 1

FECHA: AGOSTO 2008

Northwind¹⁰⁰

Accessible Price Point

- \$275,000 per unit (nacelle and tower)
 - \$ 40,000 foundation
 - \$ 35,000 utility interconnection and wiring
 - \$ 30,000 cranes, erection and commissioning
 - \$ 20,000 freight, handling, misc
-
- \$400,000 installed cost

20

Traducción

- \$ 275,000 por unidad (góndola y torre)
 - \$ 40,000 cimientos
 - \$ 35,000 interconexión de utilidad y el cableado
 - \$ 30,000 grúas, construcción y puesta en marcha
 - \$ 20,000 transporte de mercancías, manipulación, misceláneos.
-
- \$ 400,000 costo de instalación

NorthWind 100

Distributed Energy Systems' NorthWind 100 wind turbine provides cost-effective, highly reliable renewable energy in demanding environments worldwide.

Designed specifically for isolated grid and distributed generation applications, the NorthWind 100 wind turbine is a state-of-the-art, village-scale wind turbine. Distributed Energy Systems has drawn on 30 years of experience to engineer a wind turbine that provides cost-effective, highly reliable renewable energy in a wide variety of applications. The patented design of the NorthWind 100 wind turbine meets the needs of small utilities and independent power producers.

Key Features

Simplicity

High reliability and low maintenance were the focus in developing the NorthWind 100 wind turbine. The design integrates industry proven robust components with innovative design features to maximize wind energy capture in rural, remote and harsh environment locations. The NorthWind 100 wind turbine features a minimum of moving parts and vital subsystems to deliver high system availability. The uncomplicated rotor design allows safe, efficient turbine operation.

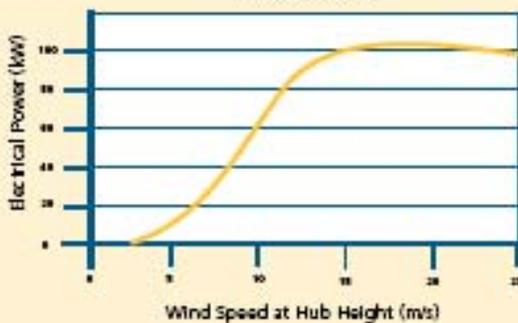
Serviceability

Our sophisticated remote monitoring and control software allows real-time accessibility of the turbine thus minimizing unnecessary service calls. When a site visit is required, all service activities can occur within the tubular tower or heated nacelle housing, providing complete protection from harsh or unpredictable weather conditions. Designated work areas provide ample room to perform service activities.

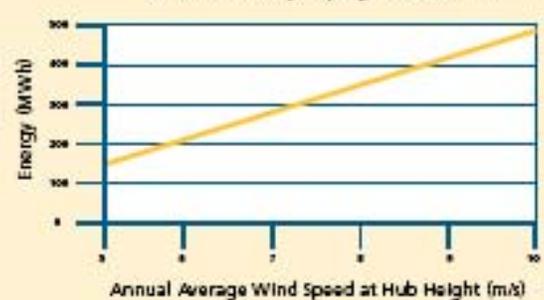
Power Quality

The NorthWind 100 wind turbine provides reliable power in distributed generation and village systems where the power grid is typically "soft and unbalanced." Our synchronous, variable speed, permanent magnet, direct drive generator and integrated power converter increase energy capture while eliminating current inrush during control transitions. This turbine can be connected to large power grids and remote wind-diesel configurations without inducing surges, effectively providing grid support rather than compromising it.

NorthWind 100/21 Wind Turbine Power Curve
Standard Density



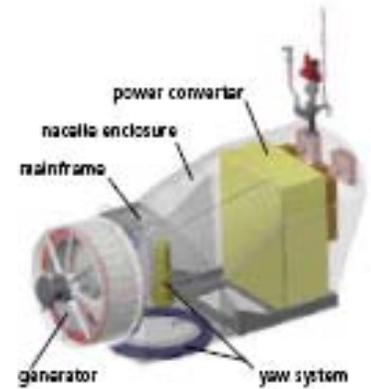
NorthWind 100/21 Wind Turbine
Annual Energy Production
Standard Density, Rayleigh Distribution



Innovative Design

Patented NorthWind 100 System

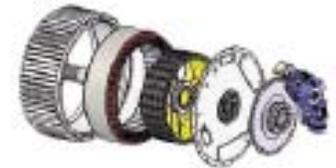
- Three fiberglass reinforced plastic blades bolted to a rigid hub that mounts directly to the generator shaft eliminates the need for rotating blade tips, blade pitch systems and speed increasing gearboxes.
- Variable speed, permanent magnet, direct drive generator/converter system is tuned to operate the rotor at the peak performance coefficient, and also allows stall point rotor control to contend with wide variation in air density found in the target applications.
- Safety system provides both normal shutdown and emergency braking backup functions.
- Advanced power converter features setpoint control of power factor and/or VARs.
- Web-based SmartView® remote monitoring system also available.



Nacelle assembly

NorthWind 100 Wind Turbine Technical Specifications

Turbine Design Class	IEC WTGS Class 5
Design Standard	Compliant with IEC 61400-1
Rated Power	100kW
Power Regulation	Variable speed stall
Rotor Diameter	19m, 20m, 21m
Hub Heights	25m, 30m
Yaw System	Active upwind
Turbine Electrical Output	400VAC, 3 phase, 50/60Hz
Grid Tolerance	+10/-15% voltage; +/- 2Hz
Grid Interface	115kVA transformer (spec available)
Operating Temperature	-40 °C to 50 °C
Lightning Protection	Compliant with IEC 61024-1
icing	to 20mm



Passively-cooled, permanent magnet, direct drive generator eliminates the drivetrain gearbox and maximizes energy capture.

Case Study

Wind-Diesel Systems in Remote Alaska

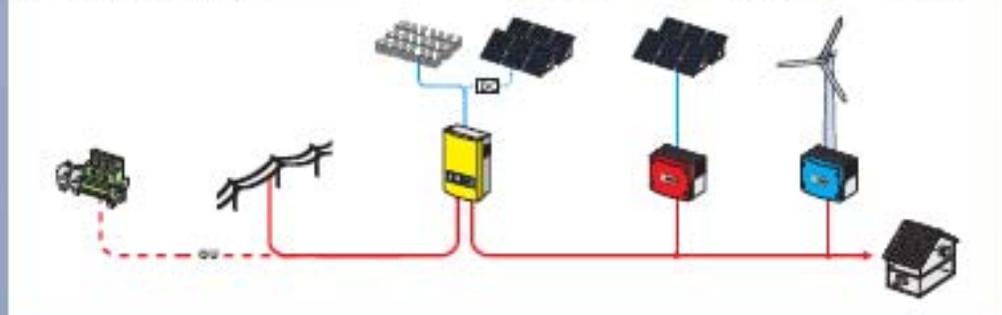
Distributed Energy Systems successfully installed and commissioned three new NorthWind 100 turbines in the community of Kasigluk, Alaska. As part of a larger wind-diesel energy initiative by Alaska Village Electric Cooperative (AVEC), these turbines will produce approximately 675,000 kWh annually. By displacing 32% of the energy normally generated by diesel fuel, the new systems are expected to generate a potential savings of over \$95,000 per year.



ANEXO 2

Datos técnicos
SUNNY ISLAND 3324 / 4248 / 4248U

	SI 3324	SI 4248	SI 4248U
Valores de salida			
Tensión nominal CA (ajustable)	110 V (102 - 120 V)	110 V (102 - 120 V)	120 V (105 - 132 V)
Frecuencia nominal (ajustable)	50 Hz (45 - 55 Hz)	50 Hz (45 - 55 Hz)	60 Hz (55 - 65 Hz)
Potencia continua CA a 25 °C / 45 °C	3300 / 3300 W	4200 / 3400 W	4200 / 3400 W
Potencia continua CA a 25 °C para 20 / 5 / 1 min.	4200 / 4400 / 5000 W	5400 / 4200 / 7000 W	5400 / 4200 / 7000 W
Corriente máx. CA	14,5 A	18 A	35 A
Corriente máx. (valor punta)	100 A (para 100 ms)	100 A (para 100 ms)	140 A (5 s)
Coefficiente de distorsión no lineal de la tensión de salida	+ 3 %	+ 3 %	+ 3 %
Factor de potencia	de -1 a +1	de -1 a +1	de -1 a +1
Valores de entrada			
Tensión de entrada (rango)	110 V (172,5 - 250 V)	110 V (172,5 - 250 V)	120 V (80 - 150 V)
Frecuencia de entrada	50 Hz (40 - 60 Hz)	50 Hz (40 - 60 Hz)	60 Hz (54 - 66 Hz)
Corriente máx. CA de entrada (ajustable)	56 A (2 - 56 A)	56 A (2 - 56 A)	56 A (2 - 56 A)
Potencia máxima de entrada	12,9 kW	12,9 kW	6,7 kW
Datos de la batería			
Tensión de la batería (rango)	24 V (21 - 32 V)	48 V (41 - 63 V)	48 V (41 - 63 V)
Corriente de carga máx. de la batería	140 A	100 A	100 A
Corriente de carga continua	104 A	80 A	80 A
Capacidad de la batería	100 - 6000 Ah	100 - 6000 Ah	100 - 6000 Ah
Regulación de carga	UoU en carga completa y carga de compensación aut.	UoU en carga completa y carga de compensación aut.	UoU en carga completa y carga de compensación aut.
Rendimiento / consumo de potencia			
Rendimiento máx. (típico)	94,5 %	95,0 %	95,0 %
Consumo característico (sin consumidores / stand-by)	22 W (± 4 W) IP30	22 W (± 4 W) IP30	22 W (± 4 W) NEMA 1 [IP30]
Grado de protección conforme a DIN EN 60529	IP30	IP30	NEMA 1 [IP30]
Protección del equipo	Cortocircuito, sobrecarga, sobretensión, sobretensión de 2 LEDs, 4 LEDs, display de 2 líneas, 1 relé	Cortocircuito, sobrecarga, sobretensión, sobretensión de 2 LEDs, 4 LEDs, display de 2 líneas, 1 relé	Cortocircuito, sobrecarga, sobretensión, sobretensión de 2 LEDs, 4 LEDs, display de 2 líneas, 1 relé
Interfaz	Interruptor de potencia, 1 relé para el control del generador diesel, RS485/RS232 separado galvánicamente (opcional)	Interruptor de potencia, 1 relé para el control del generador diesel, RS485/RS232 separado galvánicamente (opcional)	Interruptor de potencia, 1 relé para el control del generador diesel, RS485/RS232 separado galvánicamente (opcional)
Valores mecánicos			
Ancho / alto / fondo en mm	190 / 590 / 245	190 / 590 / 245	190 / 590 / 245
Peso	39 kg	39 kg	39 kg
Condiciones ambientales			
Temperatura ambiente	-25 °C... +50 °C	-25 °C... +50 °C	-25 °C... +45 °C
Garantía (U):	5 años	5 años	5 años
Accesorios			
Sensor de temperatura de la batería/sistema	suministrado	suministrado	suministrado
Administrador del generador "GenMan"	opcional	opcional	opcional



www.SMA-Iberica.com
Llamada gratuita 00800 SUNNYBOY
Llamada gratuita 00800 78669269

SMA Technologie AG

ANEXO 3

FECHA: 31 MAYO 2008

04	01	<p>TRANSFORMADOR EN BAÑO DE ACEITE CON ARROLLAMIENTO DE COBRE Y NUCLEO DE HIERRO LAMINADO EN FRIO ,DE ALTO RENDIMIENTO</p> <p>EMPRESA CORPORACION ELECTRONIC HIGH POWER SAC</p> <p>MARCA : HIGH POWER®</p> <p>REGISTRADA : INDECOPI</p> <p>PROCEDENCIA : NACIONAL</p> <p>NORMA DE FABRICACION : ITINTEC 370-002,</p> <p>POTENCIA : 85 KW / 106,25 KVA</p> <p>FASE : TRIFASICO</p> <p>VOLTAJE DE ENTRADA EN EL PRIMARIO : 480V</p> <p>VOLTAJE DE ENTRADA EN EL SECUNDARIO : 220V</p> <p>ALTURA DE TRABAJO : 1000 MSNM</p> <p>FRECUENCIA NOMINAL : 60Hz</p> <p>GRUPO DE CONEXION : Dyn 5</p> <p>CONEXIÓN : DELTA ESTRELLA</p> <p>REFRIGERACION : ONAN</p> <p>EFICIENCIA : MAYOR A 96%</p> <p>TIPO DE MONTAJE : EXTERIOR</p> <p>TENSION MAXIMA DE LA RED : 24KV</p> <p>TENSION DE SOSTENIMIENTO AL IMPULSO 1,2/50up</p> <p>DEL AISLAMIENTO EXTERNO : 125 KV</p> <p>NUMERO DE BORNES EN A.T : 3</p> <p>NUMERO DE BORNES EN B. T : 3</p> <p>NIVEL DE AISLAMIENTO EN A.T : 150KV BILL</p> <p>NIVEL DE AISLAMIENTO EN B. T : 0,6/2,5KV</p> <p>AISLADOR DE TAPAS BORNERAS POLIMERICO : M.T</p> <p>TENSION MAXIMA DE LA RED : 1,1 (KV)</p> <p>TENSION DE SOSTENIMIENTO A LA FRECUENCIA INDUSTRIAL : 3 KV</p> <p>TENSION DE CORTO CIRCUITO A 75-c : 4%</p> <p>NIVEL DE RUIDO : 45</p> <p>RIGIDEZ DIELECTRICA DEL ACEITE (KV/2,5MM) : 50</p> <p>PLACA DE CARACTERISTICAS Y PROTOCOLO DE PRUEBAS INCLUYE : ACCESORIOS</p> <p>TAMQUE CONSERVADOR CON INDICADOR VISUAL DEL NIVEL DEL ACEITE</p> <p>CONMUTADOR DE TOMAS EN VACIO DE CINCO POSICIONES</p> <p>VALVULA SOBRE PRESION</p> <p>GRIFO DE VACIADO Y TOMA DE MUESTRA DE ACEITE</p> <p>PERNO PARA CONEXIÓN DE PUESTA ATIERRA</p> <p>OREJAS DE IZAMIENTO PARA LEVANTAR EL TRANSFORMADOR COMPLETO</p> <p>DOTACION DE ACEITE DIELECTRICO</p> <p>TAPON DE LLENADO DE ACEITE</p> <p>EMBALAJE DE MADERA TIPO JAULA PARA SU ADECUADO TRANSPORTE</p>	<p>S/. 11,150.00</p>
-----------	-----------	---	----------------------

ANEXO 4

MODELO	Nbs	Nbp	Nbttotal	Area(m ²)	Precio	Capacidad (Ah)	Precio
12.AT.75	2	92	184	10,3	60.547 €	6900	No hileras deseadas
12.AT.139	2	50	100	5,6	35.569 €	6950	No hileras deseadas
12.AT.209	2	33	66	5,1	30.786 €	6897	No hileras deseadas
6.AT.279	4	25	100	5,6	32.626 €	6975	No hileras deseadas
6.AT.368	4	19	76	5,9	29.890 €	6992	No hileras deseadas
6.AT.418	4	17	68	5,3	29.040 €	7106	No hileras deseadas
2.AT.295	12	24	288	6,1	30.228 €	7080	No hileras deseadas
2.AT.361	12	20	240	6,1	30.670 €	7220	No hileras deseadas
2.AT.433	12	29	348	10,4	50.905 €	7047	No hileras deseadas
2.AT.519	12	14	168	4,3	26.677 €	7266	No hileras deseadas
2.AT.627	12	11	132	3,9	23.115 €	6897	No hileras deseadas
2.AT.731	12	10	120	4,1	23.557 €	7310	No hileras deseadas
2.AT.900	12	8	96	2,9	22.135 €	7200	No hileras deseadas
2.AT.1200	12	6	72	2,9	22.591 €	7200	No hileras deseadas
2.AT.1500	12	5	60	2,9	22.154 €	7500	No hileras deseadas
2.AT.1800	12	4	48	2,8	19.786 €	7200	19786
2.AT.2300	12	3	36	2,1	17.403 €	6900	No hileras deseadas
2.AT.3000	12	3	36	3,1	25.038 €	9000	No hileras deseadas
2.AT.3753	12	2	24	2,5	19.746 €	7506	No hileras deseadas
2.AT.4505	12	2	24	2,9	23.701 €	9010	No hileras deseadas



ANEXO 5

FECHA: 28 MAYO 2008

ITEM	DESCRIPCIÓN	Valor de Venta (S/.)	Tiempo de entrega
01	GRUPO ELECTROGENO PERKINS / NEWAGE STAMFORD MP-45	39,304.00	7 días

PRECIOS EN NUEVOS SOLES. NO INCLUYEN IGV

FORMA DE PAGO: Contra entrega

VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 días.

GARANTIA: 1 año y/o 2,400 horas, lo primero que ocurra

NOTA: El tiempo de entrega puede variar si hay venta previa.

MODELO GRUPO ELECTROGENO	UHD	MP - 45
Potencia continua	KW	42
Potencia Stand By	KW	45
Voltaje	V	220/440
Dimensiones Largo	mm	2.080
Dimensiones Ancho	mm	0.730
Dimensiones Alto	mm	1.286
Peso	Kg.	903
Capacidad de tanque	Lt.	170
MODELO MOTOR PERKINS	UHD	1103 A -33TG1
Potencia continua	KW	48.9
Nº de cilindros (en línea)		3
Sistema eléctrico	VDC	12
Alimentación de Aire		Turbo
Gobernación		Mecánica
Consumo combust. al 75% P. Cont.	Lit / hora	9.9

ANEXO 6

FECHA: 28 MAYO 2008

Por intermedio del presente le hacemos llegar nuestra propuesta económica por un Grupo Electrónico marca MITSUBISHI / MARATHON modelo MM30.

ITEM	DESCRIPCIÓN	Valor de venta (S/.)	Tiempo de entrega
01	Grupo electrógeno marca MITSUBISHI /MARATHON modelo MM30	31,950.00	Inmediata

MODELO GRUPO ELECTROGENO	UNID	MM 30
Potencia Continua	KW	28
Potencia Stand By	KW	30
Voltaje	V	3 x 380/220
Frecuencia	Hz	60
Cilindros	-	3
Inyección	-	Directa
Alimentación	-	Aspiración normal
Combustible	-	Diesel 2
Velocidad	Rpm	1800
Tanque de combustible	Gal	35

Consumo combust. al 75% P. Cont.	Lit. / hora	8.2
----------------------------------	-------------	-----

PRECIOS EN NUEVOS SOLES. NO INCLUYEN IGV

FORMA DE PAGO: 20% Adelantado. Saldo contra entrega en Lima

VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 días

GARANTIA: 1 año o 2,400 horas, lo primero que ocurra

NOTA: El tiempo de entrega puede variar si hay venta previa.



ANEXO 7

CALCULO DE COSTOS

- SISTEMA EOLICO

		Años Costos Iniciales (\$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SISTEMA EOLICO																						
	Aerogenerador	400000																				
	Inversor	27781.56																				
	Transformador	3500																				
	Banco de Baterías	10262																				

EQUIPO	COSTO INICIAL	MANTENIMIENTO	CONSUMO COMBUSTIBLE	VIDA UTIL (AÑOS)	COSTO FINAL (20 AÑOS)
Aerogenerador	440000	17600	NO APLICA	20	792000
Transformador	3500	15	NO APLICA	40	3800
Baterías	10262	47	NO APLICA	7	31632
Inversor	27781.56	90	NO APLICA	8	85144.68

TOTAL (\$)	912576.68
-------------------	-----------

- SISTEMA HIBRIDO

		Años Costos Iniciales (\$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SISTEMA HIBRIDO																						
	Aerogenerador	400000																				
	Grupo Electrogenero	10650																				
	Transformador	2967																				

EQUIPO	COSTO (\$)	MANTENIMIENTO ANUAL	CONSUMO COMBUSTIBLE	VIDA UTIL (AÑOS)	COSTO FINAL (20 AÑOS)
Aerogenerador (incluye	440000	17600	NO APLICA	20	792000
Transformador	2967	110	NO APLICA	40	5167
Grupo electrogeno	10650	110	7026.25	15	164025

TOTAL (\$)	961192
-------------------	--------

• SISTEMA DIESEL

	Años Costos Iniciales (\$)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SISTEMA DIESEL																						
Grupo Electrogeno	10650																					

EQUIPO	COSTO INICIAL	MANTENIMIENTO	COMBUSTIBLE	VIDA UTIL (AÑOS)	COSTO FINAL (20 AÑOS)
Grupo electrogeno	26204	200	71869.23	5	1546200.6

TOTAL (\$)	1546200.6
-------------------	-----------