

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR PARA EL FUNDO HUASACACHE DE LA U.C.S.M.

Tesis presentada por el Bachiller:

Gamarra Huambo, Raúl Alejandro

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico Electricista

Asesor: Mg. Castillo Cáceres Cesar Pio

**Arequipa – Perú
2019**



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL PLAN DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACION DE
ENERGIA ELECTRICA HIBRIDO EOLICO-SOLAR PARA
EL FUNDO HUASACACHE DE LA UCSM”**

Presentado por el (os) Bachiller (es):

GAMARRA HUAMBO RAUL ALEJANDRO

Nuestro DICTAMEN es:

----- *Aprobado* -----

OBSERVACIONES: *sin observaciones*

1470.
ING. CESAR CASTILLO CACERES

Arequipa, 23 de noviembre 2018.

2398
ING. VICTOR RIVERA ACOSTA



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DE ASESORÍA DE TESIS

VISTO

EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TESIS:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA
ELECTRICA HIBRIDO EOLICO-SOLAR PARA EL FUNDO
HUASACACHE DE LA UCSM”**

Presentado por el Bachiller:

GAMARRA HUAMBO RAUL ALEJANDRO

I N F O R M E

* * *Asesoría concluida* * *

OBSERVACIONES: *Sin observaciones*

Arequipa, 27 de marzo 2019.

ING. CESAR CASTILLO CACERES

[Handwritten Signature]
1470.



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACION DE
ENERGIA ELECTRICA HIBRIDO EOLICO-SOLAR
PARA EL FUNDO HUASACACHE DE LA UCSM”**

Presentado por el Bachiller:


Gamaisa Huambo Raul Alejandro.

Nuestro DICTAMEN es:

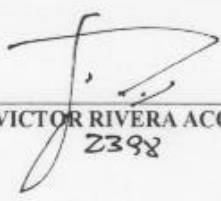
Aprobado para su respectiva sustentación

OBSERVACIONES: *Sin observaciones!*

Arequipa, *12 de abril de* 2019.



ING. CESAR CASTILLO CACERES
1470



ING. VICTOR RIVERA ACOSTA
2398



Dedicatoria:

A mis compañeros de la Universidad por haber compartido los mejores momentos de mi vida.

Gracias por todo.

Raúl Gamarra Huambo

INTRODUCCIÓN

Actualmente la aplicación y desarrollo de las tecnologías de Aerogeneración de baja potencia, y la implementación de Sistemas Fotovoltaicos, es decir los sistemas híbridos de generación es limitada en nuestro país y aún más en nuestra ciudad, a pesar de que significa una solución energética estratégica para zonas rurales que disponen del recurso eólico y solar en lugares en donde no se tiene el acceso al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional y en donde no existe redes de Transmisión y Distribución Eléctrica de dicho sistema, además en el caso de necesitar un sistema eléctrico más confiable.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos: El Primer Capítulo denominado Planteamiento Metodológico corresponde al desarrollo de la descripción del problema, los objetivos generales y específicos, alcances y la justificación del estudio.

En el Segundo Capítulo se presenta el Marco Teórico que ha servido como base teórica para el sistema de energía eólica, solar y sistemas de generación fotovoltaico eólico e híbrido.

El Tercer Capítulo trata del Diseño del sistema de generación de energía eléctrica híbrido eólico-solar para El Fundo Huasacache de la Universidad Católica de Santa María.

En el Cuarto Capítulo donde se observa el análisis y presentación de los resultados.

Finalmente se presentan las Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y sus anexos respectivos.

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla para la Universidad Católica de Santa María situada en Arequipa, del Fundo de Huasacache, en donde se ha realizado el estudio de la máxima demanda teniendo como referencia los equipos instalados y el Código Nacional de Electricidad.

Actualmente el Fundo cuenta con suministro de energía eléctrica en baja tensión BT, pero como se encuentra alejada de la red eléctrica de SEAL, a más de 300 metros, por lo que la calidad de la energía no es buena, existe una gran caída de tensión y hay interrupciones frecuentemente.

Al recopilar los datos de clima del lugar, como el viento y la irradiación solar, se determinó que la zona tiene un potencial eólico y solar, siendo esto corroborado por el Mapa eólico y solar del Perú. Por ello se propuso la instalación de tres aerogeneradores de eje horizontal BORNAY de 3 kW de potencia, y 32 paneles solares de 330Wp, para cubrir la demanda energética del Fundo Huasacache. Además, se realizó un análisis económico (hibrido – eléctrica) para determinar el sistema más beneficioso.

Palabras claves: Sistema de generación de energía eléctrica hibrido eólico.

ABSTRACT

The present work is developed for the Catholic University of Santa María located in Arequipa, of the Fundo de Huasacache, where the study of the maximum demand has been carried out with reference to the installed equipment and the National Electricity Code.

Currently the Fundo has low voltage power supply BT, but as it is far from the power grid of SEAL, more than 300 meters, so the quality of energy is not good, there is a large voltage drop and there are frequent interruptions.

When collecting the local climate data, such as wind and solar irradiation, it was determined that the area has a wind and solar potential, this being corroborated by the wind and solar map of Peru. Therefore, it was proposed the installation of three BORNAY horizontal axis wind turbines of 3 kW power, and 32 330Wp solar panels, to cover the energy demand of the Huasacache Farm. In addition, an economic analysis (hybrid - electric) was carried out to determine the most beneficial system.

Key words: Wind hybrid electric power generation system.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.	2
1.3. Justificación del estudio	2
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. La Energía Eólica.....	3
2.1.1. El Viento como Recurso Natural.....	3
2.1.2. Efecto de la Geografía	4
2.1.3. Tipos de Turbinas Eólicas.....	7
2.1.4. Aspectos sobre Impacto Ambiental.....	9
2.2. La Energía Solar	12
2.2.1. El Efecto Fotovoltaico como base de la Tecnología Solar	13
2.2.2. Tecnologías de Células Fotovoltaicas	16
2.2.3. El Panel Solar.....	19
2.3. Sistema de Generación Fotovoltaico.....	20
2.4. Sistema de Generación Eólico	28
2.5. Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico.....	33
2.6. Marco Legal.....	38
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA HÍBRIDO EÓLICO-SOLAR PARA EL FUNDO HUASACACHE DE LA U.C.S.M.	40
3.1. Requerimientos del diseño	40
3.2. Determinación de la Demanda.....	40
3.3. Determinación de los recursos energéticos	43
3.3.1. Mapas y datos de radiación solar	43
3.3.2. Mapas y datos eólico de la zona.....	45
3.4. Ubicación Geográfica del Proyecto	47

3.5. Cálculo de la energía necesaria.....	48
3.4. Dimensionado del Sistema Eólico-Fotovoltaico.....	50
3.5. Dimensionado del Sistema Eólico.	53
3.5.1. Determinación de la capacidad del Generador Eólico.....	53
3.6. Dimensionado del Sistema Fotovoltaico	64
3.7. Selección del regulador	66
3.8. Cálculo del número de baterías.....	67
3.9. Selección del inversor	69
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA HIBRIDO EÓLICO-SOLAR PARA EL FUNDO HUASACACHE DE LA U.C.S.M.DE LA U.C.S.M.....	71
4.1. Memoria descriptiva.....	71
4.1.1. Generalidades	71
4.1.2. Alcances de proyecto.....	71
4.1.3. Normas y regulaciones	72
4.1.4. Criterios de diseño.....	72
4.1.5. Suministro de energía	73
4.1.6. Descripción del proyecto	73
4.1.7. Bases de cálculo	74
4.1.8. Consideraciones en obra	74
4.2. Resultados Sistema de Energía Solar Fotovoltaica.....	82
4.3. Resultados Sistema Energía Eólica.....	83
4.4. Baterías y Regulador de Carga	84
4.5. Inversor DC/AC	86
4.6. Análisis económico del Sistema Híbrido Solar-Eólico	86
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Producción de gases contaminantes en kg/MW-h	10
Tabla 2.2: Escala de Decibelios A - db(A) (http://www.windpower.org)	12
Tabla 2.3: Eficiencia fotovoltaica en distintos materiales	21
Tabla 3.1: Valores de máxima demanda	41
Tabla 3.2: Datos de radiación solar en Arequipa - Perú (Vásquez, J. & Lloyd, P., 1987) .	43
Tabla 3.3: Datos de velocidad del viento en la estación de Huasacache	45
Tabla 3.4: Datos Geográficos de Fundo Huasacache UCSM	47
Tabla 3.5: Densidades de potencia y energía anuales por metro cuadrado.....	62
Tabla 3.6: Parámetros de diseño del sistema solar fotovoltaico.....	64
Tabla 3.7: Cantidad de paneles solares	66
Tabla 3.8: Especificaciones técnicas del inversor	70
Tabla 4.1: Características técnicas eléctricas del aerogenerador.....	85
Tabla 4.2: Análisis de costos del sistema hibrido.....	87
Tabla 4.3: Análisis de costos finales del sistema hibrido	88
Tabla 4.4: Costos tarifarios de la energía eléctrica para la tarifa BT5B.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1: Fundo Huasacache UCSM –aislado de la zona urbana (Googlemap).....	1
Fig. 2.1: Circulación del aire a escala planetaria, sin considerar la rotación terrestre.....	3
Fig. 2.2: Circulación del aire, considerando la rotación terrestre.....	4
Fig. 2.3: Recomendación en terreno plano.....	5
Fig. 2.4: Efectos de una construcción en la velocidad, turbulencia y potencia del viento ...	6
Fig. 2.5: Efecto del cambio de la rugosidad superficial de suave a rugoso	6
Fig. 2.6: Variación de la velocidad de viento según la altura en diferentes topografías	6
Fig. 2.7: Recomendaciones para la instalación de aerogeneradores luego de obstáculos ...	7
Fig. 2.8: Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica de diferentes rotores	8
Fig. 2.9: Rotores de eje horizontal.....	9
Fig. 2.10: Rotores de eje vertical	9
Fig. 2.11: Estadísticas de decesos de aves	11
Fig. 2.12: Cristales (átomos) de Silicio con inclusiones de átomos de Boro y Fósforo	14
Fig. 2.13: Esquema del efecto fotovoltaico.	14
Fig. 2.14: Panel con células monocristalinas de silicio.	15
Fig. 2.15: Panel con células policristalinas de silicio	15
Fig. 2.16: Panel de silicio amorfo o películas delgadas.....	16
Fig. 2.17: Monocristal de silicio formado por el método Cz.	17
Fig. 2.18: Células monocristalinas de secciones circular y cuadrada.....	17
Fig. 2.19: Célula Policristalina Cuadrada Fuente: http://www.plastecs.com	18
Fig. 2.20: Unión de células fotovoltaicas en un panel solar.....	19
Fig. 2.21: Esquema de un panel solar con sus células	20
Fig. 2.22: Esquema del Sistema Fotovoltaico	21
Fig. 2.23: Curvas I-V con diferentes irradiancias y temperaturas de 50° y 25°	22
Fig. 2.24: Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos	25
Fig. 2.25: Reguladores de carga	27
Fig. 2.26: Grandes Aerogeneradores y sus partes.....	31
Fig. 2.27: Pequeños Aerogeneradores y sus partes.....	33
Fig. 2.28: Bosquejo de un Sistema	34

Fig. 3.1: Distribución de la radiación solar en Arequipa - Perú.....	43
Fig. 3.2: Mapa de Radiación Solar del sur del Perú-Arequipa.....	44
Fig. 3.3: Mapa eólico del sur del Perú-Arequipa.....	46
Fig. 3.4: Ubicación Geográfica de Fundo Huasacache UCSM.....	47
Fig. 3.5: Esquema de Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico.....	51
Fig. 3.6: Procedimiento de cálculo de Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico.....	51
Fig. 3.7: Configuración de diseño de los imanes y del bobinado.....	54
Fig. 3.8: Intersección de la curva de magnetización y curva de carga; curva de transferencia de energía de imán.....	55
Fig. 3.9: Circuito eléctrico equivalente del generador.....	57
Fig. 3.10: Diagrama fasorial del circuito.....	57
Fig. 3.11: Curva de Potencia del Aerogenerador de tres palas 3kW.....	64
Fig. 4.1: Sistema híbrido de Energía Solar Fotovoltaica – Eólico.....	81
Fig. 4.2: Conexión de paneles solares para el proyecto.....	82
Fig. 4.3: Conexión de aerogeneradores para el proyecto.....	84
Fig. 4.4: Conexión de aerogeneradores para el proyecto. Elaboración propia.....	85
Fig. 4.5: Análisis de costos del sistema híbrido.....	87

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción del problema

La Universidad Católica Santa María, cuenta con una propiedad destinada a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y Agrícola y a la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, entre otras, en la que se desarrollan no solo labores académicas sino también de investigación, se encuentra ubicado a 1.4km de la Av. Paisajista y es colindante al Rio Socabaya en el sector denominado Huasacache Hunter, actualmente tiene una máxima demanda de 13.42KW.

Debido a su lejanía de la parte urbana de la ciudad, los parámetros de calidad eléctrica de la acometida por parte de la empresa concesionaria entrega valores fuera de los rangos del voltaje, caídas de tensión importantes debido a las distancias, además de sufrir constantemente de cortes de energía intempestivos.

Por otro lado, de acuerdo a los parámetros climatológicos del lugar y del área libre de la cual se podría disponer, que serían suficientes para generar la energía necesaria para dicho local, realizando una propuesta de generación mixta o híbrida tanto eólica como solar.

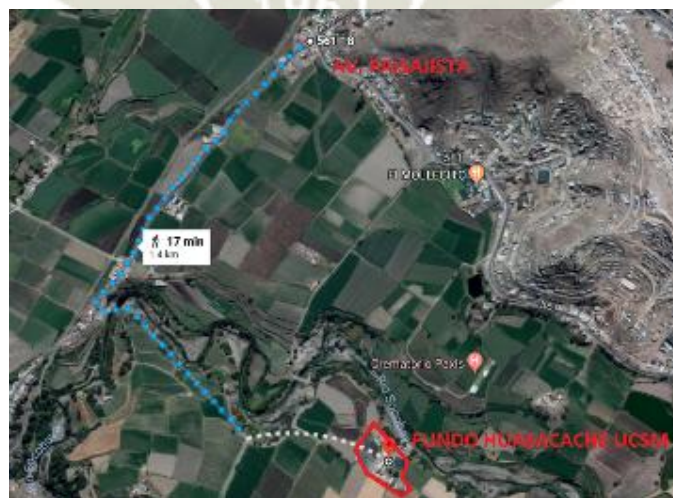


Fig. 1.1: Fundo Huasacache UCSM –aislado de la zona urbana (Googlemap)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica híbrido eólico-solar para el Fundo Huasacache de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- a Determinar los requerimientos energéticos del Fundo Huasacache de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa
- b Evaluar los recursos eólico y solar del lugar para el aprovechamiento en la producción de energía eléctrica
- c Calcular y seleccionar los equipos necesarios para el sistema de generación híbrido
- d Realizar un estudio de las características técnicas de los diferentes equipos necesarios para el diseño del sistema.
- e Determinar los costos e instalación de los diferentes equipos necesarios para el sistema de generación híbrido eólico-fotovoltaico.

1.3. Justificación del estudio

Técnicamente, se justificaría porque el sistema de generación propuesto tendrá parámetros eléctricos de calidad (relacionados tanto con el valor nominal del voltaje de generación, así como la cantidad de interrupciones), además un sistema híbrido de generación es un tema innovador porque utiliza recursos renovables, con una contaminación prácticamente nula. Protección Ambiental por la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmosfera

Económicamente, si bien es cierto un sistema de generación propuesto va a tener un costo inicial costoso, pero tenemos que considerar que en la cantidad de años a utilizarse puede competir con un sistema de generación convencional, pero la retribución económica por un tema de marketing para nuestra Universidad sería importante.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. La Energía Eólica

2.1.1. El Viento como Recurso Natural

Es conocido que las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), incluida la energía de los combustibles fósiles, provienen del sol. El sol irradia 100.000.000.000.000 kW-h de energía hacia la Tierra. En otras palabras, la Tierra recibe 1017 W de potencia. Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra.

Las corrientes de aire son causadas por diferencias de presión en diferentes regiones del planeta debido a diferencias de calentamiento en la superficie por la radiación solar. Por ejemplo, la radiación solar absorbida por la tierra en latitudes cercanas al ecuador es mayor que en los polos. El aire caliente es más ligero que el aire frío, por lo que subirá hasta alcanzar una altura aproximada de 10 km y se extenderá hacia el norte y hacia el sur. (Cádiz Deleito, 1984).



Fig. 2.1: Circulación del aire a escala planetaria, sin considerar la rotación terrestre.

El viento sube desde el ecuador y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera. Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento suba desde el ecuador habrá un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur. En los polos, habrá altas presiones debido al aire frío.

Esto tiene como consecuencia un modelo de corrientes de aire (Fig. 2.2) más complicado al mostrado en la Fig. 2.1 (Cádiz Deleito, 1984).

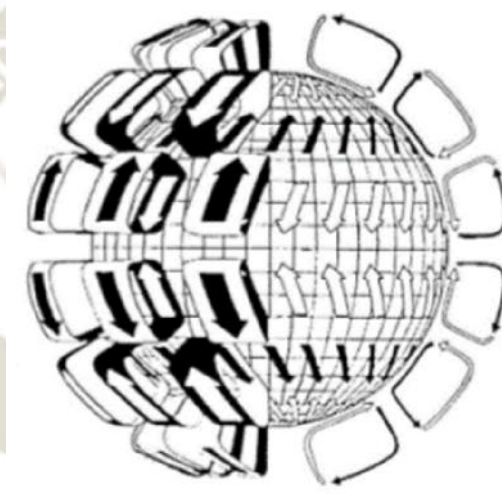


Fig. 2.2: Circulación del aire, considerando la rotación terrestre

2.1.2. Efecto de la Geografía

Las características geográficas del lugar de instalación pueden afectar severamente el comportamiento del viento y todo el proyecto puede depender de sólo este factor. Los terrenos pueden clasificarse en planos y terrenos no planos, esta es la clasificación básica para los terrenos. Los terrenos planos son aquellos que poseen pequeñas irregularidades como por ejemplo arbustos, etc. Los terrenos no planos son aquellos con grandes irregularidades ya sean elevaciones o depresiones como por ejemplo colinas, valles, cañones, picos, etc. Para poder clasificar adecuadamente un terreno como plano se requieren ciertos criterios (Cádiz Deleito, 1984):

- Las diferencias de elevación entre el lugar de instalación y el terreno circundante no deben ser mayores de 60 m en un área circular de 11,5 km de diámetro con centro en la turbina.
- Ninguna colina debe tener una relación altura/base mayor de 1/50 dentro de los 4 km corriente arriba ni corriente abajo respecto del lugar de instalación.
- La diferencia de elevación entre el punto más bajo del rotor y la mínima de las elevaciones del terreno debe ser mayor a tres veces la máxima diferencia de elevaciones del terreno (h) dentro de los 4 km corriente arriba (Fig. 1.3).

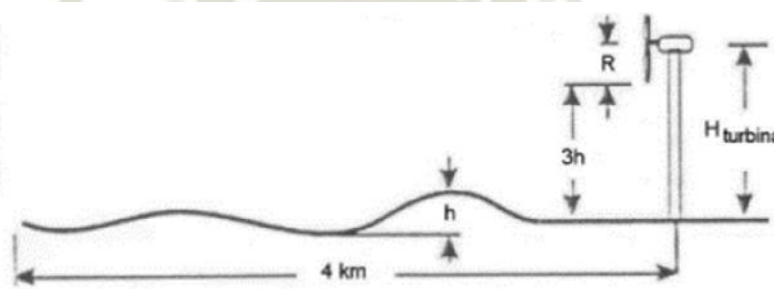


Fig. 2.3: Recomendación en terreno plano. (Tomado de Tesis Tomás Hualpa H pág. 46)

La forma más sencilla de representar estos obstáculos es con un bloque rectangular y considerar el flujo en dos dimensiones. Este tipo de flujo, como se muestra en la Fig. 2.5 produce una turbulencia y el decremento en la potencia ha sido cuantificado en base a numerosos estudios. En el ejemplo de la Fig. 2.4 se muestra este efecto debido a una construcción de altura “ hS ”, es evidente que a una distancia igual $15hS$ corriente abajo el efecto de la pérdida de potencia ya no es importante (Manwell, 2002).

El cambio en la rugosidad de los terrenos también tiene efecto sobre el perfil de velocidades del viento, según se muestra en la Fig. 2.5.

En el caso de terrenos no planos las variaciones en la geografía como las colinas, cadenas montañosas, gargantas en forma de embudo, colinas y picos producen concentraciones en las líneas de flujo lo cual se traduce en un aumento de la velocidad; también la generación de torbellinos provoca cambios en el perfil de velocidades, como se muestra en las Figs. 2.8, 2.9 y 2.10 (Manwell, 2002).

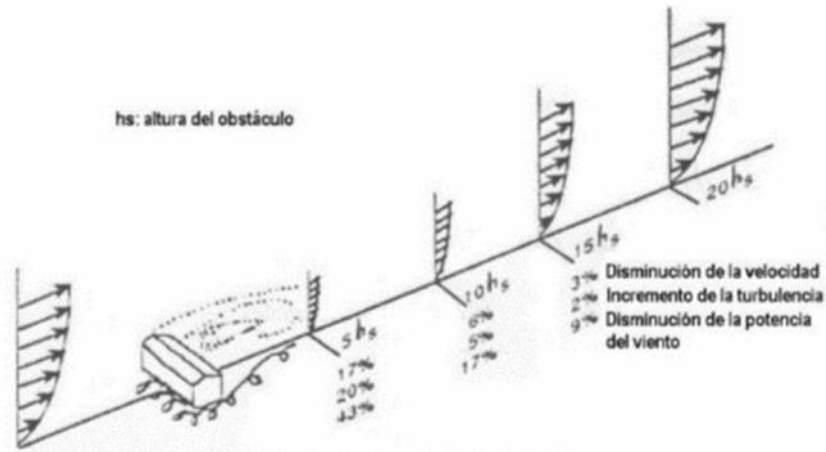


Fig. 2.4: Efectos de una construcción en la velocidad, turbulencia y potencia del viento

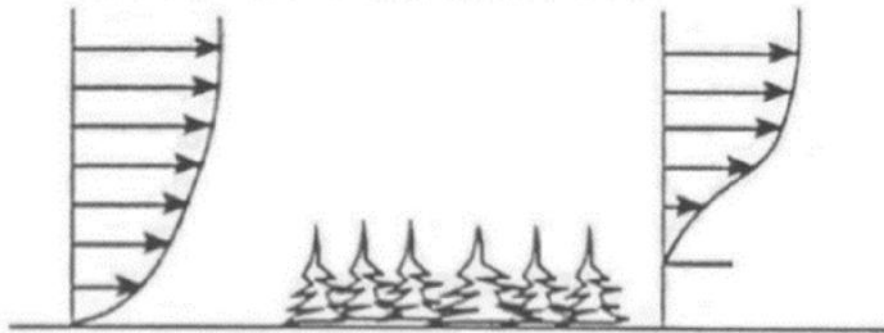


Fig. 2.5: Efecto del cambio de la rugosidad superficial de suave a rugoso

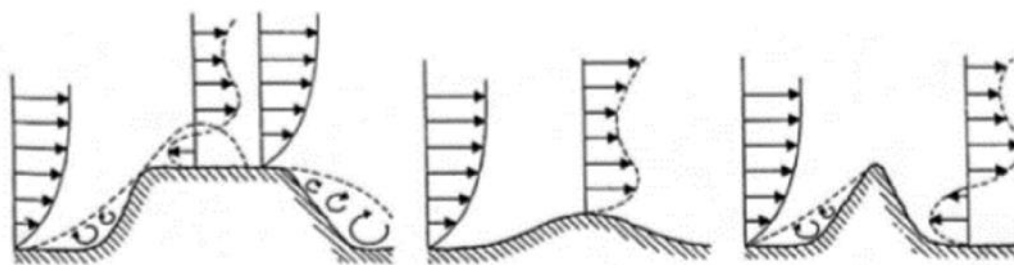


Fig. 2.6: Variación de la velocidad de viento según la altura en diferentes topografías

La Fig. 2.7 muestra recomendaciones de distancias para la instalación de aerogeneradores luego que el viento pasa por el obstáculo

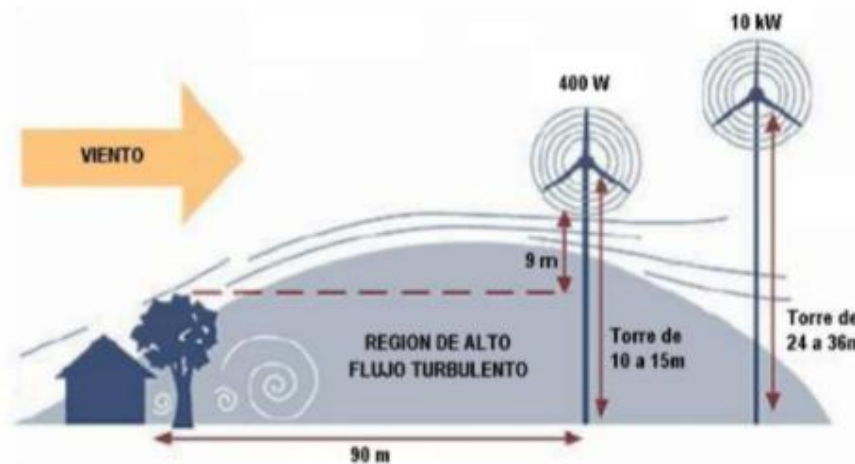


Fig. 2.7: Recomendaciones para la instalación de aerogeneradores luego de obstáculos

Fuente: <http://www.awea.org>

2.1.3. Tipos de Turbinas Eólicas

Las clasificaciones más comunes de las turbinas eólicas tienen en cuenta el nivel de potencia, la disposición del eje de giro, la velocidad de giro del rotor y las características de operación. Un concepto importante respecto a la clasificación de las turbinas eólicas es la velocidad - específica (),

Esto se define como la relación entre la velocidad tangencial debida a la rotación en el extremo más alejado de la pala y la velocidad del viento (Rosato, 1991).

$$\lambda = \frac{\omega R}{U}$$

Donde:

ω : velocidad de rotación del rotor, rad/s.

R : radio del rotor, m.

U : velocidad del viento, m/s.

En función de la potencia:

De pequeña potencia, hasta 10 kW De mediana potencia, desde 10 kW hasta 100 kW De gran potencia, superiores a 100 kW.

En función de la disposición del eje de giro: (Rosato, 1991)

De eje horizontal: (Fig. 2.9) A este grupo pertenece la mayoría de turbinas eólicas. Son los rotores más extendidos, pues presentan mejores cualidades aerodinámicas, es decir un mejor aprovechamiento de la energía del viento.

De eje vertical: (Fig. 2.10) La ventaja de estos rotores es que no requieren de sistema de orientación y se prefiere su uso en zonas donde el viento no mantiene una dirección más o menos estable. Sin embargo, su aprovechamiento de la energía del viento es bajo.

En función de la velocidad de giro del rotor: Lentos De velocidad intermedia Rápidos.

En función de las características de operación C_p vs λ . (Fig. 2.14) En la Fig. 2.8 se observa la ventaja del rotor tripala y bipala en el aspecto de la potencia pues tienen los mayores coeficientes de potencia, es decir, extraen mayor potencia del viento. Estos rotores han tenido mayor desarrollo (Rosato, 1991).

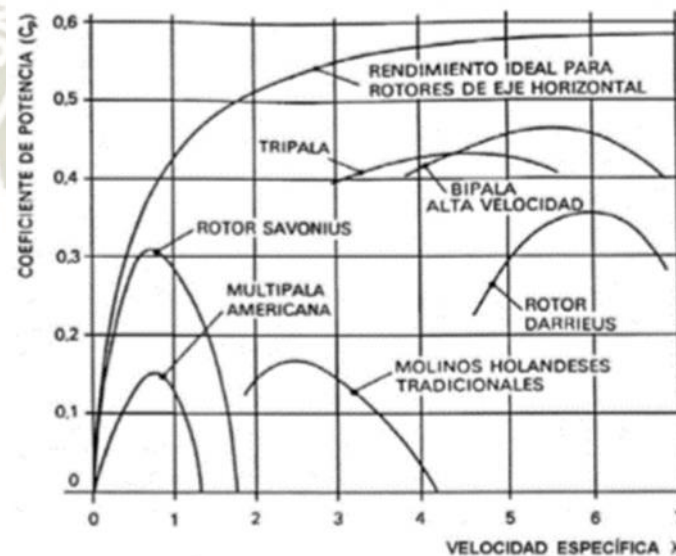


Fig. 2.8: Coeficiente de potencia en función de la velocidad específica de diferentes rotores (Rosato, 1991).

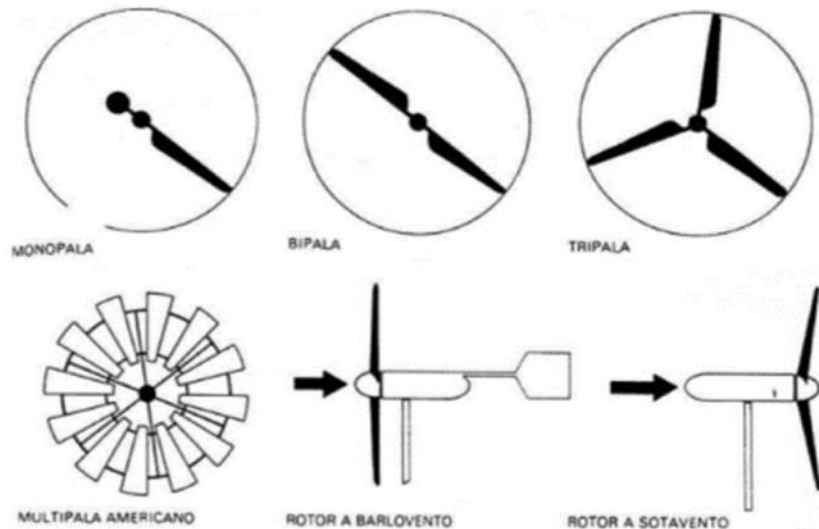


Fig. 2.9: Rotores de eje horizontal (Rosato, 1991).

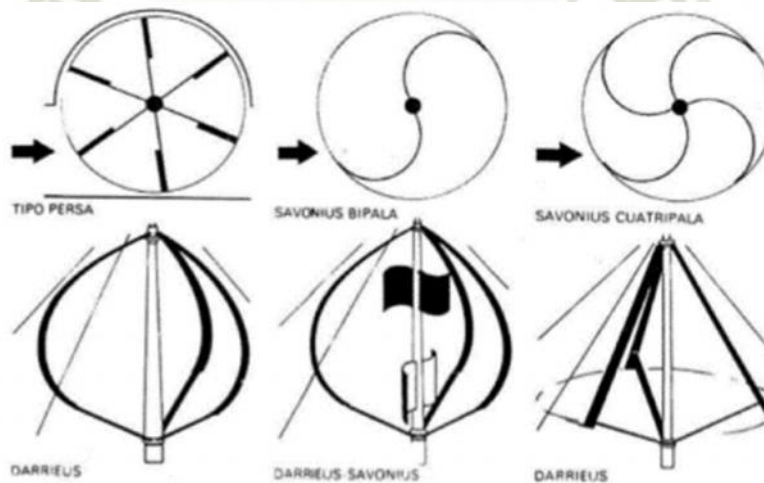


Fig. 2.10: Rotores de eje vertical (Rosato, 1991).

2.1.4. Aspectos sobre Impacto Ambiental

Los sistemas de energías renovables en general son de mucho beneficio debido a que no hay subproductos de gases contaminantes como es el caso de las plantas de energía convencionales. Se muestra en la siguiente tabla una equivalencia en la producción de gases contaminantes para dos tipos de plantas de generación de energía, a base de carbón y gas, con los sistemas eólicos (Hislop, 1992).

Tabla 2.1: Producción de gases contaminantes en kg/MW-h

Gas contaminante	Carbón	Gas	Turbinas eólicas
Óxidos de azufre	1,2	0,004	0
Óxidos de nitrógeno	2,3	0,002	0
Sólidos	0,8	0,0	0
Dióxido de carbono	865	650	0

Sin embargo, en el caso de sistemas eólicos, existen efectos nocivos sobre el medio ambiente no relacionados con la emisión de gases contaminantes. El impacto negativo sobre el medio ambiente de las turbinas eólicas puede ser clasificado en las siguientes categorías (Hislop, 1992):

- Interacción con aves
- Impacto visual sobre el paisaje
- Ruido producido

Interacción con aves

Las aves colisionan a menudo con líneas aéreas de alta tensión, mástiles, postes y ventanas de edificios. También mueren atropelladas por los automóviles. Sin embargo, rara vez se ven molestadas por los aerogeneradores. Estudios de radar en Tjaereborg, en la parte occidental de Dinamarca, donde hay instalado un aerogenerador de 2 MW con un diámetro de rotor de 60 metros, muestran que las aves (bien sea de día o de noche) tienden a cambiar su ruta de vuelo unos 100-200 metros antes de llegar a la turbina, y pasan sobre ella a una distancia segura. En la Fig. 2.17 se muestran estadísticas de decesos de aves. El único emplazamiento conocido en el que existen problemas de colisión de aves está localizado en Altamont Pass, en California. Las colisiones no son comunes ahí, aunque la preocupación es mayor dado que las especies afectadas están protegidas por ley.

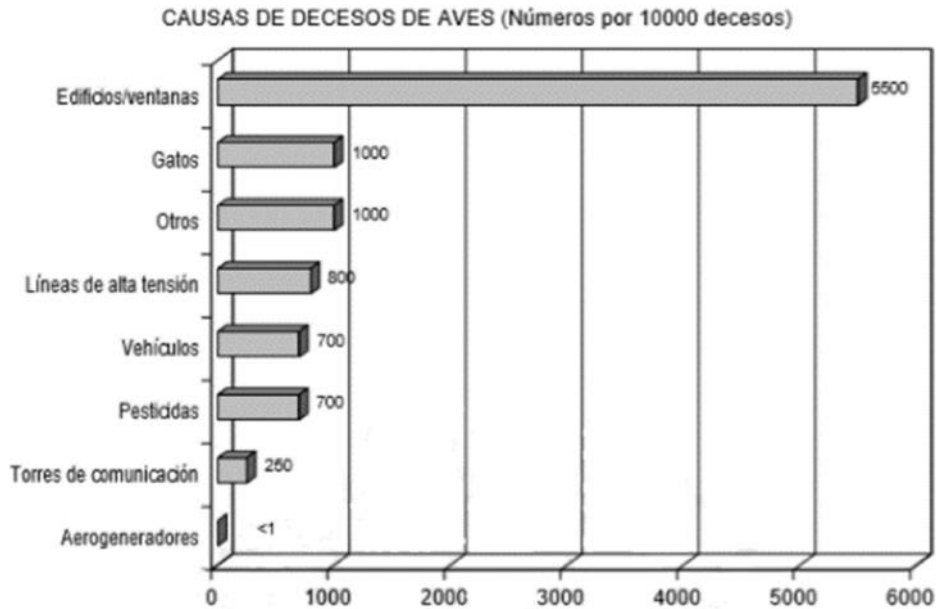


Fig. 2.11: Estadísticas de decesos de aves

Impacto visual sobre el paisaje

Comparado con los otros efectos sobre el medio ambiente, el impacto visual es el menos cuantificable pues depende en gran medida de la situación geográfica del emplazamiento. Algunos factores a tener en cuenta para el diseño del emplazamiento son el orden, la armonía con el paisaje, la continuidad en los contornos de la geografía, color.

En áreas llanas suele ser una buena idea situar las turbinas en una distribución geométrica simple, fácilmente perceptible por el espectador. Las turbinas situadas equidistantemente a lo largo de una línea recta es una buena solución. Sin embargo, existen límites a la utilidad de ser dogmáticos sobre la utilización de patrones simples. En paisajes con fuertes pendientes, rara vez es viable la utilización de un patrón simple, y suele ser mejor hacer que las turbinas sigan los contornos de altitud del paisaje, o los cercados u otras características del paisaje (Espinoza, 1992).

Ruido producido

El ruido producido es uno de los efectos de los aerogeneradores que más se ha estudiado, el ruido se define de manera práctica como sonido no deseado y sus efectos pueden clasificarse en 3 categorías generales:

- Efectos subjetivos que incluyen intranquilidad e insatisfacción.
- Interferencia con actividades como conversar, dormir, atender clases, etc.
- Efectos fisiológicos como ansiedad permanente y pérdida de la capacidad auditiva(Espinoza, 1992).

Las autoridades públicas en todo el mundo utilizan la denominada escala dB(A), o decibelios (A), para cuantificar las medidas de sonido:

Tabla 2.2: Escala de Decibelios A - db(A) (<http://www.windpower.org>)

Nivel de sonido	Umbral de audibilidad	Susurro	Conversación	Tráfico urbano	Concierto de rock	Turbo reactor a 10 cm de distancia
dB(A)	0	30	60	90	120	150

La escala de decibelios (A) mide la intensidad de sonido en todo el rango de las diferentes frecuencias audibles (diferentes tonos), y posteriormente utiliza un sistema de ponderación teniendo en cuenta el hecho de que el oído humano tiene una sensibilidad diferente a cada frecuencia de sonido. Generalmente oímos mejor a frecuencias medias (rango vocal) que a bajas o altas frecuencias. El sistema de ponderación (A) se utiliza para sonidos débiles, como el de los aerogeneradores. Existen otros sistemas de ponderación para sonidos fuertes, llamados (B) y (C), aunque raras veces se utilizan (<http://www.windpower.org>).

2.2. La Energía Solar

El origen de la energía que el Sol produce e irradia está en las reacciones nucleares que se producen en su interior. En ellas, los átomos de hidrógeno, que es el elemento más abundante del Sol, se combinan entre sí para formar átomos de helio y, al mismo tiempo, una pequeña parte de la masa de dichos átomos se convierte en energía, la cual fluye desde el interior hasta la superficie (fotosfera) y desde allí es irradiada a todo el espacio en todas las direcciones. Aunque el Sol también emite partículas materiales, la mayor parte de la energía irradiada es transportada en forma de ondas electromagnéticas (fotones) en una amplia gama de longitudes de onda diferentes, las cuales se desplazan en el espacio vacío a la velocidad

de la luz (300 000 km/s), tardando solamente ocho minutos en recorrer los 150 millones de km que hay entre el Sol y la Tierra. (Universidad de Murdoch, 2004)

2.2.1. El Efecto Fotovoltaico como base de la Tecnología Solar

La tecnología fotovoltaica convierte directamente la luz solar en electricidad. Este principio se conoce como el efecto fotovoltaico, fue observado por primera vez por el científico francés Becquerel al detectar que cuando la luz era dirigida hacia un lado de una celda simple de batería, la corriente generada podía incrementarse. En la década de 1950, los programas espaciales impulsaron el desarrollo de células solares cristalinas de silicio (Research Institute for Sustainable Energy, 2004).

El efecto fotovoltaico es la conversión de la energía que transportan los fotones de luz incidentes sobre materiales semiconductores, convenientemente tratados, en energía eléctrica. Esta energía eléctrica impulsa los electrones a través de un circuito exterior realizándose un trabajo útil.

Las células solares están constituidas por dos tipos de materiales: silicio tipo p y silicio tipo n. El silicio tipo p contiene boro, que al tener menos electrones que sus átomos vecinos de silicio para enlazarse, produce vacancias o huecos (cargas positivas). El silicio tipo n contiene fósforo que al tener más electrones que los átomos cercanos de silicio, lo que determina la conductividad electrónica (Fig. 2.12). Al ser ionizados los átomos en el silicio por la luz incidente, las cargas positivas (agujeros) son empujadas en la capa p (positiva) y las cargas negativas (electrones) son empujadas en la capa n (negativa) Estas cargas opuestas son atraídas la una a la otra, y se recombinan pasando a través de un circuito externo al material. Por lo tanto, si se establece un circuito, las células producen energía puesto que los electrones libres pueden pasar a través de la carga de consumo para recombinarse con los agujeros positivos (Fig. 2.13) (Research Institute for Sustainable Energy, 2004).

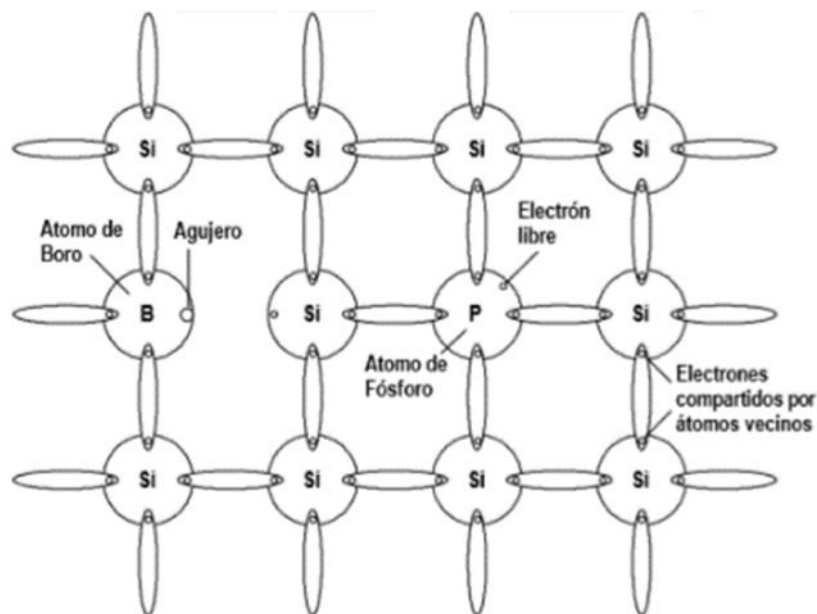


Fig. 2.12: Cristales (átomos) de Silicio con inclusiones de átomos de Boro y Fósforo

Fuente: <http://www.rise.org.au>

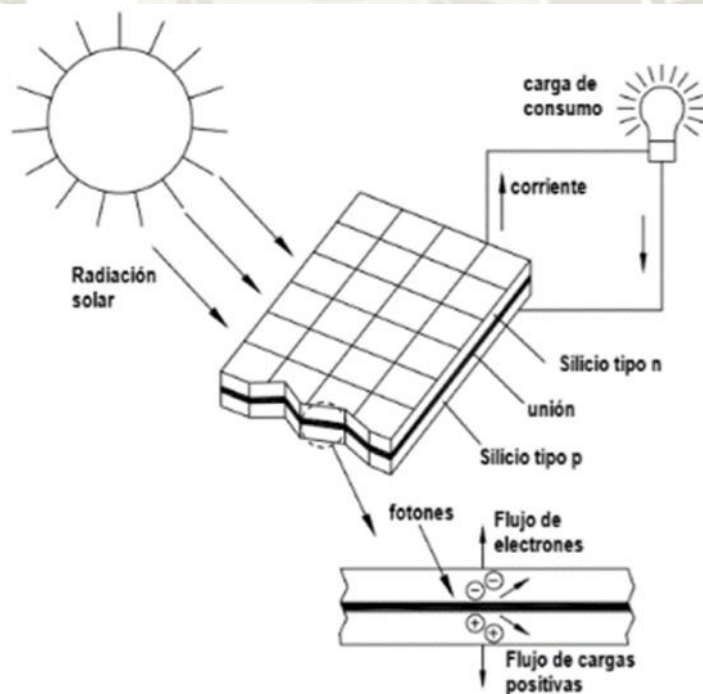


Fig. 2.13: Esquema del efecto fotovoltaico. (Fuente: <http://www.rise.org.au>)

Los primeros paneles solares se hicieron con células monocristalinas de silicio (Fig. 2.14) y a la fecha se siguen produciendo y lideran el mercado. Posteriormente aparecieron los

paneles con células policristalinas de silicio (Fig. 2.15), de fabricación más económica, eficiencia menor y de forma cuadrada lo que permite aprovechar mejor el área del panel. La tecnología más reciente es la de películas delgadas, que a diferencia de las anteriores tecnologías el panel no está compuesto por células individuales (Fig. 2.16) (Research Institute for Sustainable Energy, 2004).

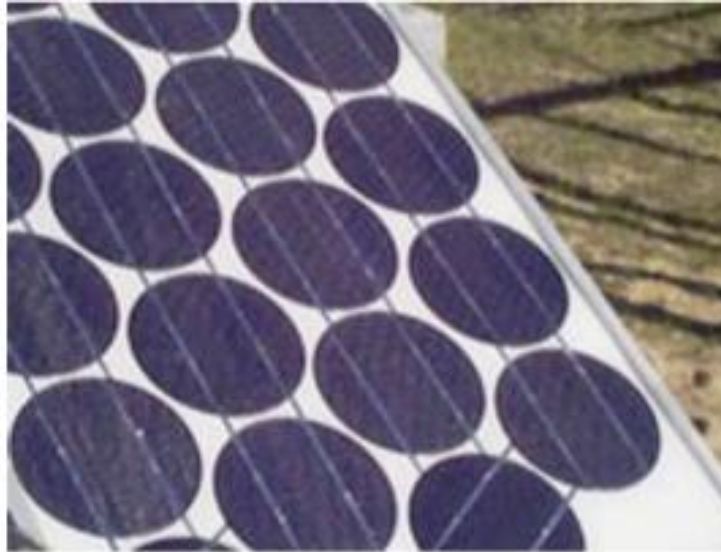


Fig. 2.14: Panel con células monocristalinas de silicio. (Fuente: <http://www.rise.org.au>)

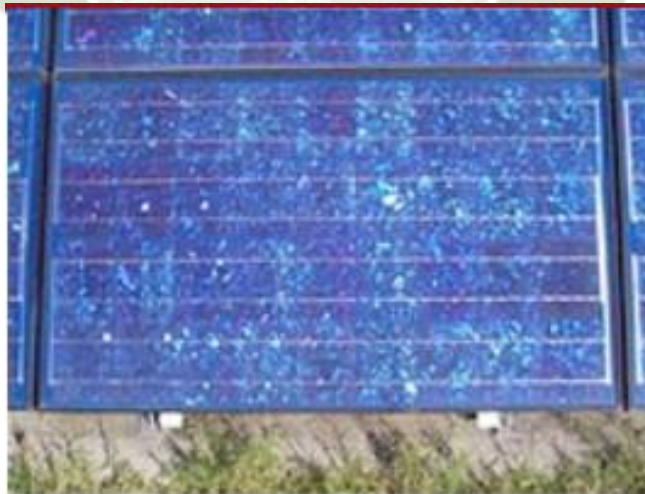


Fig. 2.15: Panel con células policristalinas de silicio (Fuente: <http://www.rise.org.au>)



Fig. 2.16: Panel de silicio amorfo o películas delgadas (Fuente: <http://www.rise.org.au>)

Las primeras aplicaciones de la electricidad fotovoltaica fueron en sondas o vehículos espaciales, para la alimentación de equipos de control, de medición o de retrasmisión de datos. Posteriormente se inició la producción industrial de paneles para aplicaciones terrestres de electrificación de viviendas o estaciones de telecomunicaciones aisladas, y es a partir de fines de la década de 1980 que los paneles fotovoltaicos empiezan a ser más competitivos en el mercado. (Fernández Díez, “Energía Eólica”, 2002)

2.2.2. Tecnologías de Células Fotovoltaicas

Los modernos dispositivos comerciales fotovoltaicos emplean el silicio como material base. Las tecnologías de células solares presentes en el mercado son la monocristalina, la policristalina y la de silicio amorfo o tecnología de películas delgadas (Research Institute for Sustainable Energy, 2004).

Células Monocristalinas.

Estas células fueron las que primero se produjeron. El método Czochralski (de manera abreviada Cz) es el procedimiento típico para la fabricación de las células monocristalinas. Primero se debe obtener silicio extremadamente puro a partir de la sílice (material muy abundante en la superficie terrestre), el cual luego se funde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro hasta formar una masa denominada silicio tipo p a 1400 °C. Estando en estado líquido se introduce una varilla en cuyo extremo hay un cristal germen de silicio sobre el cual se van depositando otros átomos procedentes del material líquido que quedan perfectamente ordenados siguiendo la estructura del cristal.

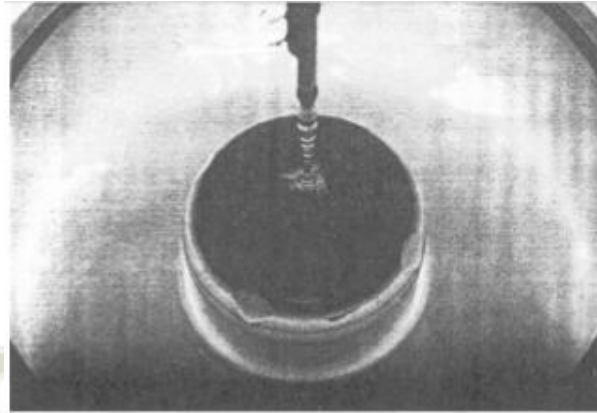


Fig. 2.17: Monocrystal de silicio formado por el método Cz. (Tomado de Ref. 1.4, pág. 63, Fig. 5. Tesis Tomás Hualpa H.)

Una vez enfriado el monocrystal cilíndrico, es cortado en obleas circulares o cuadradas (el monocrystal es cortado previamente como paralelepípedo) de espesores pequeños de 0,3mm que luego son puestas en hornos. Estas obleas contienen boro, por lo que sobre una de las caras se depositan átomos de fósforo para que se difundan bajo la superficie de la oblea. Seguidamente se da un tratamiento antirreflejante que consiste en la formación de estructuras piramidales muy pequeñas sobre la superficie que va a recibir la radiación, para que el rayo reflejado tenga más posibilidades de volver a incidir sobre las células antes de perderse definitivamente.

La eficiencia o rendimiento de una célula monocristalina no supera el 15%. Ocurren pérdidas por reflexión, por incidencia de los rayos sobre la rejilla metálica donde no se produce efecto fotovoltaico, y por efecto Joule al circular una corriente por la célula.

La Fig. 2.18 muestra los tipos de células monocristalinas producidas comercialmente.



Fig. 2.18: Células monocristalinas de secciones circular y cuadrada. (Fuente: <http://www.siliconsolar.com>)

Células Policristalinas o Multicristalinas

El proceso de fabricación es similar al de las células monocristalinas, solo que en vez solidificar un monocristal, se deja enfriar la pasta de silicio en un molde rectangular. El sólido formado contiene muchos pequeños cristales o granos de silicio, del cual se cortan las células policristalinas o multicristalinas cuadradas (Fig. 2.19).

El rendimiento de estas células es de alrededor del 12%,3 su precio de es inferior a las monocristalinas y la forma cuadrada de la célula permite aprovechar al máximo el área del panel (<http://www.plastecs.com>).

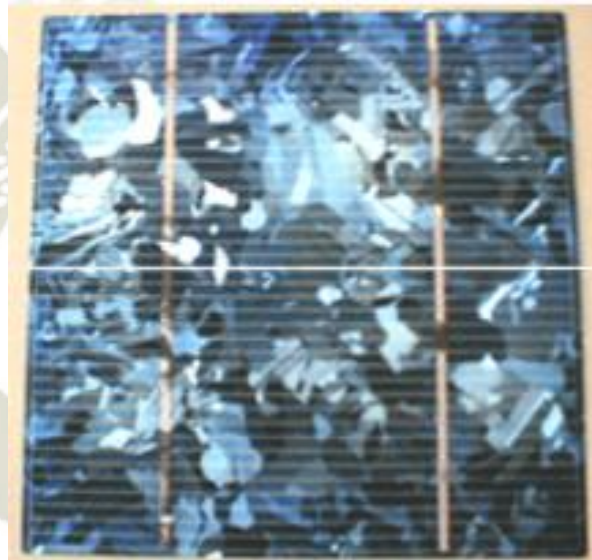


Fig. 2.19: Célula Policristalina Cuadrada Fuente: <http://www.plastecs.com>

Tecnología de Películas Delgadas

Esta tecnología tiene la ventaja de no producir desperdicio de material semiconductor en forma de polvo como sucede con las anteriores tecnologías como resultado del proceso de cortar las células a partir de una pieza inicial. Este método consiste en producir una fina tira de material policristalino que se corta en trozos rectangulares. La tecnología de películas delgadas no produce células individuales para posteriormente conectarlas eléctricamente en serie o paralelo, sino una capa muy fina de 1 ó 2 μm de espesor de material semiconductor que se deposita sobre un sustrato apropiado, formándose un módulo continuo que no requiere de interconexiones interiores. El tipo de película que se produce más es la de Silicio-

Hidrógeno (TFS) que es el material semiamorfo que se observa en las calculadoras, relojes, radios portátiles y otros pequeños dispositivos solares y en paneles de mayor potencia

Las eficiencias que se obtienen están entre 6 a 9%, el proceso de fabricación requiere menos material y su costo de producción es menor. Sin embargo, se presenta cierta degradación en la salida de potencia con el paso del tiempo.

2.2.3. El Panel Solar

Las células fotovoltaicas, monocristalinas y policristalinas, son conectadas en serie o en paralelo para alcanzar el voltaje de salida requerido por el panel solar, de 12 ó 24V. Una célula solo puede proporcionar un voltaje de alrededor de 0,5 V y una potencia máxima de 1 ó 2 W. La conexión de las células se efectúa por soldadura, se une el dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente (Fig. 2.20). Un panel de 12 V nominales requiere de 30 a 40 células, según las características que tengan éstas (CENSOLAR, 1992).

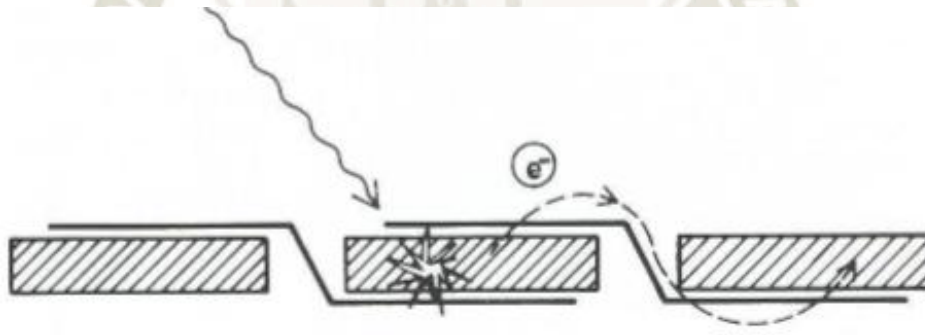


Fig. 2.20: Unión de células fotovoltaicas en un panel solar. (Tomado de Ref. 1.4, pág. 76, Fig. 2 Tesis Tomás Hualpa H.)

Realizadas las conexiones eléctricas, las células son encapsuladas en una estructura tipo sándwich, que consiste en una lámina de vidrio templado, otra de un material orgánico como el acetato de etileno-vinilo (EVA), las células, otra capa de sustrato orgánico y finalmente una cubierta posterior compuesta por varias láminas de polímeros u otro vidrio (Fig. 1.21). Este encapsulado tiene variaciones entre fabricantes. El sellado al vacío y la encapsulación se hace en un horno especial. El perímetro del panel se cubre con neopreno u otro material que lo aislé de las partes metálicas del marco soporte de aluminio anodizado o acero inoxidable (CENSOLAR, 1992).

Dentro de lo que es control de calidad, el panel solar es sometido a pruebas como ciclos térmicos que varían desde -40 a 90°C , ciclos de humedad y congelación y pruebas de vientos fuertes junto con su estructura. Los paneles pueden tener formas cuadradas o rectangulares, con superficies de $0,1\text{ m}^2$ hasta 1 m^2 . El espesor de un panel sin incluir el marco protector no sobrepasa los 3 cm .

En cuanto al peso, los paneles son relativamente ligeros, por ejemplo, un panel de $0,5\text{ m}^2$ puede pesar entre 6 a 7 kg . Comercialmente en el rango de los 100W existen paneles solares con potencias máximas o pico de 50W , 75W , 100W , 120W (CENSOLAR, 1992).

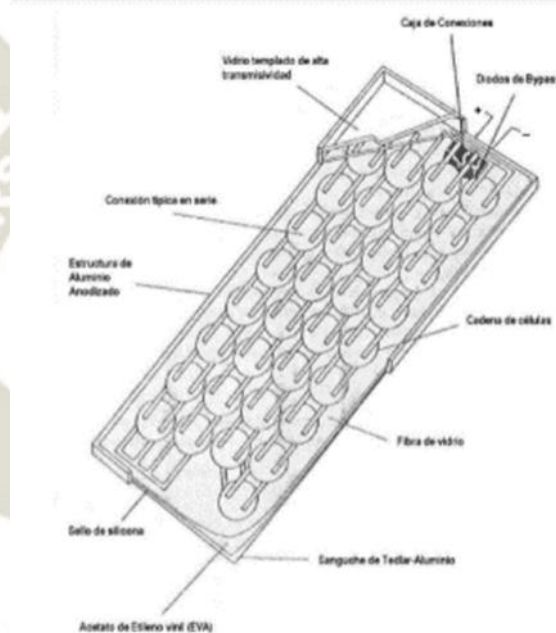


Fig. 2.21: Esquema de un panel solar con sus células (Hislop, Drummond, 1992).

2.3. Sistema de Generación Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de elementos que son capaces de realizar suministro de electricidad para cubrir las necesidades planteadas a partir de la energía procedente del sol. El sistema Fotovoltaico está constituido por un conjunto de componentes básicos: paneles fotovoltaicos, regulador, baterías eléctricas, inversor y cargas (Alfonso Muñoz, 2012).

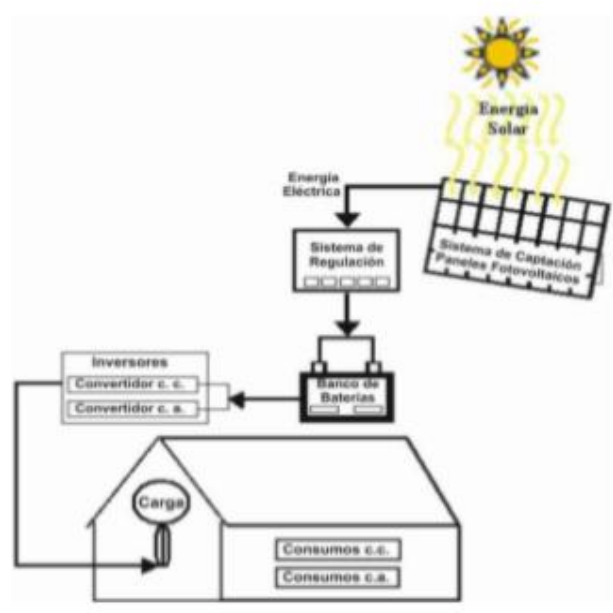


Fig. 2.22: Esquema del Sistema Fotovoltaico

Dependiendo del material, los precios de fabricación y la eficiencia del sistema varia como se puede ver en la Tabla 2.3

Tabla 2.3: Eficiencia fotovoltaica en distintos materiales

Tecnología	Símbolo	Características	Eficiencia de celdas en lab(%)	Eficiencia típica comercial(%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24	13-15
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19	12-14
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17	8-11
Silicio amorfo (Incluye tandems de silicio-germanio)	a-Si	Película delgada	9	
Diseleniuro de cobre-indio / gallo	CIGS	Película delgada	18	8-11
Telurio de cadmio	CdT	Película delgada	18	7-10
Celdas organicas (incluye celdas de TiO2 sensibles a la humedad)		Película delgada	11	
Celdas tándem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y Película delgada	30	
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y Película delgada	33 (tándem) 28(solo)	

El panel solar consiste en celdas solares que colectan la radiación solar y la transforman en energía eléctrica. A esta parte del sistema se la conoce generalmente como modulo solar (Figura 2.23) o generador fotovoltaico. Un banco de paneles se instala conectando un conjunto de paneles en serie y/o en paralelo a fin de proporcionar la energía necesaria para una carga específica. La corriente que da un banco de paneles varía proporcionalmente a la radiación solar. Esta variara en el tiempo debido a las condiciones climatológicas, la hora del día, la estación del año, etcétera.

El rendimiento eléctrico de un módulo solar está representado por la curva característica I-V (Figura 2.23), que representa la corriente generada en función del voltaje para una radiación específica.

Hay diferentes tipos de módulos disponibles en el mercado dependiendo de las exigencias de potencia de su aplicación. Los módulos más comunes se componen de 32 ó 36 celdas solares de silicio cristalino. El área del módulo varia comúnmente entre 0,1 y 0,5 m². Los paneles solares usualmente tienen dos contactos eléctricos, uno positivo y uno negativo. (Ministerio de Energía y Minas, 2007)

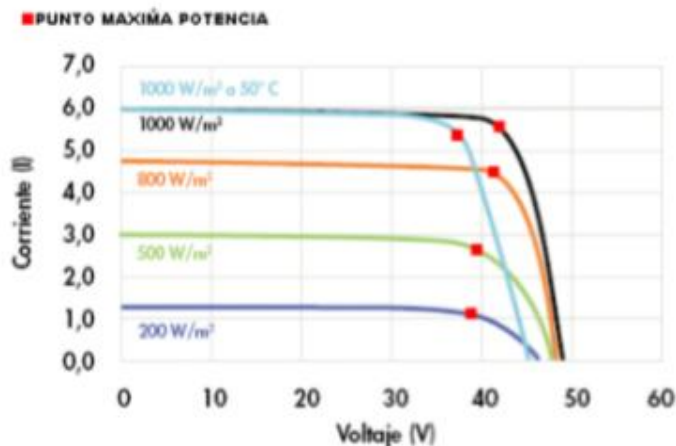


Fig. 2.23: Curvas I-V con diferentes irradiancias y temperaturas de 50° y 25°

Un panel solar tiene los siguientes parámetros que lo caracterizan son: (CENSOLAR, 1992)

1. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ISC): Es la máxima intensidad de corriente que proporciona el panel, y corresponde a la corriente que entrega cuando se conectan directamente los dos bornes.

2. TENSION DE CIRCUITO ABIERTO (VOC): Es el máximo voltaje que proporciona el panel y ocurre cuando los bornes no están conectados a ninguna carga (circuito abierto). VOC suele ser de 22 V para paneles que vayan a trabajar a 12V, y es directamente proporcional al número de celdas asociadas en serie.

3. PUNTO DE MAXIMA POTENCIA (Pmax): Es un punto de funcionamiento para el cual la potencia entregada es máxima, donde $P_{max} = I_{max} \times V_{max}$. El punto de máxima potencia del panel se mide en Vatios (W) o Vatios pico (WP). Es importante no olvidar que en condiciones normales el panel no trabajaría en condiciones pico ya que el voltaje de operación está determinado por la carga o la batería. Los valores típicos de V_{max} y de I_{max} son algo menores a los de ISC y VOC.

4. FACTOR DE FORMA (FF): El factor de forma es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto de $ISC \times VOC$. Da una idea de la calidad del panel porque es una medida de lo escarpada que es su curva característica, de forma que cuanto más se aproxima a la unidad, mayor potencia puede proporcionar. Los valores comunes suelen estar entre 0,7 y 0,8.

5. EFICIENCIA O RENDIMIENTO (n): Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar a la carga y la potencia de la radiación solar (PL) que incide sobre el panel. Es habitualmente en torno al 10% dependiendo del tipo de celda (mono cristalina, poli cristalina, amorfa o película delgada).

Considerando las definiciones de punto de máxima potencia y de factor de forma, la eficiencia se define con la ecuación

$$n = P_{max} / PL = FF \times ISC \times VOC / PL$$

Los valores de ISC, VOC, IP_{max} y VP_{max} son proporcionados por los fabricantes y hacen referencia a las condiciones estándar de medición con valores de irradiancia de $G = 1.000 \text{ W/m}^2$, al nivel del mar, y para una temperatura de las celdas $T_c = 25^\circ\text{C}$.

Para calcular el número de paneles necesario para alimentar una determinada carga, es suficiente conocer los valores de intensidad y tensión para el punto de máxima potencia: IP_{max} and VP_{max} . Un panel no va a trabajar bajo condiciones ideales ya que ni la carga ni

el sistema regulador van a trabajar siempre con el punto de máxima potencia del panel. Para compensar esto, se debe añadir en los cálculos una pérdida de eficiencia del 5%.

El número de paneles usados deberán incrementar se hasta que la cantidad de energía generada exceda ligeramente las demandas de su carga (Wilfredo Pimentel, 2011).

Orientación de los Módulos Fotovoltaicos:

Los módulos fotovoltaicos se colocan generalmente sobre los tejados o en patios. Un aspecto fundamental es cerciorarse de que ningún objeto proyecte su sombra sobre los módulos, al menos en las horas centrales del día (Castillo, 2012).

La orientación de los módulos se define a partir de dos ángulos principales:

Angulo azimutal de la superficie (α): ángulo entre la proyección de la normal a la superficie en el punto horizontal y la dirección sur-norte (para localizaciones en el hemisferio norte) o norte-sur (para localizaciones en el hemisferio sur).

Inclinación (β): ángulo entre el plano de la superficie a considerar y la horizontal.

La máxima captación en los colectores solares con estructura y orientación fija, se logra colocando los modulo dirigidos hacia el Sur en el caso de una región en el hemisferio Norte, y hacia el Norte en el caso de ubicaciones en el hemisferio Sur ($\alpha = 0^\circ$). Con dicha orientación, la máxima captación en promedio anual se obtiene inclinando los paneles un ángulo igual a la latitud de la región en que se instalan. Las variaciones en la inclinación de 15° respecto al ángulo óptimo produce una reducción aproximada del 2,5% en la capacidad de captación del panel.

Si se desea maximizar la captación de energía en las mañanas, el panel debería orientarse al Este ($\alpha = 75^\circ$) con una inclinación mayor de la acostumbrada (mayor que la latitud). En lugares en que existe asimetría de radiación solar en las mañanas y en las tardes, por ejemplo, por el aumento de nubosidad en las tardes, provocan que el máximo de captación, no se logre con azimutal $= 0^\circ$, sino con una orientación ligeramente hacia el Este.

Pero siempre debe buscarse que la orientación sea lo más cercana a la orientación que maximiza la captación anual ($\alpha = 0^\circ$, $\beta = \text{latitud} > 10^\circ$).

En el caso de estudio, por estar ubicados en el Departamento de Ancash Perú, se encuentra en el hemisferio sur, por lo que deberíamos orientar el sistema hacia el norte, y sobre la inclinación por tener latitudes entre 9° y 10° tendremos siempre una orientación de 15° por cuestiones de protección contra paredes artificiales de agua lluvia y acumulación de polvo.

Calculo de sombras (CENSOLAR, 1992):

Las sombras causadas por obstáculos circundantes varían a lo largo del día, dependiendo de la latitud del lugar, la fecha y la hora; causando pérdidas de radiación solar en los captadores. Existen distintos tipos de sombreados:

1. Entre captadores de la instalación solar
2. Por edificios, arboles, montañas, etc.

La distancia mínima entre líneas de colectores debe de ser la adecuada para que la sombra de la arista superior de una fila se proyecte, como mucho, sobre la arista inferior de la siguiente. Este cálculo se lo debe realizar al mediodía solar del día más desfavorable cuando la altura solar sea mínima. Habitualmente en el día más des favorable del periodo de utilización, la instalación no ha de tener más del 5% de la superficie útil de captadores cubierta por sombras. En la Figura 2.24 Se puede observar cual es la distancia mínima entre paneles (Fernández, P. 2002).

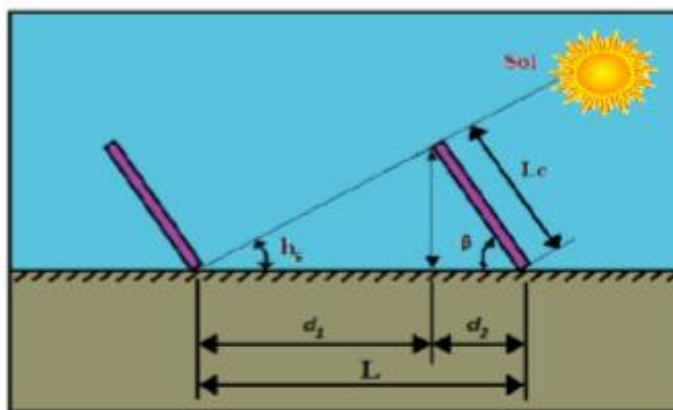


Fig. 2.24: Distancia mínima entre paneles fotovoltaicos

Según la Figura 2.24 la distancia mínima entre captadores se define con la ecuación

$$L = d1 + d2 = Lc * \left[\frac{\sin s}{\tan h s} + \cos s \right]$$

Donde Lc es la altura del captador, s es su inclinación, L es la longitud de la sombra y la relación básica entre la longitud de la sombra (L_{sombra}), la altura del obstáculo (H_{obst}) y la altura solar (h_s) es:

$$\tan h s = \frac{H_{obst}}{L_{sombra}}$$

La metodología usada para el cálculo de sombras provocadas por distintos obstáculos consta de dos pasos:

- Obtención del perfil de obstáculos. Utilizando como referencia la arista N-S se observa el entorno, a ambos lados de esta línea, del captador desde el punto medio de su arista inferior, y se determina las alturas angulares (H_{obst}) de los obstáculos definiendo la posición de estos de acuerdo a su ángulo acimutal.
- Representación del perfil de obstáculos. Se analiza la altura angular y la dirección de los árboles y edificios, que se encuentran cerca de la instalación solar, los cuales interrumpen los rayos solares.

Modulo Fotovoltaico

Consiste en un total de 36 celdas fotovoltaicas.

En el caso que el módulo fotovoltaico cuente con un marco, este debe ser de aluminio anodizado y rígido. La fijación del módulo fotovoltaico a su soporte sólo podrá realizarse mediante elementos mecánicos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.).

Verificar que no se presenten en el módulo fotovoltaico los siguientes defectos visibles:

- Células rotas o agrietadas.
- Células desalineadas.
- Restos notables de la metalización en la cara frontal de las células.
- Impurezas en el laminado.
- Burbujas en el encapsulado.
- Rotura del vidrio frontal.

- Rotura de la cinta de conexión.
- Ilegibilidad o borrado de la etiqueta.
- Módulo sucio con manchas de silicona o encapsulante.
- Tedlar dañado o perforado.
- Caja de conexiones rota o con desprendimiento total o parcial.
- Intersticios en la unión entre el marco de aluminio anodizado y el módulo fotovoltaico, donde puedan ingresar agua o elementos extraños

Debe estar certificado de acuerdo a la norma internacional IEC-61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo”, IEEE-1262 “Recommended Practice for Qualification of Photovoltaic (PV) Modules” o equivalente.

Debe tener un certificado de garantía del fabricante sobre la potencia pico del módulo fotovoltaico. Debe indicarse en el certificado la marca, modelo y potencia pico del módulo y el tiempo de garantía.

El Regulador de carga

Este componente tiene la finalidad de producir el acople correcto entre el modulo, la batería y la carga, e impide las sobrecargas o sobre descargas controlando el voltaje de la batería. La función de regulación de carga idealmente debería depender directamente del estado de carga en la batería.

El regulador de carga se conoce también como controlador de carga o regulador de voltaje (Figura 2.25). El regulador se posiciona entre el banco de paneles, la batería y el equipo o carga.



Fig. 2.25: Reguladores de carga

Como el punto de operación de máxima potencia del banco de paneles va a variar con la temperatura y la iluminación solar, los reguladores modernos son capaces de rastrear el punto de potencia máxima del banco de paneles solares.

Para seleccionar un regulador, debemos conocer al menos, la tensión de trabajo y la máxima corriente que puede manejar. La tensión de trabajo será de 12, 24 o 48 V. La máxima corriente debe ser 20% más grande que la proporcionada por los paneles conectados al regulador.

Otras características y datos de interés son:

- Máxima corriente de suministro a la batería
- Indicador de bajo voltaje de la batería
- Indicador de carga solar
- Voltaje de entrada de carga de batería
- Voltaje de entrada de descarga de batería
- Tipo de regulación
- Dispositivo de reinicio
- Protección eléctrica
- Protección contra polaridad inversa
- Voltajes de entrada regulables
- Su carcasa debe ser a prueba de agua

2.4. Sistema de Generación Eólico

Un sistema eólico es un conjunto de máquinas eólicas (Aerogeneradores) accionadas por el viento que son capaces de suministrar electricidad a gran escala o a viviendas, granjas o pequeños núcleos rurales. Las máquinas eólicas de producción de energía eléctrica se diferencian en función de las potencias nominales: a) Grandes aerogeneradores y b) Pequeños aerogeneradores (Green Energy Consultoría y Servicios SRL, 2010).

a) GRANDES AEROGENERADORES

Aerogeneradores destinados a la producción de energía eléctrica a gran escala, cuya potencia nominal es de cientos de kilovatios (en la actualidad las máquinas instaladas tienen potencias nominales de 600, 900 kW hasta 5 MW).

Torre: Estructura que soporta el aerogenerador (góndola y el rotor), mejor cuanto más alta es, a mayor altura mayor velocidad de viento, un aerogenerador de 600 kW puede estar en torno a los 50 metros. Las torres pueden ser tubulares (más seguras) o, de celosía (más baratas).

Turbina Eólica: Se encarga de captar energía cinética del viento y transformarla en energía mecánica en su eje.

Los componentes de la turbina eólica son:

Buje: Centro del rotor donde se encastran las palas.

Eje de Buje: Eje de baja velocidad del aerogenerador conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 600 kW el rotor gira bastante lentamente, de unas 19 a 30 revoluciones por minuto (r.p.m.). El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

Pala: Transforma por aprovechamiento aerodinámico la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

Góndola: Ubicada en la parte superior del aerogenerador, dentro se encuentran el multiplicador, el generador eléctrico o el sistema de orientación, los 2 primeros son componentes claves del aerogenerador. Las palas, el rotor del aerogenerador y el buje están situados a la izquierda de la góndola (Green Energy Consultoría y Servicios SRL, 2010).

Los componentes de la góndola son: (Green Energy Consultoría y Servicios SRL, 2010)

Anemómetro: Mide la velocidad del viento, envía señales al controlador electrónico conectando el aerogenerador cuando el viento alcance la velocidad de arranque, Si la velocidad es superior a la de corte, el ordenador parará el aerogenerador para evitar los desperfectos.

Controlador electrónico: Equipado con un ordenador para monitorear las condiciones del aerogenerador y controlar el mecanismo de orientación, en caso de disfunción automáticamente detiene el aerogenerador y da aviso al ordenador del operario encargado de la turbina.

Eje de alta velocidad con su freno mecánico: Gira aproximadamente a 1,500 revoluciones por minuto (r.p.m.) lo que permite el funcionamiento del generador eléctrico. Está equipado con un freno de disco mecánico de emergencia. El freno mecánico se utiliza en caso de fallo del freno aerodinámico, o durante las labores de mantenimiento de la turbina.

Generador eléctrico: Transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Existen fundamentalmente 3 tipos de generadores: Generador asíncrono de jaula de ardilla, Generador asíncrono de rotor bobinado y Generador síncrono de imanes permanentes.

Multiplicador: Sistema mecánico encargada de elevar la velocidad de giro del sistema mediante un conjunto de engranajes comunica al eje arrastrado o de salida una velocidad de giro mayor que la del eje motor o, de entrada, desde la velocidad de la turbina (20-30 rpm) a la velocidad del generador (1000-1500 rpm).

Mecanismo de Orientación: Utilizado para mantener el rotor de la turbina en posición contra el viento (perpendicular a la dirección del viento) para que a través del rotor pase la mayor proporción posible de energía eólica.

Sistema Hidráulico: Restaura los frenos aerodinámicos del aerogenerador.

Unidad de Refrigeración: Compuesta por un ventilador eléctrico y una unidad de refrigeración de aceite, el primero enfría el generador eléctrico y el segundo enfría el aceite del multiplicador, otras turbinas son enfriados por agua.

Veleta: Mide la dirección del viento, envía señales al controlador electrónico de forma que hace girar el aerogenerador en contra del viento utilizando el mecanismo de orientación (Green Energy Consultoría y Servicios SRL, 2010).

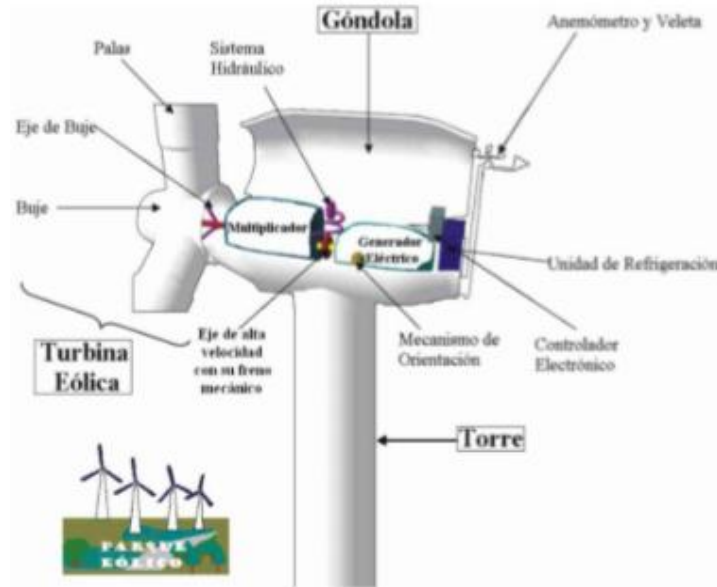


Fig. 2.26: Grandes Aerogeneradores y sus partes.

b) PEQUEÑOS AEROGENERADORES (Fernández, 2002)

Este tipo de generadores suelen ser instalados en zonas alejadas del suministro eléctrico o trazado de la red general de distribución eléctrica, el tamaño y tipo de instalación depende únicamente de las necesidades del usuario de la instalación y es característico en ellos que la instalación se sitúe muy cerca del centro de consumo (viviendas, granjas o pequeños núcleos rurales), requiriéndose frecuentemente la existencia de acumuladores.

Las instalaciones más frecuentes emplean tecnologías muy fiables en las que es necesario un mantenimiento básico, las aeroturbinas empleadas en las instalaciones de pequeña potencia son aerogeneradores de alta velocidad (>2), normalmente utilizadas para suministro eléctrico a viviendas aisladas y/o otros centros de consumo, las potencias de estas aeroturbinas varían entre 100 W y 10 kW. Estos aerogeneradores son muchos más sencillos que los descritos anteriormente para sistemas de generación a gran escala, sus características fundamentales son (Fernández, 2002):

1. Aerogenerador de viento de baja potencia:

Turbina: Puede tener 2 o 3 palas realizadas en fibra de vidrio y carbono.

Generador: Es de imanes permanentes y este acoplado directamente a la turbina (no utiliza multiplicador).

Sistema de Orientación: Ejerce el papel de sistema primario de protección ante velocidades elevadas de viento, consiste en una cola, tal como se ve en la figura (abajo). Los sistemas de orientación automática están diseñados especialmente para conseguir una sensible timonización ante rachas de viento de bajas velocidades, cuando las velocidades se acercan a valores demasiado elevados para el buen funcionamiento de la máquina, este sistema produce la progresiva desorientación del aerogenerador que lo lleva a dejar de funcionar.

Salida del sistema: Depende del sistema al que se desee abastecer puede ser en corriente continua o alterna.

Torre: Puede ser de celosía o tubular (Fernández, 2002)

2. Equipo de regulación y monitorización del aerogenerador (Segundo sistema de seguridad) (Fernández, 2002):

Conjunto de resistencias de frenado y un regulador de carga, que desvía hacia el conjunto de resistencias los excedentes de energía que las baterías de la instalación no pueden asumir, evitándose de este modo que el aerogenerador tenga que estar funcionando en vacío y por lo tanto girando a velocidades peligrosamente elevadas, en los períodos de tiempo en que las baterías presentan elevados niveles de carga.

3. Banco de Baterías: Almacena energía durante varios días, con el objeto de disponer de energía en los períodos de viento flojo o de calma, este sistema es inútil en sistemas de generación eléctrica conectados a la red.

4. Inversor: Transforma y amplifica corriente continua en alterna. Los voltajes continuos pueden ir desde los 12 V hasta los 100 V.

5. Punto de Consumo: Lugares alejados o remotos y centros poblados que no están interconectados a la red eléctrica nacional (Fernández, 2002).

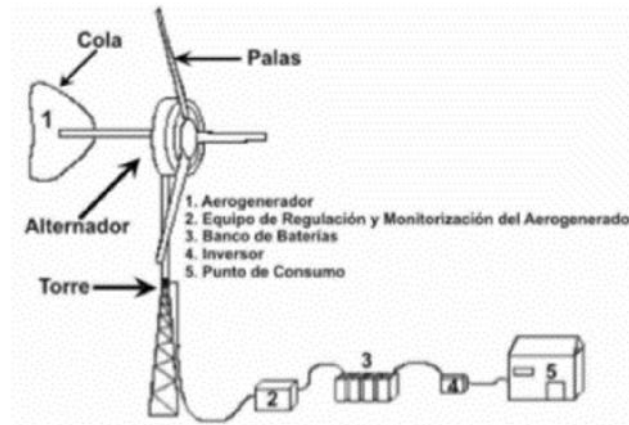


Fig. 2.27: Pequeños Aerogeneradores y sus partes.

2.5. Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico

La alternativa de solución al problema identificado está basada en el análisis de dos alternativas como la implementación de aerogeneradores de eje horizontal de mediana potencia y la implementación de Sistemas Híbridos Eólico-Fotovoltaicos aislado para generación de energía eléctrica que alimente a la población a 220 V (Tinoco & Chercca, 2013).

Para tal fin es necesario revisar los conceptos teóricos de cada componente técnico que involucra este proyecto, tales como las fuentes de energía solar, las tecnologías de equipos a utilizar, mecanismos de financiamiento, etc. Las energías renovables que se utilizan en el Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico SHEFV son:

A. La Energía Eólica

B. La Energía Solar

Este sistema autónomo basado en generadores eólico y fotovoltaico con almacenamiento por medio de baterías es una opción para suministrar electricidad las 24 horas del día alimentando pueblos remotos o áreas aisladas (emplazamientos remotos).

Para dimensionar los sistemas monovalentes utilizados en el sistema híbrido se relacionan los datos meteorológicos (velocidad del viento y radiación solar) de un emplazamiento con el tamaño de cada uno de los elementos del sistema (Generador eólico, fotovoltaico y baterías), para calcular:

C. El Potencial Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)

Los sistemas Eólico y Solar son los sistemas que van a transformar las energías Eólica y Solar en energía eléctrica. A continuación, la definición de sistema.

Concepto de Sistema

Sistema es la combinación de partes o elementos reunidos para obtener un resultado o formar un conjunto, de tal forma que un cambio en las partes o elemento afecta al conjunto de todos ellos. Los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema y sólo estos formarán el sistema que se ha de estudiar, (Ejemplo sistema nervioso, planetario, binario, informático, energético, educativo) (Acosta Buenaño, 2012).

El sistema debe de contener el menor número posible de elementos, que permita realizar una simulación para explicar al final cuál de las propuestas de acción que se ha estudiado es más eficaz para solucionar el problema planteado. Los modelos se crean primero pequeños y con pocos elementos, para luego ampliarse y perfeccionarse, posteriormente se suprimen los elementos que no intervienen decisivamente en el problema, para la construcción del modelo se suceden varias fases de expansión y simplificación de modelos añadiendo y suprimiendo elementos.

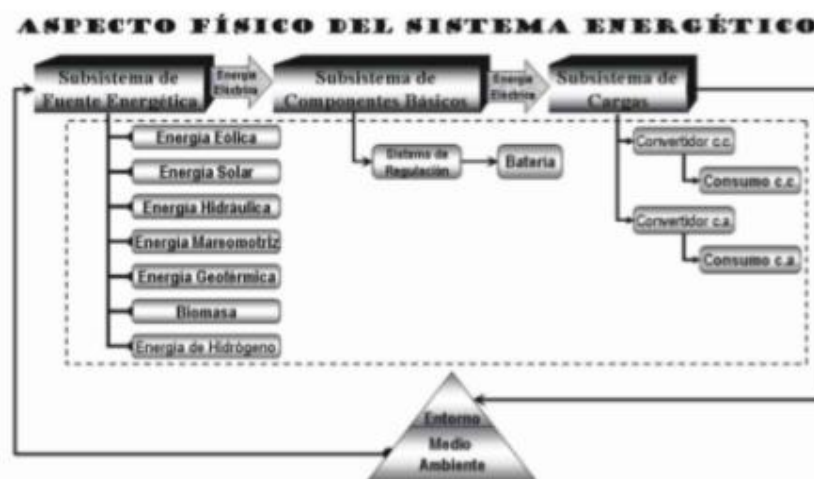


Fig. 2.28: Bosquejo de un Sistema

Potencial Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)

Para dimensionar un sistema híbrido basado en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad, la óptima opción se obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

El objetivo ideal sería obtener un conjunto de ecuaciones que ligen los datos meteorológicos (velocidad de viento y radiación solar) de un emplazamiento con el tamaño de cada uno de los elementos del sistema (Generador eólico, fotovoltaico y baterías).

Método de dimensionamiento del Sistema híbrido Eólico Fotovoltaico SHEFV

Las condiciones climáticas indican la configuración idónea para un determinado emplazamiento. El carácter complementario que presentan la energía eólica y solar en diferentes lugares durante los ciclos estacionales presenta algunas importantes ventajas. Para estos casos los sistemas híbridos ganan fiabilidad respecto a los sistemas con una sola fuente de energía sin necesidad de un sobre dimensionamiento de los convertidores o las baterías.

Entre las ventajas de combinar el uso del viento y el sol para la generación de energía eléctrica es que ofrece reducción del coste total de la instalación. El mayor o menor beneficio de esta opción depende de la anti correlación estacional en el tiempo de ambos recursos (el viento y el sol).

El método de simulación temporal del sistema para una determinada configuración que va variando hasta satisfacer los niveles de fiabilidad que se exige al sistema permite identificar rápidamente las posibles configuraciones con una probabilidad del 99%, se puede aumentar la fiabilidad de los sistemas teniendo en cuenta que ambas fuentes de energía pueden estar en correlación inversa.

Métodos de dimensionamiento del SHEFV

Para dimensionar un sistema fotovoltaico: se debe afrontar la cuantificación del generador y del acumulador, la capacidad del generador (CA), se define como una relación entre los valores medios de la energía producida por el generador y la energía consumida por la carga.

La capacidad del acumulador (CS), se define como la máxima energía que puede extraerse de él dividida por el valor medio de la energía consumida por la carga, es decir:

$$C_A = \frac{y_G G_d(r.s) A_G}{L}$$

$$C_s = \frac{C_U}{L}$$

$$C_U = \frac{C_B}{PD_{\max}}$$

Donde:

- AG : Es el área del generador.
- η_G : Es la eficiencia de conversión del generador.
- $G_d(\alpha, \beta)$: Es el valor medio de la irradiación diaria sobre el plano del generador.
- L : Es el valor medio de la energía diaria consumida por la carga.
- CU : Es la capacidad utilizable del acumulador.
- CB : Es la capacidad nominal de la batería.
- PD_{máx} : Es la profundidad de descarga máx. de la batería.

Para dimensionar un sistema eólico: se debe cuantificar la energía eólica disponible y los parámetros estadísticos que caracterizan a esta fuente de energía, es decir:

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Donde:

E : Energía Cinética.

m : masa de aire.

v : velocidad del viento.

$$e = \frac{\dots v^2}{2}$$

Donde:

e : energía por unidad de volumen de la corriente de aire.

$$P_d = \frac{\rho v^3 A}{2}$$

Donde:

P_d : Potencia mecánica disponible en las masas de aire.

A : Área expuesta a la corriente de aire.

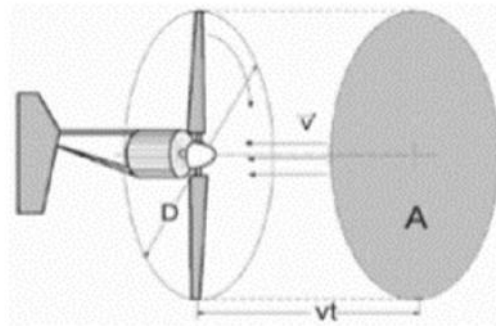


Fig. 2.29 Área A barrida por el rotor de diámetro D.

$$\frac{P_d}{A} = \frac{\rho v^3}{2}$$

Donde:

P_d : La energía que fluye por unidad de tiempo, o potencia disponible.

ρ : Es la densidad del aire, 1,225 Kg/m³

Para dimensionar un SHEFV: imaginemos un sistema que tiene todo el consumo durante la noche, el acumulador no tiene pérdidas y que la capacidad útil es la nominal. El estado de carga final del acumulador, en el momento al acabar la noche del día vendrá determinado por el estado de carga del día anterior y la energía generada y consumida en el día.

$$SOC_j = SOC_{j-1} + \frac{y_G A_G G_{dj}}{C_B} + \frac{24 \cdot P_W [V_{Media}]}{C_B} - \frac{L}{C_B}$$

2.6. Marco Legal

- DECRETO LEGISLATIVO DE PROMOCION DE LA INVERSION PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD CON EL USO DE ENERGIAS RENOVABLES, D.L. 1002 (02/05/2008). Tiene por objeto promover el aprovechamiento de los Recursos Energéticos Renovables (RER) para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente, mediante la promoción de la inversión en la producción de electricidad.
- LEY DE CONCESIONES ELECTRICAS (DECRETO LEY N° 25844, DECRETO SUPREMO N° 009-93-EM). Se norma la interrelación de los sistemas de generación, transmisión y distribución de electricidad, lo que permite y asegura una oferta eléctrica confiable, el funcionamiento eficiente del Sistema y la aplicación de una tarifa para los consumidores finales que considera el uso óptimo de los recursos energéticos disponibles.
- REGLAMENTO DE PROTECCION AMBIENTAL EN LAS ACTIVIDADES ELECTRICAS (1994/06/08) D.S. N° 29-94-EM (1994/06/07). Se norma la interrelación de las actividades eléctricas en los sistemas de generación, transmisión y distribución con el ambiente, bajo el concepto de desarrollo sostenible, entendiéndose por desarrollo sostenible, como el estilo de desarrollo que permite a las actividades satisfacer sus necesidades sociales, económicas y ambientales sin perjudicar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias.
- Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA; Se da la Norma Técnica EM.010 Instalaciones eléctricas interiores. Art. 2° La norma es aplicable en forma obligatoria a todo proyecto de instalación eléctrica interiores tales como: Vivienda, Locales Comerciales, Locales Industriales, (4)
- Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural. R.D. N° 003-2007-EM/DGE (2007.02.12).
- Código Nacional de Electricidad – Utilización. R.M. N° 037-2006MEM/DM (2006.01.30)
- Normas internacionales IEC: 61215, 60529 y 60811.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA HIBRIDO EÓLICO-SOLAR PARA EL FUNDO HUASACACHE DE LA U.C.S.M.

3.1. Requerimientos del diseño

El Fundo Huasacache UCSM, es uno de los locales más importantes de la Universidad donde existen ambientes de oficinas, aulas, módulos de agricultura, criaderos de animales, laboratorios y almacenes.

Los requerimientos del diseño y los niveles de tensión del sistema eléctrico del Fundo Huasacache UCSM son:

- Red aérea BT y Tablero general y de distribución: 380/220 Vac
- Factor de potencia 0.9
- Sistema Híbrido tipo Eólico-Fotovoltaico: 220 Vac
- Paneles Solares, Volt: 48 Vcc
- Aerogenerador, Volt: 48 Vcc
- Baterías acumuladores: 48 Vcc
- Máxima demanda actual 13.420KW

3.2. Determinación de la Demanda

Para el cálculo de la máxima demanda del Fundo Huasacache UCSM, se realizó un registro de los equipos eléctricos, tomacorrientes y la cantidad de luminarias existentes que posee el Fundo, considerando además el facto de demanda para cada circuito.

Los valores de máxima demanda se presentan por tablero eléctrico existente:

Tabla 3.1: Valores de máxima demanda

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD1						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion baños y topico	1Ø	6	50	300	0.80	240
C-2 = Tomacorrientes baños y topico	1Ø	5	200	1000	0.50	500
				1300		740
CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD2						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	8	200	1600	0.50	800
C-3 = Equipos menores Computadoras	1Ø	4	200	800	0.50	400
				3400		2000
CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD3						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	8	200	1600	0.50	800
				2600		1600
CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD4						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	8	200	1600	0.50	800
				2600		1600
CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD5 -						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	8	50	400	0.80	320
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	4	200	800	0.50	400
				1200		720

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD6						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion	1Ø	12	50	600	0.80	480
C-2 = Tomacorrientes	1Ø	2	200	400	0.50	200
				1000		680

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD7						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Tomacorrientes	1Ø	2	200	400	0.50	200
				400		200

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD8						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion	1Ø	12	50	600	0.80	480
C-2 = Tomacorrientes	1Ø	10	200	2000	0.50	1000
				2600		1480

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD9						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion 2do piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800
C-2 = Tomacorrientes 2do piso	1Ø	16	200	3200	0.50	1600
				4200		2400

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD10						
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda						
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)
C-1 = Iluminacion 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800
C-2 = Tomacorrientes 3er piso	1Ø	12	200	2400	0.50	1200
				3400		2000

Sumatoria de Maximas Demandas de Tableros Generales			
Descripcion	Pisos	M.D. (watt)	Sistema
Tablero Distribucion - TD-1	1	740.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-2	1	2000.00	3Ø
Tablero Distribucion - TD-3	1	1600.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-4	1	1600.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-5	1	720.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-6	1	680.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-7	1	200.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-8	1	1480.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-9	2	2400.00	1Ø
Tablero Distribucion - TD-10	3	2000.00	1Ø
		13,420.00	

3.3. Determinación de los recursos energéticos

3.3.1. Mapas y datos de radiación solar

En el Perú existe un potencial solar importante y puede ser aprovechado para la generación de la energía eléctrica. La Tabla 3.1 muestra datos de radiación solar en el Perú. En la Fig. 3.2 se muestra una parte del Mapa de Radiación Solar correspondiente al departamento de Arequipa.

Tabla 3.2: Datos de radiación solar en Arequipa - Perú (Vásquez, J. & Lloyd, P., 1987)

Irradiación solar media sobre una superficie horizontal (kWh/m ² /día) - Horas Solar Pico												
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
7.23	6.84	6.47	6.12	5.98	5.50	5.86	6.21	6.99	7.56	7.81	6.73	6.61

(SENAMH, 2018)

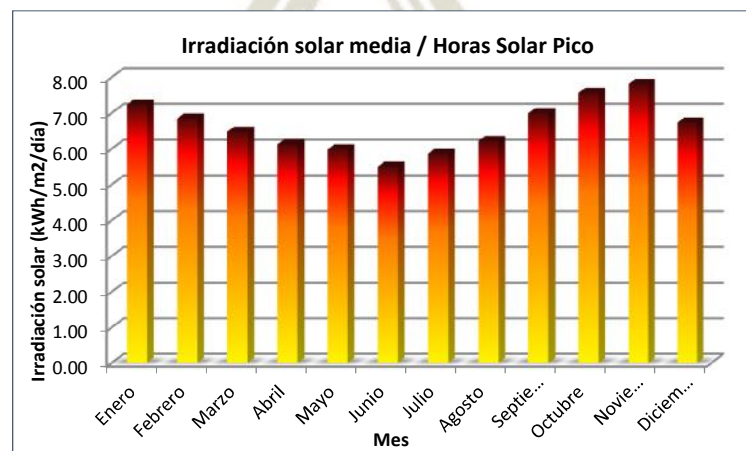


Fig. 3.1: Distribución de la radiación solar en Arequipa - Perú

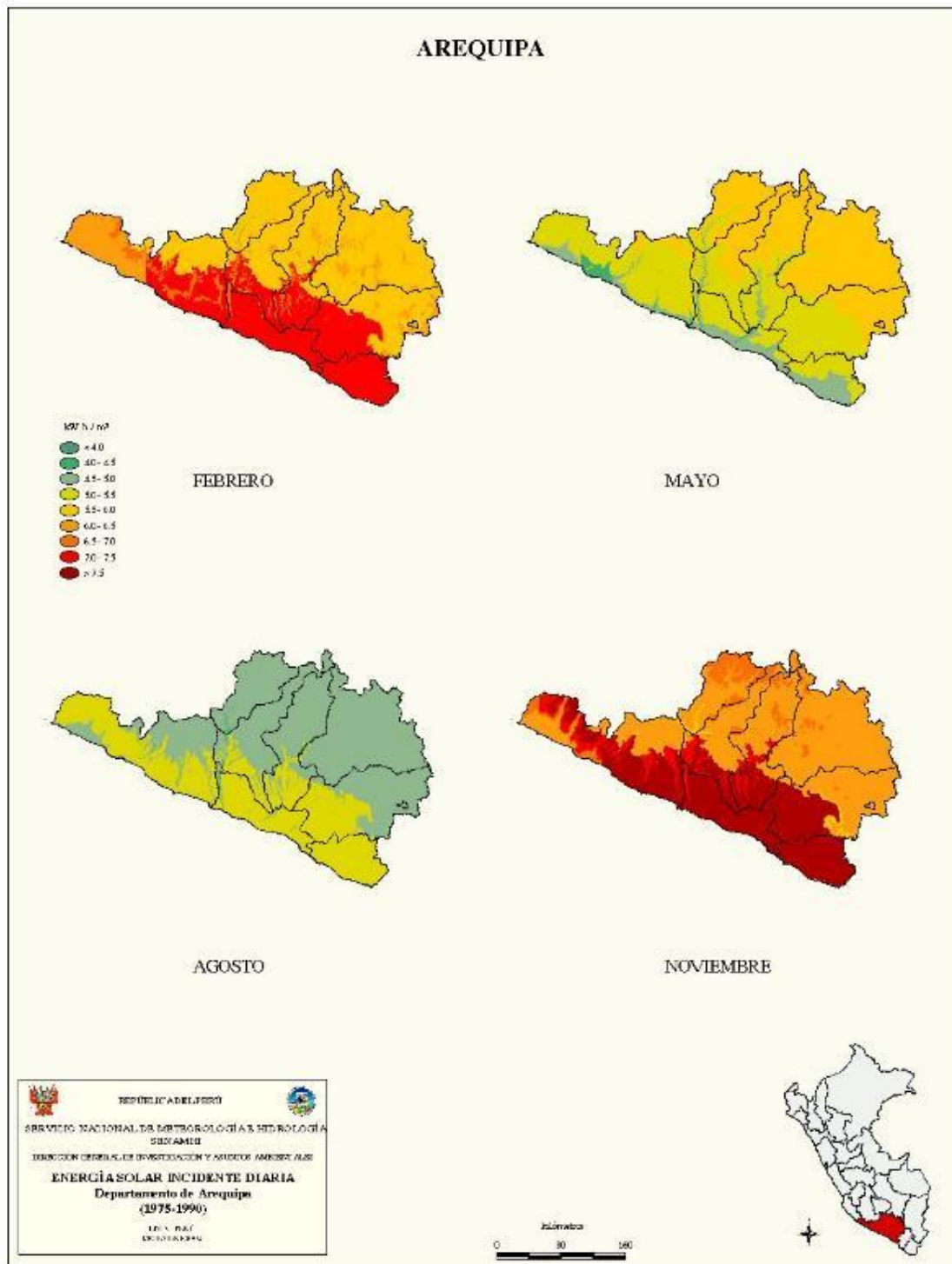


Fig. 3.2: Mapa de Radiación Solar del sur del Perú-Arequipa

Fuente: <https://deltavolt.pe/phocadownload/Arequipa.jpg>

3.3.2. Mapas y datos eólico de la zona

La representación de los recursos eólicos disponibles se logra a través de los mapas eólicos o mapas de viento, también se puede utilizar los datos de la estación Huasacache de Senamhi. Generalmente esto mapas se suelen presentar de dos formas: mediante líneas de isoviento o isodensidad de potencia y mediante zonas coloreadas en función de la velocidad media del viento o la densidad de potencia media. Pero los datos proporcionados por Senamhi fueron entregados en forma tabulada como se muestra a continuación:

Tabla 3.3: Datos de velocidad del viento en la estación de Huasacache

Estación : HUASACACHE , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento : AREQUIPA			Provincia : AREQUIPA			Distrito : JACOBO HUNTER			Ir : 2018-12			
Latitud : 16° 27' 27.87"			Longitud : 71° 33' 58.85"			Altitud : 2200						
Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitación (mm)		Direccion del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Dic-2018	23	6.4	13.6	21.8	13.8	6.2	11.2	9.5	0	0	WNW	8
02-Dic-2018	23.2	6.5	15.9	22.8	14	6.8	11	7.6	0	0	WNW	8
03-Dic-2018	23.2	7	14.6	23	14	7	11.4	8.2	0	0	WNW	7
04-Dic-2018	23.1	5.4	14.8	22.2	14	5.7	10	8.9	0	0	WNW	8
05-Dic-2018	22.2	5.2	14.3	21.2	13.6	5.6	11.4	8.2	0	0	WNW	8
06-Dic-2018	22.6	6.8	15.6	21.6	15.2	7.1	11.2	8.6	0	0	WNW	8
07-Dic-2018	24.2	7.4	15.8	23.6	15.2	7.8	11.6	9	0	0	W	8
08-Dic-2018	24.9	9.3	16.6	23.1	11.2	9.6	12.1	10	0	0	WNW	8
09-Dic-2018	25.6	9.2	18.4	24.8	18	10.8	13	10.8	0	0	WNW	8
10-Dic-2018	24.8	10	17.6	24.4	14.4	10.9	13.8	11	0	0	WNW	8
11-Dic-2018	25.3	9.8	16	25	16.6	10.8	12	10	0	0	WNW	8
12-Dic-2018	26.2	10.6	17.2	25	15	10.6	12	11.5	0	0	WNW	8
13-Dic-2018	23.9	10.6	14.6	23.2	15.2	9.6	12.2	10.8	0	0	WNW	8
14-Dic-2018	22	8.2	15.4	21.2	14	10.2	11	10	0	0	WNW	8
15-Dic-2018	23.5	8.4	13.8	23	16.2	9.4	12.4	11.2	0	0	WNW	8
16-Dic-2018	24.1	9	16.3	23.6	15.6	11.8	12.4	11.4	0	0	WNW	8
17-Dic-2018	24.8	9.6	16.3	23.4	17	11.3	12.8	11.6	0	0	WNW	8
18-Dic-2018	24.2	10.9	17.3	23.6	17	12.4	13.8	12.8	0	0	W	8
19-Dic-2018	23.3	10.3	16.6	23	16.2	12.8	14	11.8	0	0	WNW	8
20-Dic-2018	23	10.8	16.8	21.7	15.4	10.8	14.2	12.6	0	0	WNW	8
21-Dic-2018	22.2	10.8	16.9	20.9	15.2	12.5	14.2	12.6	0	0	WNW	8
22-Dic-2018	23.4	11.4	15.6	23.2	15.4	12	14.2	10.6	0	0	W	8
23-Dic-2018	24	8.2	15.6	23.2	15.4	9.5	14.2	11	0	0	W	8
24-Dic-2018	24	9.5	14.8	23.8	15.4	9.6	13.7	10.1	0	0	WNW	8
25-Dic-2018	24.8	10	17.2	24.6	15.6	10.2	13.2	11.6	0	0	WNW	8
26-Dic-2018	24.7	9.7	16.4	24.6	17	10	12	7.6	0	0	WNW	8
27-Dic-2018	24.3	10.3	15.2	24.3	15.6	8.2	12	10.4	0	0	W	8
28-Dic-2018	24.2	11	14.5	23.6	15.8	10.1	12.5	11.2	0	0	W	8
29-Dic-2018	23.2	11.5	14	22.4	15.8	11	11.8	11	0	0	W	8
30-Dic-2018	23	9.3	13.8	22.3	16	10.8	13.6	11.6	0	0	W	7
31-Dic-2018	23.8	9.2	14.9	22.4	16.4	11.2	13.2	13	0	0	WNW	7

* Fuente : SENAMHI - Dirección de Redes de Observación y Datos

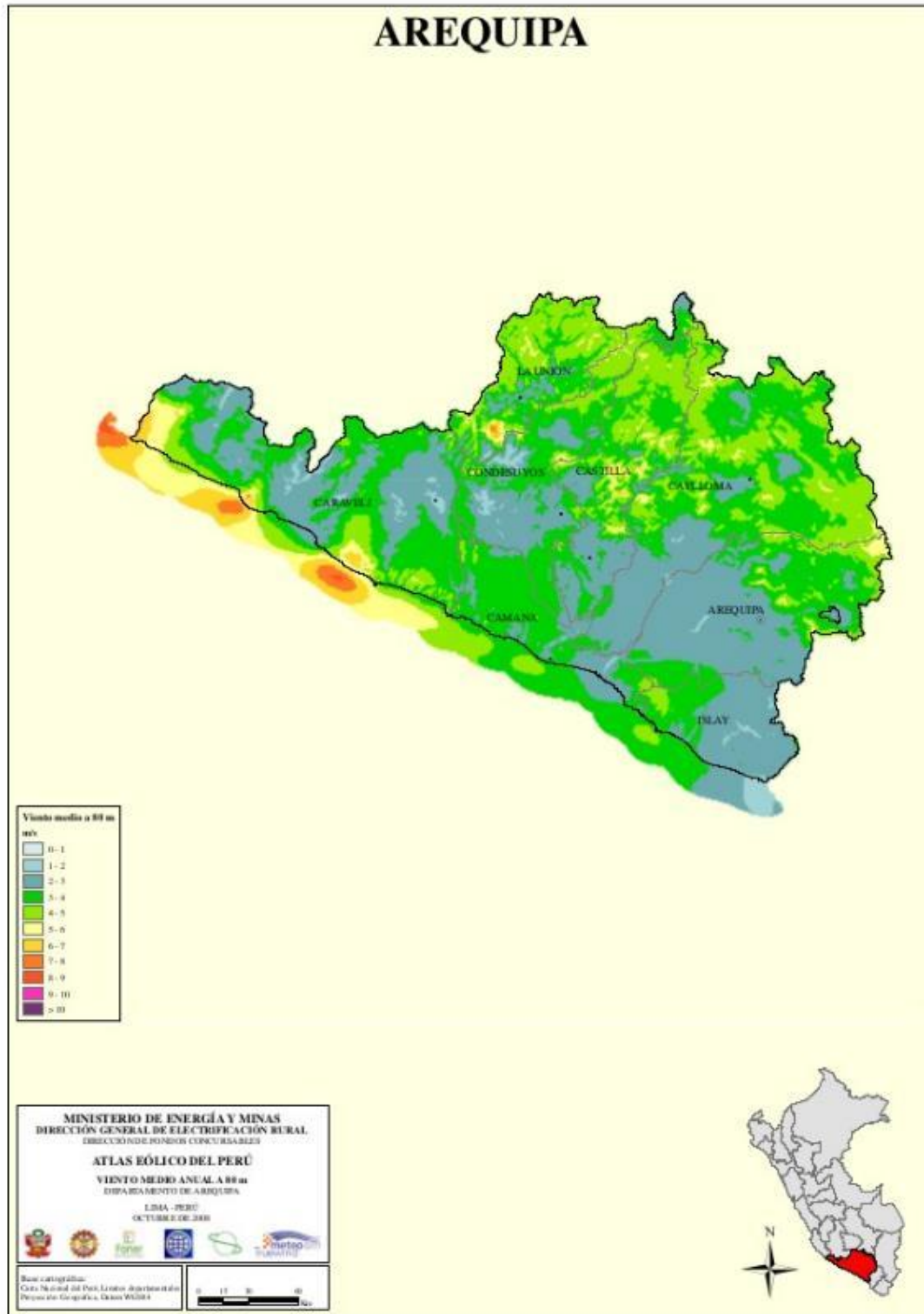


Fig. 3.3: Mapa eólico del sur del Perú-Arequipa

Fuente: <https://deltavolt.pe/phocadownload/Arequipa.jpg>

3.4. Ubicación Geográfica del Proyecto

Descripción de la zona

El Fundo La Banda Huasacache se encuentra en el distrito de Hunter, provincia y departamento de Arequipa.

Datos geográficos:

Tabla 3.4: Datos Geográficos de Fundo Huasacache UCSM

Coordenadas	16°27'29.2"S 71°33'56.9"W -16.458104, -71.565808
Altitud	2.250 metros sobre el nivel del mar
Superficie	12587.743 metros cuadrados
Temperatura promedio	16 a 24 grados centígrados
Clima	desértico

Fuente: Google Earth



Fig. 3.4: Ubicación Geográfica de Fundo Huasacache UCSM

Fuente: Google Earth

3.5. Cálculo de la energía necesaria

Para el cálculo de carga del Fundo Huasacache UCSM, se realizó un registro de los equipos eléctricos, tomacorrientes y la cantidad de luminarias existentes que posee el Fundo, considerando una reserva eléctrica.

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD1 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion baños y topico	1Ø	6	50	300	0.80	240	4	960
C-2 = Tomacorrientes baños y topico	1Ø	5	200	1000	0.50	500	8	4000
				1300		740		4960

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD2 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800	4	3200
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	8	200	1600	0.50	800	8	6400
C-3 = Equipos menores Computadoras	1Ø	4	200	800	0.50	400	8	3200
				3400		2000		12800

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD3 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800	4	3200
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	8	200	1600	0.50	800	8	6400
				2600		1600		9600

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD4 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800	4	3200
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	8	200	1600	0.50	800	8	6400
				2600		1600		9600

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD5 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion 1er, 2do y 3er piso	1Ø	8	50	400	0.80	320	4	1280
C-2 = Tomacorrientes 1er,2do y 3er piso	1Ø	4	200	800	0.50	400	8	3200
				1200		720		4480

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD6 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion	1Ø	12	50	600	0.80	480	4	1920
C-2 = Tomacorrientes	1Ø	2	200	400	0.50	200	8	1600
				1000		680		3520

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD7 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Tomacorrientes	1Ø	2	200	400	0.50	200	4	800
				400		200		800

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD8 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion	1Ø	12	50	600	0.80	480	4	1920
C-2 = Tomacorrientes	1Ø	10	200	2000	0.50	1000	8	8000
				2600		1480		9920

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD9 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion 2do piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800	4	3200
C-2 = Tomacorrientes 2do piso	1Ø	16	200	3200	0.50	1600	8	12800
				4200		2400		16000

CALCULO de la MAXIMA DEMANDA de TD10 - por POTENCIA INSTALADA								
Codigo Nacional de Electricidad - Utilizacion 2006 Seccion 50 Cargas de Circuitos y Factores de Demanda								
Descripcion de Areas y Cargas	Tipo de carga	N° Cargas y/o Areas (m2)	Carga Basica (watt)	Potencia Instalada (watt)	Factor de Demanda (%)	Maxima Demanda (watt)	Horas/ uso diarias	Consumo diario máximo Wh/día
C-1 = Iluminacion 3er piso	1Ø	20	50	1000	0.80	800	4	3200
C-2 = Tomacorrientes 3er piso	1Ø	12	200	2400	0.50	1200	8	9600
				3400		2000		12800

Sumatoria de Maximas Demandas de Tableros Generales					Consumo diario máximo	
Descripcion	Pisos	M.D. (watt)	Sistema		kWh/día	
Tablero Distribucion - TD-1	1	740.00	1Ø		4.96	
Tablero Distribucion - TD-2	1	2000.00	1Ø		12.80	
Tablero Distribucion - TD-3	1	1600.00	1Ø		9.60	
Tablero Distribucion - TD-4	1	1600.00	1Ø		9.60	
Tablero Distribucion - TD-5	1	720.00	1Ø		4.48	
Tablero Distribucion - TD-6	1	680.00	1Ø		3.52	
Tablero Distribucion - TD-7	1	200.00	1Ø		0.80	
Tablero Distribucion - TD-8	1	1480.00	1Ø		9.92	
Tablero Distribucion - TD-9	2	2400.00	1Ø		16.00	
Tablero Distribucion - TD-10	3	2000.00	1Ø		12.80	
		13.420.00			84.48	

3.4. Dimensionado del Sistema Eólico-Fotovoltaico

En la generación híbrida el aerogenerador combinado con paneles fotovoltaicos, es idóneo para un sistema de generación eficiente, ya que al complementarse en el tiempo garantizan la carga constante de las baterías que suministran la energía a los consumidores finales. Y así se amortiguan las fluctuaciones diarias y estacionales de ambas fuentes energéticas, lo que reduce los ciclos de descarga de las baterías y extiende su vida útil y en algunos casos se podría prescindir de ella (CENSOLAR. 1992).

El funcionamiento de este sistema híbrido puede describirse, de forma simplificada, con las siguientes características

- El sistema está integrado por dos subsistemas de generación eléctrica: paneles fotovoltaicos y aerogenerador.
- Se verifica los recursos energéticos de la zona, en esta zona podemos utilizar los recursos solares (de acuerdo con la nubosidad), y del viento, o de ambos recursos energéticos.
- El banco de baterías requiere de recarga, debido al consumo de los equipos.
- Diariamente, con la presencia de una o ambas fuentes energéticas se inicia el proceso de recarga del banco de baterías con la entrada de los paneles fotovoltaicos, el aerogenerador o ambos simultáneamente si las demandas del sistema lo requieren.
- En el caso del aerogenerador, un sofisticado sistema de regulación de carga, acoplado en el interior del mismo, controla el régimen de carga al sistema, desconectando el equipo una vez alcanzada la carga idónea.
- El regulador de carga queda comprobando la caída de voltaje de la línea y el nivel de carga de las baterías a la espera de reiniciar el proceso de recarga (CENSOLAR. 1992).

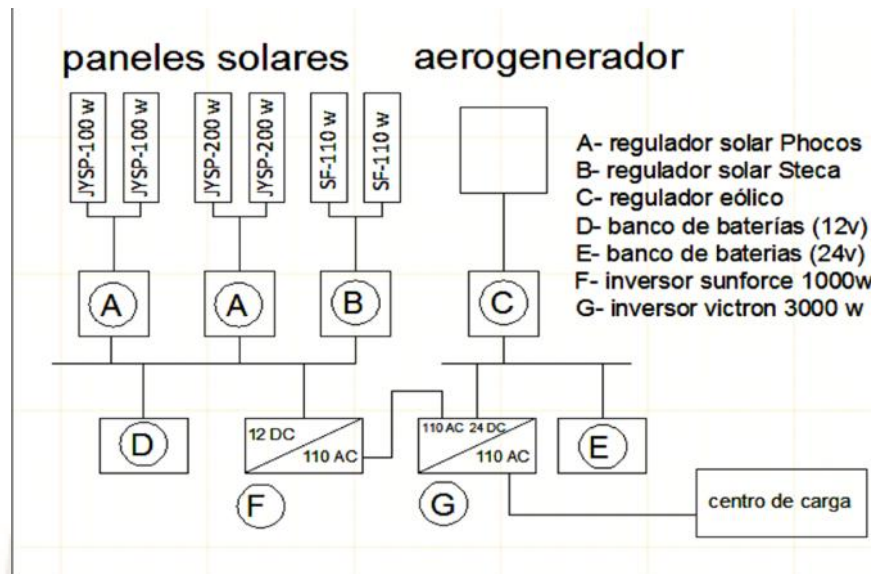


Fig. 3.5: Esquema de Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico

La metodología planteada basada en un balance energético diario en las condiciones más desfavorables

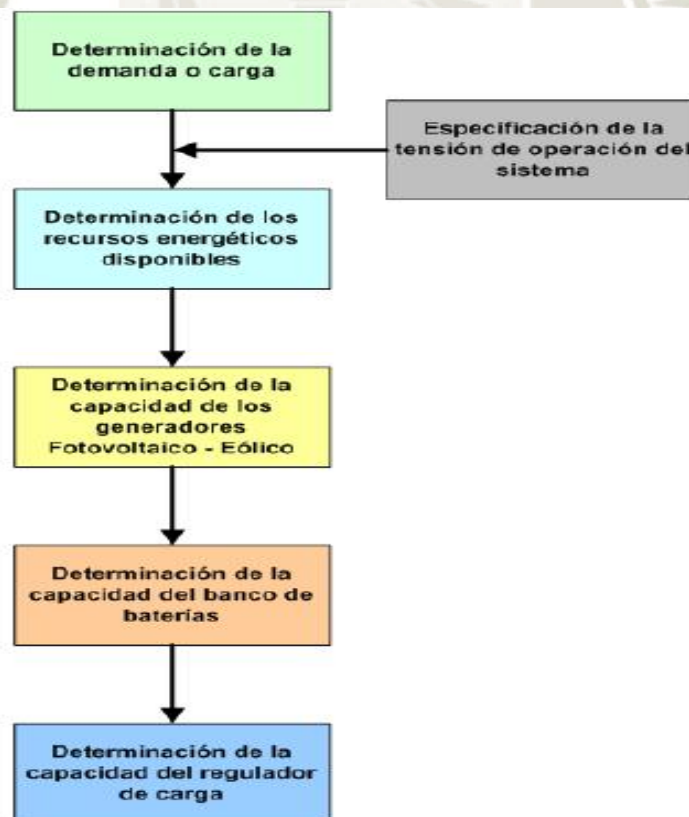


Fig. 3.6: Procedimiento de cálculo de Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (CENSOLAR. 1992)

Datos de voltajes del Sistema:

Los niveles de tensión del sistema eléctrico del Fundo Huasacache UCSM son:

- Red aérea BT y Tablero general y de distribución: 380/220 Vac
- Sistema Híbrido tipo Eólico-Fotovoltaico: 220 Vac
- Paneles Solares, Volt: 48 Vcc
- Aerogenerador, Volt: 48 Vcc
- Baterías acumuladores: 48 Vcc

Días de Autonomía

Se denominan días de autonomía a los días en que el sistema puede continuar sus funciones (consumo de energía), sin que exista generación de la fuente primaria. Esto se logra mediante la acumulación de la cantidad de energía necesaria en las baterías.

Días de autonomía $n=1$ (dato importante para la selección de baterías)

Recurso Eólico

Según la información proporcionada por la estación de Senamhi ubicada en Huasacahe, la velocidad media del viento registrada es igual a:

Velocidad media = 8 m/s , con una dirección WNW (Oeste Noroeste) a 10 msnpt, datos proporcionados por Senamhi.

Recurso Solar

Según los Datos de radiación solar en Arequipa Perú mostrados en la tabla “Estimación de la Energía Solar en Arequipa Perú” proporcionado por SENAMHI, seleccionamos la energía solar para el mes más crítico que es:

Irradiación crítica = 5.5 kWh/m²

Además, se ha analizado la carga eléctrica demandada en total de 13.420KW, Y el consumo de energía 84.48 kWh/día, cuyo consumo será alimentado por el Sistema Híbrido Eólico – Fotovoltaico.

3.5. Dimensionado del Sistema Eólico.

3.5.1. Determinación de la capacidad del Generador Eólico

Aporte del Sistema Eólico

El cálculo se efectuó basado en la demanda del Fundo de Huasacache, y el potencial de viento del lugar. De los datos del Senamhi sobre el viento de la zona podemos deducir lo siguiente:

- Dirección del viento al Oeste Noroeste WNW
- Velocidad máxima del viento desde 7 a 8 m/s denominado como viento moderado, escala 5 según la escala de Beaufort.

Diseño y construcción del aerogenerador

El diseño de los componentes del sistema aerogenerador -generador eléctrico, rotor eólico y sistema de orientación-, se basa en la compatibilidad de los parámetros de la turbina eólica con los del generador eléctrico y a su vez con las características típicas del viento predominante en las zonas de influencia.

Generador eléctrico de imanes permanentes

En este tipo de máquinas, el campo de excitación es de dirección constante formado por medio de los imanes permanentes; ante la falta de pérdidas en el devanado de excitación, poseen un mejor rendimiento siempre que la geometría de diseño sea óptima y los imanes trabajen en su punto máximo de operación de energía $(HB)_{max}$,

Esta máquina eléctrica se distingue de sus análogas, por la estructura de sus sistemas magnéticos de hierro giratorio, cuyas características están gobernadas bajo la teoría de las máquinas de excitación electromagnética. Es de característica geométrica tipo disco, diseñada para trabajar específicamente con una turbina eólica.

Las consideraciones para el diseño son: velocidad de giro del rotor condicionado por la velocidad del viento, voltaje de salida y, la geometría constructiva para encontrar el punto máximo de trabajo del imán en el circuito magnético.

En la figura 3.7 se muestra el arreglo que tienen los imanes y el bobinado, considerando un núcleo de aire; de esta forma se puede hallar el campo magnético dentro del núcleo de aire con una longitud l_g (Fernández Díez, P., 2002).

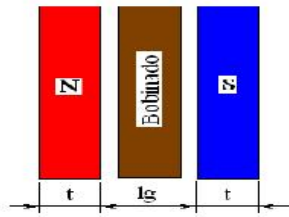


Fig. 3.7: Configuración de diseño de los imanes y del bobinado

Ecuación de carga. Definida de la siguiente forma:

$$B_m = \mu \cdot \frac{A_g}{A_m} \cdot \frac{2t}{l_g} \cdot H_m$$

Siendo:

B_g : Densidad de campo magnético promedio dentro del entrehierro

A_g : Área transversal promedio del entrehierro

B_m : Densidad de Campo magnético en la superficie del imán

A_m : Área transversal del imán

μ : Permeabilidad magnética del núcleo (aire)

H_m : Intensidad de campo magnético en la superficie del imán

Para el siguiente paso se define una geometría de referencia del imán, el cual da el punto de partida para los cálculos; estas dimensiones serán recalculadas posteriormente según el requerimiento.

$$\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$$

$$t = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$a = 50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$b = 50 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Área de la cara del imán: } A_m = a \cdot b = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Entrehierro: distancia entre los imanes: } l_g = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Área transversal del entrehierro, considerando efecto de borde:

$$A_g = (a + l_g) \cdot (b + l_g) = 4.225 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

La geometría de diseño es óptima si los imanes trabajan en su punto máximo de operación (HB)max, para determinarlo se hace la intersección de las curvas de magnetización del tipo de imán a utilizar y la curva de carga. La curva de rojo representa la curva de magnetización, característico para imán tipo NdFeB (para cada tipo de imán existe una curva característica diferente). La curva de azul es la curva de carga según la ecuación Bm para las dimensiones tomadas como referencia.

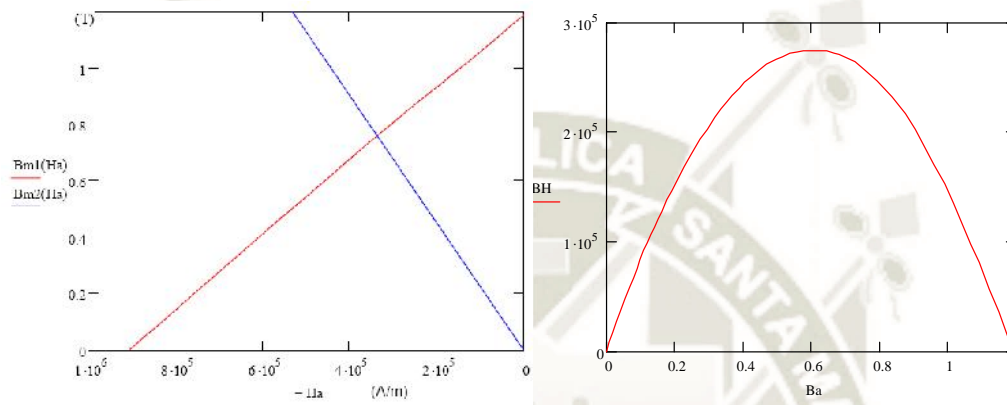


Fig. 3.8: Intersección de la curva de magnetización y curva de carga;
curva de transferencia de energía de imán

En el presente caso el punto de operación está prácticamente en el punto de máxima transferencia de energía; de no ser así se debe modificar las dimensiones de los imanes o del entrehierro, para tener un mejor circuito magnético. Se obtiene los siguientes resultados:

$$B_m = 0.761 \text{ T}$$

$$H_m = 3.361 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

Densidad de campo dentro del núcleo de aire:

$$B_g = \frac{A_m}{A_g} \cdot B_m = 0.451 \text{ T}$$

Cálculo de los voltajes máximos

Los parámetros de entrada requeridos para nuestro diseño son:

Velocidad de giro del rotor:	500 rpm
Voltaje de salida:	48 V DC
Número de pares de polos:	12

Frecuencia del voltaje inducido: $f = \frac{500 \cdot 12}{120} = 50 \text{ Hz}$; siendo la

velocidad angular del voltaje inducido $= 2 \cdot \pi \cdot f$

Número de espiras por fase: $N_c = 160$

Número de bobinas por fase: $M_b = 8$

Número de espiras por bobina: $N_b = \frac{N_c}{M_b} = 20$

Se asume inicialmente un área del núcleo de aire del bobinado. El cálculo del voltaje máximo de fase se realiza en vacío, es decir sin colocar ninguna carga al generador

Área del núcleo de aire: $A_n = 1367 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

Voltaje eficaz de Fase: $V_f := 4.44 \cdot N_c \cdot B_g \cdot A_n \cdot f = 21.875 \text{ V}$

Voltaje máximo de fase: $V_{fm} = \sqrt{2} \cdot V_f = 30.93 \text{ V}$

Voltaje máximo de línea en vacío: $V_{lmo} = \sqrt{3} \cdot V_{fm} = 53.58 \text{ V}$

Cálculo de la corriente eficaz de línea

Dado que se requiere una potencia máxima específica, no conociendo la caída de voltaje debido a la impedancia del conductor, se asume que el voltaje de vacío será el voltaje de carga, verificándose al final. Entonces se tendrá un valor inicial de la corriente de la carga:

Potencia asumida para el cálculo: $Pot := 3000 \text{ W}$

Voltaje eficaz de línea: $V_{ef} = \frac{53.58}{\sqrt{2}} = 37.89 \text{ V}$

Corriente eficaz de línea y de fase: $I = \frac{Pot}{\sqrt{3} \cdot V_{ef}} = 45.71 \text{ A}$

Cálculo del circuito eléctrico equivalente

Rin: Radio interior del imán

Rout: Radio exterior del imán

kw1: Factor de enrollamiento, $K_w1=1$

m1: Número de fases, $m1=3$

P: Número de polos

Nc: Número de espiras por fase

I: Corriente en el estator

- g: Entrehierro
- kfd: Factor de forma en dirección d, $kfd = 1.2$
- kfq: Factor de forma en dirección q, $kfq = 1.2$
- Xad: Reactancia del eje directo
- Xaq: Reactancia de eje en cuadratura

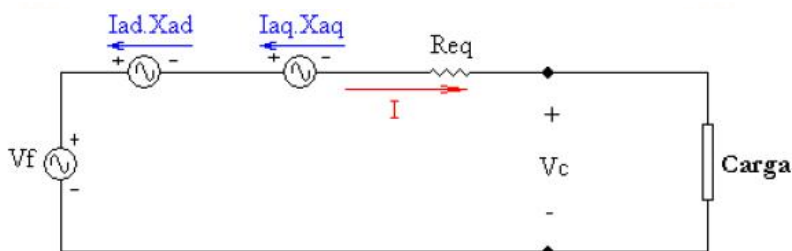


Fig. 3.9: Circuito eléctrico equivalente del generador

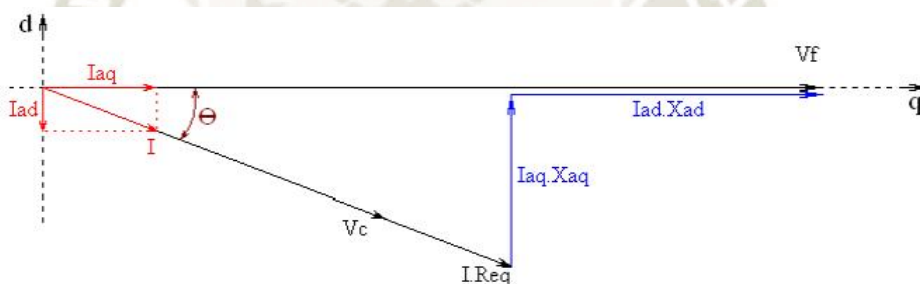


Fig. 3.10: Diagrama fasorial del circuito

$$Re_q = \frac{\rho * L}{Ac} = 0.2569 \Omega$$

Resistencia equivalente del cable por fase

$$Xad = 2. m l \cdot \mu. f \left(\frac{Nc \cdot kw l}{P} \right)^2 \cdot \left(\frac{Rout^2 - Rin^2}{lg l} \right) \cdot kfd = 0.025 \Omega$$

$$Xaq = 2. m l \cdot \mu. f \left(\frac{Nc \cdot kw l}{P} \right)^2 \cdot \left(\frac{Rout^2 - Rin^2}{lg q} \right) \cdot kfq = 0.019 \Omega$$

Voltaje eficaz en la carga por fase: $Vc = Vef / \sqrt{2} = 26.79 \text{ V}$

Voltaje máximo de línea: $Vml = \sqrt{6} * Vc = 65.62 \text{ V}$

Potencia de la carga: $Sc = 3 \cdot Vc \cdot I = 3,673.71 \text{ VA}$

Potencia disipada por el conductor: $Pcu = 3 \cdot I^2 \cdot Req = 536.76 \text{ W}$

Potencia total (Peje) = $Sc + Pcu$

Eficiencia eléctrica

$$y = \frac{Sc}{Peje} = 87.25\%$$

TURBINA EÓLICA

El diseño del alabe está basado en la teoría del ala, utilizando un perfil estandarizado para las secciones de los alabes. Para el cálculo de las dimensiones del rotor se ha empleado las ecuaciones aerodinámicas:

Calculo del diámetro del rotor

Se obtiene a partir de la ecuación de potencia de la turbina eólica:

$$d = \sqrt{\left(\frac{8 \cdot P}{f \cdot \rho \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta_e \cdot \eta_t} \right)}$$

Donde:

- d: Diámetro del rotor de la turbina eólica (m)
- P: Potencia de diseño del aerogenerador (W)
- ρ : Densidad del aire, variable con la a.s.n.m (1.204 kg/m³ a 20°C)
- V: Velocidad del viento (m/s)
- A: Area barrida por la turbina (m²)
- C_p : Coeficiente de potencia (adimensional)
- η_e : Eficiencia del generador
- η_t : Coeficiente de transmisión

La velocidad de giro de la turbina eólica se obtiene de la siguiente expresión:

$$N = \left(\frac{60 \cdot \lambda \cdot V_D}{f \cdot d} \right)$$

Donde:

- λ : Celeridad
- N: Velocidad de giro de la turbina eólica (RPM)
- V_D : Velocidad de diseño (m/s)

Cálculo de la sección del álabe y selección del perfil

Para el cálculo de la sección del alabe se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\left. \begin{aligned} \beta_r &= \frac{w}{R} \\ w &= \frac{2}{3} \cdot \arctan\left(\frac{1}{\beta_r}\right) \\ C &= \frac{8 \cdot f \cdot r \cdot (1 - \cos w)}{z \cdot C_1} \\ S &= w - \beta_r \\ N &= \frac{w \cdot C}{\mu} \quad (N \text{ de Reynolds}) \end{aligned} \right\}$$

Donde:

- r: Celeridad local para el radio r
- β_r : Celeridad de diseño
- r: Distancia del centro del rotor a la sección evaluada (m)
- R: Radio de la turbina (m)
- w: Angulo formado por la velocidad relativa con el plano de giro del rotor
- C: Cuerda de la sección del álabe
- z: Número de álabes o palas
- C_1 : Coeficiente de sustentación del álabe
- w: Angulo formado por el álabe con el plano de giro
- β_r : Angulo de ataque, tomado del perfil seleccionado
- w: Velocidad relativa al perfil m/s
- μ : Viscosidad cinemática del aire

En resumen, los parámetros de diseño considerados son los siguientes:

Potencia eléctrica:	3000 W
Velocidad de nominal de diseño:	8 m/s
Perfil utilizado:	NACA 4412
Numero de palas:	2
:	6.5
RPM:	500

Cp:	0.95
C _l :	0.8
Eficiencia de transmisión (η_t):	1 (transmisión directa)
:	1,2 kg/m ³
:	5°

Utilizando las diferentes relaciones anteriores, los resultados para cada un de las secciones de los álabes dan valores no lineales, tanto para la cuerdas del perfil como para el ángulo de posición; ello requiere elementos de fabricación complejos y costosos. Para simplificar el proceso se hace una linealización del álabe, que consiste en transformar la cuerda (C) y el ángulo (β) en parámetros lineales en función de la posición del radio. De acuerdo a recomendaciones, se toman puntos de paso $r=0.5R$ y $r=0.9R$, con lo que se tiene los valores definitivos de la cuerda y el ángulo para la construcción del molde. Reemplazando los datos tenemos.

$$\text{Diámetro total} = 4.2\text{m}$$

De acuerdo a los datos calculados se ha buscado en el mercado las opciones de aerogeneradores con estas características de potencia y velocidad de viento. Se ha elegido el Aerogenerador Bornay 3000, de 3000W, 48 V.

Los aerogeneradores seleccionados se ubicarán al lado de la estación climatológica Huasacache, y además ya se estimó la disponibilidad del viento en el lugar, el paso siguiente consiste en determinar la cantidad de energía que los aerogeneradores pueden generar, para entonces saber si satisface las necesidades energéticas que se plantean.

En el número 52 de la revista Energía y tú, se presentó un método para hacer este cálculo, a partir de conocer la distribución de frecuencias del viento y la curva de potencia del aerogenerador. Un procedimiento más sencillo, y que puede emplearse cuando no se tienen esos dos elementos, es el conocido como el «método del área de barrido». Este es un método con el cual, con rapidez, se puede calcular la energía anual producida (EAP) por un aerogenerador. Es empleado en los pequeños aerogeneradores, en los que la potencia no sobrepasa los 10 kW

(<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia54/HTML/articulo03.htm>).

Este método requiere de tres pasos:

1. Determinar la densidad de potencia (P/A) en watt por metro cuadrado del área de barrido del rotor (W/m^2), en el sitio y a la altura del eje del aerogenerador que se prevé instalar.
2. Calcular el área de barrido (A) del rotor del aerogenerador en metros cuadrados (m^2).
3. Asumir un valor adecuado del rendimiento total del sistema eólico (adimensional). Este rendimiento, o eficiencia total, incluye la eficiencia del rotor, la de la transmisión mecánica (en caso de que exista) y la del generador; es decir, no incluye el rendimiento de las baterías, el regulador y el inversor, en caso de que sea un sistema aislado.

De esta forma, la energía anual producida (EAP) en kWh/año, se determina por la fórmula siguiente:

$$EAP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8\,760 \text{ h/año}) / (1000 \text{ W/kW})$$

Densidad de potencia (P/A)

Otra forma de calcular la densidad de potencia es usando la velocidad media del viento, y un adecuado factor de energía, o factor cúbico (FC). Lo anterior se expresa de la manera siguiente:

$$P/A = \frac{1}{2} \times (\text{densidad del aire}) \times (FC) \times V^3$$

Donde V es la velocidad media anual en el sitio seleccionado.

El factor cúbico depende de la distribución de frecuencias de velocidades en el sitio escogido. En aras de simplificar los cálculos, y teniendo en cuenta que la distribución de Rayleigh es una de las más frecuentes, se asume que la distribución de frecuencias en el sitio es una distribución de Rayleigh, para la cual el factor cúbico es $FC = 1,91$. Cuando se han realizado mediciones y se conoce la distribución de frecuencia de velocidades, el factor cúbico a emplear es el correspondiente a esa distribución de frecuencias.

Considerando que la temperatura media en Arequipa es de 20°C , y que la densidad de aire es aproximadamente $1,204 \text{ kg/m}^3$, entonces:

$$P/A = \frac{1}{2} \times (1,204) \times (1,91) \times V^3$$

$$P/A = 1,14982 \times V^3, \text{ en } W/m^2$$

Así, un lugar con una velocidad media anual de 8 m/s, tendrá una densidad de potencia estimada de 586.7 W/m²; el rendimiento total es de 35%, de acuerdo a la siguiente tabla:

$$P/A = 1,14982 \times V^3, \text{ en } W/m^2 = 586.7 W/m^2.$$

$$EAP = (P/A) \times (A) \times (\text{rendimiento total}) \times (8\,760 \text{ h/año}) / (1000 W/kW)$$

$$EAP = (586.7 W/m^2) \times 12.57 m^2 \times (0.35) \times (8\,760 \text{ h/año}) / (1000 W/kW)$$

$$EAP = 22,611.19 \text{ kWh/año}$$

Conociendo ya la densidad de potencia anual, es posible estimar la densidad de energía anual en kilowatt-hora en el año por metro cuadrado (kWh/año/m²), multiplicando la densidad de potencia anual, por las 8 760 horas que tiene el año (Tabla 3.5).

Tabla 3.5: Densidades de potencia y energía anuales por metro cuadrado

Velocidad media anual del viento, m/s	Velocidad media anual, km/h	Densidad de potencia anual, W/m ²	Densidad de energía anual del viento, kWh/m ²
3	10,8	30,9	270,7
4	15,2	73,3	642,1
5	18,0	143,2	1 254,4
6	21,6	247,5	2 168,1
7	25,2	393,1	3 443,5
8	28,8	586,7	5 139,5
9	32,4	835,4	7 318,1
10	36,0	1146,0	10 039,0

Área de barrido del rotor (A)

El área de barrido de un rotor, es el área del círculo desarrollado por dicho rotor.

$$A = R^2$$

Donde R es el radio del rotor cuando se trata de un rotor de eje horizontal. Cuando se trata un rotor vertical Darrieus, el área de barrido es, aproximadamente, el de una elipse.

El aerogenerador elegido tiene un rotor posee un diámetro de 4 m, el área de barrido de ese rotor es:

$$A = R^2 = (D/2)^2 = (2)^2$$

$$A = (2)^2 \sim 12.57 \text{ m}^2$$

Numero de Palas (P)	2
Diámetro del rotor (D)	4 m
Área de barrido (A)	12.57 m ²
Energía anual producida (EAP)	22,611.19 kWh/año

El cálculo de la velocidad del viento a la altura de montaje del sistema eólico se estima en base al coeficiente de rugosidad y la altura de montaje correspondiente partiendo de los datos la velocidad de viento a 10m según los datos proporcionados por SENAMHI, con lo cual se obtiene la velocidad media del viento en m/s. Por ello la altura de instalación del aerogenerador será de 10m, es decir donde se obtuvo la velocidad del viento promedio de 8m/s.

La potencia nominal total del sistema eólico seleccionado será de Potencia Nominal 6 kW (8 m/s, altura torre 10m). La velocidad media a 10m de la superficie es equivalente a 8 m/s en dicho lugar. Extrapolando en la curva de potencia del fabricante se determina que la potencia generada a la velocidad de 8m/s será de 2000 W. (03 aerogeneradores). La energía total anual:

$$\text{Energía Generada total ideal año} = (6000\text{W} * 24\text{h}) * 365/1000 = 52,560 \text{ KW-h}$$

Aerogenerador

El aerogenerador es de 3000 W de potencia (con una potencia efectiva de 2000W a la velocidad del lugar), tiene una torre de 10 metros de altura. El diámetro del rotor es de 4,0 metros y tiene 2 hélices. Se seleccionó 03 aerogeneradores que alimentaran a al tablero general y a los tableros de distribución, que suman una potencia efectiva total de 6000W. La particularidad de este aerogenerador es que se puede abatir para realizar su mantenimiento o variar el grado de inclinación de sus hélices. Se muestra la curva de Potencia del Aerogenerador de dos palas 3kW.

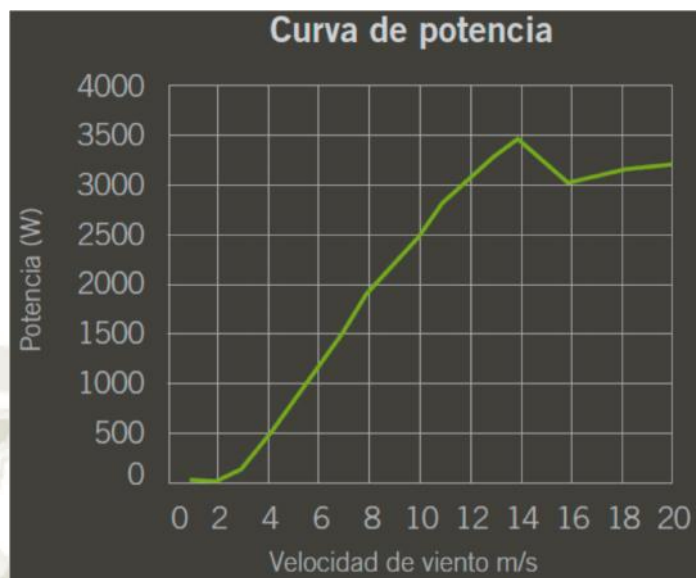


Fig. 3.11: Curva de Potencia del Aerogenerador de tres palas 3kW (de catálogo de fabricante)

3.6. Dimensionado del Sistema Fotovoltaico

Aporte del Sistema Fotovoltaico

El aporte eléctrico del Sistema Fotovoltaico se diseñó para la diferencia de la máxima demanda que el sistema eólico (6KW), por lo tanto, siendo la máxima demanda del sistema 13.420KW, sería necesario cubrir con los paneles 7.420KW, y un consumo de energía de 47.52 KWh/día. En la siguiente tabla se muestra los parámetros eléctricos de cálculo del sistema solar propuesto.

Tabla 3.6: Parámetros de diseño del sistema solar fotovoltaico

Energía Solar requerida (DM Fv)	47.52 KWh/día
Carga Instalada (W)	7480W
(DMax.) Voltaje del Sistema (Vn)	48V
Degradación sistema (D)	10%
Reserva futura (Rfut)	10%
Tiempo autónomo batería (n)	1 día
Profundidad de descarga	60%

Fuente: Elaboración propia

En el mercado existen muchas opciones de paneles solares, se ha seleccionado un panel de alto eficiencia y energía monocristalina de alta eficiencia de (potencia pico del panel fotovoltaico) 330Wp modelo AS-6P, marca AMERISOLAR.

La inclinación de los paneles solares seleccionados, teniendo en cuenta que la latitud del Fundo Huasacache es 16°, puede estimarse utilizando las siguientes expresiones:

- Inclinación verano: $L+15 = 31^\circ$
- Inclinación invierno: $L-20 = -4^\circ$
- Inclinación óptima: $3.7 + (L*0.69) = 14.74^\circ$

Donde:

- L: Latitud

El cálculo de la cantidad de paneles solares se estima en base a la relación de la Demanda máxima Fotovoltaica, las horas de radiación solar y la potencia pico del panel fotovoltaico, con lo cual se obtiene el número de paneles solares, de acuerdo al siguiente procedimiento.

Cálculo de Horas Sol Pico (HSP)

Para dimensionar el generador fotovoltaico es necesario determinar el número de HSP. Este valor se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Horas sol pico (HSP)} = \frac{\text{Radiación solar diaria horizontal } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)}{\text{Irradiancia bajo CEM } \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)}$$

Donde la Irradiancia bajo CEM corresponde a 1000 W/m². La radiación solar horizontal en kWh/m² y las HSP son equivalentes. Además, la Irradiancia critica anual = 5.5 kWh/m²

Las Horas Sol Pico son equivalentes debido a que resulta de dividir cada lectura de radiación mensual entre 1kW/m². Entonces nuestros valores serán:

$$\text{Nº Paneles} = \frac{\text{FS} \times \text{DMFv}}{(\text{HPS} \times \text{PPF})}$$

Tabla 3.7: Cantidad de paneles solares

Energía Solar requerida (DM Fv)	47.52 KWh/día
Horas radiac (HPS)	5.5 h/día
Pot pico panel (PFP)	330 Wp
Factor de Seguridad (FS)	1.2
Nº Paneles	31.418 aprox. 32
Nº Paneles serie (Por grupo)	02
Nº Paneles paralelo (Por grupo)	08
Nº de grupos	02

Fuente Elaboración propia

La potencia nominal del sistema fotovoltaico seleccionado será de 10,560.00 Watts (32x330 Wp). Las horas de radiación solar (HPS) se determinaron en base a la radiación promedio estacional del Fundo Huasacache que es de 5.5 kwh/m².

La energía total anual estimada por el sistema fotovoltaico (32x330Wp) es:

$$\text{Energía Generada}_{\text{día}} = (32 \times 330 \times 5.5) = 58.080 \text{ KW-h}$$

$$\text{Energía Generada}_{\text{año}} = (32 \times 330 \times 5.5) * 365/1000 = 21,199.2 \text{ KW-h}$$

Resumen Generador fotovoltaico

Está formado por 32 Paneles Solares cada uno de 330 Wp de potencia, agrupados en 02 arreglos de 16 paneles cada uno, cada arreglo contiene 01 regulador de carga. El sistema fotovoltaico pretende cubrir los 47.52 KWh/día de energía.

3.7. Selección del regulador

El regulador de carga es un dispositivo que se encarga de proteger la batería. Criterios de selección:

- Tensiones de batería compatibles (12, 24 y 48V). En nuestro proyecto hemos seleccionamos de 48 V.
- Corriente máxima de paneles + aerogenerador. En nuestro caso solo consideraremos la corriente máxima de los paneles solares y no de todo el sistema, ya que la cantidad de baterías sería mayor y más costoso.
- Corriente máxima que puede proporcionar a la carga, debemos utilizar los datos

indicados por el fabricante del panel solar a utilizar, específicamente nos centraremos en la corriente de cortocircuito (I_{mp}), luego este valor será multiplicado por la cantidad de paneles necesarios para la instalación. Esto se puede observar en la siguiente Ecuación:

$$I_{maxima\ regulador} = I_{mp} * N_{pp} * 1.1$$

Donde:

I_{mp} = corriente de cortocircuito (I_{mp}), 9.26A

N_{pp} = cantidad de paneles en paralelo, 16

Por lo que el regulador será:

$$N_r = N_r = I_{mp} \frac{I_{mp} * N_{pp} * 1.1}{I_r}$$

I_{mp}	9.26A
N_{pp}	16
I_r (corriente regulador)	100A
N_r	1.63 aprox 2

Entonces para el Híbrido diseñado, enlazando el sistema fotovoltaico con las baterías se va a usar 02 controladores electrónico de capacidad 100 A cada uno.

3.8. Cálculo del número de baterías

Las baterías empleadas en sistemas híbridos eólico-fotovoltaicos o sistemas solares son específicas, sus principales características son:

- Muchos ciclos de carga y descarga.
- No son adecuadas para suministrar altas corrientes.

Como ya conocemos el valor real del consumo energético de la instalación alimentado por el sistema solar 47.52KW/día es posible calcular la capacidad del banco de baterías (CBat) necesario para acumular la energía generada por este sistema, sería:

$$C_{Bat} = \frac{E * N}{V * p_d}$$

Donde V corresponde al voltaje nominal de la batería, 24V

El número de baterías debe poder satisfacer la capacidad necesaria, es por ello, que se calcula de la siguiente manera:

$$N^{\circ}bp = \frac{C_{banco}}{C_{batería}}$$

$$N^{\circ}bs = \frac{V_{sistema}}{V_{batería}}$$

Donde:

N°bp: Es la cantidad de baterías en paralelo.

N°bs: Es la cantidad de baterías en serie.

C_{bateria}. Es la capacidad de la batería, en este caso, es de 250 Ah.

V_{bateria}: Es el voltaje de operación nominal de la batería, en este caso, 12 V.

Los datos serían:

Energía acumulada (Ea)	47.52 KWh/día
Capacidad necesaria = Ea/Vn	990 Ah
Capacidad efectiva = Cap nec/(1-D)	1100 Ah
Degradación sistema (D)	10%
Tiempo autonomía batería (n)	1 día
Profundidad de descarga (PDD)	60%
Voltaje del sistema	48 V
Reserva fututa (Rfut)	10%
Capacidad total = Cap efect/(1-Rfut)	1222.22 Ah
Capacidad total batería= Cap tot x n/PDD	2037.03 Ah

Fuente : Elaboración propia

Se ha seleccionado una batería modelo TFS-250 de 12 V, con las siguientes características:

Capacidad batería (Cb)	250 Ah
Voltaje nominal del sistema (Vn)	48V
Voltaje nominal batería (Vnbat)	12V
Eficiencia de la batería	99%
Temperatura de operación	25°C
N° baterías en serie (NBs) = V_n/V_{nbat}	4
N° baterías en paralelo (NBp) = $Cap. Efectiva/C_b$	4.4 aprox 5
N° baterías total = $NB_s \times NB_p =$	20

Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que el conjunto de paneles genera energía que es almacenada en un sistema de acumulación con una capacidad total de 1250 Ah/día y 48 Vcc. Este sistema consta de 20 baterías (de 250 AH y 12V cada uno) interconectadas en 4 unidades en serie y 05 grupos en paralelo.

3.9. Selección del inversor

Los inversores transforman la corriente continua de las baterías en corriente alterna compatible con los equipos eléctricos de consumo. (48Vcc / 220 Vca). Se deben elegir teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La potencia que pueden suministrar en alterna. Potencia del inversor. Que debe ser igual o mayor a la potencia del sistema.
- Tipo de cargas que van a alimentar.
- Condiciones ambientales y de almacenamiento del equipo. Los inversores son equipos electrónicos muy sensibles a las condiciones ambientales. Se debe elegir uno lo suficientemente robusto como para aguantar las condiciones ambientales presentes.

De acuerdo a la potencia correspondiente al sistema solar de 7480W, se ha seleccionado un inversor de 8.0 kW, marca MUST y modelo PV35-8K, con las características siguientes:

Tabla 3.8: Especificaciones técnicas del inversor

MODELO		PV35-4K	PV35-5K	PV35-6K	PV35-8K	PV35-10K
Voltaje de Baterías del Sistema		24V	48V	48V	48VDC	48VDC
SALIDA INVERSOR	Potencia del Inversor	4KW	5KW	6KW	8.0KW	10.0KW
	Pico potencia (20ms)	12KW	15.0KW	18.0KW	24.0KW	30.0KW
	Capacidad arranque motores	2HP	2HP	3HP	4HP	5HP
	Tipo de Onda	Onda pura / igual que en la entrada (modo bypass)				
	Voltaje nominal salida RMS	220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)				
	Frecuencia de salida	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz				
	Eficiencia del inversor (Pico)	>85%			>88%	
	Eficiencia modo red	>95%				
	Factor de potencia	0.8				
	Tiempo de transferencia típico	10ms(max)				
ENTRADA AC	Voltaje	230VAC				
	Rango voltaje seleccionable	154~272VAC(Para ordenadores)				
	Rango frecuencia	50Hz/60Hz (Automático)				



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA HIBRIDO EÓLICO-SOLAR PARA EL FUNDO HUASACACHE DE LA U.C.S.M. DE LA U.C.S.M.

4.1. Memoria descriptiva

4.1.1. Generalidades

El presente proyecto tiene por finalidad diseñar un sistema de generación de energía eléctrica Híbrido solar – eólico para el FUNDO HUASACACHE U.C.S.M., propiedad de la Universidad Católica de Santa María Arequipa.

Para un buen funcionamiento del sistema eléctrico, todas las instalaciones eléctricas serán con equipos y accesorios de primera mano y de la mejor calidad. Cuando en las especificaciones técnicas o planos se indique “igual o semejante” solo el propietario o Proyectista decidirán sobre la igualdad o semejanza del mismo.

El terreno donde se emplaza el FUNDO HUASACACHE U.C.S.M. Arequipa, se encuentra ubicado en el sector de Huasacache a 320m de la Av. Principal Paisajista, distrito de Hunter, provincia y departamento de Arequipa

4.1.2. Alcances de proyecto

El proyecto consta del diseño sistema de generación de energía eléctrica Híbrido solar-heólico para alimentar las instalaciones eléctricas existentes tale como los Tableros eléctricos, circuitos de iluminación, circuitos alimentadores de salidas especiales, alumbrado, tomacorrientes, luces de emergencia, iluminación exterior, la instalaciones eléctricas de interiores y exteriores ya existe, se levantó la información de campo para conocer la máxima demanda de energía que consume dicho local.

4.1.3. Normas y regulaciones

Para el desarrollo de la Ingeniería de Detalle se ha realizado siguiendo las recomendaciones y requisitos indicados en las siguientes normas:

- Código Nacional de Electricidad-Suministro 2011.
- Código Nacional de Electricidad Sistema de Utilización.
- Normas DGE: Terminología en Electricidad RM N° 091-2002-EM/VME
- Normas DGE: Símbolos gráficos en electricidad RM N° 091-2002-EM/VME.
- Reglamento Nacional de edificaciones
- DECRETO LEGISLATIVO DE PROMOCION DE LA INVERSION PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD CON EL USO DE ENERGIAS RENOVABLES, D.L. 1002 (02/05/2008). Tiene por objeto promover el aprovechamiento de los Recursos Energéticos Renovables (RER) para mejorar la calidad de vida de la población y proteger el medio ambiente, mediante la promoción de la inversión en la producción de electricidad.
- Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural. R.D. N° 003-2007-EM/DGE (2007.02.12).

4.1.4. Criterios de diseño

Los criterios básicos de diseño tomados en cuenta para la elaboración del proyecto son la economía, seguridad, flexibilidad y funcionamiento del sistema.

Además, para el diseño del sistema de generación híbrido, deberá tenerse en cuenta:

- Las condiciones óptimas climatológicas del lugar.
- La selección de equipos de alta eficiencia
- La confiabilidad y respaldo del sistema de generación
- Buscar la mejor alternativa técnico-económica
- La instalación de sistemas de puesta a tierra.
- Así como las recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

4.1.5. Suministro de energía

El FUNDO HUASACACHE U.C.S.M., actualmente cuenta con un suministro en baja tensión un medidor eléctrico de SEAL que se encuentra en la Av. Paisajista a una distancia aproximada del Fundo de 350m, lo que implica una mala calidad del producto (el voltaje) en el mismo Fundo.

El FUNDO HUASACACHE U.C.S.M. Cuenta con diez tableros de distribución alimentados desde el punto de medidor de energía eléctrica, con una máxima demanda total de 13.420 kW tal como se muestra en el capítulo 3. Dicho valor se obtuvo a partir de las cargas instaladas en el local y su factor de demanda correspondiente.

4.1.6. Descripción del proyecto

El objetivo del proyecto es dotar de energía eléctrica a través de un óptimo diseño de generación híbrida para un correcto funcionamiento del - FUNDO HUASACACHE U.C.S.M. Arequipa. Para ello se ha analizado el tipo de consumo energético que tiene, así como los recursos energéticos naturales que existe en la zona, y se ha evaluado los equipos de generación existente en el mercado, y seleccionado los más apropiados para finalmente plantear la mejor solución técnica-economiza, considerando además que la alimentación de energía que existe actualmente no es confiable y no es de calidad.

El - FUNDO HUASACACHE U.C.S.M. AREQUIPA está conformada por una gran área en la cual están distribuidos ambientes de oficinas, aulas, depósitos, módulos agrícolas, criaderos, en tres niveles y un estacionamiento.

El - contará con un Tablero General (TG), el cual distribuirá la energía a 10 Tableros de distribución. Cada uno de estos tableros comanda diferentes áreas del Fundo, a saber:

Tablero TD-1: Tablero SSHH Topico

Tablero TD-2: Tablero de oficina

Tablero TD-3: Tablero aula-laboratorio

Tablero TD-4: Tablero aula

Tablero TD-5: Tablero Almacén

Tablero TD-6: Tablero criaderos de cuyes

Tablero TD-7: Tablero criaderos de cuyes

Tablero TD-8: Tablero laboratorio - aula

Tablero TD-9: Tablero laboratorio - aula

Tablero TD-10: Tablero laboratorio - aula

Se ha considerado además realizar el mantenimiento a los sistemas de puesta a tierra existente, que se utilizara también para el aterramiento del sistema de generación diseñado.

4.1.7. Bases de cálculo

Diseño Eléctrico

- Conductor : Cobre electrolítico
- Máxima Caída de Tensión : $\pm 5\%$ de la tensión nominal desde el punto de entrega de energía hasta cada equipo.
- Factor de Potencia : 0.90
- Tensión de operación : 220v
- Frecuencia de operación : 60 Hz
- Máxima demanda : 13.440 kW

4.1.8. Consideraciones en obra

Deberán considerarse incluidos en este detalle técnico los trabajos y las provisiones necesarias para efectuar la instalación eléctrica proyectada en los planos comprendiendo en general los siguientes trabajos y provisiones a realizar:

- La provisión y colocación de todos los cimientos de las estructuras, ductos y sus accesorios, cajas de paso, cajas de conexión internas y externas; y de todos los elementos integrantes de las canalizaciones eléctricas para la conexión del sistema de generación híbrido a las Instalaciones Eléctricas existentes.
- La provisión y colocación, efectuando el conexionado, de los conductores, elementos de conexión del sistema de generación híbrido, y su conexión al Tablero general de Distribución. En general, todos los accesorios que se indiquen en los planos correspondientes para todas las instalaciones Eléctricas mencionadas y los que resulten ser necesarios para la correcta terminación y el perfecto funcionamiento de las mismas. Cabe aclarar que no se modificaran las instalaciones eléctricas existentes (es decir alimentadores a subtableros o circuitos derivados, circuitos de iluminación,

tomacorrientes y cargas especiales), se recomendara al final del estudio un cambio de lámparas, pero no es el alcance de este trabajo.

- Todo gasto directo o indirecto conexas con las obras mencionadas, necesarios para entregar las instalaciones del sistema de generación híbrido completas, bajo tensión y en perfecto estado de funcionamiento, a partir del punto de alimentación en tablero existente general.
- Toda la mano de obra que demanden las instalaciones, gastos de transporte y viáticos del personal obrero o directivo. Ensayos, pruebas, instrucción del personal que se hará cargo de las instalaciones, fletes, acarreos, andamios, escaleras, carga y descarga de todos los aparatos y materiales integrantes de las instalaciones.
- Las Especificaciones Técnicas y los Planos que conforman la presente documentación, son complementarios; de surgir alguna contradicción se deberá consultar a la Supervisión de la Obra.

a. Daños a otras instalaciones

El Contratista será responsable por los daños causados a otras instalaciones mientras ejecuta su trabajo o por negligencia de sus operarios.

La reparación del trabajo dañado será efectuada por el Contratista asumiendo el costo de la misma.

En el caso de que las instalaciones existentes impidan cumplir con las ubicaciones indicadas en los planos, la Supervisión de la Obra determinará las desviaciones o arreglos que correspondan. Tales trabajos no implicarán costo adicional alguno.

b. Posición de los equipos

- La posición de los aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, baterías y otros equipos indicados en los planos son aproximadas, la ubicación exacta deberá ser consultada por el Contratista con la Supervisión de la Obra, procediendo conforme a las instrucciones que esta última imparta.
- No se colocarán salidas en sitios inaccesibles.

- Antes de proceder a la conexión final del sistema de generación híbrido con el tablero general y la instalación eléctrica existente, el Inspector del Contratista de la Obra (quien debe ser un Ingeniero Electricista o Ingeniero Mecánico Electricista colegiado), procederá a la revisión del entubado y la correcta instalación de los equipos del sistema de generación híbrido, asegurándose de que las cajas hayan quedado rígidamente unidas a las tuberías y todo esté de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de cada equipo, así como de que existe hermeticidad de las uniones entre tubo y tubo, debiendo levantarse un acta ratificadora de la buena ejecución del trabajo.

c. Especificaciones de los fabricantes de materiales especiales.

- Las especificaciones de los fabricantes referentes a la instalación de los materiales deben cumplirse estrictamente, pasando a formar parte de las Especificaciones enunciadas en este Proyecto. Si los materiales son instalados antes de ser probados, el propietario se reserva el derecho de hacerlos retirar, corriendo cualquier gasto ocasionado por este motivo por cuenta del Contratista.
- Igual procedimiento se seguirá si, a criterio del Inspector de Obra, los trabajos, equipos y materiales no cumplen con lo indicado en planos, especificaciones, etc.

d. Trabajos

- El Contratista deberá notificar por escrito a los Proyectistas la iniciación de las Obras.
- El Contratista a la iniciación de las obras presentará a los Proyectistas sus consultas técnicas para ser debidamente absueltas.
- Cualquier cambio durante la ejecución de la obra que obligue a modificar el Proyecto Original deberá ser consultado al Proyectista.
- Con el objeto de evitar interferencias en la ejecución de la construcción total, Si hubiese alguna interferencia deberá comunicarla por escrito a la Oficina Técnica.
- Caso contrario, el costo de las complicaciones y/o problemas que surgieran durante el desarrollo de los trabajos será asumido exclusivamente por el Contratista.

- Las salidas eléctricas que aparezcan en los planos son referenciales, siendo necesario efectuar la acotación de los planos de acuerdo con los dibujos de los equipos para la ejecución de los trabajos, no aceptándose adicionales por cambios, debido a la falta de dicha acotación.
- Si el Contratista durante la ejecución de la Obra necesita usar energía eléctrica, deberá hacerlo asumiendo por su cuenta los riesgos y gastos que ocasionen el empleo de tal energía.
- Al terminar el trabajo se deberá proceder a la limpieza de los desperdicios que existen ocasionados por materiales y equipos empleados en la ejecución de su trabajo.
- Los Contratistas deberán pintar con colores diferentes las salidas de los diferentes sistemas para identificarlos, indicando a la supervisión de la obra la clave correspondiente.
- Los alimentadores principales de cada sistema deberán ser debidamente identificados con placas numeradas y siguiendo las claves indicadas en planos.
- El Contratista deberá presentar al Propietario las indicaciones por escrito de identificación de cada sistema para el conveniente mantenimiento.
- El Contratista deberá entregar al Propietario al momento de la recepción de obra las instrucciones de mantenimiento de los equipos.

e. Dirección de obra

Durante la ejecución de obra el Contratista deberá tener a tiempo completo un Residente dirigiendo la obra. Entre las principales funciones que debe cumplir:

- Estudios y presentación por escrito al Proyectista de todas las consultas inherentes a la interpretación de los planos antes de iniciar la Obra. Una vez resueltas estas dudas, el Proyectista vigilará a nivel de Propietario la buena conducción de la obra.
- Dirección personal de los trabajos electromecánicos coordinados con todos los aspectos del Proyecto siguiendo las presentes consideraciones generales.

- Elaboración y presentación de los detalles constructivos, trazos de tuberías, ubicación de cajas para su aprobación por la Inspectoría de Obra.
- Ejecución de las pruebas en todos los sistemas electromecánicos, eléctricos.
- Actualización constante de los planos con todas las indicaciones necesarias de variaciones, ubicación y aclaraciones para permitir al Propietario contar al final de la ejecución con datos suficientes para el correspondiente mantenimiento.
- Instrucción adecuada al personal especializado que se hará cargo del mantenimiento de los sistemas electromecánicos, eléctricos para lo cual pedirá al Propietario el nombramiento de dicho personal.
- Elaboración de los planos de replanteo final de Obra ejecutada.

En caso de equipamiento el Residente dirigiendo de la obra coordinará con los Suministradores para la instrucción al personal de mantenimiento.

f. Supervisión de obra

Durante la ejecución de obra la Supervisión deberá contar con un Asesor en la especialidad que interviene en el Proyecto, a fin de efectuar una cabal supervisión de los trabajos que desarrolle el contratista.

El Asesor de las Instalaciones Eléctricas deberá conocer la totalidad del Proyecto al iniciarse la obra para lo cual pasará por escrito todas las consultas necesarias al Proyectista inherentes a la interpretación de los planos.

Durante todo el tiempo que dura la ejecución de obra, el Asesor de las Instalaciones Eléctricas deberá vigilar que el Contratista cumpla con todas las exigencias del Proyecto, tanto en materiales como en mano de obra debiendo constatar personalmente las ubicaciones y pruebas de todos los sistemas.

El Asesor de las Instalaciones Eléctricas recepcionará la obra en su totalidad, dando su conformidad al funcionamiento de los equipos instalados, presentará al Propietario los planos instalados por el Contratista para que el personal de mantenimiento se haga cargo de la obra.

g. Calidad de los trabajos y materiales

Los materiales a utilizar en la ejecución de los trabajos serán de la mejor calidad dentro de las marcas y modelos pedidos, debiendo los mismos contar con el correspondiente cumplimiento de las normas INDECOPI, las normas técnicas peruanas NTP, se entiende también satisfechas en tanto respondan a normas internacionales IEC (International Electrotechnical Comisión), pudiendo la Supervisión de la Obra disponer de inmediato el rechazo de los mismos y aún de los trabajos realizados con ellos; cuando a su solo juicio no respondan a la calidad exigida y sello correspondiente. Salvo que indique lo contrario, todos los materiales indicados en el Presente Pliego serán provistos y colocados por la Contratista.

Cuando se indican marcas y/o modelos de referencia, se hace al solo efecto de determinar tanto características técnicas, como un grado de calidad mínima aceptable, a la vez que brindar a los Oferentes parámetros concretos al efectuar su cotización. Los mismos, podrán ofrecer elementos de calidad equivalente o superior, quedando el asesor de Instalaciones Eléctricas de la supervisión, capacitada para determinar a su solo juicio el grado de equivalencia de los mismos. Cuando se deban efectuar ensayos (ya sea parciales o completos) de uno o todos los materiales propuestos (a efectos de determinar a ciencia cierta su calidad), los gastos que los mismos generen serán por cuenta y cargo del Oferente.

Resultados Sistema híbrido de Energía Solar Fotovoltaica – Eólico

Se deduce que la mejor alternativa técnica y económica es la implementación del sistema híbrido solar + eólico + baterías, considerando que los aerogeneradores cubrirán una potencia de 6KW, mientras que el sistema solar 7.420KW, además las baterías servirán de respaldo al sistema solar para lo cual se instalaran dos reguladores de carga para la carga de las baterías. Todo el sistema de corriente continua trabaja con un voltaje 48V. y un voltaje de salida del inversor de 220V en corriente alterna 60 Hz.

El funcionamiento del sistema híbrido es muy sencillo. Hay una red formada por dos elementos generadores (paneles fotovoltaicos, aerogenerador) y el regulador que es el corazón de toda la instalación. El sistema de control detectará el nivel de carga de las baterías y, a medida que no sea necesaria más energía, irá desconectando los elementos generadores. Este proceso será progresivo eliminando uno a uno los sistemas. 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.

Se aplicará un programa regular de operación y mantenimiento del equipo de sistema híbrido eólico-fotovoltaico; el proyecto considera las futuras ampliaciones en otras zonas asiladas de la red. Ya que los equipos generadores seleccionados superan la energía consumida por la instalación eléctrica.

La implementación de este proyecto sería un gran logro para la universidad, puesto que representa la aplicación de tecnología innovadora en el Perú, sobre todo en Arequipa, donde aún no existe sistemas híbridos de generación instalados y en funcionamiento, que además cuida el medio ambiente disminuyendo la contaminación ambiental, obteniendo otros beneficios complementarios tales como mejorar la calidad energética y mejor confiabilidad en el Fundo Huasacache, ya que al encontrarse más de 300 metros de la SED de SEAL llega el voltaje con mucha caída de tensión y existen cortes de energía frecuentes, además se podrían realizar proyectos de investigación con el sistema híbrido instalado, así como brindar entrenamiento al personal técnico, alumnado y de docentes en la operación y el mantenimiento y sirve de ejemplo de los beneficios ambientales que se logra con la aplicación de fuentes renovables en locales urbanos y rurales aisladas.

A continuación se muestra el esquema final del diseño realizado para el sistema de generación híbrido:



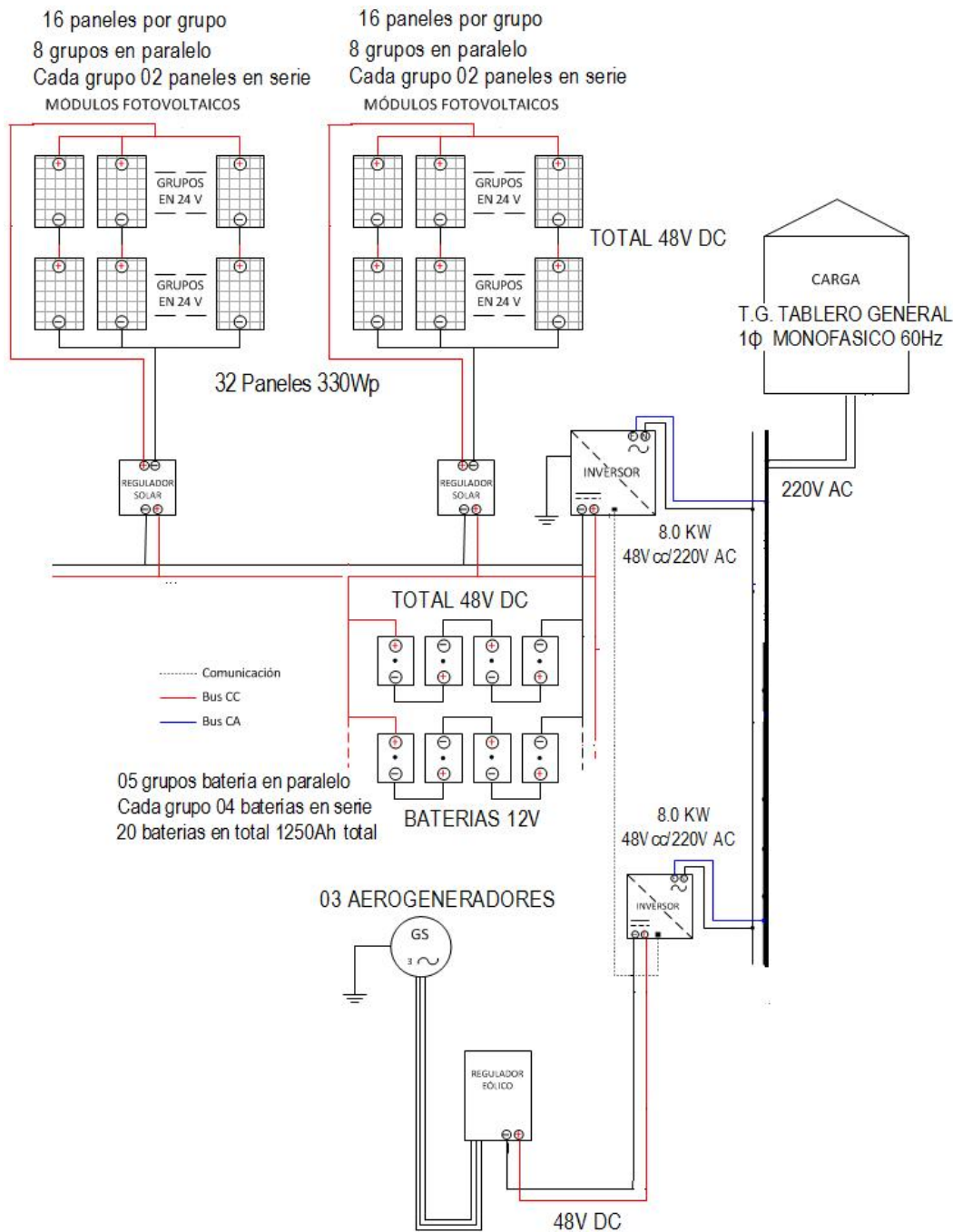


Fig. 4.1: Sistema híbrido de Energía Solar Fotovoltaica – Eólico. Elaboración propia

4.2. Resultados Sistema de Energía Solar Fotovoltaica

Las mediciones de caracterización (curva I-V) de un módulo fotovoltaico permitieron determinar la corriente de cortocircuito, para poder con ésta realizar los cálculos de la Irradiancia solar y de la temperatura del módulo. Por lo que la corriente de cortocircuitos es 9.26A de acuerdo al fabricante.

El aporte eléctrico del Sistema Fotovoltaico se diseñó para la diferencia de la máxima demanda que el sistema eólico (6KW), por lo tanto siendo la máxima demanda del sistema 13.420KW, sería necesario cubrir con los paneles 7.420KW y un consumo de energía de 47.52 KWh/día. Dichos paneles tendrán una inclinación de 14.74°.

Los resultados Sistema de Energía Solar Fotovoltaica fueron, la potencia nominal de sistema fotovoltaico será de 10,560W (32 x 330 Wp), considerando que la radiación crítico de la zona es de 5,5 kWh/m², entonces se obtuvo:

- La energía total estimada por el sistema fotovoltaico de 32x330 Wp es: Energía Generada/día = $32 \times 330 \times 5,5 = 58,08 \text{ KW-h}$
- Energía Generada/año = $32 \times 330 \times 5,5 \times 365 / 1000 = 21,199.2 \text{ KW-h/año}$

Los paneles eléctricos se han agrupado de la siguiente forma, tiene 8 grupos de paneles en paralelo y cada grupo tiene dos paneles en serie.

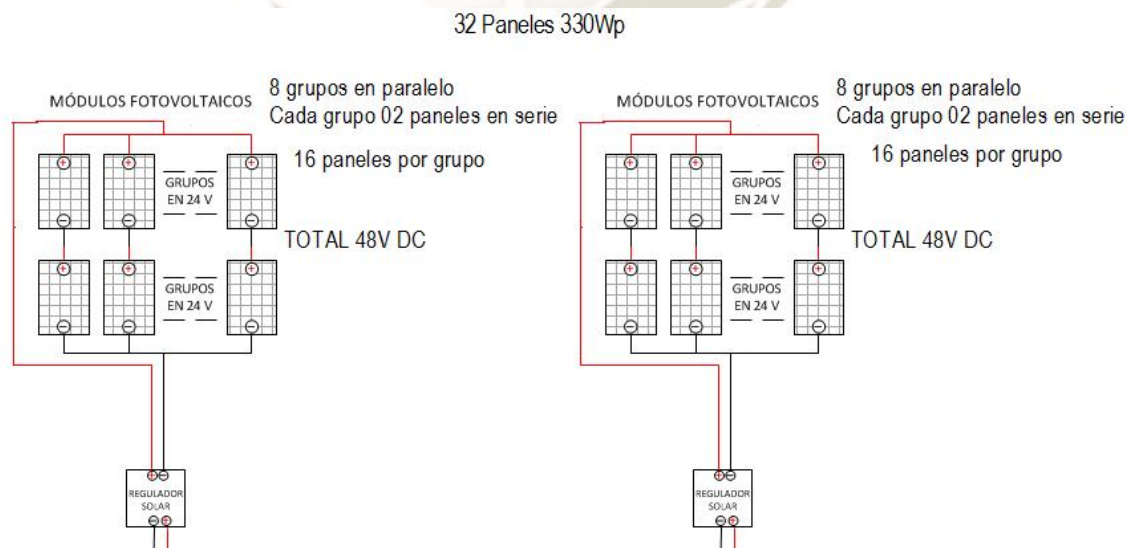


Fig. 4.2: Conexión de paneles solares para el proyecto.

4.3. Resultados Sistema Energía Eólica

Los cálculos de diseño y la selección de equipos fueron hecha en base a la información climatológica del lugar proporcionada por la estación de Senamhi instalada en el mismo Fundo Huasache de la U.C.S.M., por lo que los valores proporcionados son muy exactos para este diseño. Los resultados fueron, los siguientes:

- Se hizo un cálculo de los componentes del sistema aerogenerador -generador eléctrico, rotor eólico y sistema de orientación-, se basa en la compatibilidad de los parámetros de la turbina eólica con los del generador eléctrico, realizándose una comprobación de los parámetros del aerogenerador. Que después se seleccionó de acuerdo a su curva de Potencia (Potencia VS Velocidad del viento) Se ha elegido el Aerogenerador Bornay 3000, de 3000W, 48 V. Cuyo valor de potencia a 8m/s entrega 2000W, por lo que en total sería 03 aerogeneradores que cubrirán 6KW, y 36.96KW-h/día.
- La velocidad del viento a 10 m (según SENAMHI) es de 8 m/s, con este valor nos vamos a la curva P-V y encontramos el valor de potencia que nos dara el aerogenerador para esa velocidad.
- Luego se determinó la energía generada al año: Energía Generada/año = $2000 \times 24 \times 365 / 1000 = 17,250$ KWh-año

Los aerogeneradores seleccionados se ubicaran al lado de la estación climatológica Huasacache, y además cada aerogenerador viene con su propio regulador, el cual se conectara a un inversor que alimentara el sistema eléctrico integral.

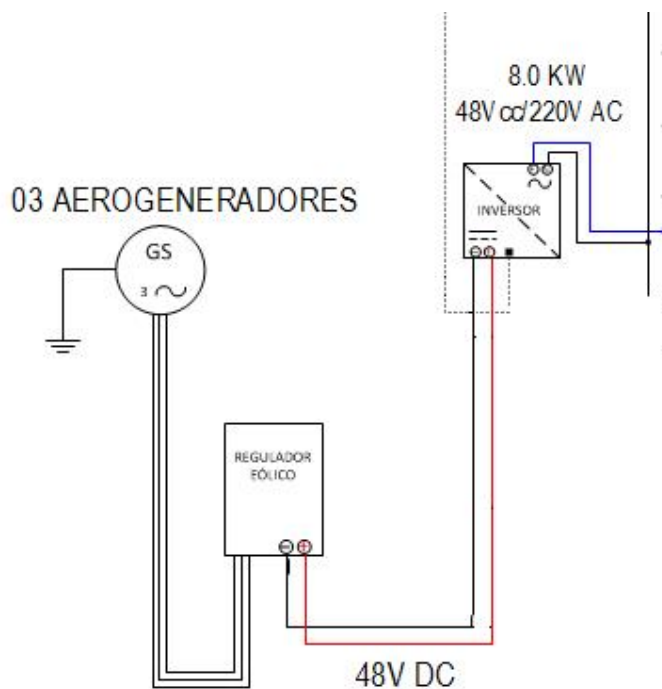


Fig. 4.3: Conexión de aerogeneradores para el proyecto.

4.4. Baterías y Regulador de Carga

El conjunto paneles más aerogenerador genera energía que alimentara a todo el sistema eléctrico del Fundo, si bien es cierto la baterías almacenan energía eléctrica, el costo de cada batería es un porcentaje muy alto en la inversión total, por lo que tendríamos tres opciones que las baterías sean el respaldo del sistema solar, que las baterías sean el respaldo del sistema eólico y el que las baterías sean el respaldo del sistema hibrido, después de haber analizado los tres escenarios se eligió las baterías para el respaldo del sistema solar, ya que este recurso solo está presente algunas horas al día y en la noches las baterías entregaran al energía almacenada, mientras que el recurso eólico funciona las 24 horas del día entregando energía y potencia en función a la velocidad del viento. Además es importante mencionar que el mayor consumo de energía se da en el día en el horario de oficinas y clases del alumnado, es decir de 8:00am a 16:00pm.

Entonces las baterías fueron calculadas para el valor real del consumo energético de la instalación alimentado por el sistema solar 47.52KW/día, dicha energía es almacenada en un sistema de acumulación con baterías de una capacidad de 250Ah cada una, un voltaje 48

Vcc. Este sistema consta de 20 baterías (1250AH y 12V cada uno) interconectadas en 4 unidades en serie y 5 grupos en paralelo.

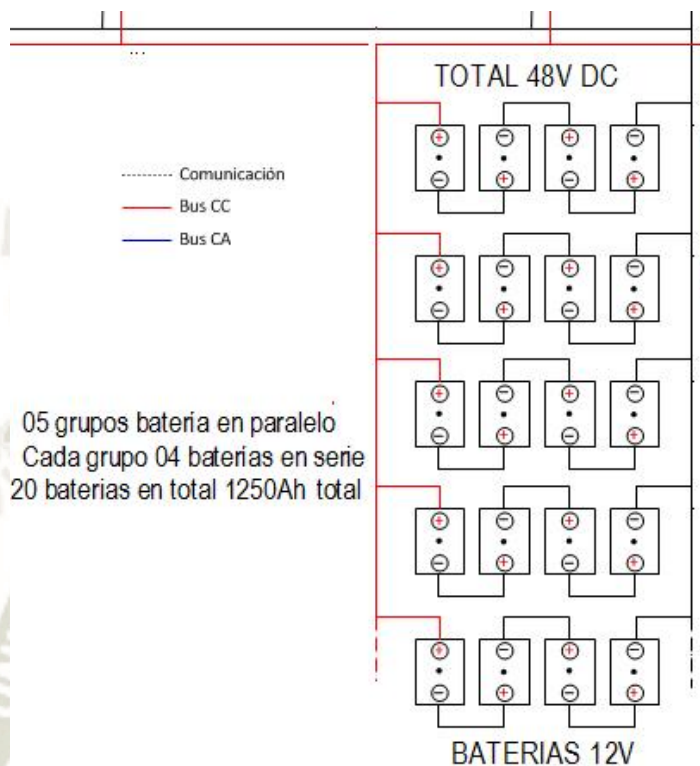


Fig. 4.4: Conexión de aerogeneradores para el proyecto. Elaboración propia

El regulador de carga de los aerogeneradores vienen junto con el aerogenerador, el fabricante proporciona ambos equipos, en nuestro caso el aerogenerador BORNAY3000:

Tabla 4.1: Características técnicas eléctricas del aerogenerador

Características eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	3000 w
Voltaje	24, 48, 120 v
RPM	@ 500
Regulador	24 v 150 Amp 48 v 75 Amp

Para el regulador de carga del sistema solar consideraremos la corriente máxima de los paneles solares, enlazando el sistema fotovoltaico con las baterías se va a usar 02 controladores electrónicos de capacidad 100 A cada uno.

4.5. Inversor DC/AC

El sistema híbrido se ha diseñado de acuerdo a la máxima demanda, la parte de generación eólica tiene una potencia efectiva de 6KW a 48V DC, y se ha seleccionado un inversor de marca MUST y modelo PV35-8K 8KW de 48VDC/220VAC, y para la generación solar constituida de 32 paneles de 330Wp se ha seleccionado un inversor de marca MUST y modelo PV35-8K 8KW de 48VDC/220VAC, 60 Hz

El funcionamiento óptimo del sistema híbrido es la combinación del sistema Solar-Eólico-Baterías, con un funcionamiento del 52.2906% del sistema solar, y un 44.7094% para el sistema eólico y un 52.2906% para la descarga de la batería (en ausencia de recursos eólicos solares). Por lo tanto la mejor alternativa técnica y económica es la implementación del sistema híbrido solar + eólico + baterías.

4.6. Análisis económico del Sistema Híbrido Solar-Eólico

La vida útil del sistema es de 20 años, esto según datos de los fabricantes de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos, sin embargo es importante mencionar que a partir de los 10 años de operación los paneles pueden empezar a perder algo de su capacidad de producir energía, pero según datos de fabricantes esto no debe exceder el 10%, por lo tanto se considerará para el presente cálculo que no existe necesidad de reemplazar los paneles durante los 20 años de operación estimados del sistema.

De acuerdo al diseño propuesto, el sistema híbrido está compuesto de:

- 03 Aerogeneradores Bornay 3000 de 3kW de potencia nominal, con Power Center y torre.
- 32 Paneles fotovoltaicos AMERISOLAR AS6P de 330Wp cada uno con estructura de soporte.
- 20 Baterías UPOWER TFS-250
- 02 Inversores modulares MPPT modelo PV3500 de 8KW de potencia nominal.
- Estructuras de soporte para los paneles.
- Obras civiles como casa de fuerza y cimentaciones requeridas.

Adicionalmente debe considerarse la necesidad de construir obras civiles como la casa de fuerza y cimentaciones para la torre del aerogenerador y estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos

El costo total de la instalación determinado en la siguiente Tabla.

Tabla 4.2: Análisis de costos del sistema híbrido

Elemento	Modelo y marca	W / A / Ah	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio total (US\$)	Precio (US\$ por W,A,ah)
Módulo fotovoltaico	Amerisolar 330W	330	32	\$ 290.00	\$ 9,280.00	\$ 0.88
Regulador	BlueSolar MPPT150/100 VICTRON	100	2	\$ 1,800.00	\$ 3,600.00	\$ 18.00
Batería	UPOWER UPTFS250 12V 250 A/H	250	20	\$ 255.00	\$ 5,100.00	\$ 1.02
Inversor	MUST PV35-MPPT8000-220V	8000	2	\$ 3,800.00	\$ 7,600.00	\$ 0.48
Estructura soporte	Metálica	-	1	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00	-
Aerogenerador+Regulador	Bornay 3000	-	3	\$ 5,900.00	\$ 17,700.00	-
Conductores	Varios	-	1	\$ 820.00	\$ 820.00	-
Terminales	Varios	-	1	\$ 99.00	\$ 99.00	-
Protecciones	Varios	-	1	\$ 167.00	\$ 167.00	-
Mano de obra instalación	-	-	1	\$ 2,800.00	\$ 2,800.00	-
Transporte	-	-	1	\$ 625.00	\$ 625.00	-



Fuente : Elaboración propia

Graficamente tendríamos lo siguiente:

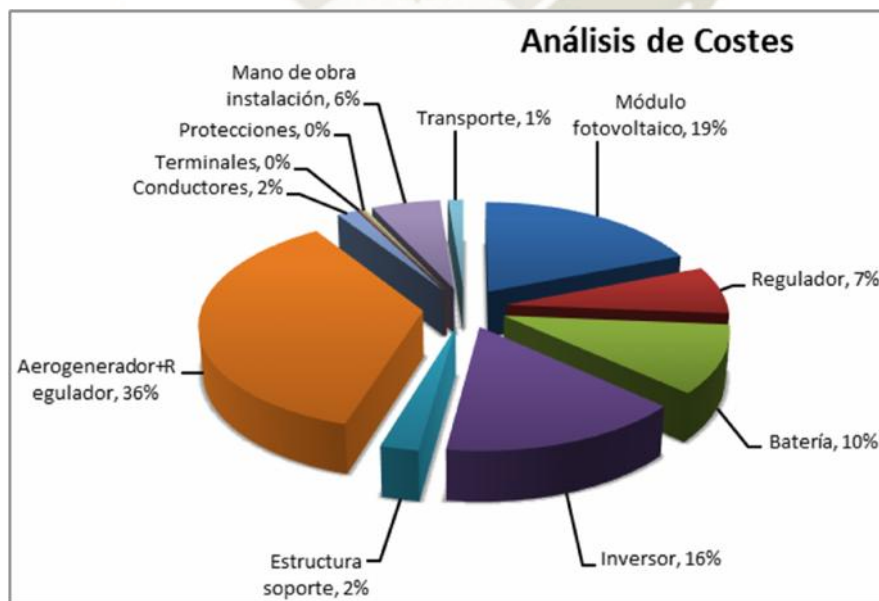


Fig. 4.5: Análisis de costos del sistema híbrido

A lo largo de la vida útil del sistema deberá considerarse el cambio de baterías Cada 10 años (de acuerdo al fabricante tienen un tiempo de vida útil de 12 años), al igual que el del inversor y el controlador, entonces cada 10 años se incurrirá en un costo adicional de US \$ 5100.00 (de las baterías), US \$ 7,600 (del inversor) y US \$ 3,600 (del regulador) y todos estos costos deben ser llevados al presente, es decir al momento en que se hace la inversión inicial. Además se consideró un costo por el mantenimiento del sistema el tiempo de operación. De esta forma será posible conocer el costo de operación del sistema a lo largo de su vida útil estimada de 20 años y conociendo la energía que suministra el sistema en esos 20 años será factible conocer el costo de la energía de este sistema, se muestran los resultados finales:

Tabla 4.3: Análisis de costos finales del sistema híbrido

Elemento	Modelo y marca	W / A / Ah	Cantidad	Precio unitario (US\$)	Precio total (US\$)	Precio (US\$ por W,A,ah)
Módulo fotovoltaico	Amerisolar 330W	330	32	\$ 290.00	\$ 9,280.00	\$ 0.88
Regulador	BlueSolar MPPT 150/100 VICTRON	100	2	\$ 1,800.00	\$ 3,600.00	\$ 18.00
Regulador (REPOSICION)	BlueSolar MPPT 150/100 VICTRON	100	2	\$ 1,800.00	\$ 3,600.00	\$ 18.00
Batería	UPOWER UPTFS250 12V 250 A/H	250	20	\$ 255.00	\$ 5,100.00	\$ 1.02
Batería (REPOSICION)	UPOWER UPTFS250 12V 250 A/H	250	20	\$ 255.00	\$ 5,100.00	\$ 1.02
Inversor	MUST PV35-MPPT 8000-220V	8000	2	\$ 3,800.00	\$ 7,600.00	\$ 0.48
Inversor (REPOSICION)	MUST PV35-MPPT 8000-220V	8000	2	\$ 3,800.00	\$ 7,600.00	\$ 0.48
Estructura soporte	Metálica	-	1	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00	-
Aerogenerador+Regulador	Bornay 3000	-	3	\$ 5,900.00	\$ 17,700.00	-
Conductores	Varios	-	1	\$ 820.00	\$ 820.00	-
Terminales	Varios	-	1	\$ 99.00	\$ 99.00	-
Protecciones	Varios	-	1	\$ 167.00	\$ 167.00	-
Mano de obra instalación	-	-	1	\$ 2,800.00	\$ 2,800.00	-
Transporte	-	-	1	\$ 625.00	\$ 625.00	-
Mantenimiento del sistema	-	-	1	\$ 5,000.00	\$ 5,000.00	-

Subtotal (US\$)	\$ 70,291.00
IGV (18%)	\$ 12,652.38
TOTAL	\$ 82,943.38

Fuente: Análisis de costos finales del sistema híbrido. Elaboración propia

Además, se analizó el costo de la energía eléctrica que actualmente paga el Fundo Huasacahe a SEAL, ya que actualmente tiene un contrato vigente con la tarifa BT5B, el cual es de 0.5767 S/KWH, se adjunta el detalle de costos actuales del KWH. Además de acuerdo a la información levantada en campo y a los horarios en que utilizan la energía total es de 84.48KWH/día, entonces analizando el costo total de la energía en los 20 años de este estudio tendríamos:

Energía total consumida 20 años = 84.48KWH/día x 365 días x 20 años = 616,704KWH

Costo de la energía 20 años = 616,704 KWH x 0.5767 S/KWH = 355,653.196 S/

Al cambio en dólares es aproximadamente (S/3.3 -\$1), sería un costo total por el consumo de energía actual en 20 años de \$ 107,7773.696.

Tabla 4. 4: Costos tarifarios de la energía eléctrica para la tarifa BT5B.

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad

Empresa: Seal

Pliego	Vigencia	Sector	Interconexion
AREQUIPA	4/Feb/2019	2	SEIN

TARIFA BT5B: TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E			
No Residencial	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.23
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	57.84
TARIFA BT5B TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E			
Residencial	a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes		
	0 - 30 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.11
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	41.79
	31 - 100 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.11
	Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h	S./mes	12.54
	Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h	ctm. S./kW.h	55.72
	b) Para usuarios con consumos mayores a 100 kW.h por mes		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	3.23
	Cargo por Energía Activa	ctm. S./kW.h	57.84

CONCLUSIONES

PRIMERA

Se realizó un levantamiento de los equipos eléctricos, luminarias, computadores, etc. Existentes en el Fundo de Huasacache, y considerando el factor de demanda se obtuvo una máxima demanda de 13.420KW, y considerando el horario del uso de la energía eléctrica se determinó un consumo de energía diario de 84.48KWH/día.

SEGUNDA

Se evaluó los recursos energéticos del lugar, se aprovechó que dentro del Fundo se encuentra instalada una estación de medición de parámetros meteorológicos de SENAMHI y ellos nos proporcionaron los datos requeridos. Según los datos de radiación solar en Arequipa Perú proporcionado por SENAMHI, seleccionamos la energía solar para el mes más crítico que es 5.5 kWh/m². Y una irradiancia promedio de 6.61KWh/m², se trabajó en el diseño con el valor crítico. Según la información proporcionada por la estación de Senamhi ubicada en Huasacahe, la velocidad media del viento registrada es igual a: Velocidad media 8 m/s , con una dirección WNW (Oeste Noroeste) a 10 msnpt, datos proporcionados por Senamhi.

TERCERA

Mediante el aprovechamiento del recurso eólico y solar se calculó y selecciono los equipos y materiales para la implementación de Sistema Híbridos eólicos-fotovoltaicos para el Fundo Huasacahe. Todo el sistema de corriente continua trabaja con un voltaje 48V. y un voltaje de salida del inversor de 220V en corriente alterna 60 Hz. El aporte eléctrico del Sistema Fotovoltaico se diseñó para la diferencia de la máxima demanda que el sistema eólico (6KW), por lo tanto siendo la máxima demanda del sistema 13.420KW, sería necesario cubrir con los paneles 7.420KW y un consumo de energía de 47.52 KWh/día. En total se calcularon 32 paneles. Dichos paneles tendrán una inclinación de 14.74°. Los resultados Sistema de Energía Solar Fotovoltaica fueron, la potencia nominal de sistema fotovoltaico será de 10,560W (32 x 330 Wp). Se hizo un cálculo de los componentes del sistema aerogenerador -generador eléctrico, rotor eólico y sistema de orientación-, se basa en la compatibilidad de los parámetros de la turbina eólica con los del generador eléctrico,

realizándose una comprobación de los parámetros del aerogenerador. Que después se seleccionó de acuerdo a su curva de Potencia (Potencia VS Velocidad del viento) Se ha elegido el Aerogenerador Bornay 3000, de 3000W, 48 V. Cuyo valor de potencia a 8m/s entrega 2000W, por lo que en total sería 03 aerogeneradores que cubrirán 6KW, y 36.96KW-h/día.

CUARTA

Se realizó un estudio de las características técnicas de los diferentes equipos necesarios para el diseño del sistema. Se seleccionó paneles solares fotovoltaico de alta eficiencia de 330Wp, 24V. Los paneles eléctricos se han agrupado en 8 grupos de paneles en paralelo y cada grupo tiene dos paneles en serie, voltaje total de 48V. Se seleccionó 03 aerogeneradores BORNAY3000, de potencia nominal de 3000W, y una potencia efectiva a la velocidad del lugar de 2000W y 48V DC, además cada aerogenerador viene con su propio regulador, el cual se conectara a un inversor que alimentara el sistema eléctrico integral. Las baterías fueron calculadas para el valor real del consumo energético de la instalación del sistema solar 47.52KW/día, dicha energía es almacenada en un sistema de acumulación con baterías de una capacidad de 250Ah cada una, un voltaje 48 Vcc. Este sistema consta de 20 baterías (1250AH y 12V cada uno) interconectadas en 4 unidades en serie y 5 grupos en paralelo. Para el regulador de carga del sistema solar consideraremos la corriente máxima de los paneles solares, enlazando el sistema fotovoltaico con las baterías se va a usar 02 controladores electrónicos de capacidad 100 A cada uno. Se ha seleccionado dos inversores de marca MUST y modelo PV35-8K 8KW de 48VDC/220VAC, 60 Hz y para la generación híbrida. El funcionamiento óptimo del sistema híbrido es la combinación del sistema Solar-Eólico-Baterías, con un funcionamiento del 52.2906% del sistema solar, y un 44.7094% para el sistema eólico y un 52.2906% para la descarga de la batería (en ausencia de recursos eólicos solares).

QUINTA

Se ha determinado el costo de la implementación del sistema de generación híbrido considerando la vida útil del sistema es de 20 años, esto según datos de los fabricantes de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos, sin embargo es importante mencionar que a partir de los 10 años de operación los paneles pueden empezar a perder algo de su capacidad de producir energía, pero según datos de fabricantes esto no debe exceder el 10%, por lo tanto

se considerará para el presente cálculo que no existe necesidad de reemplazar los paneles durante los 20 años de operación estimados del sistema. Adicionalmente debe considerarse la necesidad de construir obras civiles cimentaciones para la torre del aerogenerador y estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos. El costo total de la instalación determinado es de \$ 57,809.38. además a lo largo de la vida útil del sistema deberá considerarse el cambio de baterías cada 10 años (de acuerdo al fabricante tienen un tiempo de vida útil de 12 años), al igual que el del inversor y el controlador, entonces el costo total considerando dichos reemplazos de los equipos sería \$ 82,943.38. Además se analizó el costo de la energía eléctrica convencional que actualmente paga el Fundo Huasacahe a SEAL, ya que actualmente tiene un contrato vigente con la tarifa BT5B, el cual tiene un costo de 0.5767 S/KWH, y se consume una energía total de 84.48KWH/día, entonces analizando el costo total de la energía en los 20 años sería de S/355,653.196 o \$ 107,7773.696.

Se logró una solución técnica y económicamente viable. Los sistemas Híbridos son fiables, pues tienen una ventaja al aprovechar dos fuentes de alimentación energética (el sol y el viento), de esta forma se reduce el tamaño de la batería en comparación con un sistema de una sola tecnología.

La metodología de cálculos y criterios de optimización aportados han permitido demostrar los beneficios de los sistemas de generación híbridos en relación a las otras alternativas, mostrando rentabilidad económica por la menor inversión y mayor fiabilidad para la continuidad del servicio eléctrico. El proyecto por ser de carácter modular permite que en el futuro pueda ser ampliado, extendiendo la oferta a los incrementos de carga en el futuro.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar la implementación la instalación del sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de electricidad del Fundo Huasacache, habiéndose demostrado que el costo total del sistema es menor del costo por la energía convencional.
2. Se recomienda realizar proyectos similares a los otros locales de la Universidad, sobre todo aquellos que se encuentran alejados de las zonas urbanas como Chapioco, Fundo Majes, inclusive en para el local principal, etc.
3. Se recomienda que los alumnos de pregrado realicen este tipo de proyectos como proyección social a localidades alejadas considerando los recursos energéticos que presenten.
4. Se recomienda reemplazar los fluorescentes 39 W/840 instalados, los cuales para satisfacer el área de cada aula se necesitan 4 fluorescentes que sumarían una potencia de 152 W. El cambio se realizaría por lámparas led que sería su comparativo de 20 W resultando una potencia de 80 W prácticamente el 52% de la potencia actual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

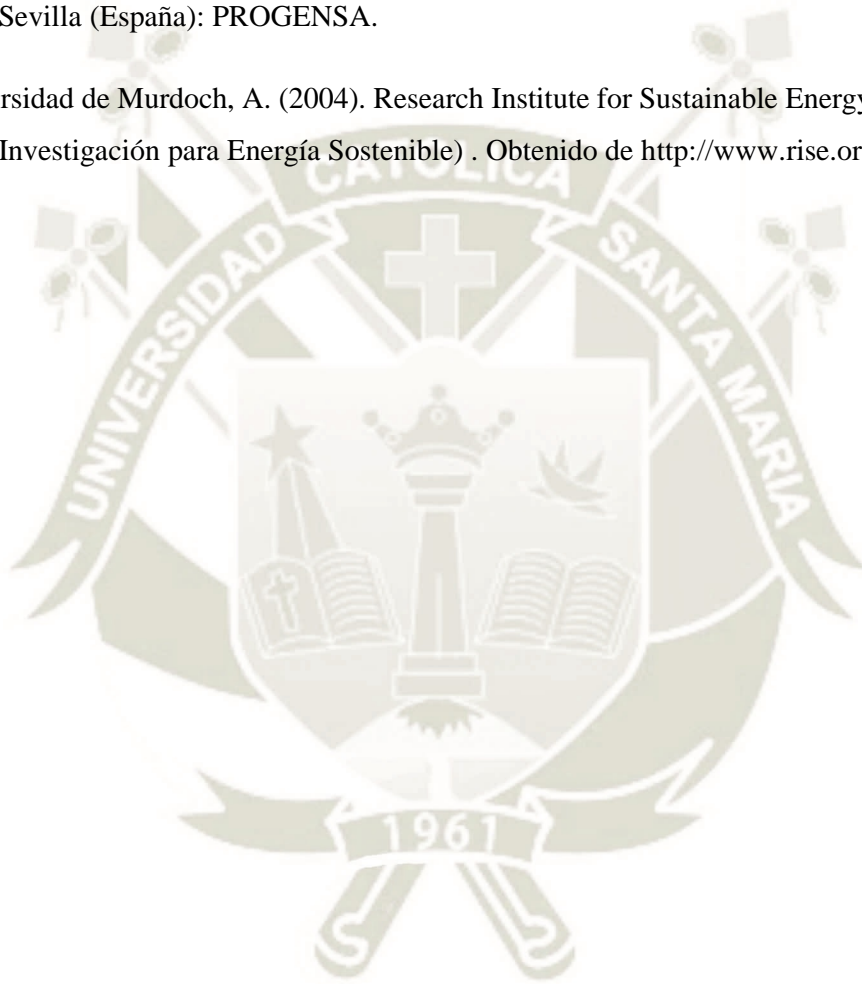
- Ackermann, Thomas, 2005, “Wind power in power systems”, ed. John Wiley, USA.
- Cádiz Deleito, J. C. (1984). “La Energía Eólica, tecnología e historia” . España: H.Blume.
- Castillo, R. (2012). “Diseño y programación de una ley de control basada en un modelo matemático para el convertidor multinivel HB5” . México: IICO, San Luís Potosí.
- Castillo, R., 2012, “Diseño y programación de una ley de control basada en un modelo matemático para el convertidor multinivel HB5”, IICO, San Luís Potosí, México.
- CENSOLAR. (1992). “Instalaciones de energia solar”, Tomo V . Sevilla (España): PROGENSA,.
- Espinoza, R. y. (1992). "Electrificación rural con sistemas fotovoltaicos" . Lima : Universidad Nacional de Ingeniería.
- Fernández Díez, P. (2002). “Energía Eólica”. España: Univ. de Cantabria, Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Energética.
- Green Energy Consultoría y Servicios SRL, M. I. (2010). “Energía Eólica Manual técnico para pequeñas instalaciones” . . Lima, Peru: SAC.
- Hislop, D. (1992). “Energy options: an introduction to small-scale renewable energy” . Londres (Inglaterra):: ITP.
- M. S. Bakar, N. A. Azli, 2003, “Simulation of a Regular Sampled Pulse-width Modulation (PWM) Technique for a Multilevel Inverter”. National Power and Energy Conference (PECon), pp. 144-147, USA.
- Manwell, J. F. (2002). “Wind energy explained : theory, design and application”. Chichester (Inglaterra): John Wiley & Sons Ltd.
- Martínez, R.C., 2012, “Controlador basado en el modelo matemático para el convertidor multinivel HB5 usado como filtro activo”, IICO, San Luís Potosí, México.

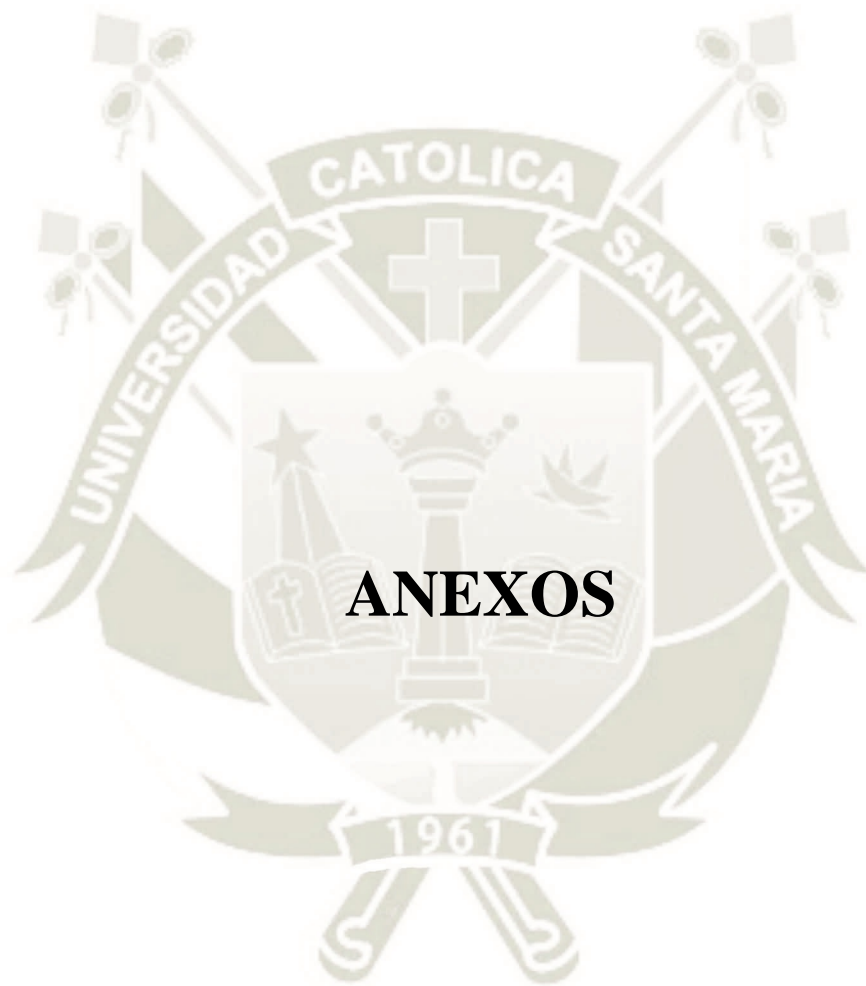
Ministerio de Energía y Minas, D. G. (2007). “Guía de Instalación de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos (SFD)”, . Lima: SAC.

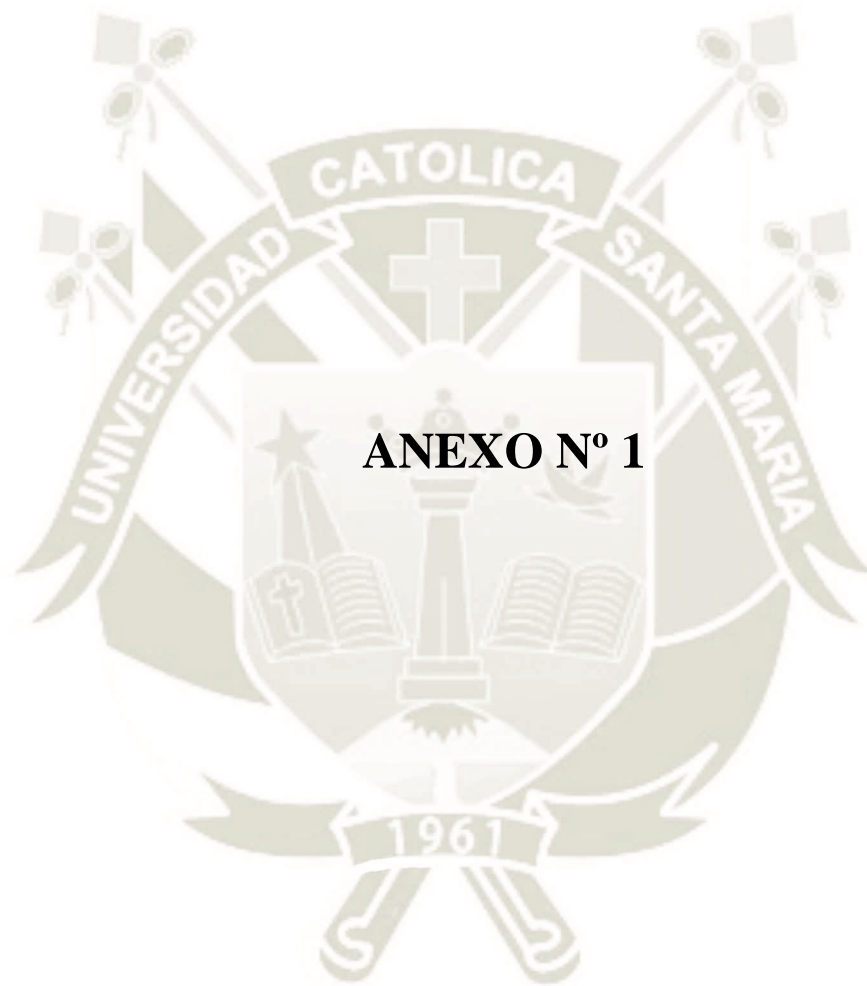
Patel, Mukund R., 2006, “Wind and solar power systems: design, analysis, and operation”, CRC press, USA.

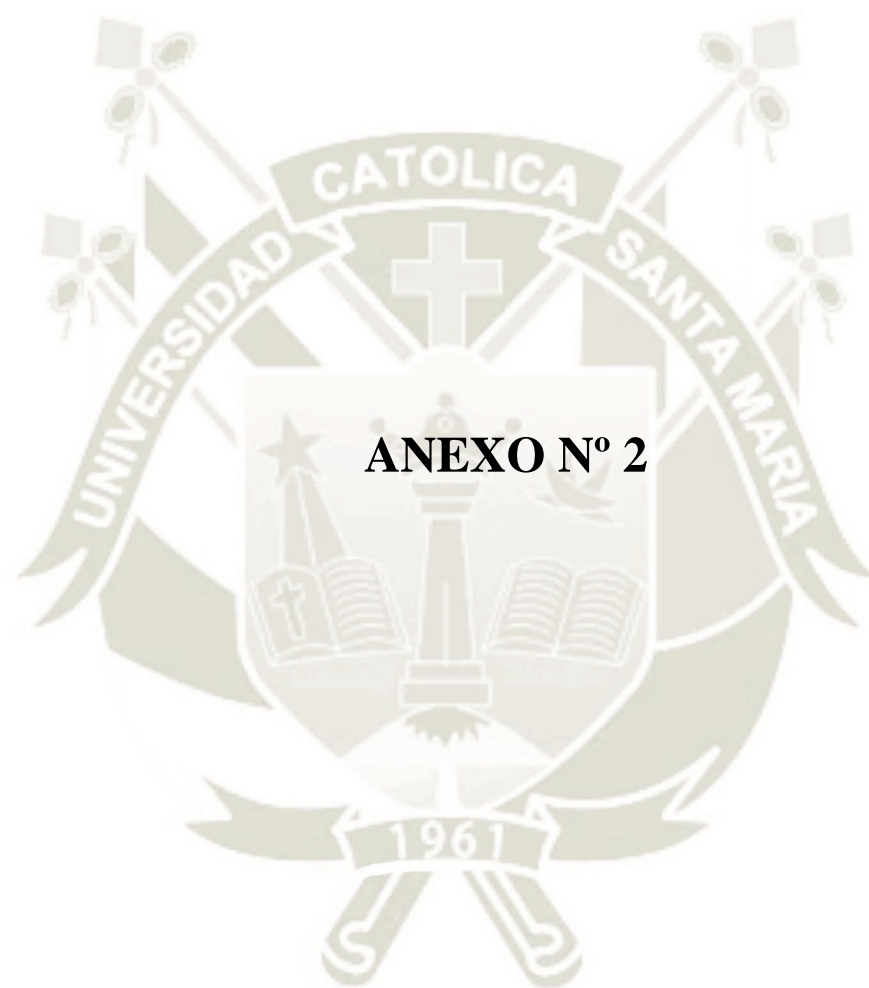
Rosato, M. A. (1991). “Diseño de Máquinas Eólicas de Pequeña Potencia” . 1ª Edición Sevilla (España): PROGENSA.

Universidad de Murdoch, A. (2004). Research Institute for Sustainable Energy (Instituto de Investigación para Energía Sostenible) . Obtenido de <http://www.rise.org.au>





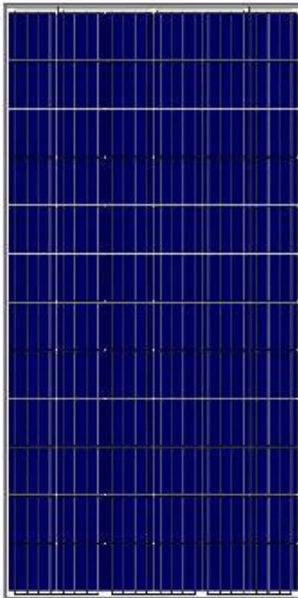






AS-6P

POLYCRYSTALLINE MODULE



Passionately
committed to
delivering innovative
energy solution

ADVANCED PERFORMANCE & PROVEN ADVANTAGES

- High module conversion efficiency up to 17.52% by using high efficient solar cells and advanced manufacturing technology.
- Low degradation and excellent performance under high temperature and low light conditions.
- Robust aluminum frame ensures the modules to withstand wind loads up to 2400Pa and snow loads up to 5400Pa.
- High reliability against extreme environmental conditions (passing salt mist, ammonia and hail tests).
- Potential induced degradation (PID) resistance.
- Positive power tolerance of 0 ~ +3 %.

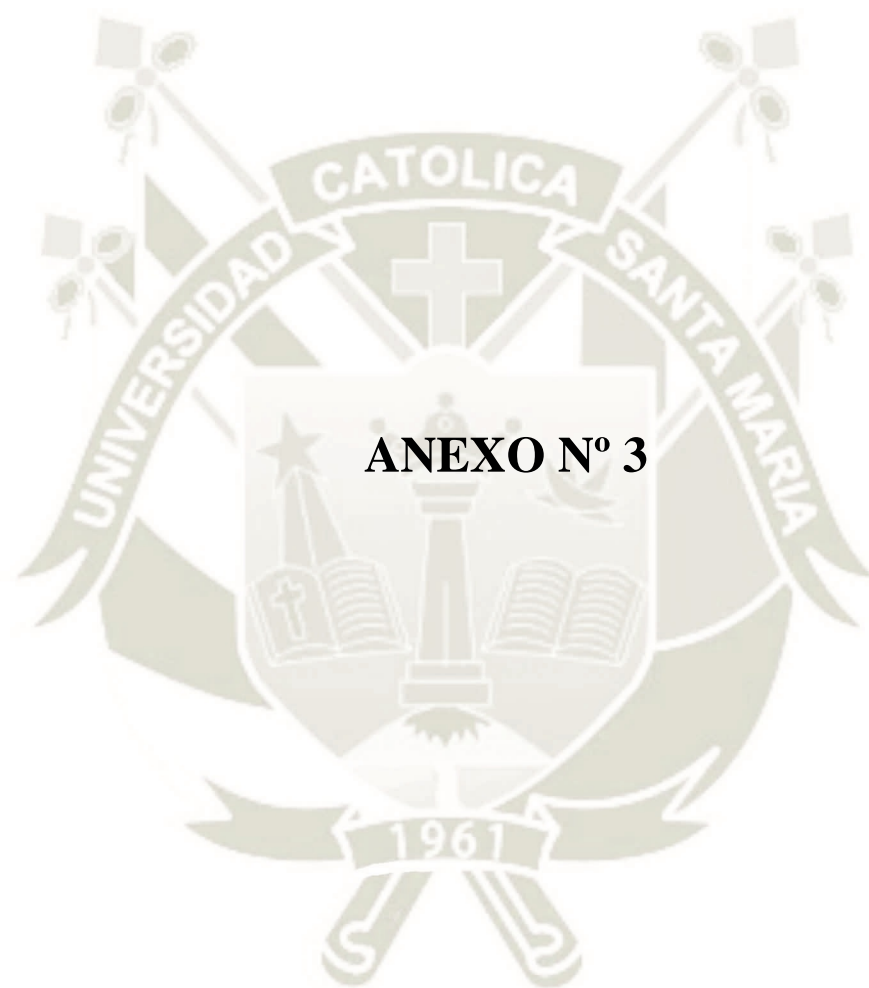
CERTIFICATIONS

- IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, CE, CQC, CGC, ETL(USA), JET(Japan), J-PEC(Japan), Kemco(South Korea), KS(South Korea), MCS(UK), CEC(Australia), FSEC(FL-USA), CSI Eligible(CA-USA), Israel Electric(Israel), InMetro(Brazil), TSE(Turkey)
- ISO9001:2008: Quality management system
- ISO14001:2004: Environmental management system
- OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system

SPECIAL WARRANTY

- 12 years limited product warranty.
- Limited linear power warranty: 12 years 91.2% of the nominal power output, 30 years 80.6% of the nominal power output.





Fabricación europea

Made in Europe

SERIE TFS & RS

AGM CICLO PROFUNDO

DEEP CYCLE AGM

Características

- Tecnología AGM.
- Diseño de vida extremadamente alto en uso cíclico.
- Clasificación EUROBAT: 12+ Larga Vida.
- Baterías VRLA, sin mantenimiento, 99% eficiencia en la recombinación interna de gases.
- Fácil instalación y comprobación.
- Carcasa de ABS V0, retardante de llama.
- Batería 100% reciclable.

Main Features

- AGM technology.
- Extremely high cyclic life.
- EUROBAT classification, 12+ years design life, Long Life.
- VRLA batteries, maintenance free, internal gas recombination efficiency 99%.
- Easy installation and commissioning.
- ABS V0 (flame retardant) container and lid.
- Battery 100% recyclable.

Aplicaciones

Energía fotovoltaica, auto caravanas, caravanas, barcos, carretillas elevadoras, plataformas elevadoras, vehículos eléctricos, barredoras, fregadoras, elevadoras, apiladores, luminarias de carretera.

Main uses

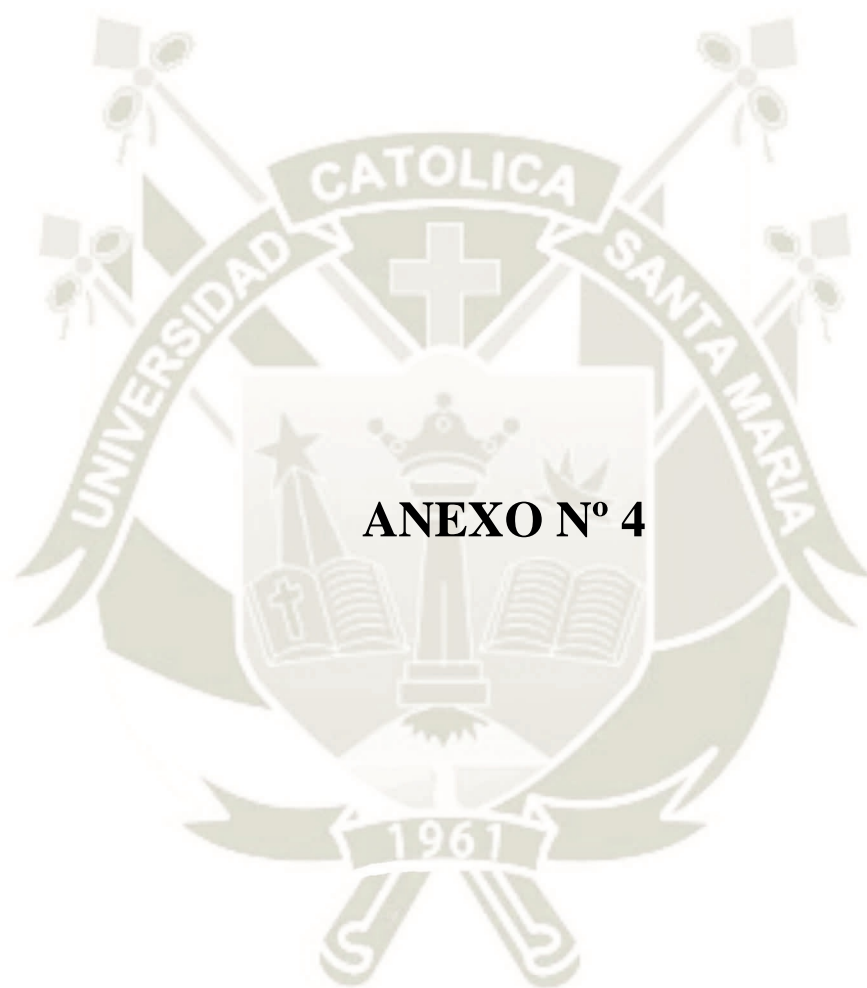
Solar energy systems, mobile homes, street solar lighting, vessels, fork lifts, lifting platforms, electrical vehicles, sweepers, scrubbing machines, electric stackers, etc.

Model	Nominal Voltage (V)	Rated Capacity (Ah) 10HR	Dimension								Weight (kg)	I.R.	Terminal type
			Length		Width		Height		Total Height				
			mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.			
UP-TFS250-12	12	250	555	21.8	125	4.9	320	12.6	320	12.6	57.3	4.03	1+1 FA
UP-RS250-6	6	255	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	35.0	1.4	1+1 TA
UP-RS288-4	4	288	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	36.0	0.81	1+1 TA
UP-RS300-2	2	300	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	28.5	0.39	2+2 FA
UP-RS625-2	2	625	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	32.0	0.35	2+2 FA
UP-RS775-2	2	775	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	36.0	0.21	2+2 TA

* Las medidas y especificaciones están sujetas a modificaciones sin previo aviso.

* Technical specifications may be change without any notice.





Fabricación europea

Made in Europe

SERIE TFS & RS

AGM CICLO PROFUNDO

DEEP CYCLE AGM

Características

- Tecnología AGM.
- Diseño de vida extremadamente alto en uso cíclico.
- Clasificación EUROBAT: 12+ Larga Vida.
- Baterías VRLA, sin mantenimiento, 99% eficiencia en la recombinación interna de gases.
- Fácil instalación y comprobación.
- Carcasa de ABS V0, retardante de llama.
- Batería 100% reciclable.

Aplicaciones

Energía fotovoltaica, auto caravanas, caravanas, barcos, carretillas elevadoras, plataformas elevadoras, vehículos eléctricos, barredoras, fregadoras, elevadores, apiladores, luminarias de carretera.

Main Features

- AGM technology.
- Extremely high cyclic life.
- EUROBAT classification; 12+ years design life, Long Life.
- VRLA batteries, maintenance free, internal gas recombination efficiency 99%.
- Easy installation and commissioning.
- ABS V0 (flame retardant) container and lid.
- Battery 100% recyclable.

Main uses

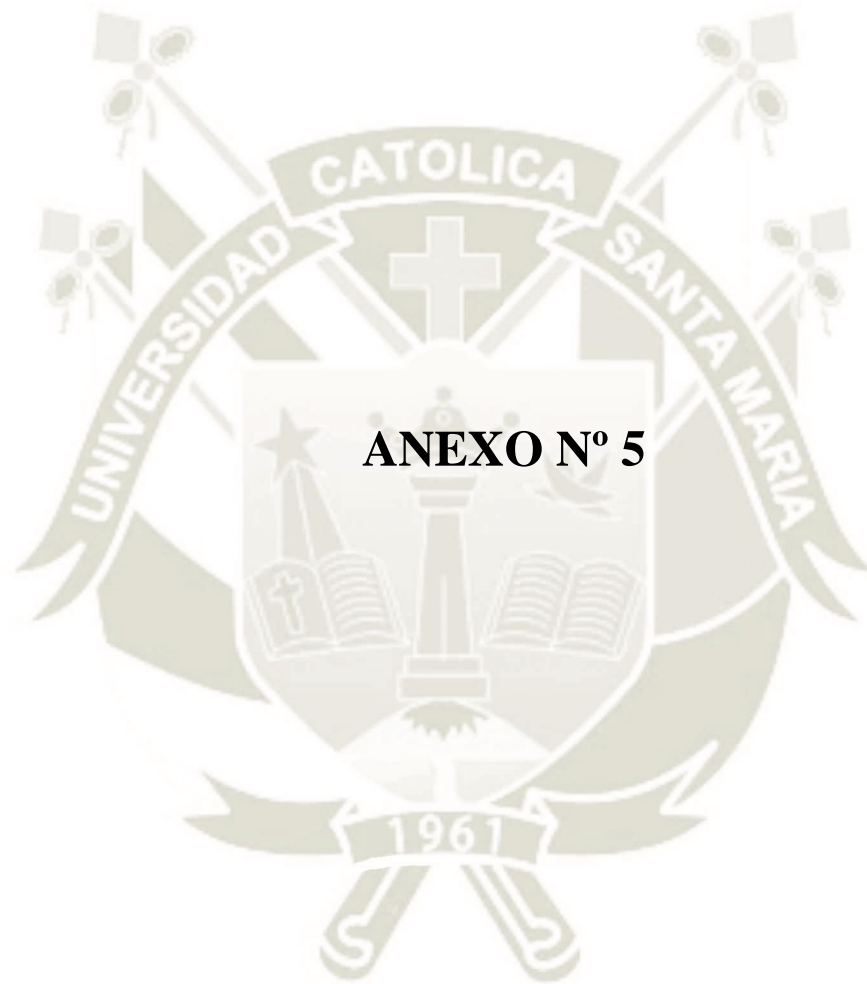
Solar energy systems, mobile homes, street solar lighting, vessels, fork lifts, lifting platforms, electrical vehicles, sweepers, scrubbing machines, electric stackers, etc.

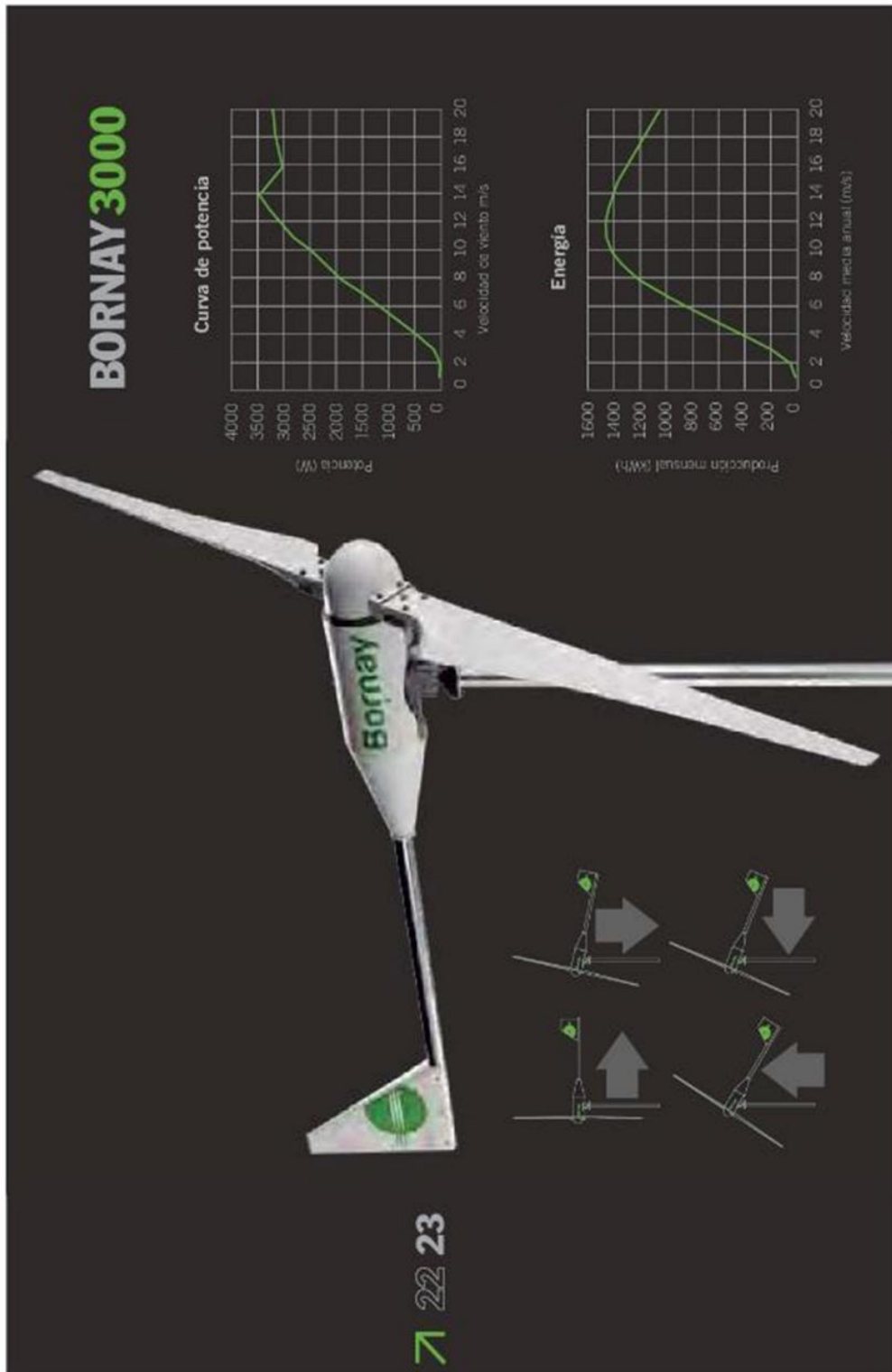
Model	Nominal Voltage (V)	Rated Capacity (Ah) 10HR	Dimension								Weight (kg)	I.R.	Terminal type
			Length		Width		Height		Total Height				
			mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.			
UP-TFS250-12	12	250	555	21.8	125	4.9	320	12.6	320	12.6	57.3	4.03	1+1 FA
UP-RS250-6	6	255	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	35.0	1.4	1+1 TA
UP-RS388-4	4	388	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	36.0	0.81	1+1 TA
UP-RS500-2	2	500	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	28.5	0.39	2+2 FA
UP-RS625-2	2	625	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	32.0	0.35	2+2 FA
UP-RS775-2	2	775	386	15.3	168	6.7	232	9.1	232	9.1	36.0	0.21	2+2 TA

* Las medidas y especificaciones están sujetas a modificaciones sin previo aviso.

* Technical specifications may be change without any notice.









Característica técnicas

Número de hélices	2
Diámetro	4 mts
Material	Fibra de vidrio/carbono
Dirección de rotación	En sentido contrario a las agujas del reloj
Sistema de control	1. Regulador electrónico 2. Pasivo por inclinación

Características eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	3000 w
Voltaje	24, 48, 120 v
RPM	@ 500
Regulador	24 v 150 Amp 48 v 75 Amp 120v. Conexión a red.

Velocidad del viento

Para arranque	3.5 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad del viento	60 m/s

Características físicas

Peso aerogenerador	93 kg
Peso regulador	14 kg
Embalaje	120 x 80 x 80 cm - 135 kg
Dimensiones - peso	220 x 40 x 15 cm - 19 kg
Total	0,90 m ³ - 154 Kgr
Garantía	3 años

