



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO  
FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES  
DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**JULIACA – PERÚ**

**2023**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO  
FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES  
DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:   
Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO

**ASESOR DE TESIS**

:   
M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA – P18



## UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

### RESOLUCIÓN DECANAL N° 1400-2023-D-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de diciembre de 2023

#### VISTOS:

El OFICIO N° 101-2023-D-EPIME-FICP-UANCV del Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y Resolución Decanal N°1292-2023 de fecha 28 de noviembre de 2023 sobre la aprobación del Informe Final del trabajo de Investigación (tesis) titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO**; y el trámite solicitado por el Bachiller en **VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO** y;

#### CONSIDERANDO:

Que, el Bachiller: **VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**; ha solicitado fecha y hora para efectuar la sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO**, para rendir el examen de sustentación del trabajo de Investigación (tesis) y optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, y;

Que, los Jurados designados por el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la FICP, están integrados por los siguientes Docentes;

- |                      |   |                                                 |
|----------------------|---|-------------------------------------------------|
| • <b>Presidente</b>  | : | <b>Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA</b>     |
| • <b>1er Miembro</b> | : | <b>Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS</b> |
| • <b>2do Miembro</b> | : | <b>Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO</b>         |
| • <b>Asesor</b>      | : | <b>M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA</b>      |

De conformidad al Reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### RESUELVE:

**ARTICULO PRIMERO.** - APROBAR Lugar, Día y Hora para que el (la) bachiller: **VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**; rendirá el Examen de Sustentación del Informe Final del Trabajo de Investigación (tesis) titulado **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista** de acuerdo al siguiente detalle:

- |                |   |                         |
|----------------|---|-------------------------|
| • <b>FECHA</b> | : | 20 de noviembre de 2023 |
| • <b>HORA</b>  | : | 10:00                   |
| • <b>LUGAR</b> | : | Aula 204 - EPIME        |

**ARTICULO SEGUNDO.** - La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

C.c. Art. 203  
Instituto  
Escuela Profesional



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
C.I.P. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. EFRAIN RABILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
C.I.P. 95531



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1292-2023-D-FICP-UANCV**

Juliaca, 28 de noviembre de 2023

**VISTOS:**

El **INFORME N° 749-2023-D-UI-FICP-UANCV**, del Director Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Ingeniería Mecánica Eléctrica, **INFORME N° 014-2023-UANCV-FICP-UI-CI** del Presidente del Sub Comité de Evaluación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, **RESOLUCIÓN DECANAL N° 303-2022-D-FICP-UANCV** que aprueba el Proyecto de Investigación el **12 de mayo de 2022** y el acta de revisión y calificación del Trabajo de Investigación (tesis) de fecha **20 de noviembre de 2023** para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el tema titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bachiller: **VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**, ha presentado su Trabajo de Investigación (tesis) Titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.**

Que, habiendo procedido de acuerdo al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajo de Investigación, con fines de la obtención de Grados Académicos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el Responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, nominó a la sub comisión de evaluación de trabajo de investigación, a los siguientes Docentes:

- **Presidente** : **Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA**
- **1er Miembro** : **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
- **2do Miembro** : **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**

Que, el Sub Comité de evaluación ha aprobado en su integridad el Trabajo de Investigación (tesis) titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.**

Que, la Oficina de Investigación ha aprobado con el Dictamen N° 302-2023, la originalidad del trabajo de investigación (tesis) titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.**

Estando, conforme a la **RESOLUCIÓN DECANAL N°064-2019-CF-FICP-UANCV** de fecha 02 de octubre de 2019 donde aprueba el reglamento de aseguramiento de calidad de trabajos de investigación, con fines de obtención de grados académicos y títulos profesionales a la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, que consta de XI capítulos y 71 artículos, y:

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTICULO PRIMERO.- APROBAR**, el informe final de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Tesis)**, del Bachiller: **VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.**

La misma que deberá proceder a la impresión de su borrador de Trabajo de Investigación en limpio, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras - Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

**ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER**, como asesor del Trabajo de Investigación (tesis) al docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, al **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

**ARTICULO TERCERO.-** La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, el Director y el responsable del comité de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese,

CC: archivo 2023 atreosado (a)

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP 47790

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

E FRAÍN PARILLO SOSA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP 95531



## Universidad Andina "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

### RESOLUCIÓN DECANAL N° 303-2022-D-FICP-UANCV

Juliaca, 12 de mayo de 2022

#### VISTOS:

El **INFORME N° 128-2022-UI-FICP.UANCV**, del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **INFORME DE OPINIÓN TÉCNICA N° 007-2022-UANCV-FICP-UI-CI** del responsable del Comité de Investigación, la **opinión técnica N° 005-2022-UANCV-FICP-UI-CI** del presidente del sub comité de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** y el **ACTA DE REGISTRO DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** según reglamento interno de aseguramiento de la calidad de trabajos de investigación de fecha **28 de abril de 2022**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el tema titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.**

#### CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bachiller: **VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**, ha presentado su Proyecto de Investigación Titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**;

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras; el responsable del Comité de Investigación de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica**, Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, nominó a la sub comisión de evaluación de Proyecto de Investigación, a los siguientes Docentes:

- **Presidente** : **Ing. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA**
- **1er Miembro** : **Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS**
- **2do Miembro** : **Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO**

Que, la sub comisión de evaluación ha concluido aprobar sin observación el Proyecto de Investigación titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO**, correspondiente a la línea de investigación: **INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA**, y;

Que, es requisito indispensable contar con un Docente Ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de magister y experiencia en la línea a investigar, que será el asesor de Proyecto de Investigación, y;

**Estando**, en la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y en concordancia al Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

#### RESUELVE:

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el (la) Bachiller: **VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el Tema Titulado: **DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.**

La misma que deberá proceder con la ejecución del Proyecto de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Aseguramiento de la Calidad de Trabajos de Investigación, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales y el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente ordinario de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, **M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Mgtr. MILTHON QUISEPÉ HUANCA  
DECANO  
CIP: 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS

Mgtr. NEIBARTE RIVERO PRINTE COAQUIRA  
SECRETARIO ACADÉMICO  
CIP: 18937

cc:  
archivo 2022  
interesado (a)  
/fya



## DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EN TIPO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO

### INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	2%
3	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://utiven.com">utiven.com</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://cybertesis.uni.edu.pe">cybertesis.uni.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://repositorio.uasf.edu.pe">repositorio.uasf.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%



### Metadatos Complementarios



TÍTULO DE LA TESIS	
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO	
DATOS DE AUTOR	
Apellidos y Nombres	Endara Sancho, Victor Alfonso
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47371849
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0006-5926-3683">https://orcid.org/0009-0006-5926-3683</a>
DATOS DE ASESOR	
Apellidos y Nombres	Ramos Herrera, Mario Alejandro
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	16660865
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-3158-198x">https://orcid.org/0000-0003-3158-198x</a>
DATOS DEL JURADO	
Presidente del jurado	
Apellidos y Nombres	Lizarraga Armaza, Walter Jacinto
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02393436
Miembro del jurado 1	
Apellidos y Nombres	Valdivia Cardenas, Salvador Teodoro
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
Miembro del jurado 2	
Apellidos y Nombres	Chuquimamani Quinto, Benjamin
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088



DATOS DE INVESTIGACIÓN	
Línea de investigación	Ingeniería y tecnología eléctrica
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<b>País:</b> Perú <b>Departamento:</b> Puno <b>Provincia:</b> Puno <b>Distrito:</b> Pichacani <b>Comunidad:</b> Cavala <b>Lugar:</b> Zonas alejadas <b>Referencia:</b> 10 Km Laraqueri <b>Latitud:</b> 16° 08' 48" S <b>Longitud:</b> 70° 00' 24" W <b>Altitud:</b> 3919 m.s.n.m. <b>URL:</b> <a href="https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1Kh0JYhdaXqr-IDm2j6MznqfnBOGxMIA&amp;usp=sharing">https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1Kh0JYhdaXqr-IDm2j6MznqfnBOGxMIA&amp;usp=sharing</a>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Mayo 2022 – Diciembre 2023
URL de disciplinas OCDE	<b>Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.00</a> <b>Ingeniería, Tecnología</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00</a>

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN  
  
Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO, identificado con DNI Nro. 47871849, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIRÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO

Asesorado por: M.Sc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 19 de JUNIO del 2024

Firma del Asesor (obligatoria)

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



## DEDICATORIA

Dedico esta presente investigación a mis padres MELECIO ENDARA y CRUZA SANCHO, por darme la vida, por apoyarme, por darme la fortaleza para alcanzar mis metas y por acompañarme en todos los momentos de mi vida.

A mi tía JULIA, por darme su apoyo y confianza.  
A mis hermanos, EDER, OSMAR, SOFIA, GLADIMIR Y ANTONY a ustedes gracias por su amor incondicional. A mis sobrinos, para que se tracen metas y se esfuercen por alcanzarlas. A mi esposa FLOR y mi hija querida VICTORIA, que me apoyaron sin condición alguna para que pueda seguir adelante, así desarrollarme como persona y profesionalmente.



## AGRADECIMIENTO

Ante todo, a Dios por guiar siempre mis pasos y bendecirme.

A todos los docentes de la universidad Andina Néstor Cáceres Velázquez, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por brindarme todo su conocimiento, sabiduría y haber compartido todas sus experiencias profesionales, de ahí pudo ser posible toda esta investigación.

Gracias a todos mis amigos y familiares, que sin ellos no hubiera sido posible el desarrollo de esta presente investigación, porque el apoyo que me brindaron fue fundamental para poder alcanzar mis metas.



INDICE

ABREVIATURAS ..... xii

RESUMEN ..... xiii

PALABRAS CLAVE ..... xiv

ABSTRACT ..... xv

KEYWORDS ..... xvi

INTRODUCCIÓN ..... xvii

CAPÍTULO I ..... 19

ASPECTOS GENERALES..... 19

    1.1. TÍTULO ..... 19

    1.2. DATOS Y UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD ..... 19

    1.3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA ..... 20

    1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 21

        1.4.1. Problema general ..... 21

        1.4.2. Problemas específicos ..... 21

    1.5. OBJETIVOS..... 21

        1.5.1. Objetivo general ..... 21

        1.5.2. Objetivos específicos..... 22

    1.6. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO ..... 22

    1.7. HIPÓTESIS..... 23

        1.7.1. Hipótesis general..... 23

        1.7.2. Hipótesis específicas..... 23

    1.8. VARIABLES ..... 24

        1.8.1. Variables Independientes ..... 24

        1.8.2. Variables Dependientes ..... 24

        1.8.3. Variables Intervinientes ..... 24

CAPÍTULO II ..... 25

MARCO TEÓRICO ..... 25

    2.1. Antecedentes de estudio..... 25

        2.1.1. Antecedentes internacionales ..... 25

        2.1.2. Antecedentes nacionales ..... 30

        2.1.3. Antecedentes locales ..... 33

    2.2. BASES TEÓRICAS..... 38

        2.2.1. El viento como recurso natural ..... 38

            2.2.1.1. Otros patrones de circulación atmosférica ..... 39



2.2.1.2.	Efectos de la geografía .....	39
2.2.1.3.	Variación del viento con la altura sobre el terreno .....	43
2.2.1.4.	Variaciones de la velocidad del viento .....	44
2.2.1.5.	Vientos locales.....	45
2.2.1.6.	Brisas de mar y brisas de tierra .....	45
2.2.1.7.	Potencia en un tubo de corriente de aire y límite de betz .....	45
2.2.1.8.	Densidad del aire .....	46
2.2.1.9.	Densidad del aire y área del rotor .....	47
2.2.2.	Componentes de sistema de generación eólico.....	48
2.2.2.1.	Grandes Aerogeneradores .....	48
2.2.2.2.	Componentes de un aerogenerador .....	49
2.2.2.3.	Pequeños Aerogeneradores .....	52
2.2.3.	Sistema Fotovoltaico .....	54
2.2.3.1.	El efecto fotovoltaico como base de la tecnología solar .....	55
2.2.3.2.	Componentes del sistema fotovoltaico .....	56
2.2.3.3.	Orientación e Inclinación de los Paneles .....	70
2.3.	MARCO CONCEPTUAL .....	72
2.3.1.	Energía activa.....	72
2.3.2.	Sistema de energía híbrida .....	72
2.3.3.	Energía eólica.....	73
2.3.4.	Energía Solar .....	73
2.3.5.	Radiación solar.....	74
CAPÍTULO III	.....	76
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	.....	76
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	76
3.2.	MÉTODOS APLICADOS A LA INVESTIGACIÓN.....	76
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	77
3.3.1.	Población.....	77
3.3.2.	Muestra .....	78
3.4.	TÉCNICAS, INSTRUMENTACIÓN RECOLECCIÓN DE DATOS.....	79
3.5.	Diseño de contrastación de Hipótesis.....	81
3.5.1.	Niveles de radiación solar .....	82
3.6.	Validez y confiabilidad del instrumento .....	82
3.7.	plan de recolección y procesamiento de datos .....	86
3.7.1.	Datos registrados de recursos eólicos.....	86
3.7.2.	Datos registrados de recursos solares .....	89



3.7.3. Especificaciones técnicas de equipos eólico fotovoltaico .....	90
CAPÍTULO IV .....	93
ANÁLISIS Y CÁLCULOS .....	93
4.1. Cálculo de la demanda de consumo .....	93
4.2. Determinación de parámetros de recursos naturales .....	95
4.2.1. Datos de recursos eólicos .....	95
4.2.2. Datos de radiación solar .....	98
4.3. Cálculos del sistema híbrido eólico fotovoltaico .....	100
4.3.1. Cálculo de sistema fotovoltaico .....	102
4.3.1.1. Cálculo de número de paneles fotovoltaicos .....	103
4.3.1.2. Cálculo de números de controladores .....	105
4.3.1.3. Cálculo de número de inversores .....	106
4.3.1.4. Cálculo de número de baterías .....	108
4.3.1.5. Determinar sección de conductor eléctricos .....	109
4.3.2. Cálculo del sistema Eólico .....	111
4.3.2.1. Determinar el número de aerogeneradores .....	112
4.3.2.2. Determinar número de controladores .....	114
4.3.2.3. Determinar número de inversor .....	116
4.3.2.4. Determinar número de baterías para el sistema .....	117
4.3.2.5. Determinar sección de conductor eléctrico .....	119
4.4. Simulación del sistema eólico fotovoltaico .....	121
CAPÍTULO V .....	127
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	127
5.1. Resultados del sistema de generación fotovoltaico .....	127
5.1.1. Resultados del módulo fotovoltaico .....	128
5.1.2. Resultados del controlador (regulador de carga) .....	128
5.1.3. Resultados del inversor .....	128
5.1.4. Resultados de banco de baterías .....	129
5.1.5. Resultados de los conductores eléctricos .....	129
5.2. Resultados del sistema de generación eólico .....	129
5.2.1. Resultados de aerogeneradores .....	130
5.2.2. Resultados del controlador (regulador de carga) .....	130
5.2.3. Resultados del inversor .....	130
5.2.4. Resultados de banco de baterías .....	131
5.2.5. Resultados de los conductores eléctricos .....	131
5.3. Resultados del diseño y simulación de sistema eólico fotovoltaico ..	131



5.3.1. Resultados óptimos que genera el software HOMER PRO.....	132
5.3.2. Resultados dimensionamiento de componentes .....	133
5.3.3. Resultados de producción de electricidad .....	134
5.3.4. Resultados del análisis producción en función del tiempo .....	134
CAPÍTULO VI.....	136
ANÁLISIS ECONÓMICO .....	136
6.1. Evaluar el capital inicial de inversión.....	136
6.1.1. Capital inicial para sistema eólico fotovoltaico .....	137
6.2. Costos después de la inversión inicial .....	138
6.2.1. Costos de operación, mantenimiento, reemplazo componentes	138
6.2.2. Resultados de flujo de efectivo.....	139
6.3. Análisis económico del proyecto.....	140
CONCLUSIONES .....	143
RECOMENDACIONES .....	144
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	145
ANEXOS .....	147



### ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Operacionalización de variables .....	24
TABLA 2.	Datos promedio del año 2021 .....	81
TABLA 3.	Características técnicas de anemómetro 1467 .....	84
TABLA 4.	Especificaciones técnicas de pirómetro CMP3 .....	85
TABLA 5.	Datos de velocidad del viento registrados – julio 2021 .....	88
TABLA 6.	Irradiación promedio mensual (2021) .....	89
TABLA 7.	Especificaciones técnicas de componentes.....	90
TABLA 8.	Especificaciones técnicas de componentes.....	91
TABLA 9.	Estimación de consumo de energía diaria por familia.....	94
TABLA 10.	Datos procesados de estación meteorológica de Laraqueri ..	95
TABLA 11.	Velocidad, dirección de viento promedio anual (2021).....	96
TABLA 12.	Irradiación promedio anual.....	99
TABLA 13.	Marzo mes de menor irradiación solar durante el año 2021	102
TABLA 14.	Caída de voltaje tolerable del sistema fotovoltaico .....	109
TABLA 15.	marzo con menor índice de velocidad de viento del 2021 ...	112
TABLA 16.	Caída de voltaje tolerable del sistema eólico .....	119
TABLA 17.	Costos de componentes y accesorios para sistema híbrido	137
TABLA 18.	Costos de mano de obra para la instalación del sistema .....	138
TABLA 19.	Evaluación de rentabilidad de proyecto .....	141

### ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	Ubicación de la zona de estudio .....	19
FIGURA 2.	Conexión de un sistema híbrido.....	27
FIGURA 3.	Componentes del sistema de conexión (interior).....	28
FIGURA 4.	Elemento de sistema HOMER .....	29
FIGURA 5.	Componentes de caracterizado gráficamente .....	34
FIGURA 6.	Esquemas de conexiones de sistema híbrido fotovoltaico.....	35
FIGURA 7.	Instalación del módulo híbrido eólico- fotovoltaico .....	37
FIGURA 8.	Circulación del aire .....	38
FIGURA 9.	Esquema de circulación de viento en montañas y valles.....	39
FIGURA 10.	Efectos de la geografía son el viento .....	40
FIGURA 11.	Diferencias de elevación del viento según el terreno.....	41
FIGURA 12.	Velocidad del viento en la geografía .....	42
FIGURA 13.	Influencia de obstáculos y formación de remolinos.....	43



FIGURA 14.	Perfiles de velocidad de viento .....	43
FIGURA 15.	Recomendaciones para la instalación de aerogeneradores	44
FIGURA 16.	Modelo del tubo de corriente de aire a través de un rotor....	46
FIGURA 17.	Energía de viento que trasmite al rotor del generador .....	47
FIGURA 18.	Aerogenerador .....	48
FIGURA 19.	Partes de un aerogenerador .....	49
FIGURA 20.	Esquema de instalación de un aerogenerador .....	52
FIGURA 21.	Componentes de un sistema eólico de baja potencia.....	54
FIGURA 22.	Esquema del Sistema Fotovoltaico.....	55
FIGURA 23.	Esquema del efecto fotovoltaico .....	55
FIGURA 24.	Inversor fotovoltaico.....	57
FIGURA 25.	Controlador fotovoltaico .....	58
FIGURA 26.	Estructura de panel fotovoltaico.....	60
FIGURA 27.	Partes de un panel fotovoltaico.....	61
FIGURA 28.	Tipos de paneles solares .....	62
FIGURA 29.	Conexión de paneles en serie .....	65
FIGURA 30.	Conexión de paneles en paralelo.....	66
FIGURA 31.	Conexión de paneles serie-paralelo.....	67
FIGURA 32.	Profundidad de descarga .....	69
FIGURA 33.	Tiempo de descarga .....	69
FIGURA 34.	Vida útil de batería .....	70
FIGURA 35.	Inclinación y orientación de paneles .....	71
FIGURA 36.	Inclinación óptima según IDEA .....	72
FIGURA 37.	Sistema hibrido eólico fotovoltaico.....	73
FIGURA 38.	Energía solar.....	74
FIGURA 39.	Tipos de radiacion solar .....	74
FIGURA 40.	Radiación solar captada en la superficie terrestre .....	75
FIGURA 41.	Estaciones meteorológicas de la región Puno .....	78
FIGURA 42.	Estación Automática de Laraqueri, Pichacani.....	79
FIGURA 43.	Software HOMER PRO.....	80
FIGURA 44.	Anemómetro tipo 1467.....	83
FIGURA 45.	Piranómetro CMP3 Kipp & Zonen.....	84
FIGURA 46.	Datos de recursos naturales SENAMHI .....	87
FIGURA 47.	Irradiación solar por periodo de un año .....	92
FIGURA 48.	Consumo de energía eléctrica de equipos.....	95
FIGURA 49.	Velocidad del viento promedio anual .....	97



FIGURA 50.	Elaboración propia.....	97
FIGURA 51.	Velocidad de viento promedio diario (2021).....	98
FIGURA 52.	Irradiación solar promedio anual.....	99
FIGURA 53.	horario de irradiación promedio en el año 2020.....	100
FIGURA 54.	Distribución de carga para los sistemas de generación.....	101
FIGURA 55.	Desimación de datos preliminares para el sistema.....	122
FIGURA 56.	Designación de perfil de carga y demanda de consumo ...	123
FIGURA 57.	Designación del módulo fotovoltaico.....	123
FIGURA 58.	Designación de aerogenerador de 1.5 Kw.....	124
FIGURA 59.	Designación de convertidor (48VDC/220VAC) .....	124
FIGURA 60.	Designación de banco de baterías para el sistema .....	125
FIGURA 61.	Designación de controlador .....	125
FIGURA 62.	Esquema completo de sistema híbrido eólico fotovoltaico.	126
FIGURA 63.	Resultados óptimos de un sistema híbrido .....	132
FIGURA 64.	Número de componentes.....	133
FIGURA 65.	Producción de electricidad.....	134
FIGURA 66.	Análisis de producción con respecto a la demanda .....	134
FIGURA 67.	Costos por operación, mantenimiento y reemplazo .....	139
FIGURA 68.	Flujo de efectivo durante 25 años .....	139
FIGURA 69.	Índice de radiación en el Perú .....	147
FIGURA 70.	Velocidad de viento región Puno .....	147
FIGURA 71.	Conductores eléctricos TW 80°C 450/750V.....	148
FIGURA 72.	Conductores eléctricos TW 80°C 450/750V.....	149
FIGURA 73.	Conductores eléctricos TW 80°C 450/750V.....	150



## ABREVIATURAS

<b>V</b>	: Voltios, tensión
<b>A</b>	: Amperios
<b>AC</b>	: Corriente Alterna
<b>DC</b>	: Corriente Continua
<b>H,h</b>	: Hora
<b>HSP</b>	: Hora Solar Pico
<b>IMP</b>	: Corriente de Potencia Máxima
<b>I<sub>sc</sub></b>	: Corriente de Corto Circuito
<b>Kw</b>	: Kilovatios
<b>kW-h/m<sup>2</sup></b>	: Kilovatios hora por Metro Cuadrado
<b>kW-h/día</b>	: Kilovatios hora por Día
<b>m</b>	: Metros
<b>mm<sup>2</sup></b>	: Milímetros Cuadrados
<b>m/seg</b>	: Metros por Segundo
<b>n</b>	: Numero
<b>P<sub>máx</sub></b>	: Potencia Máxima
<b>R</b>	: Resistencia
<b>V<sub>MP</sub></b>	: Tensión de Potencia Máxima
<b>VOC</b>	: Tensión de Circuito Abierto
<b>W</b>	: Vatios
<b>W<sub>p</sub></b>	: Vatios del Panel Fotovoltaico
<b>W/m<sup>2</sup></b>	: Vatios hora por Metro Cuadrado
<b>Ω</b>	: Ohmios
<b>%</b>	: Porcentaje
<b>NASA</b>	: Atmosphery Science Data Center
<b>ANA</b>	: Autoridad nacional del agua
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología



## RESUMEN

En la presente investigación utilizaremos métodos para diseñar, simular un sistema híbrido eólico fotovoltaico, según el comportamiento de los recursos naturales en las zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia Puno, teniendo en cuenta la demanda energética de 12820 Vatios hora por día en 10 familias, así como las especificaciones técnicas de equipos para la generación de energía eléctrica, aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, controladores de carga (regulador de tensión), inversores de corriente, baterías estacionarias, conductores eléctricos. También este trabajo nos permite evaluar el potencial energético, las limitaciones, que ofrece la naturaleza en la zona rurales de mencionado lugar.

Con una adecuada combinación entre recursos naturales, componentes para sistemas eólico fotovoltaico y una apropiada evaluación de ambos, se logró diseñar sistemas de generación de energía eléctrica para satisfacer necesidades energéticas en zonas alejadas al sistema interconectado nacional, haciendo uso de recursos naturales de características inagotables.

Por consiguiente, hallamos que la energía generada por el sistema híbrido eólico fotovoltaico es de 8842 kilovatios anuales, teniendo como demanda de energía anual por las 10 familias de 4679.3 kilovatios, por lo tanto, tendremos un exceso de energía eléctrica de 3772 kilovatios por año. Entonces la demanda de energía es satisfecha ampliamente teniendo el excedente de energía eléctrica para ampliaciones futuras.

Esta investigación tiene como resultados favorables, usando técnicas para el correcto desempeño de sistemas híbridos, entre ellas empleamos el software HOMER PRO. Este programa evaluó los recursos naturales, costo de



componentes para sistemas eólico fotovoltaico, costo de operación y mantenimiento, demanda de energía, datos económicos actuales entre otros. De esta manera obtuvimos resultados que tienen una amplia convergencia entre los cálculos realizados matemáticamente con los resultados obtenidos con el software HOMER PRO.

**PALABRAS CLAVE:**

Diseño, simulación, sistema eólico, sistema fotovoltaico, energía eléctrica, alternativa energética, zonas rurales.



## ABSTRACT

In the present investigation we will use methods to project, simulate a photovoltaic wind hybrid system, according to the behavior of natural resources in rural areas of the Pichacani district, Puno province, taking into account the energy demand of 12820 Watt hours per day in 10 families. , as well as the technical specifications of equipment for the generation of electrical energy, wind turbines, photovoltaic panels, charge controllers (voltage regulator), current inverters, stationary batteries, electrical conductors. This work also allows us to evaluate the energy potential, the limitations, that nature offers in the rural area of said place.

With an adequate combination between natural resources, components for photovoltaic wind systems and an appropriate evaluation of both, it was possible to design electric power generation systems to satisfy energy needs in areas far from the national interconnected system, making use of natural resources with inexhaustible characteristics.

Therefore, we find that the liveliness produced by the photovoltaic wind hybrid system is 8842 kilowatts per year, having as annual energy demand for the 10 families 4679.3 kilowatts, therefore, we will have an excess of electrical energy of 3772 kilowatts per year. Then the energy demand is amply satisfied by having the surplus of electrical energy for future expansions.

This investigation has favorable results, using techniques for the correct performance of hybrid systems, among them we use the HOMER PRO software. This program evaluated natural resources, cost of components for photovoltaic wind systems, cost of operation and maintenance, energy demand, current economic data, among others. In this way we obtained results that have a wide



convergence between the calculations made mathematically with the results obtained with the HOMER PRO software.

**KEYWORDS:**

Design, simulation, wind system, photovoltaic system, electric energy, energy alternative, rural areas.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la demanda energética a nivel global está creciendo considerablemente, a consecuencia de ello se viene desarrollando diversas alternativas energéticas en gran parte del planeta según la ubicación geográfica, recursos naturales tales como el viento, radiación solar, mareas. Esto para satisfacer esa demanda energética que se viene incrementando en estos tiempos.

Desarrollar un sistema híbrido eólico fotovoltaico ha generado una gran predilección desde décadas atrás, considerando que los recursos naturales tales como velocidad de viento, radiación solar cumplen estándares de conformidad para el crecimiento de estos sistemas en lugares determinados de nuestro espacioso territorio global. Estas tecnologías actualmente son de tendencia global por tener como fuente principal recursos renovables para generar energía eléctrica, contribuyendo principalmente al equilibrio ecológico del planeta, a diferencia de los sistemas de generación de energía convencionales, estos sistemas de energías renovables no engendran gases contaminantes desfavorables para el ecosistema.

Perú no es la excepción, en este país se viene desarrollando diversas alternativas energéticas aprovechando los recursos naturales disponibles en esta parte geográfica del mundo, tales como viento, radiación solar, mareas, caudales hídricos, etc. Según los estudios realizados por instituciones encargados de monitorear el estado de los recursos naturales de este país, Perú posee un gran potencial para la obtención de energía eléctrica a través de recursos renovables, estas instituciones son tales como SENAMHI, ministerio de energías y minas, autoridad nacional del agua (ANA).



Bajo estas premisas este proyecto de investigación desarrollara un diseño y simulación de un sistema hibrido (eólico-fotovoltaico) en base a recursos renovables según información brindada por autoridades encargadas de administrar datos meteorológicos, esta investigación se ejecuta con el fin de satisfacer las necesidades energéticas en zonas con difícil acceso al sistema interconectado nacional del distrito de Pichacani provincia de Puno, departamento de Puno, así como en esta parte de la región Puno como en muchos lugares de nuestro país se hallan zonas rurales con viviendas que aún no cuentan con energía eléctrica, en tiempos actuales las energías renovables son una alternativa de solución para lugares con potencial energético.

Relativo a la estructura de la investigación, el desarrollo del estudio está organizada mediante capítulos. En primera instancia tenemos el planteamiento de la situación problemática que se viene suscitando en las zonas alejadas de del distrito de Pichacani, por la carencia de energía eléctrica. La evaluación de los antecedentes de la investigación, recursos naturales, comportamientos los componentes para un sistema hibrido eólico fotovoltaico se lleva a cabo en el segundo capítulo, posterior a ello tenemos el tercer capítulo donde se implementa metodologías de investigación, técnicas de instrumentación para luego realizar el diseño y simulación del sistema, obteniendo resultados de la investigación, por ultimo hacer referencia de las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1. TÍTULO

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO.

#### 1.2. DATOS Y UBICACIÓN DE LA COMUNIDAD



FIGURA 1. Ubicación de la zona de estudio

FUENTE: Elaboración propia (Google Earth)



### 1.3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la región de Puno, existen zonas rurales alejadas donde aún no llegan las redes de energía eléctrica, por temas socioeconómicos que obstaculizan el tendido de estas instalaciones, por consecuencia estos lugares se hallan distantes de la red interconectada nacional. La energía eléctrica suministrada por empresas privadas de la mano con el ministerio de energía y minas es indispensable para las personas que residen en estas zonas, esto para que puedan desarrollar su convivencia de manera cómoda y así tener una calidad de vida apropiada, sin embargo, esto no es una realidad a la que podamos acceder todos los peruanos.

Esta investigación nos enfocaremos en la situación energética actual del distrito de Pichacani, provincia de Puno, departamento de Puno, exclusivamente en zonas rurales de difícil acceso a las redes de energía eléctrica, frente a esta coyuntura optamos por elegir el uso de energías renovables (eólico-fotovoltaico), por ser más accesibles a los costos en equipamiento e instalación en comparación con la energía eléctrica suministrada mediante tendido de cables y otras alternativas energéticas.

La presente investigación "diseño y simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica" tiene el propósito de satisfacer las necesidades energéticas de las zonas rurales sin acceso a la red de tendido eléctrico en el distrito de Pichacani, provincia de Puno, considerando los parámetros necesarios para la elaboración de este proyecto, tales como velocidad del viento, radiación solar, densidad del aire, presión atmosférica y temperatura, estos datos adquiridos de SENAMHI y ministerio de energías y minas han sido evaluados previamente para la realización de esta investigación



los cuales tienen un índice considerable (velocidad de viento, radiación solar) para el diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico en la ubicación geográfica mencionada.

## **1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.4.1. Problema general**

¿De qué manera se planteará el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno?

### **1.4.2. Problemas específicos**

**P.E.1:** ¿Qué métodos de aplicación usaremos para el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno?

**P.E.2:** ¿Cómo se podrá realizar el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno?

**P.E.3:** ¿A cuánto asciende el costo del diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno?

## **1.5. OBJETIVOS**

### **1.5.1. Objetivo general**

Plantear la alternativa de solución para el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno.



## 1.5.2. Objetivos específicos

**O.E.1:** Determinar la metodología de solución para el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno.

**O.E.2:** Realizar el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno.

**O.E.3:** Calcular costos de investigación sobre el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno.

## 1.6. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio tiene como finalidad el uso de recursos renovables (eólico-fotovoltaico) como alternativa energética para generar energía eléctrica en las zonas alejadas del distrito de Pichacani, Provincia de Puno, así estas viviendas ubicadas geográficamente distantes de la red interconectada nacional podrán acceder a energía eléctrica sin tener que realizar instalaciones de tendido de cable costosos o recurriendo a otras opciones de energías los cuales tienen efectos que no son favorables para la conservación del medio ambiente. Por tanto, en el distrito de Pichacani tenemos un gran potencial energético proveniente de estos recursos naturales, Para diseñar un sistema híbrido para la generación de energía eléctrica utilizando energía eólica y solar, es necesario el conocimiento técnico de factores como la velocidad del viento y la radiación solar. Este sistema, que combina energía eólica y fotovoltaica, puede proporcionar una fuente alternativa de electricidad basada en estos recursos



renovables para las comunidades y sectores del distrito de Pichacani, asegurando un suministro ininterrumpido de energía.

En estos tiempos la generación de energía eléctrica en base a recursos renovables está en incremento debido a la conflagración frente al calentamiento global, el impacto ambiental en la actualidad tiene consecuencias en el equilibrio de recursos, para ello este tipo de proyectos de investigación promueve a que se pueda amortiguar la devastación prematura de nuestra madre tierra.

## **1.7. HIPÓTESIS**

### **1.7.1. Hipótesis general**

Si planteamos el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica, permitirá proponer una alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno.

### **1.7.2. Hipótesis específicas**

**H.E.1.** Al realizar el Diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno, se desarrollará una alternativa técnica, para atender demandas de energía eléctrica.

**H.E.2.** La metodología del Diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno, nos permitirá establecer un método de implementación de sistemas híbridos en lugares carentes de acceso al sistema interconectado nacional.

**H.E.3.** La elaboración del Diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno, es



económicamente accesible por tanto puede ser ejecutado por instituciones del estado como particulares.

**1.8. VARIABLES**

**1.8.1. Variables Independientes**

- Sistema híbrido eólico fotovoltaico
- Tensión eléctrica
- Intensidad de corriente

**1.8.2. Variables Dependientes**

- Generación de energía eléctrica
- Consumo de energía
- Potencial energético

**1.8.3. Variables Intervinientes**

- Simulación
- Ubicación

**TABLA 1. Operacionalización de variables**

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍNDICES	UNIDADES
Recursos naturales eólico fotovoltaico	Radiación solar	Intensidad luminosa	Kw-h/m2	Kw-h/m2
	Velocidad del viento	Altura de medición del instrumento	m/seg	m/seg
	Temperatura ambiental	Variación de la temperatura atmosféricos	$\Delta T$	$^{\circ}C$
Generación de energía eléctrica	Voltaje	Tensión del sistema	Voltios	V
	Amperaje	Intensidad del sistema	Amperios	I
	Resistencia	Resistencia del sistema	OHM	$\Omega$
Consumo de energía	Kilovatios por hora	Consumo periodo de tiempo	Kw/h	Kw/h



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de estudio

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

**(Ponce y García, 2014)** A lo largo de la historia reciente, el acceso a la energía eléctrica y térmica ha sido fundamental para todas las personas. Esto se debe principalmente a que los combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural han monopolizado la industria energética, contribuyendo con un asombroso 81% a la demanda mundial de energía en 2009 (AIE, 2011). Sin embargo, a pesar de su uso generalizado, estos combustibles presentan una serie de complicaciones. Por un lado, los combustibles fósiles no se reponen a un ritmo rápido, lo que los convierte en recursos finitos. Esto conlleva diversas repercusiones, como aumentos de precios y la posibilidad de agotamiento de las reservas. Además, el impacto ambiental de los combustibles fósiles tanto a escala local como global no puede ignorarse en un contexto de sostenibilidad. En consecuencia, se ha producido un importante crecimiento en el uso de energías renovables en las últimas décadas como solución de futuro.

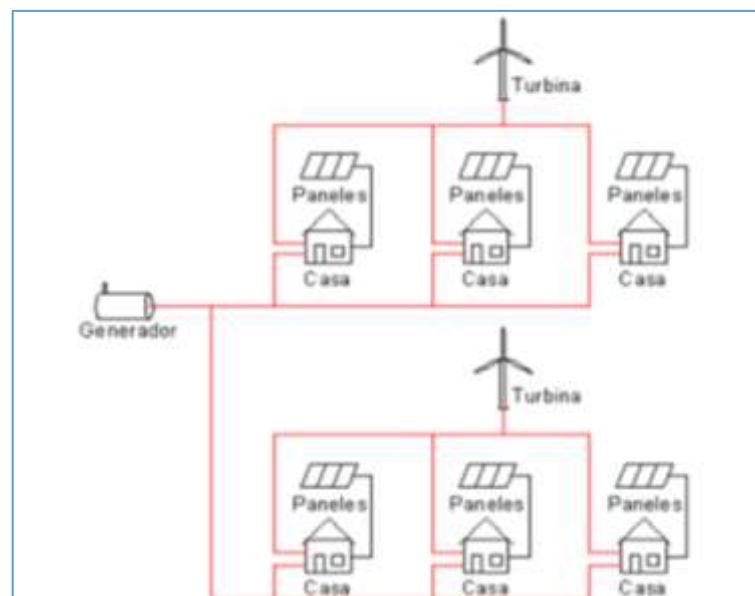
**(Ponce y García, 2014)** Una zona rural sin ninguna red de distribución de energía eléctrica requiere el desarrollo y simulación de un sistema de energía



eólico-solar para suministrar electricidad. El sistema propuesto es un sistema híbrido compuesto por módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas y generadores diésel. En el pasado, los generadores diésel eran la única opción disponible; sin embargo, mostraron una baja eficiencia operativa, altos costos de mantenimiento y una vida de instalación corta cuando operaban con cargas bajas. Los sistemas híbridos brindan una solución a estos problemas mitigándolos y utilizando recursos renovables disponibles en el futuro territorio de instalación. Esta solución es ambiental y socialmente favorable. El acceso a la electricidad es un componente crucial para el desarrollo económico y social de cualquier país, y las energías renovables brindan una alternativa importante para la generación de energía eléctrica. Son respetuosos con el medio ambiente, ya que no producen gases de efecto invernadero y permiten la descentralización de los sistemas de generación de energía. La tecnología en cuestión no está fácilmente disponible para países en desarrollo como México. Esto se debe principalmente a los exorbitantes costes de instalación. Sin embargo, si el gobierno estableciera un marco legal estable, transparente y ampliamente difundido, la utilización de esta tecnología podría desempeñar un papel importante en el avance del país.

**(Tagle Salazar y Duque Rivera, 2016)** El sistema elegido viene determinado por la optimización energética y de costes, así como por minimizar el consumo de gasóleo y el exceso de energía. Debido a la falta de datos fiables sobre la velocidad del viento y la irradiación solar, se incluye un análisis de sensibilidad de estos recursos. El análisis también tiene en cuenta el crecimiento de la población y la demanda durante un período de proyecto de 25 años. El sistema de generación de energía eléctrica consiste en la instalación de paneles fotovoltaicos en cada vivienda, con instalación sectorizada de aerogeneradores,

todos conectados a un único generador para proporcionar energía a toda la comunidad. Cada vivienda dispondrá del mismo número de paneles fotovoltaicos, como se muestra en la figura adjunta. La corriente alterna fluye a través de las líneas rojas mientras que la corriente continua fluye a través de las líneas negras. En cada vivienda se instalará un inversor de corriente, elegido en función de las características específicas de los componentes, con paneles seleccionados en función de su potencia nominal y turbinas elegidas en función de datos técnicos proporcionados por distintos fabricantes.

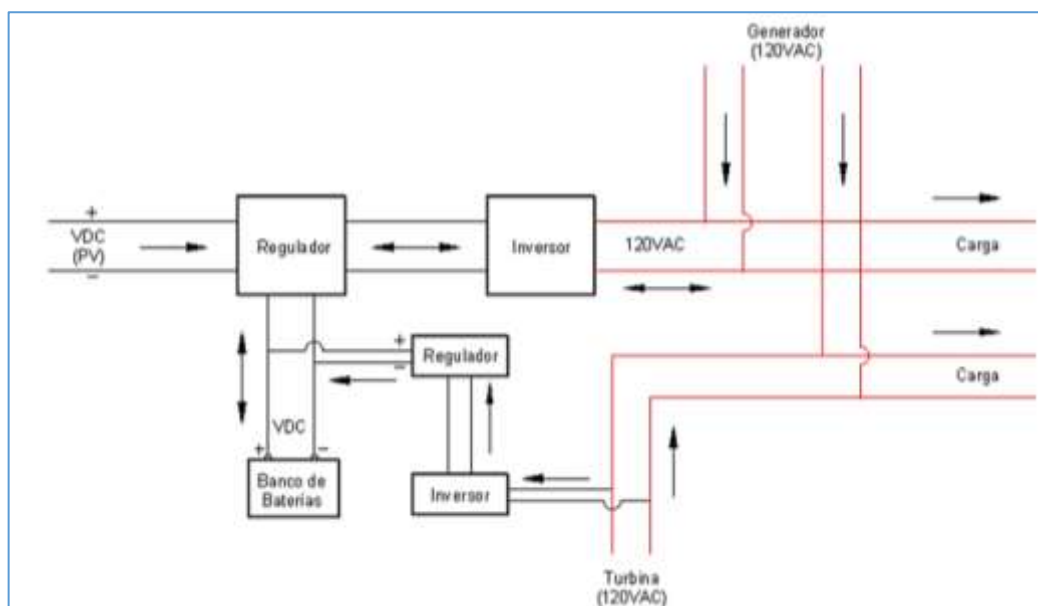


**FIGURA 2. Conexión de un sistema híbrido**

**FUENTE: Tagle, Duque (2016)**

(Tagle Salazar y Duque Rivera, 2016) La ventaja de esta configuración de sistema particular es que los usuarios tienen la capacidad de ampliar su uso de energía agregando más paneles a sus conjuntos existentes. Si un hogar necesita más energía, simplemente puede agregar más paneles o reconfigurar la configuración existente para incluir paneles fotovoltaicos más eficientes y potentes. Los diseñadores del sistema sólo consideran agregar más paneles si el número de viviendas modeladas excede el número de viviendas construidas

según el plan inicial del proyecto. Sin embargo, es importante señalar que los cálculos de proyección no tienen en cuenta la incorporación de paneles más potentes y eficientes. La investigación proyecta un inversor de corriente, controladores, banco de baterías, esto para que cada una de estas viviendas tenga una semi autonomía para tiempos futuros en caso de que podría presentar alguna falla técnica o en el caso de realizarse mantenimiento a estos componentes.

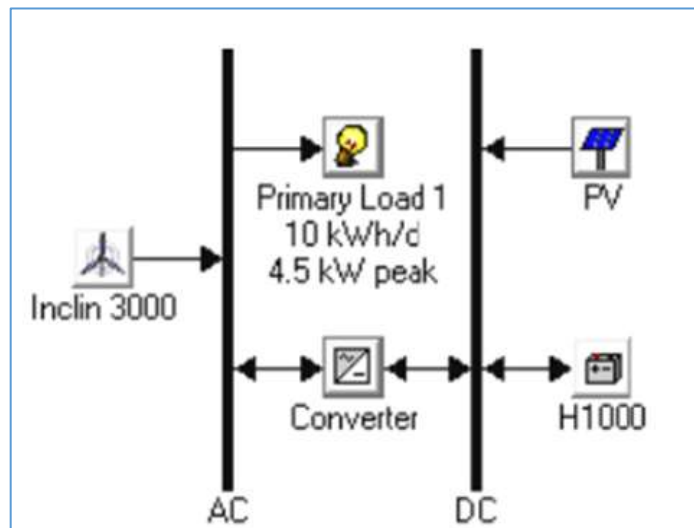


**FIGURA 3. Componentes del sistema de conexión (interior)**

**FUENTE:** Tagle, Duque (2016)

(Werner De Dios Ortega & Errasti Cabrera, 2013) Para producir energía eléctrica para una granja lechera aislada en Cuba que carece de acceso a la red eléctrica, se diseñó y simuló un sistema híbrido eólico-fotovoltaico. Los datos meteorológicos se recopilaron a lo largo de un año y se utilizaron como base para la simulación a través del software HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable). HOMER generó una tabla de resultados que mostraba todas las combinaciones posibles de variantes, clasificadas por capital inicial.

Combinando criterios técnicos y económicos, como coste de la energía y demanda insatisfecha, se seleccionó la variante que mejor se adaptaba a las necesidades de la quesería. El siguiente diagrama muestra los componentes principales del sistema híbrido eólico-fotovoltaico que fue diseñado para la lechería. HOMER pudo simular numerosas variantes del sistema y evaluar la viabilidad económica de cada una, haciendo posible realizar comparaciones utilizando criterios como el coste de la energía, la demanda insatisfecha, el capital inicial y el flujo de caja. En consecuencia, se pudo determinar qué sistema era el más adecuado para satisfacer las necesidades de la lechería.



**FIGURA 4. Elemento de sistema HOMER**

**FUENTE: Software HOMER**

Otra de las bondades de HOMER es una herramienta adecuada para diseñar y simular sistemas híbridos eólicos fotovoltaicos, capaz de interpretar y manejar diferentes variables, esta tiene de evaluar paulatinamente cada una de estos parámetros meteorológicos para así tener un diseño de un sistema híbrido de mucha solvencia y calidad.



## 2.1.2. Antecedentes nacionales

(Diaz Galinos, 2010) Con su investigación titulada, "ANALISIS ENERGETICO DE UN SISTEMA HIBRIDO EOLICO FOTOVOLTAICO EN EL SECTOR TIPICO IV UTILIZANDO EL METODO DE SERIES SINTETICAS". El concepto de generación de energía eléctrica a través de energías renovables se basa en dos fuentes que se originan a partir de la radiación solar, siendo una directa y otra indirecta, siendo esta última la energía eólica. El Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV) es un sistema de energía limpia y totalmente renovable que ayuda a combatir la contaminación ambiental y el cambio climático. Esta tesis, compuesta por cuatro capítulos, se centra en los procedimientos de aplicación del "Análisis Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico en el sector típico IV mediante el método de series sintéticas". El primer capítulo proporciona la fundamentación teórica de los sistemas energéticos en general, mientras que el segundo capítulo profundiza en los métodos de dimensionamiento de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV). En el caso de los sistemas híbridos, son más fiables que los sistemas de fuente única de energía y no es necesario sobredimensionar los convertidores o acumuladores de los sistemas. El tercer capítulo se centra en el dimensionamiento de un sistema mixto eólico-fotovoltaico para una vivienda rural, teniendo en cuenta factores ambientales que inciden directamente en la estimación de la demanda energética a satisfacer. La viabilidad económica de la instalación de un aerogenerador, así como los costes de inversión y operación, se analizan en el cuarto capítulo. Es importante mencionar que la aplicación de estos parámetros sigue un procedimiento que se basa en la evaluación económica y el análisis de sensibilidad.



(Serván Sócola, 2014) En su tesis titulada: "ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE BAJA POTENCIA EÓLICO SOLAR CONECTADO A LA RED". El objetivo de este estudio es crear una técnica que permita la evaluación técnica y económica de un sistema de producción de bajo consumo energético que utilice fuentes de energía renovables y esté conectado a la red eléctrica. El paso inicial es determinar el consumo de energía. Esta tesis utilizará un estudio de caso de un residente que vive en Playa Cangrejos, una localidad dentro del distrito de Paita, que pretende utilizar fuentes de energía renovables para las necesidades energéticas de su hogar. Una vez calculado el consumo de energía, se realiza un análisis de estado estacionario para evaluar la cantidad de energía disponible en la zona. El potencial solar y eólico disponible se calcula a partir de datos meteorológicos sobre radiación solar y velocidad del viento, los cuales han sido obtenidos a través del sistema de radar de la Universidad de Piura ubicado en el sitio del proyecto. Luego, el sistema se dimensiona adecuadamente para la demanda de energía calculada. Después de determinar el tamaño apropiado del sistema, el siguiente paso es elegir los componentes principales que conformarán el sistema. Es fundamental realizar cálculos precisos para el cableado y la protección eléctrica necesarios para el sistema. También se elige el tipo de estructura de soporte y la ubicación que producirá un rendimiento óptimo dentro del área del sitio. Una vez seleccionados todos los componentes de la instalación y el presupuesto inicial, se identifican los gastos e ingresos anuales del proyecto para evaluar económicamente la instalación y analizar los factores clave que aseguren la rentabilidad.

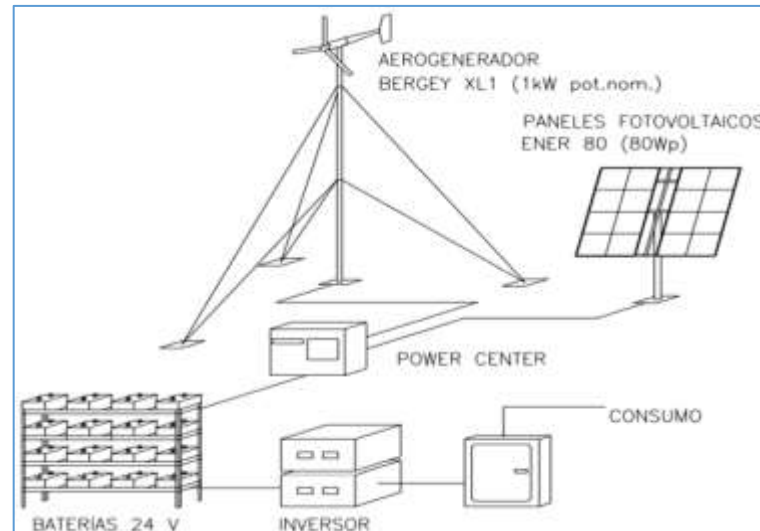


(Quicaño Maque, 2013) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. "METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN MINI SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA". A nivel mundial, ha habido una tendencia creciente hacia la utilización de fuentes de energía renovables. Como resultado, la producción de energía eléctrica derivada de fuentes renovables también ha experimentado una trayectoria ascendente. En el país, el Ministerio de Energía y Minas ha establecido lineamientos estandarizados para incentivar la adopción de energías renovables y brindar orientación técnica para su implementación. El presente trabajo de tesis ofrece un procedimiento completo y necesario para el diseño de una mini planta de energía eólica, así como recomendaciones para la selección de diversos componentes del sistema de energía mini eólica. Además, el problema del suministro de electricidad a las zonas rurales se aborda mediante la realización de estudios de clima y consumo de electricidad en una localidad específica. La solución propuesta pasa por el uso de un aerogenerador de flujo axial con imanes permanentes como fuente de generación de energía. También se presenta un proceso paso a paso para la creación y evaluación de dichos proyectos. Durante el proceso de diseño y cálculos de suministro, se recogieron datos específicos, en particular sobre las características aerodinámicas de la hélice. Si bien esta información limita la evaluación al uso de una hélice con estas características particulares, no altera los pasos necesarios para el proceso de diseño y evaluación, ni afecta significativamente la viabilidad económica, a pesar de las aproximaciones realizadas (como evaluar solo mayores costos). Un cálculo más riguroso no afectaría mucho la conveniencia económica resultante.



### 2.1.3. Antecedentes locales

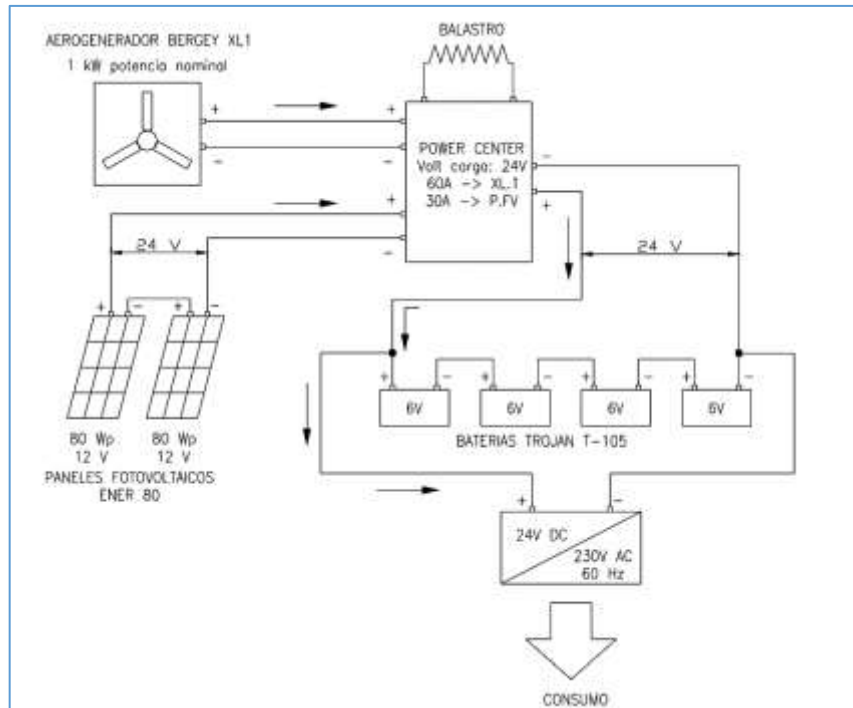
(Hualpa, 2006) Con su investigación titulada, "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE SISTEMAS HÍBRIDOS EÓLICO-SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA", El cambio climático se ha convertido en una cuestión cada vez más urgente en las últimas décadas, aunque en el pasado muchas naciones y sociedades desarrolladas no le prestaron la atención adecuada. Este fenómeno es un resultado directo del consumo excesivo de combustibles fósiles por parte de una industria que consume mucha energía. Según una investigación, durante años, la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero, en particular CO<sub>2</sub>, ha provocado cambios climáticos severos que pueden causar desastres aún mayores en el futuro. Este trabajo proporciona una visión general de la energía eólica y solar, incluidas sus aplicaciones, las tecnologías que las habilitan y sus principios operativos, así como los factores que influyen en su desempeño técnico. El uso de estas tecnologías también se examina desde varias perspectivas, como su impacto ambiental, que es una preocupación para cualquier forma de uso de la tecnología. La clave es comprender los efectos y minimizar el daño potencial. La segunda parte del estudio se centra en analizar los recursos solares y eólicos en la localidad de Ilo dentro de la zona de Moquegua.



**FIGURA 5. Componentes de caracterizado gráficamente**

**FUENTE: Hualpa Maimer (2006)**

Se presenta con todo detalle una explicación exhaustiva de la metodología necesaria para sacar conclusiones interesantes a partir de los datos disponibles. Además, se presentan los hallazgos del estudio eólico, acompañados de una demostración del potencial de los recursos eólicos y de radiación solar en nuestra nación. El diagrama proporcionado ilustra el sistema híbrido solar-eólico, destacando la turbina eólica Bergey XL.1, los paneles ENER 80, el controlador del Power Center, el banco de baterías y el inversor.



**FIGURA 6. Esquemas de conexiones de sistema híbrido fotovoltaico**

**FUENTE: Hualpa Meimer (2006)**

Además, el sistema puede satisfacer eficazmente la demanda máxima de energía familiar de 3910 W (como se indica en la Tabla 4.8) incluso durante las horas pico cuando todas las cargas están encendidas. Los inversores modulares tienen atributos específicos como un voltaje de entrada de 24 VDC y una salida de 230 VAC, produciendo una onda sinusoidal y poseyendo la capacidad de soportar hasta 2200 W por breves períodos de tiempo con cada módulo de 1000 W. Por último, el diagrama que se muestra en la figura anterior ilustra la conexión eléctrica del sistema híbrido solar-eólico.

(Chagua Isidro y Valdivia Quiroz, 2017) El presente proyecto de tesis tiene como título: “ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA EFICIENCIA DE UN MÓDULO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA HÍBRIDA SOLAR EÓLICA PARA LA EPIME – PUNO, 2015” El foco de nuestra atención es la evaluación del estado actual de las iniciativas de beneficio social en nuestra región. Específicamente, estamos



interesados en proyectos patrocinados por el Ministerio de Energía y Minas u otras organizaciones relevantes que tengan como objetivo fomentar el desarrollo mediante el uso de fuentes de energía renovables.

El objetivo del proyecto de tesis es investigar la efectividad de un módulo híbrido solar-eólico, con un enfoque específico en el impacto de la velocidad del viento, la radiación solar y la ubicación geográfica (altitud) en el departamento de Puno. Para realizar las pruebas necesarias se recopiló y analizó información de energía solar y eólica para los sectores Salcedo, Ventilla (Alto Puno), Yanamayo (antenas) y Llavini (EPIME). Los datos se recolectaron mediante el uso de equipos de medición como un anemómetro digital KAINDL, un solarímetro digital PCE-SPM 1 y un multímetro digital. La metodología empleada implicó la recolección de datos en campo y el análisis de los sitios, teniendo en cuenta los factores antes mencionados. Se ejecutó la construcción de un módulo híbrido solar-eólico con una potencia nominal de 640 vatios. Posteriormente, el módulo fue probado utilizando instrumentos de medición en el campo. Los resultados de las pruebas mostraron una velocidad media del viento de 5,10 m/s y una potencia de radiación solar media de 1.082,68 W/m<sup>2</sup>. El módulo generó una potencia media de 258,55 vatios. Utilizando estos datos, se realizó un análisis estadístico mediante la construcción de gráficos, el cálculo de la eficiencia y la correlación de variables. Los resultados revelaron que la velocidad del viento tuvo una correlación positiva significativa con la eficiencia del módulo para el sector Ventilla (Alto Puno) con un valor del coeficiente de Pearson de 0,6813. En cambio, la radiación solar tuvo una correlación positiva muy fuerte con la eficiencia del módulo para el sector de Salcedo con un valor del coeficiente de Pearson de 0,864. La ubicación geográfica tuvo una correlación positiva

moderada con la eficiencia del módulo con un valor del coeficiente de Pearson de 0,5037. Se puede concluir que la velocidad del viento, la radiación solar y la ubicación geográfica son factores influyentes que afectan la eficiencia del módulo. Para calcular la eficiencia, la velocidad del viento, la radiación solar y la producción de energía tanto de la turbina eólica como de los paneles solares se recopilarán y se ingresarán en una hoja de Excel. La potencia nominal del módulo se utilizará para dividir la potencia generada, registrándose todos los cálculos en la hoja de cálculo. Además, se determinará la energía solar y la potencia de las turbinas eólicas disponibles en el entorno. A partir de estos datos se desarrollará una nueva curva de potencia del aerogenerador en las condiciones específicas de nuestro departamento.



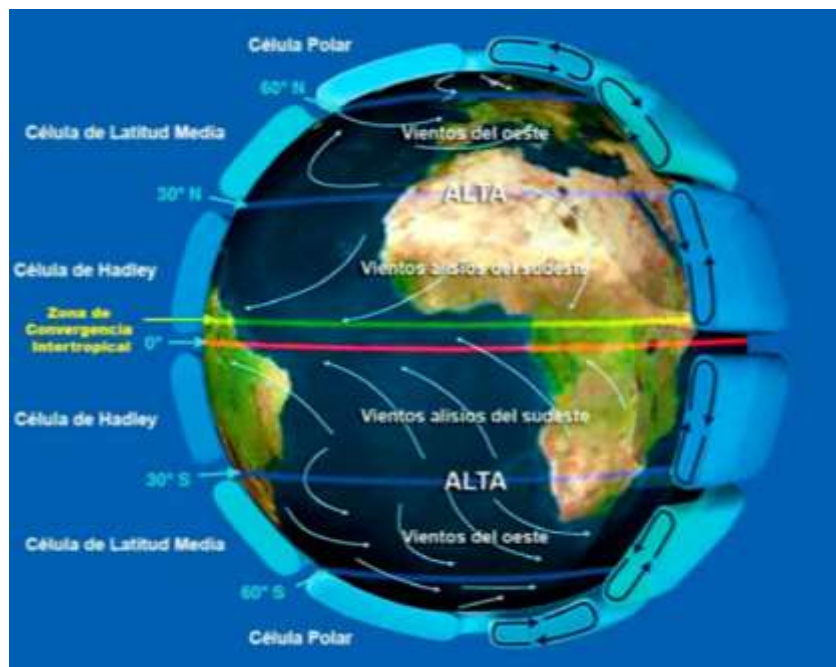
**FIGURA 7. Instalación del módulo híbrido eólico- fotovoltaico**

**FUENTE: Chagua Isidro y Valdivia Quiroz (2017)**

## 2.2. BASES TEÓRICAS

### 2.2.1. El viento como recurso natural

El movimiento del aire es el resultado de las disparidades de presión que se producen en diversas partes del mundo debido a la desigual absorción de la radiación solar por la superficie terrestre. A modo de ilustración, la cantidad de radiación solar absorbida por la Tierra en las proximidades del ecuador es mayor que la absorbida en los polos. Como el aire caliente es menos denso que el aire frío, asciende hasta una altura de unos 10 km y se difunde hacia el norte y el sur.



**FIGURA 8. Circulación del aire**

**FUENTE:** <https://4.bp.blogspot.com>

En el caso de que la Tierra no mostrara rotación, la atmósfera viajaría en línea recta desde el Polo Sur al Polo Norte, descendería y luego regresaría al ecuador. Sin embargo, debido a la rotación del planeta, cualquier movimiento que ocurra en el hemisferio norte se empuja hacia la derecha, cuando lo vemos desde nuestra posición en la superficie (en el hemisferio sur, se empuja hacia la

izquierda). Esta componente de curvatura aparente se conoce como fuerza de Coriolis. (debido al matemático francés Gustave Gaspard Coriolis 1792-1843).

### 2.2.1.1. Otros patrones de circulación atmosférica

El modelo de circulación anteriormente planteado se desarrollaría sobre una superficie esférica completamente lisa. Sin embargo, la superficie de la Tierra dista mucho de ser lisa, ya que está formada por vastos océanos e inmensos continentes. Estos efectos se generan por diferencias de presión que afectan a los vientos tanto regionales como globales, incluidos los monzones. A lo largo del día, el aire más cálido de las montañas asciende constantemente por las laderas, desplazando efectivamente el aire denso y frío que hay encima. Por el contrario, una vez que cae la noche, la dirección del flujo de aire se invierte, y el aire más frío desciende y reemplaza al aire más cálido que había ascendido anteriormente.

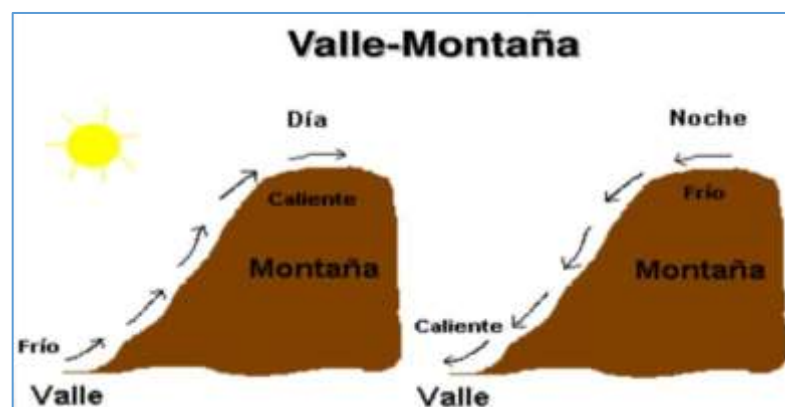


FIGURA 9. Esquema de circulación de viento en montañas y valles

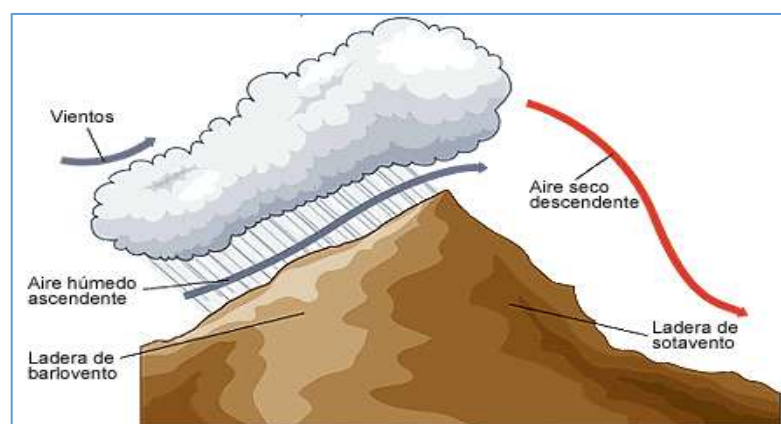
FUENTE: <https://image2.slideserve.com>

### 2.2.1.2. Efectos de la geografía

El rendimiento del viento y el proyecto en su conjunto pueden verse fuertemente afectados por las características geográficas del sitio de instalación, lo que lo convierte en un factor crucial a considerar. La tierra se puede clasificar en

términos generales como tierra plana o no plana, lo que sirve como clasificación fundamental de la tierra. Los terrenos planos son áreas con irregularidades menores, como pequeñas plantas, mientras que los terrenos no planos se caracterizan por irregularidades importantes como colinas, valles, picos y cañones. Para clasificar con precisión un terreno como plano, se deben cumplir criterios específicos:

- La diferencia de altura entre el lugar de instalación y el paisaje adyacente no debe exceder los 60 metros dentro de una región circular que se extiende por 11,5 kilómetros de diámetro y está centrada alrededor de la turbina.
- El sitio de instalación de cualquier colina no debe ubicarse dentro de un radio de 4 km aguas arriba o aguas abajo de una colina que tenga una relación altura-base superior a 1/50.
- Por razones de seguridad, se requiere que el punto más bajo del rotor esté a una elevación que sea al menos tres veces mayor que la diferencia máxima en la elevación del terreno ( $h$ ) dentro de un área de 4 km aguas arriba.

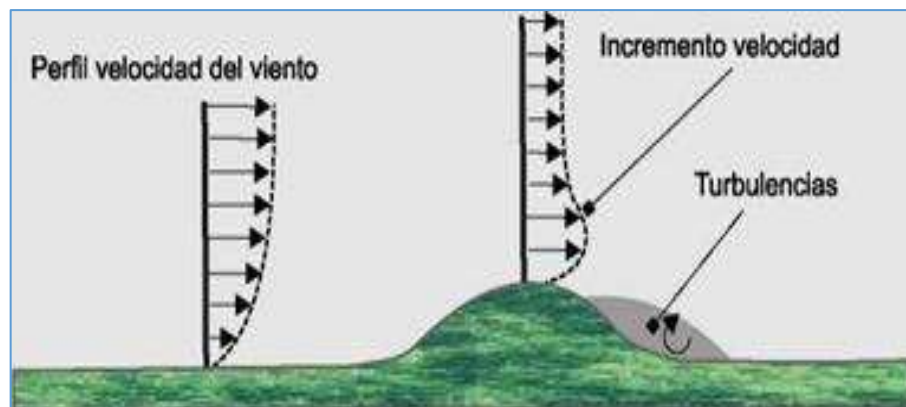


**FIGURA 10. Efectos de la geografía con el viento**

**FUENTE:** <https://epicentrogeografico.com>

El terreno que no es plano abarca una amplia gama de formas, como elevaciones o depresiones aisladas, así como regiones montañosas. En terreno montañoso, las condiciones del flujo pueden ser complejas debido a la variedad aleatoria de formas que pueden adoptar las depresiones y elevaciones.

La suavidad del flujo sobre terreno llano se ve afectada por diversas interferencias artificiales. Las más frecuentes son las estructuras artificiales como viviendas residenciales, edificios comerciales, graneros agrícolas, torres de telecomunicaciones y tanques de agua elevados. Además, los árboles que se han plantado deliberadamente en áreas específicas también pueden afectar el flujo.

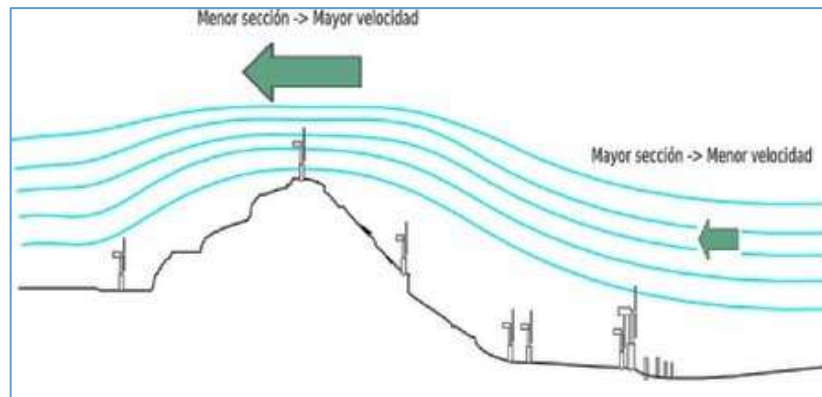


**FIGURA 11. Diferencias de elevación del viento según el terreno**

**FUENTE:** <http://energyprofessionalsymposium.com>

(Durán Montejano, 2012). El viento en superficie está influenciado significativamente por el terreno por el que pasa, siendo la orografía el factor más destacable. Debido a la restricción de los movimientos del aire en las capas inferiores de la atmósfera, conocidas como "tropósfera", las montañas provocan una reducción del área por donde puede circular el viento. Como el aire no se puede comprimir ni desaparecer, esta disminución del área de circulación da

como resultado un aumento de la velocidad del viento debido a la conservación de la masa. ("efecto Venturi").

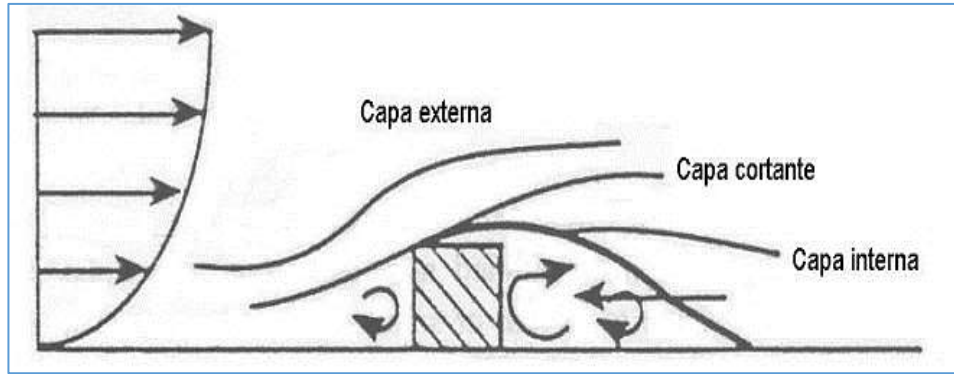


**FIGURA 12. Velocidad del viento en la geografía**

**FUENTE:** Durán Montejano, 2012

(Durán Montejano, 2012) Los aerogeneradores son capaces de aprovechar la energía mecánica presente en el viento y transformarla en energía eléctrica. La eficiencia de esta conversión está determinada por una serie de factores, pero parece ser que cuanto más rápida es la velocidad del viento, mayor es la cantidad de electricidad producida. Aunque existen factores localizados adicionales que dictan dónde es más abundante la energía eólica, con frecuencia se encuentra en regiones montañosas elevadas debido a las razones antes mencionadas.

(Hualpa, 2006) La representación de obstáculos se puede realizar de la forma más sencilla utilizando un bloque rectangular y analizando el flujo en dos dimensiones. Este tipo de flujo, ilustrado en la figura adjunta, crea una turbulencia que ha sido ampliamente estudiada y medida por sus capacidades de reducción de potencia. Como se muestra en la figura, la presencia de una estructura alta produce este efecto. Está claro que a una distancia de 15 hS aguas abajo, el impacto de la pérdida de energía ya no es significativo.

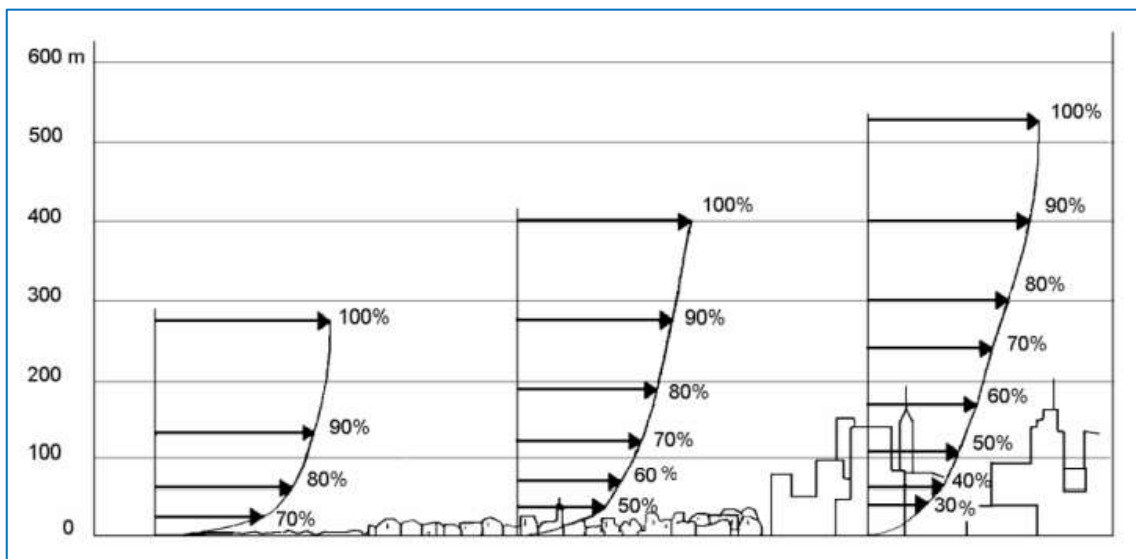


**FIGURA 13. Influencia de obstáculos y formación de remolinos**

*FUENTE: Hualpa Maimer (2006)*

### 2.2.1.3. Variación del viento con la altura sobre el terreno

La velocidad del viento está determinada por el perfil del viento, que cambia según la altura sobre la superficie terrestre. El contorno de este perfil cambia según la rugosidad del terreno. El siguiente diagrama muestra el comportamiento del perfil de velocidad del viento en función de las características de la topografía, estos obstáculos que se pueden presentar en el terreno, no siempre serán predeterminadas por la naturaleza, hay obstáculos creados por la humanidad en diversas de nuestro planeta.



**FIGURA 14. Perfiles de velocidad de viento**

*FUENTE: Atlas del país vasco (1993)*

## 2.2.1.4. Variaciones de la velocidad del viento

Distinguiremos las siguientes variaciones:

### a) VARIACIONES ESTACIONALES

Debido a la radiación solar, los anticiclones y la ubicación de las tormentas, los vientos globales están sujetos a cambios estacionales. De hecho, es posible identificar tendencias más o menos destacadas en los cambios cíclicos de funciones a lo largo del año.

### b) VARIACIONES DIARIAS

La influencia del calentamiento o enfriamiento durante el día o la noche, la proximidad al mar o las condiciones del terreno producirán cambios de viento diarios. Este es el caso de los vientos costeros o de montaña.

### c) VARIACION EN PERÍODO MUY CORTO (RÁFAGAS)

En un corto período de tiempo, la velocidad y la dirección del viento cambiarán significativamente.

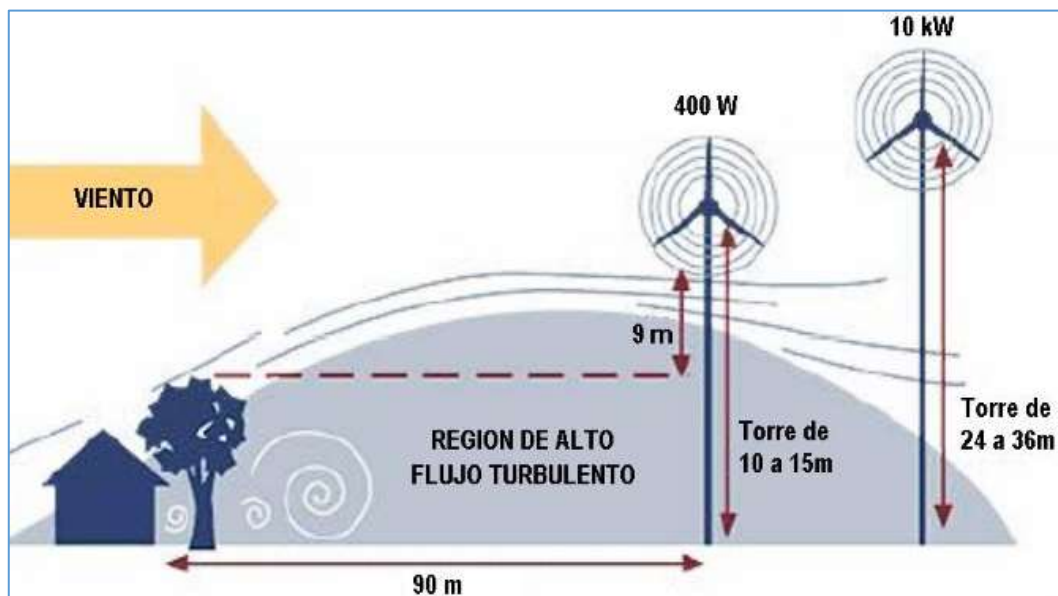


FIGURA 15. Recomendaciones para la instalación de aerogeneradores

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



La definición de una ráfaga depende de la parte de la velocidad del viento relativa a la velocidad promedio del viento (promedio en un intervalo de 10 minutos) y la duración de la ráfaga en sí. Cuando la velocidad instantánea excede la velocidad promedio del viento en aproximadamente 5 a 8 m/s, se llama ráfaga. 8 a 15 m/s es una ráfaga fuerte, y si la velocidad instantánea excede la velocidad promedio del viento en aproximadamente 15 m/s, es una ráfaga violenta.

#### **2.2.1.5. Vientos locales**

Ciertas condiciones locales conducen a una desviación de la ley.

Generalmente expuesto a vientos globales a gran escala.

#### **2.2.1.6. Brisas de mar y brisas de tierra**

A lo largo del día, la tierra se calienta a un ritmo más rápido que el océano. Esta disparidad conduce al desarrollo de una corriente de aire ascendente que induce una baja presión del aire, lo que resulta en una circulación de aire desde el océano hacia la tierra, comúnmente conocida como "brisa marina". Al caer la noche, este fenómeno natural se revierte y el viento sopla de la tierra al mar, también conocido como "brisa de tierra". Durante los períodos de anochecer y amanecer, es típico que prevalezcan condiciones de calma. La velocidad del viento suele estar por debajo de los 20 kilómetros por hora (5,5 m/s), aunque este valor puede fluctuar dependiendo del terreno circundante.

#### **2.2.1.7. Potencia en un tubo de corriente de aire y límite de betz**

Se puede aplicar una teoría relativamente simple, típicamente atribuida a Betz (1926), para evaluar la producción de potencia óptima, el empuje del viento y otras características pertinentes de un rotor. Este modelo se basa en la conservación de la teoría del momento lineal desarrollada en el siglo XIX para pronosticar el comportamiento de las hélices de los barcos. El examen se realiza

dentro de un volumen de control, siendo los límites del volumen de control las superficies del tubo de flujo y dos secciones transversales del mismo tubo de flujo. El único flujo es a través de los extremos del tubo de corriente. La turbina está representada por un disco uniforme que crea una interrupción en la presión del aire que fluye a través del tubo. El análisis supone lo siguiente: (Hualpa, 2006).

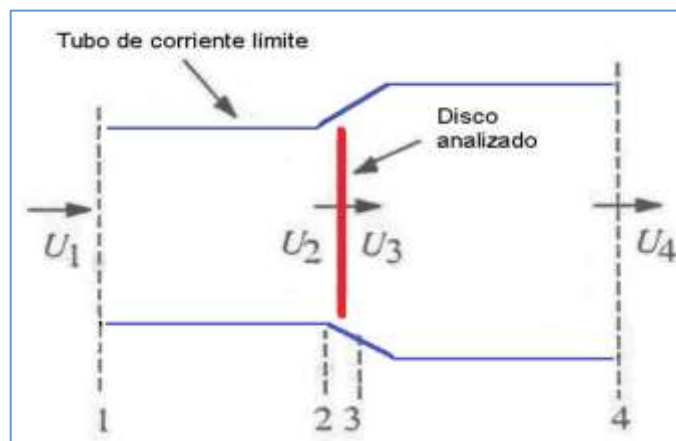


FIGURA 16. Modelo del tubo de corriente de aire a través de un rotor ideal

FUENTE: Hualpa Maimer (2006)

- La presión corriente arriba del rotor y corriente abajo es igual a la presión estática del ambiente circundante no perturbado por el rotor
- No hay arrastre por fricción.
- Fluido homogéneo, incompresible y flujo en estado estacionario.
- Empuje uniforme sobre toda el área del rotor.
- Un número de álabes infinito.

#### 2.2.1.8. Densidad del aire

La masa o peso de un objeto en movimiento es directamente proporcional a su energía cinética. De manera similar, la energía cinética del viento depende de la densidad del aire, que es la masa por unidad de volumen de aire. En términos

más simples, cuanto más denso sea el aire, más energía se transmitirá a la turbina.

En condiciones atmosféricas típicas a una temperatura de 15°C, el peso del aire es de aproximadamente 1,225 kilogramos por metro cúbico. Sin embargo, su densidad experimenta una ligera disminución con niveles elevados de humedad.

#### 2.2.1.9. Densidad del aire y área del rotor

La principal fuente de energía de una turbina eólica es la conversión de la energía eólica en par, que luego se transfiere a las palas del rotor. La energía que el viento imparte al rotor depende de una variedad de factores, incluida la densidad del aire, el área de superficie del rotor y la velocidad del viento. En la imagen proporcionada, se ve una sección cilíndrica de aire de un metro de espesor moviéndose a través del rotor de una turbina eólica típica de 600 kilovatios, que tiene una superficie de 1.500 metros cuadrados. Cada uno de estos cilindros, con un diámetro de rotor de 43 metros, tiene un peso de 1,9 toneladas, lo que equivale a 1.500 multiplicado por 1,25 kilogramos.

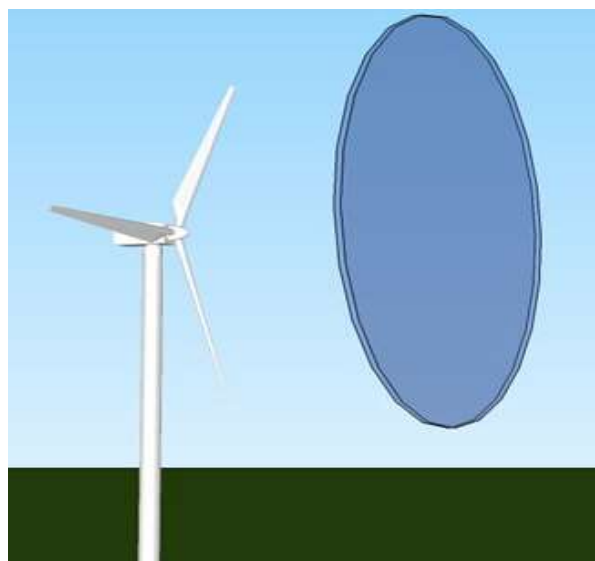


FIGURA 17. Energía de viento que trasmite al rotor del generador

FUENTE: <http://www.textoscientificos.com>

Para aprovechar la energía cinética del viento y convertirla en energía rotacional, el rotor de una turbina eólica debe desacelerar inevitablemente el viento. Como resultado, si el viento sopla en dirección de derecha a izquierda, su velocidad a la izquierda del rotor se reducirá en comparación con su velocidad a la derecha del rotor.

### 2.2.2. Componentes de sistema de generación eólico

Los sistemas eólicos comprenden un grupo de turbinas eólicas que generan electricidad a partir del viento, suministrando energía a áreas residenciales, granjas y pequeñas comunidades rurales. Estos aerogeneradores se clasifican en función de su potencia nominal y están diseñados específicamente para producir energía eléctrica:

#### 2.2.2.1. Grandes Aerogeneradores

Las turbinas eólicas diseñadas para generar grandes cantidades de energía eléctrica suelen tener una potencia nominal de varios cientos de kilovatios. Actualmente, la mayoría de los aerogeneradores instalados poseen potencias nominales de 600 o 900 kW.

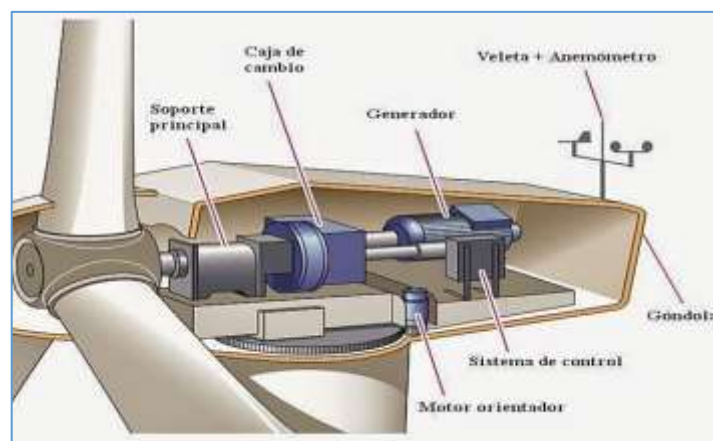


FIGURA 18. Aerogenerador

FUENTE: <https://th.bing.com>

### 2.2.2.2. Componentes de un aerogenerador

**Torre:** La estructura que proporciona soporte a la turbina eólica, incluida la góndola y el rotor, se beneficia de estar elevada. Cuanto mayor sea la altura de la estructura, mayor será la velocidad del viento que podrá aprovechar. Por ejemplo, una turbina eólica con una potencia de 600 kW normalmente requiere una altura de aproximadamente 50 metros. Las torres utilizadas en las turbinas eólicas se pueden construir utilizando diseños tubulares o de celosía, siendo el primero considerado más seguro y el segundo más rentable.

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

#### a) Componentes de la turbina eólica

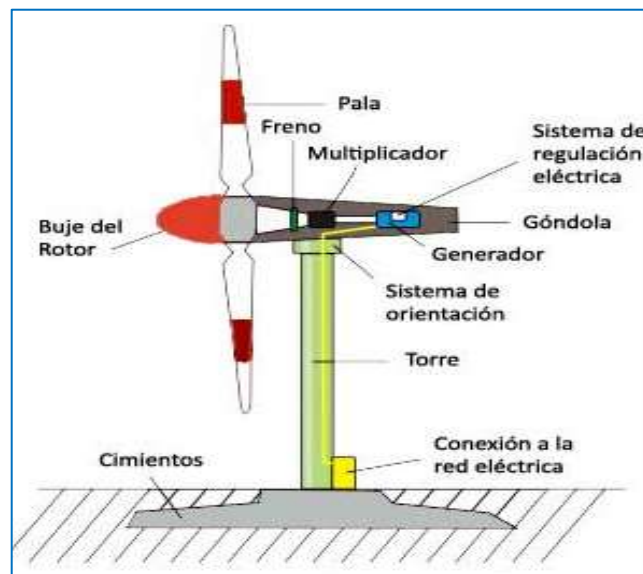


FIGURA 19. Partes de un aerogenerador

FUENTE: <https://th.bing.com>

**Buje:** Centro del rotor donde se encastran las palas.

**Eje de Buje:** La conexión entre el multiplicador y el cubo del rotor en una turbina eólica se ve facilitada por el eje de baja velocidad. Una turbina eólica promedio de 600 kW tiene un rotor que gira a un ritmo lento, específicamente de 19 a 30



revoluciones por minuto (r.p.m.). Además, el eje dispone de conductos del sistema hidráulico que permiten el uso de frenos aerodinámicos.

**Pala:** Mediante la implementación de la aerodinámica, la energía producida por el viento se convierte en energía mecánica a lo largo del eje del generador. Este proceso permite la transformación de la energía cinética en una forma utilizable.

**Góndola:** La góndola, situada en la cima de la turbina eólica, alberga tres componentes integrales: el multiplicador, el generador eléctrico y el sistema de orientación. De ellos, los dos primeros son particularmente cruciales para el funcionamiento de la turbina. Junto a la góndola, en el lado izquierdo, se encuentran las palas, el rotor del aerogenerador y el buje.

**Anemómetro:** El dispositivo mide la velocidad del viento y luego comunica esta información al controlador electrónico conectado a la turbina eólica. Una vez que la velocidad del viento alcanza el umbral mínimo, se activa el controlador. Si la velocidad del viento supera un límite predeterminado, la computadora detendrá el funcionamiento de la turbina eólica para evitar posibles daños.

**Controlador electrónico:** El aerogenerador está equipado con una computadora que monitorea sus condiciones y controla el mecanismo de orientación. Si hay un mal funcionamiento, el aerogenerador se detiene automáticamente y la computadora notifica al operador a cargo de la turbina.

**Eje de alta velocidad con su freno mecánico:** El generador eléctrico puede funcionar gracias a la rotación de la turbina a aproximadamente 1.500 revoluciones por minuto. Además, la turbina está equipada con un freno de disco mecánico de emergencia que se puede utilizar si falla el freno aerodinámico o cuando se realizan trabajos de mantenimiento en la turbina.



**Generador eléctrico:** El proceso de conversión de energía mecánica en energía eléctrica se logra mediante el uso de generadores. Estos generadores generalmente se pueden clasificar en tres tipos: el generador asíncrono de jaula de ardilla, el generador asíncrono de rotor bobinado y el generador síncrono de imán permanente.

**Multiplicador:** Un conjunto de engranajes dentro de un sistema mecánico tiene la tarea de aumentar la velocidad de rotación de dicho sistema. Esto se logra aumentando la velocidad de rotación del eje de salida que es impulsado, en comparación con el motor o el eje de entrada. La velocidad de la turbina, que oscila entre 20 y 30 revoluciones por minuto, se convierte a la velocidad del generador, que oscila entre 1000 y 1500 revoluciones por minuto.

**Mecanismo de Orientación:** El objetivo del dispositivo es mantener el rotor de la turbina en orientación contra el viento, es decir, perpendicular a la dirección del viento. Esto garantiza que la máxima cantidad de energía eólica pueda pasar a través del rotor.

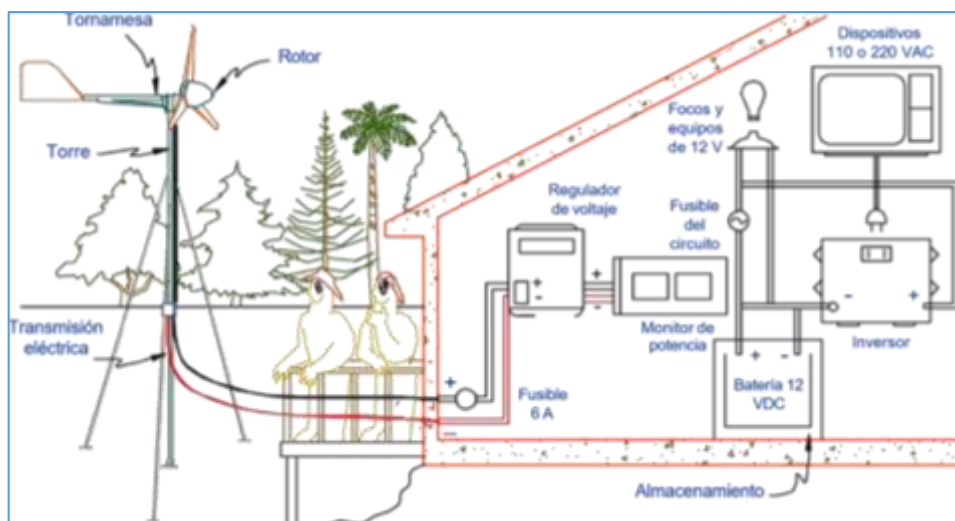
**Sistema Hidráulico:** Los frenos aerodinámicos de la turbina eólica se rejuvenecen mediante restauración.

**Unidad de Refrigeración:** El sistema de refrigeración de las turbinas varía entre los diferentes modelos. Algunas turbinas utilizan un ventilador eléctrico y una unidad de enfriamiento de aceite; el primero enfría el generador eléctrico mientras que el segundo enfría el aceite multiplicador. Por el contrario, otras turbinas incorporan en su diseño generadores refrigerados por agua.

**Veleta:** La dirección del viento se mide y luego se comunica al controlador electrónico, que luego indica a la turbina eólica que gire en oposición al viento con el uso del mecanismo de orientación.

### 2.2.2.3. Pequeños Aerogeneradores

Estos generadores suelen instalarse en zonas remotas que carecen de acceso a la red general de distribución eléctrica. El tamaño y tipo de instalación dependen únicamente de las necesidades del usuario, siendo habitual que la instalación esté situada cerca de centros de consumo, como viviendas, granjas o pequeñas zonas rurales. Esto requiere a menudo la presencia de acumuladores.



**FIGURA 20. Esquema de instalación de un aerogenerador**

**FUENTE:** Diaz Galinos, Luis (2010)

El mantenimiento básico es esencial para las tecnologías altamente confiables que se utilizan comúnmente en las instalaciones. Las pequeñas instalaciones eléctricas suelen emplear aerogeneradores de alta velocidad (con un valor de  $\lambda$  superior a 2) que suministran electricidad a viviendas o centros aislados. La potencia de salida de estas turbinas oscila entre 100 W y 10 kW y son más



simples en comparación con las turbinas utilizadas en la generación de energía a gran escala. Las características fundamentales de estas turbinas son:

**a) Componentes de aerogenerador de viento de baja potencia:**

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

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

**Sistema de Orientación:** Actúa como principal sistema de protección contra altas velocidades del viento y consta de la sección de cola, como se muestra en la imagen siguiente (abajo). El sistema de dirección automática está diseñado específicamente para una dirección sensible durante ráfagas de viento de baja velocidad. El sistema desorienta gradualmente la turbina eólica, provocando que se desvíe cuando las velocidades se acercan a valores demasiado altos para que la máquina funcione correctamente. para de trabajar.

Salida del sistema: Dependiendo del sistema que desee alimentar, puede ser CC o CA.

**Torre:** Puede ser de celosía o tubular.

**Equipo de regulación y monitorización del aerogenerador (Segundo sistema de seguridad):** Para garantizar la seguridad del aerogenerador, se emplea un conjunto de resistencias de frenado y un regulador de carga. Cuando las baterías de la instalación no son capaces de absorber toda la energía producida, el regulador de carga redirige el exceso de energía a las resistencias de frenado. Esto evita que la turbina funcione vacía y gire a velocidades peligrosas, especialmente durante los momentos en que las baterías están completamente cargadas.

**Banco de Baterías:** Este mecanismo es capaz de retener energía durante varios días, lo que permite acceder a una reserva de energía en momentos de viento escaso o ausente. Sin embargo, este sistema en particular no es beneficioso para las redes de generación de energía eléctrica que están conectadas a la red.

**Punto de Consumo:** Lugares alejados o remotos y centros poblados que no están interconectados a la red eléctrica nacional.

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

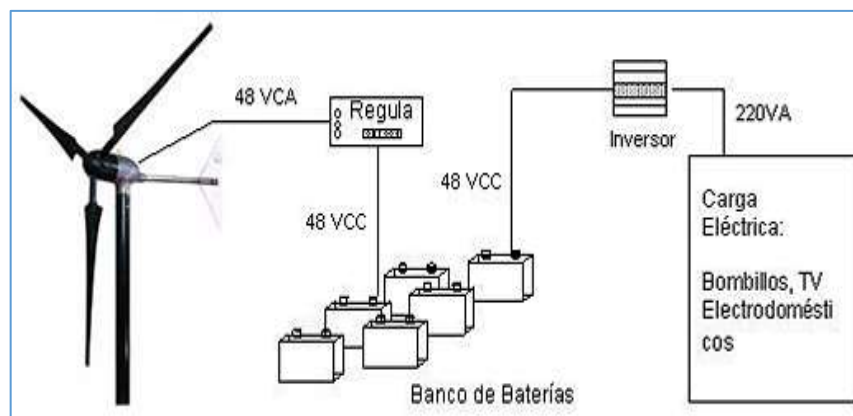


FIGURA 21. Componentes de un sistema eólico de baja potencia

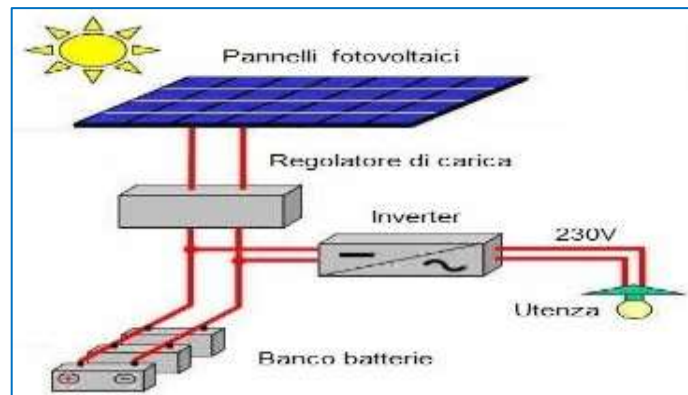
FUENTE: Diaz Galinos, Luis (2010)

### 2.2.3. Sistema Fotovoltaico

El conjunto de componentes que pueden proporcionar energía para satisfacer las demandas energéticas con el uso de energía solar se denomina sistema fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos, un regulador, baterías eléctricas y de inversores, así como cargas, constituyen los componentes fundamentales de un sistema fotovoltaico.

La producción de corriente eléctrica mediante la conversión de la radiación solar se conoce como sistema de energía solar fotovoltaica. Este sistema de conversión directa implica la interacción de los fotones del sol con los electrones

de un colector fotovoltaico, dando lugar al efecto fotoeléctrico y la posterior generación de corriente eléctrica.



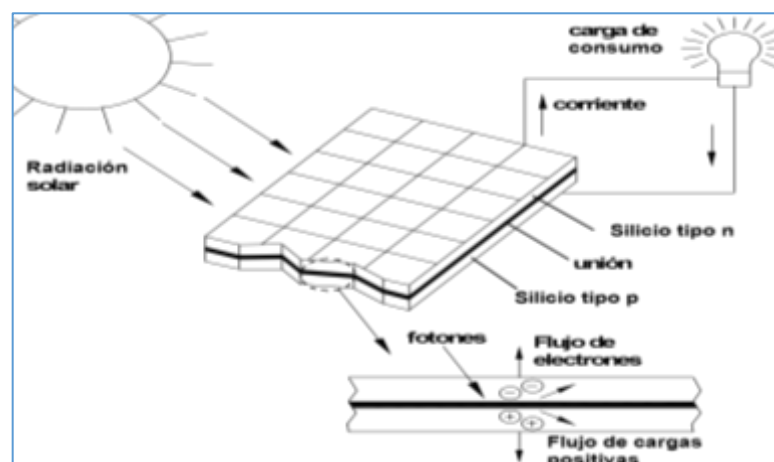
**FIGURA 22. Esquema del Sistema Fotovoltaico**

*FUENTE: <https://i.pinimg.com>*

El elemento fundamental del método directo de conversión de energía es la célula solar. Estas células se utilizan para construir paneles o módulos solares que generan una corriente eléctrica que varía según la cantidad de energía solar que incide en su superficie.

### 2.2.3.1. El efecto fotovoltaico como base de la tecnología solar

El proceso de la tecnología fotovoltaica implica la conversión de la luz solar directamente en electricidad.



**FIGURA 23. Esquema del efecto fotovoltaico**

*FUENTE: <http://www.rise.org.au>*

Durante la década de 1950, el avance de los programas espaciales condujo a la creación de células solares de silicio cristalino. Estas células funcionan según el principio del efecto fotovoltaico, que convierte en electricidad la energía contenida en los fotones de luz que inciden sobre materiales semiconductores adecuadamente procesados. Luego, esta energía eléctrica se utiliza para empujar electrones a través de un circuito externo.

#### a) Electrificación rural

- Viviendas de fin de semana y similares.
- Viviendas fuera del alcance de las líneas eléctricas de distribución

#### b) Aplicaciones agrícolas

- Bombeo de agua
- Sistemas de riego
- Iluminación de invernaderos

### 2.2.3.2. Componentes del sistema fotovoltaico

#### a) Inversor fotovoltaico

El dispositivo en cuestión funciona como un convertidor, tomando la energía de corriente continua producida por el generador fotovoltaico y convirtiéndola en corriente alterna. Existen dos tipos principales de inversores: los que están aislados y los que están conectados a la red eléctrica. Los inversores también se pueden clasificar en categorías según el número de fases o polos que tengan, siendo los más habituales los inversores-convertidores monofásicos y trifásicos. Los inversores tienen los siguientes parámetros de entrada (en CC):

- **Tensión mínima de entrada ( $V_{ccmín}$ ):** Tensión mínima a la cual el inversor es capaz de verter energía a la red.

- **Tensión máxima de entrada ( $V_{ccm\acute{a}x}$ ):** Máxima tensi3n de entrada permitida en el inversor.
- **Tensi3n nominal de entrada ( $V_{cc, n}$ ):** tensi3n de entrada especificada por el fabricante, a la cual se refiere la informaci3n de la ficha técnica.

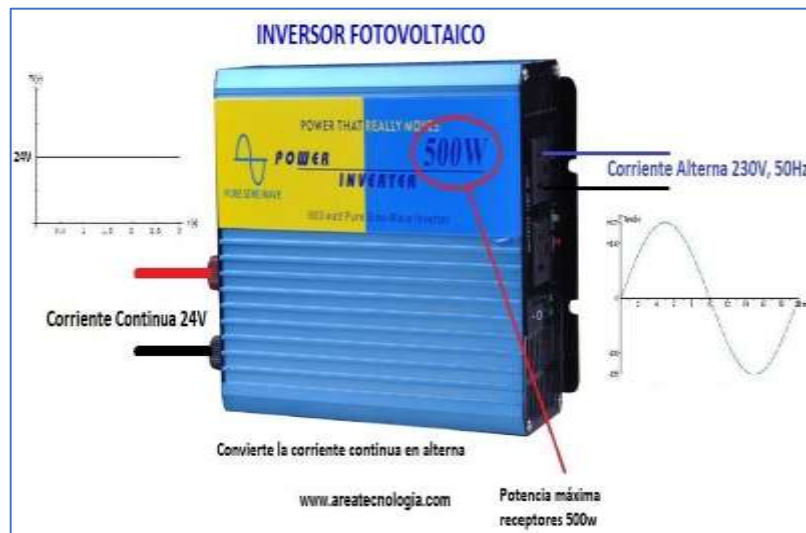


FIGURA 24. Inversor fotovoltaico

FUENTE: [www.aerotecnologia.com](http://www.aerotecnologia.com)

- **Tensi3n de entrada de arranque ( $V_{cc, arr}$ ):** Tensi3n de entrada a la cual el inversor empieza a verter energía a la red.
- **Tensi3n mínima del MPP ( $V_{pmpm\acute{i}n}$ ):** tensi3n mínima a la cual el inversor puede transferir su potencia nominal.
- **Tensi3n máxima del MPP ( $V_{pmpm\acute{a}x}$ ):** tensi3n máxima a la cual el inversor puede transferir su potencia nominal.
- **Corriente máxima de entrada:** La corriente máxima a la que puede funcionar el inversor está determinada por  $I_{ccmax}$ . En los casos en que el inversor tiene varias entradas de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT),  $I_{ccmax}$  est vinculado a cada entrada por separado.

### b) Controlador

Los reguladores o controladores de carga son dispositivos que regulan el voltaje y la corriente de los paneles solares o turbinas eólicas que se transmiten al banco de baterías. Algunos paneles tienen el potencial de entregar entre 16 y 20 voltios, lo que podría dañar la batería debido a una sobrecarga. Esto se debe a que la batería requiere aproximadamente 14,5 voltios para cargarse correctamente.



FIGURA 25. Controlador fotovoltaico

FUENTE: <https://www.areatecnologia.com>

### c) Alternador

Se conoce como alternador a un dispositivo eléctrico que tiene la capacidad de convertir energía mecánica en energía eléctrica generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética. Cuando se utiliza para proporcionar o producir energía para la red, la velocidad de rotación del alternador permanece constante, preservando así la frecuencia  $f$  de la red.

- **Inductor**

El componente encargado de recibir la fuerza mecánica de rotación en un alternador se conoce como elemento giratorio. Para desarrollar una comprensión más completa de los inductores, es necesario tener en cuenta que se componen



principalmente de un núcleo de metal ferromagnético con un devanado dispuesto, que generalmente consiste en alambre de cobre esmaltado, que genera un campo magnético. En los modelos más sencillos se utiliza en su lugar un imán estacionario.

- **Inducido**

El estator o armadura comprende un pequeño número de pares de polos que se distribuyen de forma alterna y, en este caso, se crean mediante un bobinado alrededor de un núcleo hecho de material ferromagnético blando, que normalmente es hierro dulce. Cuando el inductor se gira o se hace girar, induce un campo magnético formado por imanes estacionarios que fluctúa con el tiempo. A medida que este campo variable pasa a través de los polos de la armadura, produce una corriente alterna que se acumula en los terminales de la máquina.

Un sistema híbrido, por definición, es un sistema que está formado por dos o más sistemas. Por ejemplo, existen varios tipos de sistemas híbridos, como el sistema híbrido diésel-eólico, el sistema híbrido eólico-fotovoltaico y el sistema híbrido eólico-fotovoltaico-hidráulico. En ubicaciones remotas, se pueden utilizar generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento de batería para alimentar cargas pequeñas. Para determinar el tamaño adecuado de un sistema híbrido, se deben identificar todas las combinaciones potenciales que ofrezcan un cierto nivel de satisfacción o confiabilidad. La solución más óptima es aquella que ofrece el mismo nivel de confiabilidad al costo más asequible, lo que se puede determinar evaluando el costo económico de cada posibilidad.

#### **d) Paneles fotovoltaicos**

Los paneles fotovoltaicos, también conocidos como paneles solares fotovoltaicos, tienen la capacidad de convertir la luz solar en energía utilizable. Esto se logra mediante el proceso de convertir la luz en un campo eléctrico, que posteriormente viaja a través de un cable conductor.

El inversor recibe el cable conductor y transforma la electricidad en una corriente alterna que puede utilizarse para suministrar energía a una residencia. En física, se aprende que la luz solar visible comprende partículas intangibles llamadas fotones, que poseen energía, pero no masa en reposo. Cuando los fotones interactúan con otras partículas, convierten su energía en diferentes formas, y el tipo de átomos con los que chocan determina estas formas.



FIGURA 26. Estructura de panel fotovoltaico

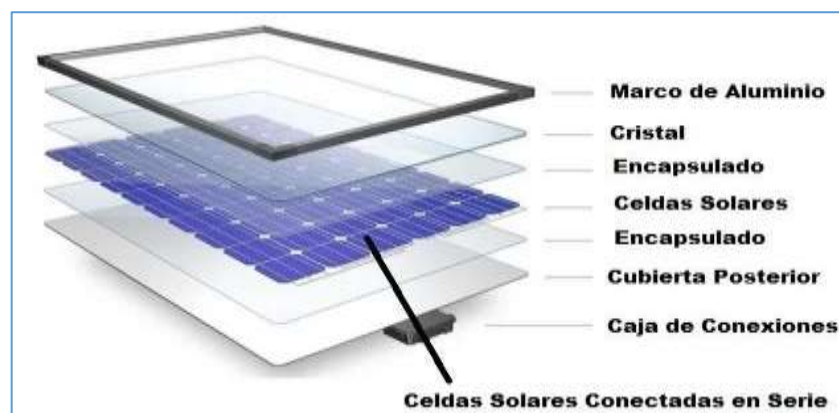
FUENTE: <https://voltaika.net/paneles-solares-2022>

- **Componentes de un panel fotovoltaico.**

La composición de una célula solar implica material semiconductor. Este material es capaz de conducir la electricidad a un ritmo superior al de los aislantes, pero no con tanta eficacia como los metales. Los paneles fotovoltaicos tradicionalmente constan de cuatro capas distintas:

**Capa de silicio.** El silicio, elaborado a partir de arena fundida, se corta en capas finas. La capa de silicio facilita el flujo de energía y la generación de campos eléctricos. Estas mismas capas de silicio son muy frágiles.

**Soporte metálico y bandas conductoras.** Los paneles fotovoltaicos tienen soportes metálicos y tiras metálicas conductoras para soportar la frágil capa de silicio y permitir que la electricidad fluya a través del panel solar hacia otros componentes.



**FIGURA 27. Partes de un panel fotovoltaico**

**FUENTE:** <https://voltaika.net/paneles-solares-2022>

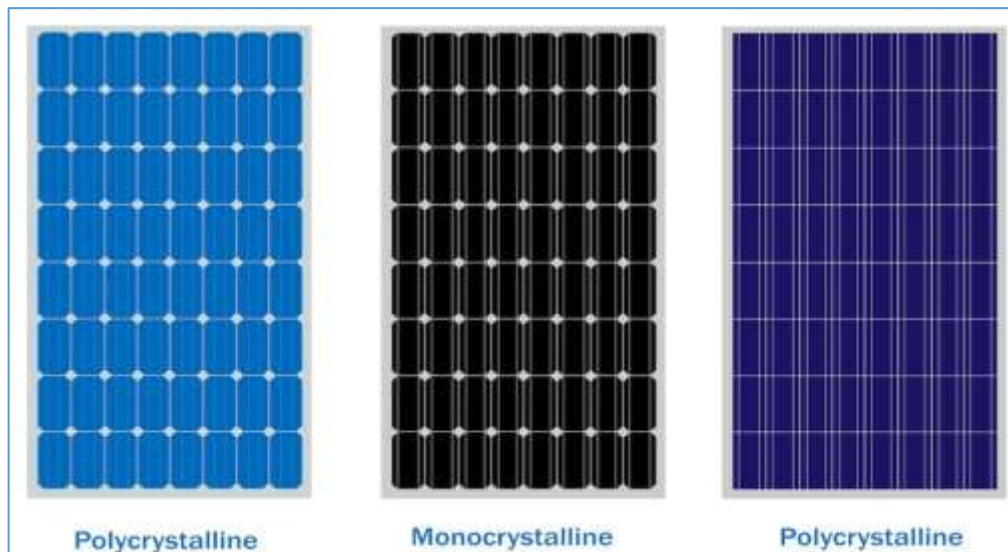
**Capa antirreflectante.** Cada célula solar tiene una fina película de material antirreflectante en la parte superior. Esta capa ayuda a aumentar la eficiencia de la batería. A medida que los científicos continúan desarrollando la tecnología solar, los revestimientos antirreflectantes se vuelven cada vez más eficaces.

**Capa de vidrio y marco.** Los paneles están cubiertos con una capa adicional de vidrio para protegerlos de los daños causados por el clima y los elementos. Esta capa protectora está formada por diferentes tipos de vidrio. Invertir en vidrio de alta calidad es fundamental, ya que los materiales de menor calidad pueden enturbiarse o dañarse. La robusta estructura también simplifica la instalación y el mantenimiento, ya que los paneles solares se pueden instalar fácilmente. Para

que los paneles solares sean duraderos, el marco suele estar hecho de aluminio y interconectado con el resto de la estructura de montaje.

- **Tipos de paneles solares fotovoltaicos.**

Existen 4 tipos primordiales de paneles solares disponibles en el mercado actual: monocristalinos, policristalinos, PERC y de capa fina.



**FIGURA 28. Tipos de paneles solares**

**FUENTE:** <https://ecoinventos.com/paneles-fotovoltaicos>

**Paneles solares monocristalinos.** Los paneles monocristalinos, a veces denominados paneles monocristalinos, se crean cortando un único cristal de silicio puro en numerosos trozos muy finos. Su color negro oscuro es una característica distintiva debido al uso de silicio puro en su producción. Este material también convierte a los paneles monocristalinos en los más resistentes y que ahorran espacio de los tres tipos de paneles solares. Sin embargo, este nivel de calidad tiene un precio: la producción de una sola célula monocristalina requiere el uso de una cantidad importante de silicio, con un desperdicio que supera el 50%. En consecuencia, el producto final es bastante costoso.



**Paneles solares policristalinos.** El nombre "policristalino" indica que las células están compuestas por varios cristales de silicio, en lugar de uno solo. Estos fragmentos se funden y se colocan en un molde cuadrado, lo que contribuye a su forma cuadrada y su asequibilidad debido al mínimo desperdicio. A pesar de estos beneficios, las células policristalinas tienen una menor eficiencia de conversión de energía y requieren más espacio debido a su menor pureza y construcción de silicio en comparación con los paneles monocristalinos. Además, tienen una tolerancia reducida a las altas temperaturas, lo que resulta en una eficiencia reducida en tales condiciones.

**Paneles PERC.** El nombre "policristalino" indica que las células están compuestas por varios cristales de silicio, en lugar de uno solo. Estos fragmentos se funden y se colocan en un molde cuadrado, lo que contribuye a su forma cuadrada y su asequibilidad debido al mínimo desperdicio. A pesar de estos beneficios, las células policristalinas tienen una menor eficiencia de conversión de energía y requieren más espacio debido a su menor pureza y construcción de silicio en comparación con los paneles monocristalinos. Además, tienen una tolerancia reducida a las altas temperaturas, lo que resulta en una eficiencia reducida en tales condiciones.

**Paneles solares de capa fina.** Los paneles de película delgada se identifican por sus finas capas que ofrecen flexibilidad. Estos paneles no tienen marco, lo que los hace más ligeros y sencillos de instalar ya que no requieren ningún soporte adicional. A diferencia de los paneles de silicio cristalino que están limitados a tamaños estándar de 60, 72 y 96 celdas, los paneles de película delgada se pueden personalizar para adaptarse a requisitos específicos. Aunque



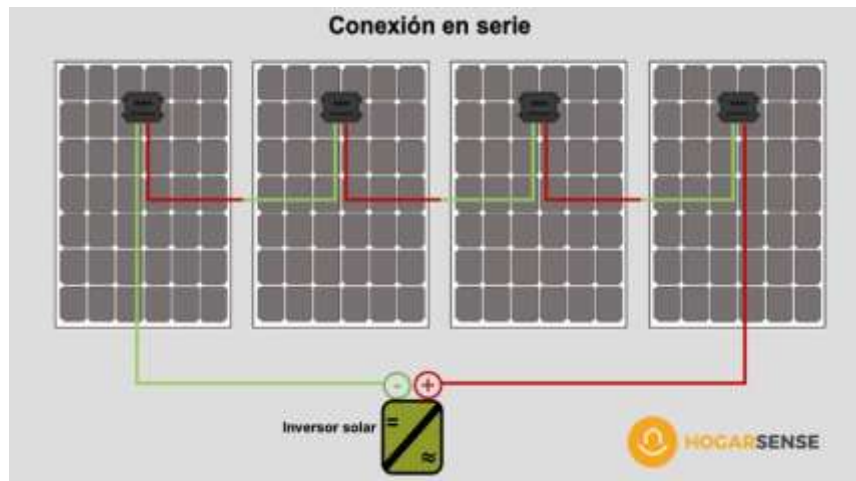
son menos eficientes que los paneles solares de silicio tradicionales, los paneles de película delgada ofrecen una mayor flexibilidad en las opciones de tamaño.

- **Conexión de varias placas solares**

El voltaje eléctrico generado por una sola célula solar está limitado a unas pocas décimas de voltio, con una potencia máxima de 1 a 2 vatios, sujeta a una variación de +/- 0,5 V. En consecuencia, para alcanzar voltajes de 624 V, que son ampliamente aceptados en múltiples aplicaciones, se deben conectar numerosas celdas en serie. Estas celdas funcionan como generadores de corriente en miniatura para lograr el voltaje deseado.

**Conexión en serie:** Cuando se conectan paneles solares en serie, se hace uniéndolos cada panel, de forma similar a construir una cadena. Cada panel solar sirve como enlace en esta disposición, con el polo positivo de uno conectado al polo negativo del siguiente. Este proceso se repite para todas las placas que componen el conjunto. Al utilizar este tipo de conexión, es factible aumentar el voltaje del conjunto manteniendo la intensidad de corriente o amperios que el conjunto puede generar.

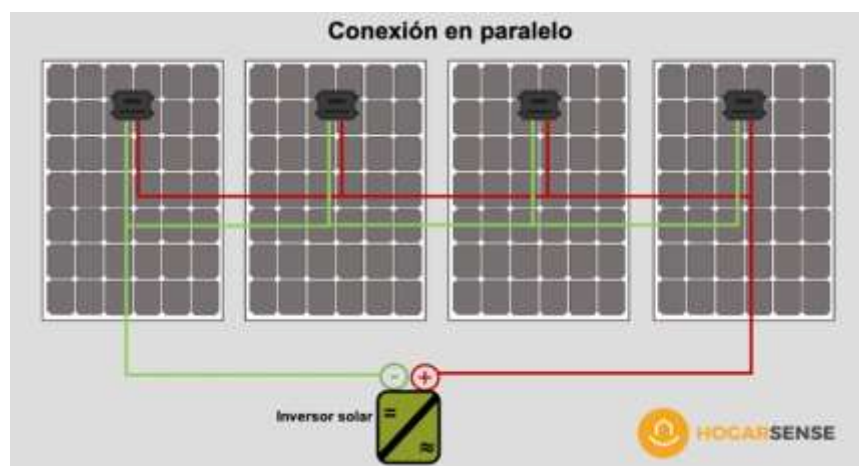
Para proporcionar una mejor comprensión, se presenta un ejemplo. Supongamos que tenemos cuatro paneles solares, cada uno capaz de generar 335 W de potencia a 24 V y producir una corriente máxima de 13,96 A. Cuando estos paneles se conectan en serie, la potencia total de salida pasa a ser 1.340 W a 96 V, con la misma corriente. intensidad de 13,96 A.



**FIGURA 29. Conexión de paneles en serie**

**FUENTE:** <https://www.hogarsense.es/placas-solares>

**Conexión en paralelo** Al conectar paneles solares en paralelo, los polos positivos quedan unidos, al igual que los polos negativos del lado opuesto. Como resultado, los cables que se conectan al polo positivo de los paneles se combinan con un cable más grande que soporta el trabajo de quienes acceden a él. Del mismo modo, todos los polos negativos de los paneles se conectan a otro cable conductor de la misma manera. Al utilizar este método para conectar los paneles solares, la intensidad de corriente eléctrica del conjunto es la suma de las intensidades de cada placa individual que lo compone. Por el contrario, el voltaje permanece constante.



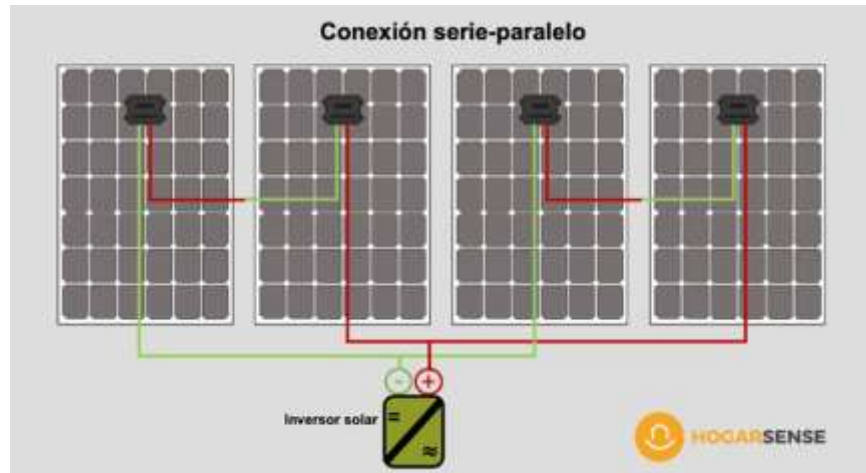
**FIGURA 30. Conexión de paneles en paralelo**

**FUENTE:** <https://www.hogarsense.es/placas-solares>

Para proporcionar una comprensión más clara, examinemos un ejemplo. Supongamos que tenemos cuatro paneles solares, cada uno con una capacidad de 335 W a 24 V, capaces de producir un máximo de 13,96 A. Cuando se conectan estos paneles en serie, la potencia resultante es de 1.340 W a 24 V, con una intensidad de 55,84 A.

**Conexión de paneles solares en serie-paralelo:** Normalmente, el enfoque más común para las instalaciones fotovoltaicas es optimizar todo el sistema mediante cálculos precisos realizados por la empresa instaladora. Esto implica crear varios conjuntos de paneles solares conectando varios paneles en serie y luego combinando esos grupos de "paneles en serie" en paralelo. Al hacerlo, se logra el voltaje y la corriente adecuados, lo que permite seleccionar un inversor solar que pueda proporcionar el resultado más óptimo para toda la instalación.

Nuestro sistema de energía solar consta de cuatro paneles, cada uno con una capacidad de 335 W a 24 V, lo que da como resultado una potencia máxima de 13,96 A. Hemos conectado dos paneles en serie para formar dos grupos, generando un total de 670 W a 48 V. y una salida máxima de 13,96 A. Para aumentar nuestra salida, conectamos estos dos grupos en paralelo, lo que resultó en un voltaje de salida combinado de 48 V y una salida máxima de 27,92 A, lo que nos proporcionó unos impresionantes 1340 A.



**FIGURA 31. Conexión de paneles serie-paralelo**

**FUENTE:** <https://www.hogarsense.es/placas-solares>

### e) Baterías

Las baterías están compuestas por una o varias celdas electroquímicas que convierten la energía química en energía eléctrica. Estos dispositivos tienen un papel crucial en los sistemas fotovoltaicos, ya que almacenan energía eléctrica para su uso posterior y estabilizan el voltaje del sistema. La capacidad de carga de una batería solar se mide en amperios hora (Ah), que se refiere a la cantidad de electricidad que la batería puede proporcionar. Para cargar una batería solar, es necesario conectar los paneles solares a un regulador de carga que supervisará el proceso de carga.

**Las variables fundamentales que definen la capacidad de la batería son:**

- intensidad de descarga
- tensión final de descarga
- tiempo de carga, tiempo de descarga o velocidad de carga/descarga
- temperatura

La capacidad de una batería está determinada por la duración de la descarga, que proporciona el fabricante como C10 (10 horas) o C100 (100 horas). Este



valor se conoce como capacidad nominal (CN). Si necesitamos calcular la capacidad de la batería para fines solares o para carga y descarga, podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{CN [Ah]} = \text{IN [A]} * \text{Duración de la carga/descarga [h]}$$

Como hemos establecido anteriormente, CN designa la capacidad nominal de la batería, mientras que IN se refiere a la corriente que se carga o descarga. Por ejemplo, si tenemos una batería con una capacidad de 300 Ah y un consumo de corriente constante de 10A, se puede deducir que el ritmo de descarga de la batería es de aproximadamente 30 horas.

### **Profundidad de descarga:**

La profundidad de descarga de una batería se refiere a la proporción de la capacidad total de la batería que se utiliza durante un único ciclo de carga o descarga. Hay dos escenarios potenciales que pueden surgir al respecto:

- Descargas profundas: son descargas del 60-80% de la capacidad nominal.
- Descargas superficiales: son descargas de aproximadamente el 20% de la capacidad nominal.

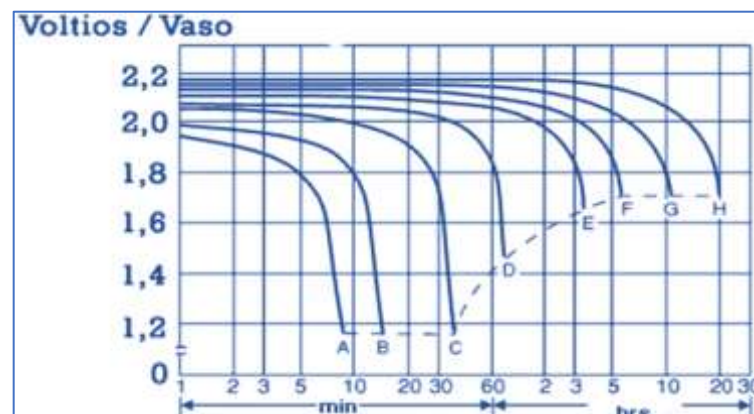
Normalmente, en los sistemas autónomos de energía solar se utilizan baterías fijas que son capaces de descargarse profundamente. Esto es especialmente necesario en situaciones en las que estas instalaciones deben seguir suministrando energía durante varios días. Es importante considerar que el nivel de descarga, comúnmente conocido como Profundidad de Descarga (DOD), tiene un impacto directo en la vida útil de la batería. El siguiente gráfico ilustra que cuanto más profunda sea la descarga, menos ciclos de uso proporcionará la batería:



**FIGURA 32. Profundidad de descarga**

**FUENTE:** <https://www.sfe-solar.com/equipos-fotovoltaicos-baterias>

Es importante tener en cuenta que el voltaje final de descarga de una batería depende de la velocidad de descarga. Cuanto más rápida sea la descarga, menor será el voltaje final de la batería. Por ejemplo, la curva E es indicativa de una descarga de 5 horas (C5) y produce un voltaje de descarga final de aproximadamente 1,6 V. Sin embargo, la curva H, que corresponde a una descarga de 20 horas (C20), da como resultado un voltaje de descarga final de aproximadamente 1,7 V. Esto ilustra que una velocidad de descarga más lenta es óptima para prolongar la vida útil de una batería.

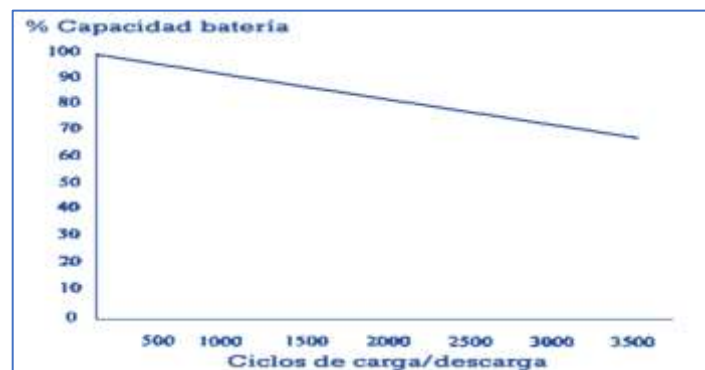


**FIGURA 33. Tiempo de descarga**

**FUENTE:** <https://www.sfe-solar.com/equipos-fotovoltaicos-baterias>

**Vida útil de batería**

La duración de la utilidad de una batería se define por la cantidad de ciclos que puede soportar manteniendo una capacidad residual que excede el 80% de su capacidad designada. En consecuencia, si la batería se somete a una carga de trabajo que incluye numerosos ciclos diarios, su duración de utilidad disminuirá. Por el contrario, si la carga de trabajo de la batería incluye solo unos pocos ciclos diarios, la duración de su utilidad aumentará.



**FIGURA 34. Vida útil de batería**

**FUENTE:** <https://www.sfe-solar.com/equipos-fotovoltaicos-baterias>

### **Auto descarga de batería**

Se refiere a la pérdida de energía (carga) que presenta la batería cuando está no tiene actividad alguna.

### **2.2.3.3. Orientación e Inclinación de los Paneles**

- **Orientación de los Paneles**

La orientación óptima de los módulos fotovoltaicos es siempre mirando al Sur. Si la instalación estuviera en el hemisferio Sur, la orientación óptima sería el Norte con una inclinación adecuada.

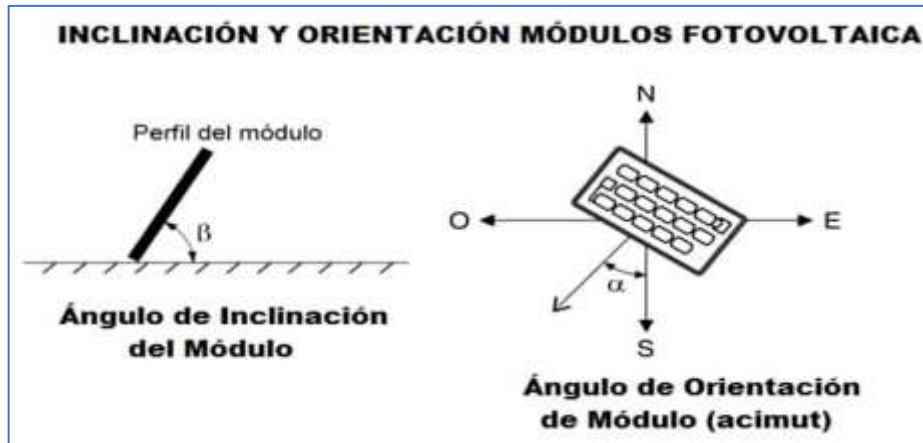


FIGURA 35. Inclinación y orientación de paneles

FUENTE: <https://www.areatecnologia.com/fotovoltaica>.

El ángulo con el que se orientan los paneles solares hacia el sol se conoce comúnmente como acimut o ángulo de azimut, denotado con la letra  $\alpha$ . Las desviaciones de la orientación óptima de hasta 15 grados tienen un impacto insignificante en la cantidad de radiación solar absorbida por los paneles y, por lo tanto, no plantean problemas importantes.

Sin embargo, es imperativo evitar desviaciones que excedan este valor designado. Si encontramos tales desviaciones, debemos realizar cálculos para evaluar las pérdidas causadas por la orientación y la inclinación, y determinar si están dentro de los límites aceptables.

- **Inclinación de los Paneles**

El ángulo de inclinación ideal de los paneles solares depende de la latitud de su ubicación prevista, así como de si se conectarán a la red eléctrica, se utilizarán para autoconsumo o se instalarán de forma aislada. Según el IDAE, el ángulo más fácil de implementar para instalaciones aisladas es:

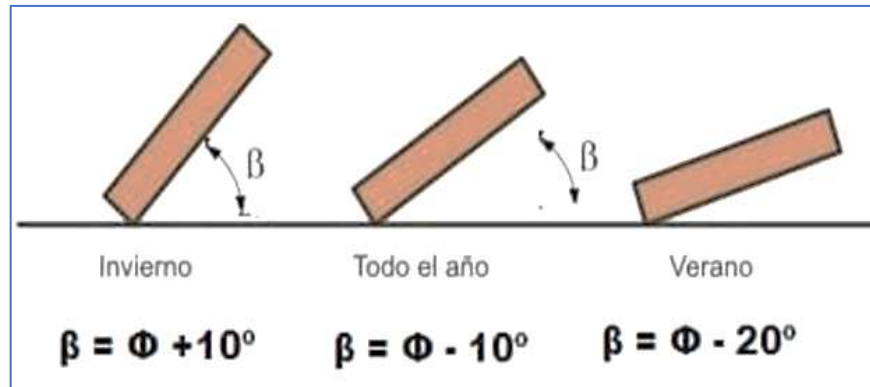


FIGURA 36. Inclinação óptima según IDEA

FUENTE: <https://www.areatecnologia.com/fotovoltaica>.

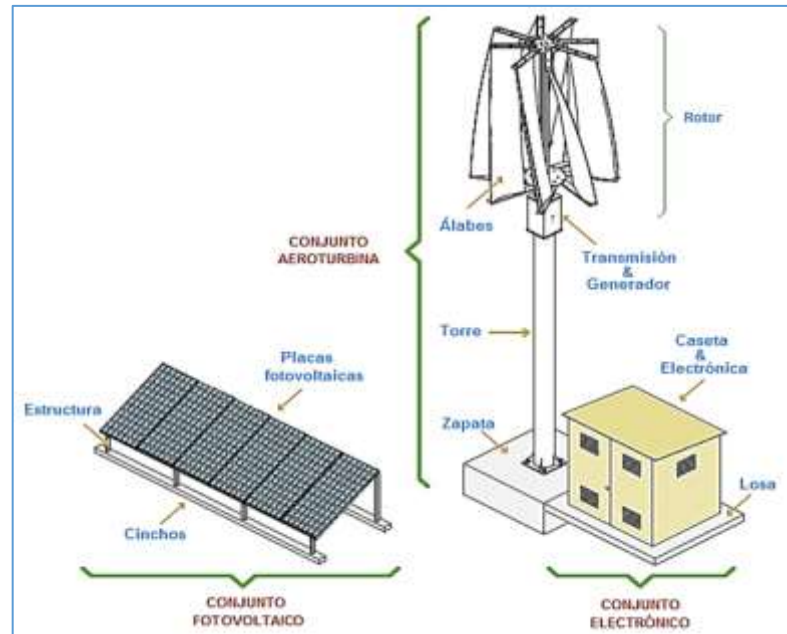
## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. Energía activa

La energía activa es la maquina movimiento y se transforma en trabajo útil (mecánico, térmico), una de estas bondades que nos ofrece es la producción de luz, a la circular corriente eléctrica a través de un filamento (foco) se ilumina dicho componente.

### 2.3.2. Sistema de energía híbrida

Es cuando se anexan dos tipos de fuentes normalmente energías renovables, en este caso tenemos el sistema eólico fusionado con el sistema fotovoltaico, aprovechando estos recursos (viento, radiación solar) que la naturaleza nos brindar para poder generar energía eléctrica.



**FIGURA 37. Sistema híbrido eólico fotovoltaico**

**FUENTE:** <https://shop.strato.com>

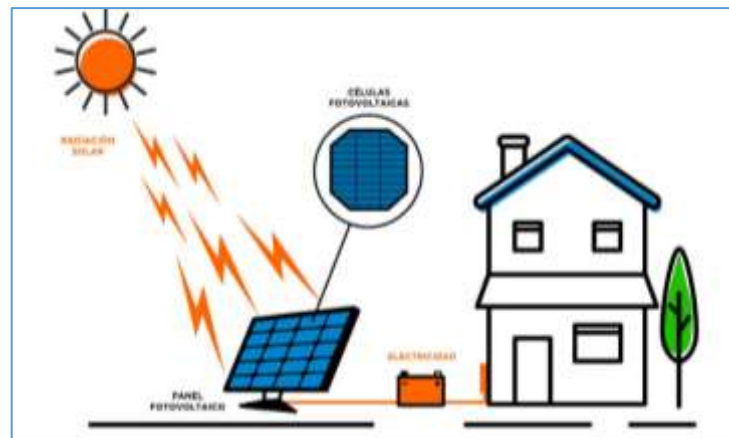
### 2.3.3. Energía eólica

La energía eólica se deriva del poder del viento. El viento transporta cantidades variables de energía cinética, que puede aprovecharse para producir energía eléctrica a través de un mecanismo formado por turbinas y palas. En regiones con vientos fuertes y constantes, esta fuente de energía renovable ofrece un rendimiento relativamente significativo, seguro y respetuoso con el medio ambiente.

### 2.3.4. Energía Solar

La energía solar se genera a partir de la radiación solar que llega a la Tierra en forma de luz, calor o rayos ultravioleta. Es un tipo de energía renovable y limpia, ya que la fuente de esta energía, el Sol, es un recurso infinito. Para convertir esta energía solar en energía eléctrica se utilizan diversos métodos, como colectores térmicos y células fotovoltaicas. Hay dos formas en que se puede utilizar la energía solar: la conversión térmica, que implica transformar la energía solar en

energía térmica, y la conversión fotovoltaica, que implica el uso de paneles solares para recolectar energía luminosa y luego convertirla en electricidad.

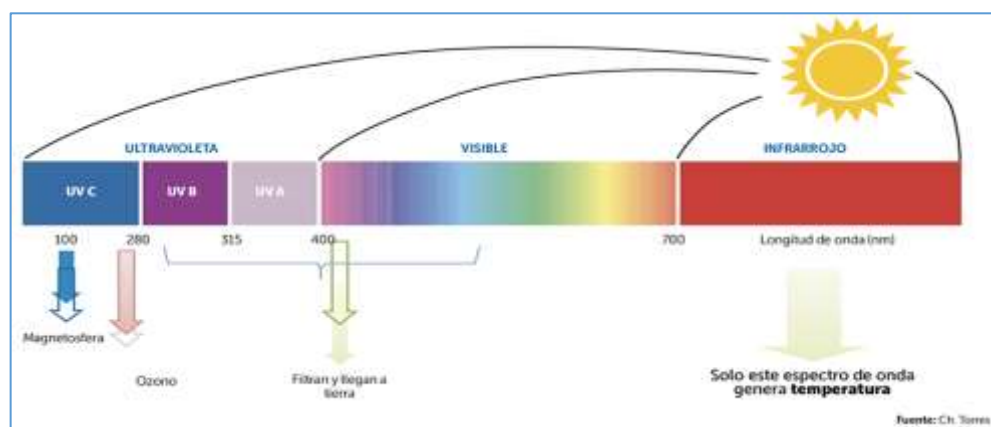


**FIGURA 38. Energía solar**

**FUENTE:** <https://www.alquimodul-peru.com>

### 2.3.5. Radiación solar

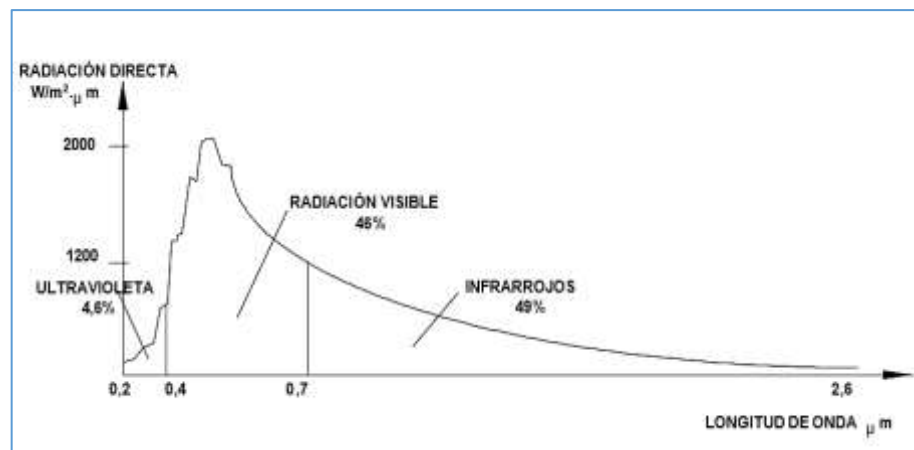
La radiación solar recibida en la atmósfera terrestre tiene una distribución espectral que oscila entre  $0,3 \mu\text{m}$  y  $2,6 \mu\text{m}$  de longitud de onda. El punto de energía más alto de esta distribución, que equivale a la emisión de energía de un cuerpo negro ideal a unos  $6.000 \text{ K}$ , se encuentra en una longitud de onda de  $0,5 \mu\text{m}$ . La luz visible para el ojo humano se encuentra dentro del rango de longitudes de onda de  $0,4$  y  $0,7 \mu\text{m}$ .



**FIGURA 39. Tipos de radiación solar**

**FUENTE:** <https://www.redagricola.com/cl/radiacion-solar/>

El rango de su longitud de onda abarca de 400 a 730 nm. Cualquier radiación con una longitud de onda inferior a 400 nm se conoce como radiación ultravioleta, mientras que la radiación con una longitud de onda superior a 730 nm se denomina radiación infrarroja. Se sabe que la luz visible –longitudes de onda entre 400 y 700 nm– corresponde también a la radiación fotosintéticamente activa (PAR), siendo utilizada por la clorofila. No obstante, este beneficio llega hasta niveles de luminosidad de 100.000 a 120.000 lux, una luz más alta da origen a una saturación que resulta en fotooxidación y producción de radicales libres. En Ecuador, Christian Torres ha medido con fotómetro hasta 440.000 lux al mediodía.



**FIGURA 40. Radiación solar captada en la superficie terrestre después de atravesar la atmósfera**

**FUENTE: Halpa Maimer (2006)**

El porcentaje de radiación espectral directa que es absorbida por la superficie de la Tierra después de atravesar la atmósfera varía según la longitud de onda de la radiación. La radiación solar es la energía que emite el Sol y se propaga en todas direcciones a través del espacio a través de ondas electromagnéticas. Esta energía se produce mediante la fusión del hidrógeno en el núcleo del Sol y es liberada por la superficie solar.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene como tipo y nivel de investigación cuantitativo, predictivo respectivamente, ya que se analizan el comportamiento de los fenómenos del viento y la radiación solar basados en mediciones, especifica las propiedades y características más importantes para el aprovechamiento de estos recursos naturales. Predictivo ya que se necesita tener un pronóstico de datos de radiación solar y la velocidad del viento para lograr realizar cálculos y así poder establecer ciertos componentes según sus características.

#### 3.2. MÉTODOS APLICADOS A LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación de este proyecto es de tipo cuantitativo experimental, por tener datos cuantificables o datos numéricos, en base a datos podremos realizar una simulación, por consecuente analizar la realidad haciendo uso de distintos procedimientos que se basan en medición.

(Arturo y Alvares, 2011) Cuando se trata de investigación científica cuantitativa, sigue un enfoque sistemático y organizado que se adhiere a pasos específicos. El paso inicial en la planificación de una investigación implica delinear el trabajo de acuerdo con una estructura lógica de toma de decisiones y una estrategia que



apunta a obtener las soluciones adecuadas a los problemas de investigación propuestos. Sin embargo, si bien se trata de un proceso metódico y sistemático, no existe una fórmula universal que pueda aplicarse mecánicamente a todo tipo de investigación. Sin embargo, es posible identificar un conjunto de elementos comunes, lógicamente estructurados, que brindan orientación y dirección para realizar la investigación, que pueden separarse en fases y etapas. Es importante señalar que estos pasos no son una guía inflexible.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1. Población**

La población de la presente investigación es de los distritos de toda la región de Puno que tiene los puntos de monitoreo del viento y radiación solar según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI S. N., 2018).



FIGURA 41. Estaciones meteorológicas de la región Puno

FUENTE: Servicio nacional de meteorológica e hidrología (SENAMHI)

### 3.3.2. Muestra

La Muestra en el presente es obtenido de solicitud virtual de datos al SENAMHI, (2018), los parámetros requeridos son distintos en la región de Puno, teniendo como diferencia en el distrito de Pichacani, provincia de Puno, tomando como muestra la velocidad de viento y la radiación solar de mencionada ubicación geográfica.

### 3.4. TÉCNICAS, INSTRUMENTACIÓN PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica, (Bacilio Corro y Inuma Alvan, 2020) Las técnicas empleadas en este proyecto abordan situaciones pragmáticas y ofrecen soluciones aplicables. Los dos métodos utilizados son la observación y el análisis de documentos, ya que se escudriñó y evaluó el desempeño del generador eólico diseñado.

La técnica para la utilización de instrumentos fue imprescindible para la recopilación de datos, ya que esta investigación requiere datos reales tomados en campo y corroborados mediante información bibliográfica e institucional (SENAMHI). Con la instrumentación adecuada se realiza la toma de información y de ahí realizar una evaluación analítica a la investigación desarrollada. La información adquirida sobre el comportamiento de los recursos naturales (viento, radiación y temperatura ambiental) son tomados de la estación instalada por SENAMHI la cual está ubicada en el distrito de Pichacani, provincia de Puno, departamento de Puno.

La estación meteorológica de Laraqueri, Puno, a 3 900 m.s.n.m., es una de las estaciones potenciadas e implementadas el último periodo del año 2016 por el SENAMHI.



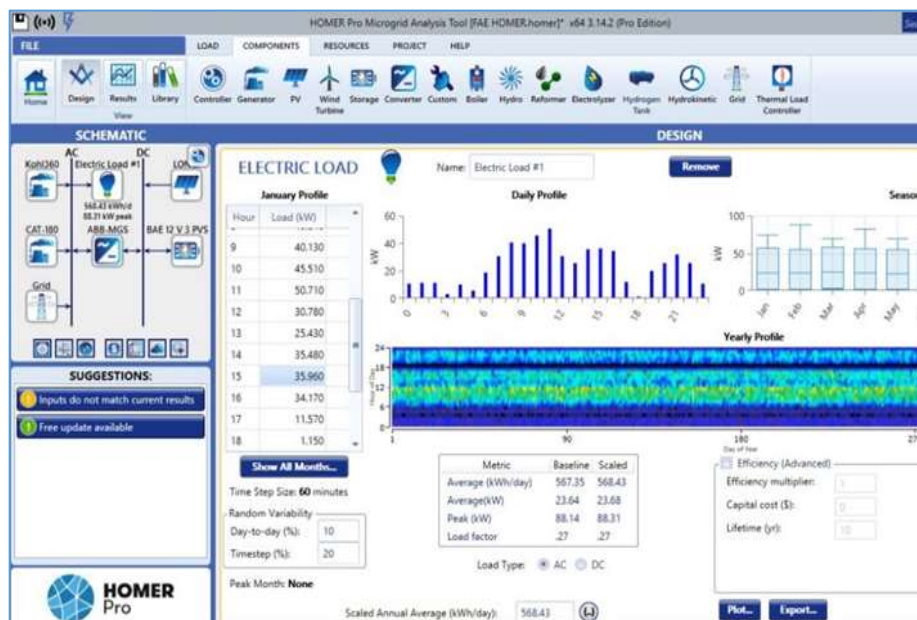
**FIGURA 42. Estación Automática de Laraqueri, Pichacani**

**FUENTE:** *Servicio nacional de meteorológica e hidrología (SENAMHI)*

Esta estación meteorológica es de tipo automática, donde te brinda datos en tiempo real, dando importancia al monitoreo de recursos naturales en esta parte de la región altiplánica.

Con los datos tomados en la estación automática meteorológica ubicada en el distrito de Pichacani realizaremos la simulación de un diseño híbrido eólico fotovoltaico con el software HOMER PRO.

Un activo invaluable para el diseño de proyectos de energía renovable es la utilización de un software completo y adecuado. HOMER, que significa Optimización Híbrida de Múltiples Recursos Energéticos, es un software capaz de diseñar sistemas híbridos para proyectos de energía renovable. Para facilitar el desarrollo y la gestión óptima de estos sistemas, el Programa de Energías Renovables (PEERR) ha organizado un curso práctico y teórico sobre el uso de HOMER. Con este software tendremos ventajas en el cálculo de los indicadores económicos.



**FIGURA 43. Software HOMER PRO**

**FUENTE: HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources)**

### 3.5. Diseño de contrastación de Hipótesis

**Hipótesis 1:** Esta hipótesis nos permite proponer alternativas de solución para zonas rurales carentes de energía eléctrica del distrito de Pichacani, provincia de Puno, departamento de Puno.

**Hipótesis 2:** Se obtuvieron resultados del cálculo y simulación del sistema híbrido eólico fotovoltaico para posterior evaluar, con el cual se comprueba la correspondencia del sistema desarrollado.

**Hipótesis 3:** Se corrobora al realizar cálculos de la correspondencia de la radiación solar, velocidad de viento y la eficiencia del sistema.

**Hipótesis 4:** Esta hipótesis se comprueba realizando análisis del costo y los beneficios que pueda brindar esta investigación, como la tasa interna de rentabilidad en el marco económico.

**TABLA 2. Datos promedio del año 2021**

AÑO 2021	TEMPERATURA (°C)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	RADIACIÓN SOLAR Kwh/m2/día
Enero	7.51	175.14	3.69	5.94
febrero	8.61	183.71	3.62	6.07
Marzo	7.85	177.86	3.00	5.06
Abril	7.28	181.61	3.11	6.16
Mayo	6.00	176.57	3.18	5.61
Junio	5.20	188.06	3.82	5.65
Julio	4.97	180.57	3.55	5.81
Agosto	5.82	178.62	3.99	6.58
Setiembre	7.85	168.47	3.74	6.72
Octubre	9.59	177.94	4.35	7.84
Noviembre	9.86	174.95	4.42	7.00
Diciembre	8.57	180.01	3.76	5.83
PROMEDIO ANUAL			3.69	6.19

**FUENTE:** *Elaboración propia*

Después de recopilar los datos necesarios, se compilan y organizan en una tabla que se ordena por mes y se divide en intervalos de una hora. A partir de aquí se calcula la velocidad media del viento para todo el año. Este proceso se realiza



para identificar los meses con mayor y menor recurso eólico, con el fin de garantizar que no haya escasez de energía.

### **3.5.1. Niveles de radiación solar**

Para poder evaluar los niveles de radiación en la zona estudio, haremos uso de datos reales proporcionados por la institución nacional de meteorología (SENAMHI), estos datos de radiación solar son tomados con las unidades de vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>).

Para desarrollar el diseño y simulación de un sistema fotovoltaico se requiere tener datos registrados de los niveles de radiación en zona ubicada del distrito de Pichacani, provincia de Puno. Una vez obtenidos estos datos de niveles de radiación deberán ser procesados en el programa Microsoft Excel, con la finalidad de lograr datos de niveles de radiación promedio anual, niveles de radiación promedio mensual.

### **3.6. Validez y confiabilidad del instrumento**

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología es responsable de expedir certificaciones para la calibración y control de instrumentos meteorológicos e hidrológicos, así como de otorgar conformidad a la información relacionada con la meteorología y la hidrología. Esta información es utilizada en todo el país para ayudar en el desarrollo de diversos proyectos, la ejecución de obras y otras actividades relacionadas con la investigación, el comercio, la industria y otros fines productivos o no productivos que requieren autorización explícita.

Para (Hernández-Sampieri,2013) Los investigadores utilizan instrumentos para documentar datos sobre variables de interés. Estos instrumentos deben poseer validez, es decir, que midan con precisión la variable prevista, y confiabilidad, es decir, que produzcan resultados consistentes y lógicos de manera consistente.

Los instrumentos utilizados para este estudio en particular se mencionaron anteriormente.

**ANEMÓMETRO:** El anemómetro, también conocido como anemómetro, es un dispositivo utilizado en meteorología para medir la velocidad del viento y ayudar a pronosticar patrones climáticos. Además, es una de las herramientas fundamentales empleadas en la operación de aeronaves más pesadas que el aire. Durante una visita a una estación meteorológica se observó que el anemómetro de hélice era el modelo en uso. Este anemómetro en particular se compone de tres palas con copas adheridas, que están sujetas a la fuerza del viento. El número de rotaciones se puede leer directamente en un contador o registrarse en una tira de papel.

**EL ANEMÓMETRO TIPO 1467.** El producto está diseñado para montarse en exteriores y está equipado para soportar condiciones climáticas adversas. La carcasa y el impulsor de aleación ligera son duraderos y resistentes. Si la temperatura desciende a niveles extremadamente bajos, el bloque del anemómetro se puede calentar utilizando un sistema especializado para evitar la formación de hielo. (ORTRAT, 2005).

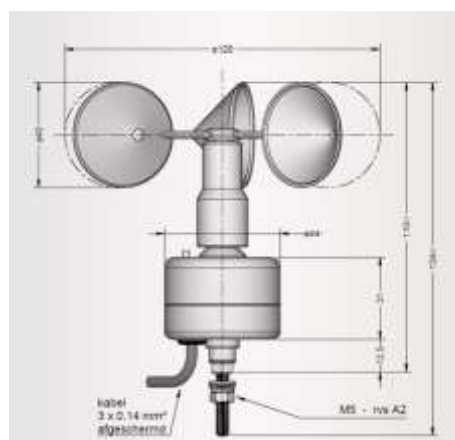


FIGURA 44. Anemómetro tipo 1467

FUENTE: [http://ortrat.es/ambiente\\_Anemometros](http://ortrat.es/ambiente_Anemometros)

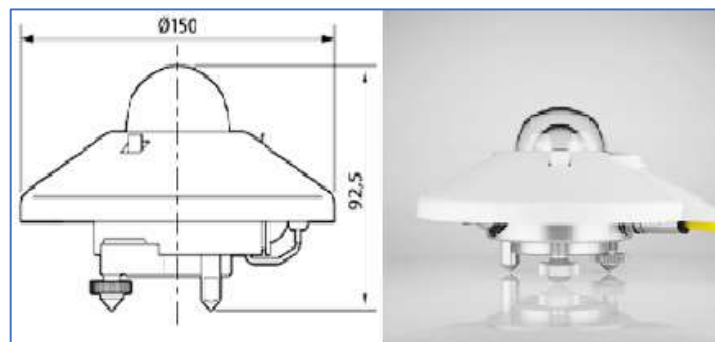
## Especificaciones técnicas

**TABLA 3. Características técnicas de anemómetro 1467**

TIPO 1467	Dinamo tipo 2001.00
Rango de indicación	0 ... 35 m/s
Velocidad máxima	0 ... 60 m/s
Velocidad de arranque	0,6 m/s
A 30 m/s se obtiene con una resistencia de carga	3541 ohmios
Una señal de salida eléctrica de	4 mA
Temperatura de trabajo	- 35 °C ... + 80 °C
Conexión eléctrica	Mediante enchufe especial
Peso aprox.	1,6 kg

**FUENTE:** Ortrat, 2005, *Anemómetros y estaciones meteorológicas*

**PIRANÓMETRO CMP3 KIPP & ZONEN.** El piranómetro CMP3 es un dispositivo utilizado para la medición de la radiación solar. La construcción de su sensor está diseñada utilizando termopilas, que pueden detectar energía solar en todo el espectro y hemisferio solar (aproximadamente 180 grados de campo). La unidad de medida del piranómetro CMP3 es  $W/m^2$ . Este instrumento está diseñado para funcionar indefinidamente, tanto en interiores como en exteriores, sin interrupción.



**FIGURA 45. Piranómetro CMP3 Kipp & Zonen**

**FUENTE:** *Atlas de energía solar SENAMHI*

Los cables del piranómetro de Kipp & Zonen son del tipo de bajo ruido, sin embargo, al doblarlos se crea un pequeño pico de voltaje debido al efecto



triboeléctrico y de capacitancia. Para evitar que se produzcan respuestas espurias durante las inclemencias del tiempo, el cable debe estar firmemente asegurado. El circuito de compensación de temperatura y la termopila están cargados por la impedancia del equipo de lectura, lo que puede aumentar la dependencia de la temperatura del piranómetro. Cuando la resistencia de carga es inferior a 100 kΩ, la sensibilidad se ve afectada en más del 0,1%. Para evitar esto, se recomienda utilizar equipos de lectura con una impedancia de entrada de 1 MΩ o más.

**Especificaciones técnicas**

ESPECIFICACIONES	MEDIDAS CMP3
Clasificación ISO 9060:1990	Segunda clase
Tiempo de respuesta (95 %)	< 18 s
Offset cero – radiación térmica (200 W/m <sup>2</sup> )	< 15 W/m <sup>2</sup>
Offset cero – Cambio de temperatura (5 K/hr)	< 5 W/m <sup>2</sup>
No estabilidad (cambio/año)	< 1 %
No linealidad (0 a 1000 W/m <sup>2</sup> )	< 1 %
Error direccional (hasta 80° con haz 1000 W/m <sup>2</sup> )	< 20 W/m <sup>2</sup>
Dependencia de la sensibilidad de temp.	< 5 % (-10 °C to +40 °C)
Error de inclinación (en 1000 W/m <sup>2</sup> )	< 1 %
Sensibilidad	5 a 20 μV/W/m <sup>2</sup>
Nivel de exactitud	1°
Temperatura de funcionamiento	-40 °C a +80 °C
Rango espectral (50 % puntos)	300 a 2800 nm
Salida de señal típica, aplicaciones atmosféricas	0 a 20 mV
Irradiación máxima	2000 W/m <sup>2</sup>

**TABLA 4. Especificaciones técnicas de pirómetro CMP3**

**FUENTE:** Kipp & Zonen CMP3



### **3.7. plan de recolección y procesamiento de datos**

Uno de los principales requisitos para desarrollar esta investigación es la recolección de datos de los recursos naturales. Esta información los tomaremos de la estación automática meteorológica que se halla ubicada en el distrito de Pichacani, provincia Puno, datos satelitales de la NASA, información de bibliografías relacionas al aprovechamiento de estos recursos, tales como de la velocidad del viento, radiación de solar y temperatura del medio ambiente.

#### **3.7.1. Datos registrados de recursos eólicos**

Como se señaló anteriormente, el viento generalmente se describe tanto por su ángulo como por su módulo. El módulo del viento, como cualquier otra velocidad, se calcula dividiendo una dimensión espacial por una temporal. En el Sistema Internacional, esto se expresa en metros por segundo (m/s), que es la unidad de medida más utilizada para estudiar el recurso eólico. Para mayor familiaridad, también se utilizan kilómetros por hora (km/h). Como componente del estudio se ha realizado una aproximación respecto de la energía eólica total y funcional disponible en el Perú. Esta aproximación se puede hacer de varias maneras y se basa en supuestos razonables pero arbitrarios que se describen a continuación.

Estación : LARAQUERI						
Departamento :	PUNO	Provincia :	PUNO	Distrito :	PICHACANI	Ir : 2021-12
Latitud :	16°8'9.3" S	Longitud :	70°2'46.2" W	Altitud :	3928 msnm.	
Tipo :	Automatica - Meteorológica	Código :	472CB426			
Exportar a Excel		Exportar a CSV				
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
2021/12/01	00:00	6.9	0.0	56	22	0.2
2021/12/01	01:00	6.7	0.0	56	269	4.4
2021/12/01	02:00	6.8	0.0	51	231	5.4
2021/12/01	03:00	6.5	0.0	50	245	4.9
2021/12/01	04:00	5.3	0.0	53	230	3.9
2021/12/01	05:00	4.7	0.0	56	233	4.7
2021/12/01	06:00	4.4	0.0	59	223	4.4
2021/12/01	07:00	7.1	0.0	52	198	3.7
2021/12/01	08:00	10.2	0.0	47	89	0.8
2021/12/01	09:00	13.0	0.0	41	113	2.1
2021/12/01	10:00	14.7	0.0	37	47	1.8
2021/12/01	11:00	16.1	0.0	31	168	1.6
2021/12/01	12:00	17.2	0.0	28	125	3.2
2021/12/01	13:00	17.9	0.0	29	141	1.6

**FIGURA 46. Datos de recursos naturales SENAMHI**

**FUENTE:** Servicio nacional de meteorológica e hidrología (SENAMHI)

Mediante esta entidad (Servicio nacional de meteorológica e hidrología) pudimos tomar datos meteorológicos. Temperatura de medio ambiente, precipitación pluvial, humedad, dirección del viento y velocidad de viento, estos datos de recursos naturales se registraron cada una hora diariamente durante un año calendario (2021), estos datos se procesaron en un software (Microsoft Excel). Se hizo muestras mensuales de enero a diciembre del 2021, para este registro se tomó los datos de la velocidad del viento el promedio.

**TABLA 5. Datos de velocidad del viento registrados – julio 2021**

VELOCIDAD DEL VIENTO DEL MES DE JULIO-2021																											
D/H	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	P-D		
1	2.6	1.9	1.5	3	0.4	2.2	0.3	0	0	0.2	0.4	2.1	1.4	2	3.5	5.1	5.1	4.6	1.1	3.2	3.5	3.3	3.2	3.8	2.3		
2	3.4	3.3	1.7	2.9	2	0.5	1.8	0.1	0.1	0.2	0.9	1.7	2.5	3	6.7	5.5	5.8	3.2	1.2	2.6	3.9	2.5	1.9	3.1	2.5		
3	5.4	3.7	3.3	0.4	1.9	0.3	0.1	0.1	0	0.7	0.5	1.3	1.7	2.6	4	4.1	2.8	4.4	0.2	1.9	2.6	3	3.9	3.1	2.2		
4	2	2.2	2.3	1.1	0.9	0.6	0	0.1	0	0.3	1.2	1.9	1.6	1.1	3.7	4	5.4	3.3	2.3	1.4	1.9	2.8	4.2	4	2.0		
5	4.1	2.3	1.1	3.6	0	0.8	0	1.1	0	0.5	1.5	2.3	3.3	2.6	3.4	4.3	3.3	1.1	2.2	2.6	4	1.9	2.6	4.6	2.2		
6	6.2	6.6	0.2	0.4	0	0.2	0	0	2	0	0.2	1.5	4	4.4	4.7	2.4	4.2	3.7	2	3.1	1.7	2.7	6.5	7	2.7		
7	6.1	4	0.3	0	1.2	0	0.1	0	0	1	1.5	2.7	3.5	4.8	4.9	5.9	6.4	2.9	4.3	1.6	0.7	2.5	4.9	1.6	2.5		
8	2.8	3	0	0	0.5	0.8	0	2.6	1.1	0.4	1.4	1.8	2.7	4.3	5.7	4.4	5.9	4.8	5	8.7	8.9	8.8	8.4	5.5	3.6		
9	6	6.6	5.7	1.8	1.9	1.9	0	0	2.6	0.1	0.5	1.1	2.7	2.7	3.1	3.7	2.9	3	4.5	9	9.2	8.8	8.3	5.1	3.8		
10	4.8	3.2	5.3	2.9	2.8	0.6	1.4	0.9	1	0.2	2.9	3.1	3.3	3.3	4.4	3.2	3	2.7	3.1	0.8	1.6	3.2	2.9	2.6	2.6		
11	4.9	2.6	3.4	2.1	2.1	1.6	0	1.3	0.5	0.3	3.6	3.9	5.6	4.7	5.9	4.6	6	3.2	2	4.6	3.1	2.1	1.1	0.6	2.9		
12	1.1	0	1.7	0.1	0.9	0.3	0	1.4	0.4	0.5	0.7	2.3	1.8	1.8	6.8	5.1	5.2	3.8	2.4	3.3	2.8	0.5	1.7	7.2	2.2		
13	6.6	3.7	5	1.4	0.2	0	0.4	0.9	0	1.2	0.7	3.6	3.7	5.2	2.3	2.9	4.8	3.5	2.4	4.5	7.6	2.7	1	1.7	2.8		
14	3.5	3.2	1.1	0.6	1.8	1.4	0.3	0	0.1	1.6	3.4	3.3	5.7	2.6	5	6.7	3.9	7.2	5.1	4.2	8.3	11	5.8	4.2	3.7		
15	1.5	0.5	2.8	2.6	0.8	5.2	1.4	1.4	2.2	2.2	2.3	2.9	7.2	8.5	7.3	3.7	3.4	4.5	5.4	2.5	8.4	7.5	7.7	6.4	4.1		
16	6.5	2.1	4	6.3	2.1	2.8	1.9	0.5	1.5	1.2	1.8	2.7	3.3	6.4	6.7	10	11	12	7	4	7	7.3	11	2	5.0		
17	2.5	5.1	5.8	4.3	3.6	0.7	1.1	0	3.8	3.8	2.9	4.7	3.6	4.8	5.6	6.3	5.6	4.4	4.2	5.4	4	7.5	6.1	4.3	4.2		
18	2.5	3.6	2.4	3.4	5	3	1.5	2	1.6	1.7	1.6	4	2.4	3.6	2	1.9	3.2	5.3	1.5	1	3.2	1.4	2.6	4.1	2.7		
19	4.2	4.1	4.1	2.8	0.8	2	1.9	0.2	0.2	0.3	1.8	2.6	2.6	3.3	4.3	3.1	1.9	5.4	3.4	0.6	2.5	3.6	2.6	2.8	2.5		
20	3.6	0.7	2.4	5.4	2.3	0.5	2.2	1.4	0	0.2	1.6	3.2	2.7	4.3	4.5	4	7.9	3.7	1.4	0	6	5.6	6.3	5.4	3.1		
21	2.5	2.3	2.2	4.7	4.9	0.9	3.5	0	1.2	0.4	2.5	3.6	1.7	3.3	4.6	4.2	4.3	4.1	3.3	0.7	1.7	2.4	2.3	4.1	2.7		
22	1.7	3.1	2.5	2.5	2.4	2.4	1.9	0.1	0.2	0.1	3.7	2.7	4.9	5.4	5.7	8.1	6.7	6.2	2	2.9	5	6.1	2.8	5.6	3.5		
23	4.6	3.1	0.5	0.5	0	0	0.1	0	1.8	0.1	2.3	3.1	4.4	3.5	4.5	5.5	5	4.1	4	6.2	2.9	2.5	5.4	3.5	2.8		
24	6.2	4.7	6.5	6.5	3.2	1.9	0	0.4	0.5	0.6	1.4	3.2	2	4.2	2.1	5	7.4	9.5	7	8.6	2	1.9	2.9	1.7	3.7		
25	3.9	5.5	4.9	2.8	0.6	0	0.1	1.6	0.1	0.5	2.3	2.3	3.3	4.1	5.4	8.6	7.8	2.9	7.1	8.9	10	10	8.4	6.3	4.5		
26	5	2.4	3.6	4.7	0.7	5.5	0.6	0	0.1	0.9	2.3	3.2	6.5	7	7.9	9.1	6	5.1	7.1	8.3	10	7.9	9.3	5	4.9		
27	3.7	5.8	6.2	5.8	3.6	2.3	0.7	3.7	2.7	3.4	2.2	2.5	10	8.5	6.7	2.6	6.2	9.4	13	15	14	12	9.6	9.1	6.6		
28	7.3	6.2	6.4	3.7	2.9	5.7	6	2	4.4	2.2	2.5	2	7.7	4.7	3.6	5.1	3.1	4.7	2.2	10	11	10	9.1	3	5.3		
29	2.2	2.8	1.4	2.3	1.3	1	1.2	0.3	0	2.2	1	6.9	5.6	7.3	7.1	5.6	9.3	9.3	10	11	11	11	8.4	6.4	5.2		
30	7.4	8.5	8.1	5.8	0	4.2	1.4	0.1	0.2	0.6	4.1	4	4.2	3.6	6.2	6.9	9.1	6.6	7.5	5	5.3	2.4	6.4	8.7	4.8		
31	6.7	5.7	9.5	6.8	4.9	5.2	1.4	6.3	5.5	2	1.7	8	7.1	6.9	2.9	9.3	8	10	13	10	2.5	5.6	5.3	6	6.3		
P-H	4.2	3.6	3.4	2.9	1.8	1.8	1.0	0.9	1.1	1.0	1.9	3.0	4.0	4.3	4.9	5.2	5.5	5.1	4.4	4.9	5.4	5.2	5.2	4.5	3.6		

**FUENTE: Elaboración propia**

El registro de la velocidad de viento realizado se realizó durante la temporada del año 2021, por lo cual en la tabla de velocidades podemos apreciar datos registrados a cada hora del día durante los 12 meses del año 2021. De tal manera tomamos como muestra el mes de julio.



3.7.2. Datos registrados de recursos solares

TABLA 6. Irradiación promedio mensual (2021)

DIA/MES	PROMEDIO DE IRRADIACIÓN MENSUAL (Kwh/m2/día)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	6.2	5.0	4.1	7.3	6.8	5.9	6.0	5.7	7.1	7.6	8.2	7.6
2	5.6	5.0	4.9	5.8	6.7	6.1	6.1	5.2	7.3	8.5	8.7	5.5
3	4.8	4.6	4.7	4.3	6.6	5.7	6.1	4.3	7.0	8.4	6.9	6.8
4	7.3	5.4	4.9	3.4	6.1	5.0	6.1	4.0	7.4	7.3	8.3	5.2
5	8.1	4.6	5.1	5.1	5.7	5.8	6.0	6.2	6.2	5.3	8.8	4.2
6	6.1	6.4	6.1	6.3	5.1	5.9	6.0	6.5	5.3	4.6	9.0	5.0
7	3.6	5.5	5.2	6.1	5.1	6.0	5.9	6.6	6.3	6.1	6.6	4.4
8	4.1	4.8	6.0	6.4	4.5	5.1	5.9	6.7	7.7	6.6	8.1	5.0
9	7.3	5.9	5.8	5.0	5.8	5.8	6.0	6.5	7.0	6.7	8.2	3.9
10	5.3	7.7	5.9	5.4	5.1	5.7	6.0	6.5	7.6	7.4	7.9	5.4
11	5.7	8.1	5.9	5.7	5.5	5.7	5.4	6.3	6.7	7.6	6.4	6.6
12	5.8	8.0	5.7	5.0	5.5	5.8	5.3	6.7	7.5	7.2	6.4	7.3
13	5.6	4.9	4.8	4.7	6.1	6.0	5.5	6.8	7.6	8.0	7.3	7.2
14	5.4	6.6	5.2	4.9	5.5	5.9	5.4	6.7	7.7	8.5	8.2	7.2
15	4.6	6.4	4.0	7.3	6.1	5.3	6.0	7.0	6.8	8.8	7.9	7.3
16	3.3	7.7	5.2	7.2	6.4	5.5	6.1	7.0	5.5	8.6	7.8	5.1
17	6.2	7.0	5.9	7.4	6.0	5.5	6.3	7.0	6.4	8.5	6.3	6.4
18	5.3	5.6	3.8	7.4	5.7	5.7	5.8	6.9	7.1	8.7	8.3	5.6
19	7.5	7.1	4.9	7.3	6.1	5.3	4.9	6.8	6.6	8.6	7.4	5.9
20	4.8	4.9	5.8	6.9	6.4	5.3	5.6	7.1	5.2	8.5	5.7	5.1
21	5.3	5.5	6.4	6.9	6.3	5.6	6.2	6.7	4.4	8.8	6.6	5.5
22	3.4	6.3	3.5	6.4	6.2	5.3	5.3	6.7	4.2	8.7	6.1	3.7
23	5.0	5.6	5.1	6.1	5.1	5.1	5.6	7.1	5.7	8.9	5.5	7.0
24	4.3	7.9	4.9	7.0	3.9	5.9	5.4	7.0	5.9	9.2	4.6	4.7
25	5.4	6.9	5.2	7.1	4.6	5.9	4.9	7.2	7.0	9.0	5.4	5.6
26	8.4	4.5	5.2	7.0	4.5	5.9	6.0	7.1	7.8	8.2	4.3	4.8
27	9.3	7.1	4.8	6.7	4.2	5.6	6.4	6.9	8.3	8.8	4.3	7.4
28	8.9	5.2	5.2	5.2	6.0	5.4	6.2	7.3	8.2	6.9	5.9	5.1
29	8.9		4.9	6.7	5.9	5.9	6.0	7.3	7.5	6.7	7.9	5.4
30	7.8		4.4	6.7	5.7	5.8	5.7	7.3	6.5	8.1	7.2	7.7
31	5.0		3.5		4.9		6.2	7.2		8.2		7.4
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.9</b>	<b>6.1</b>	<b>5.1</b>	<b>6.2</b>	<b>5.6</b>	<b>5.6</b>	<b>5.8</b>	<b>6.6</b>	<b>6.7</b>	<b>7.8</b>	<b>7.0</b>	<b>5.8</b>

FUENTE: Elaboración propia

De todos los datos tomados de irradiación solar durante todo un año, se pueden registrar cada uno de estos datos, donde indica los niveles de irradiación solar promedio mensual.

### 3.7.3. Especificaciones técnicas de equipos eólico fotovoltaico

Parte de la recolección de datos es para un sistema híbrido eólico fotovoltaico es investigar sobre los componentes para un sistema híbrido, componentes que reúnan las características según datos adquiridos de los recursos naturales tales como velocidad de viento, radiación solar, temperatura del ambiente. Para posteriormente tener equipos con característica técnicas pre evaluados para el dimensionamiento del sistema híbrido.

**TABLA 7. Especificaciones técnicas de componentes**

ESPECIFICACIONES		TURBINA EÓLICA NL 1500L	
Potencia nominal	1500 W		
Potencia máxima	1600 W		
Tensión nominal	48 V		
Vel. del viento de arranque	2,5 m/s		
Velocidad nominal del viento	10 m/s		
Velocidad del viento de max.	45 m/s		
Peso neto superior	46 kg		
Diámetro de la rueda	2,8 m		
Número de palas	3		
Material pala	Fibra de vidrio reforzada		
Tipo de generador	Imán permanente		
Material magnético	NdFeB		
Sistema de control	Electroimán		
Temperatura de trabajo	-40°C - 80°C		
Diseño vida	>25 Años		
Peso bruto	48 kg		
Certificados	CE, ISO14001, ISO 9001		
ESPECIFICACIONES			PANEL SOLARUEPMB5-500
Máxima eficiencia (%)	21.3		
Rango de potencia (W)	480-500		
Potencia máxima (Pmax/W)	500		
Voltaje de salida (Voc/V)	46.8		
Corriente de corto circuito (Isc/A)	13.4		
Voltaje a max. potencia (Vmp/V)	39		
Corriente max. potencia (Imp/A)	12.82		
Número de celdas	166 x 166 mm		
Conector	MC4 Compatible		
Tipo	Mono-cristalino		
Dimensiones	2056*1134*35mm		
Carga de viento/nieve: :	2400Pa/5400Pa		
Peso	25 Kg		
Vida útil	>25 Años		
Certificación	IEC/CE/TUV/CSA/CEC/UL		
ESPECIFICACIONES		CONTROLADOR PWM - PC1500B-60D / 6048D	

Potencia	1500 W
Voltaje	≤100
Intensidad nominal	60 A
Voltaje del sistema	48 V
Intensidad descarga nominal	60 A
Autoconsumo	≤ 25 mA
Caída de tensión circuito carga	≤ 0.25 mA
Caída tensión circuito descarga	≤ 0.10 mA
Sección de cableado	≤ 16 mm <sup>2</sup>



**FUENTE: Elaboración propia**

**TABLA 8. Especificaciones técnicas de componentes**

ESPECIFICACIONES	CONTROLADOR MPPT 80A - PC18-8015A
Voltaje de batería	48 V
Corriente máxima de batería	80 A
Rango de voltaje MPPT de PV	60 - 130 V
Potencia máxima de entrada	5000 W
Dimensiones (mm)	315*160*135
Peso del producto	(kg) 4,7 kg
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a 75 °C
Humedad	0%~90% HR
Eficiencia	0.93
Vida útil	>25 Años

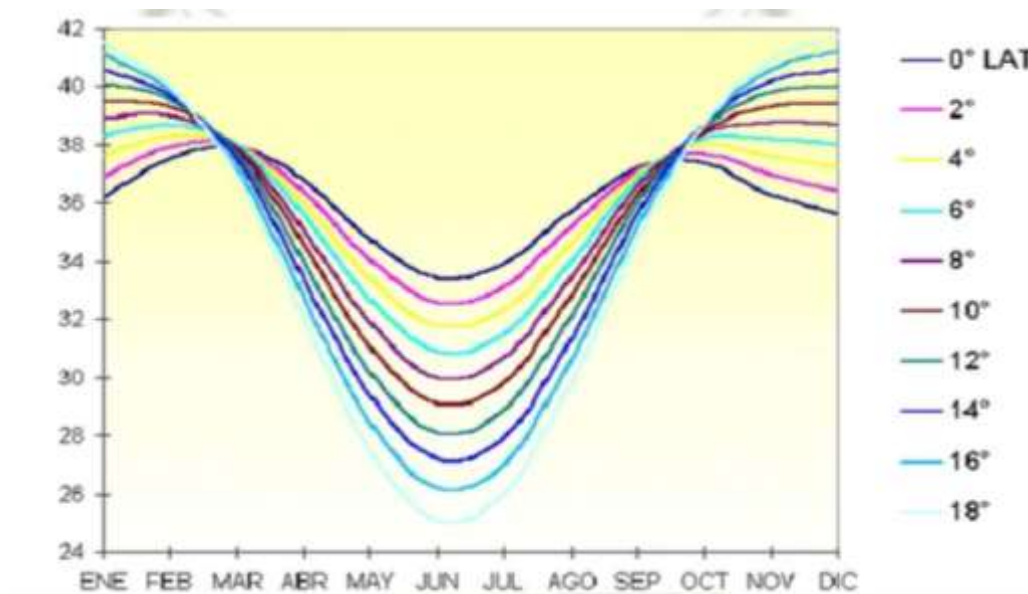
ESPECIFICACIONES	INVERSOR MPPT - PV18-5548 VHM
Voltaje/potencia nominal	48 VDC/5000W
Potencia sobretensión	10000 W
Regulación de voltaje CA	(220VAC~240VAC)±5%
Eficiencia	0.93
Voltaje de entrada	230 VCA
Frecuencia	50Hz/60Hz
Protección sobrecarga	60 VDC
Corriente max. Carga AC	80 A
Corriente de carga máxima	140 A
Peso neto	12 Kg
Temperatura de almacenamiento	-15°C ~60°C
Vida útil	>25 Años

ESPECIFICACIONES	BATERÍA 600 AH-6V-UZS600-6
Voltaje nominal	6 V
Capacidad nominal (120H)	600 AH
tipo de terminal	F22
Corriente máxima de descarga	1300A (5s)
Resistencia Interna Aprox.	2.5 m Ω
Capacidad de descarga	0.85
Dimensiones	295*178*405 mm
Peso	34.5 Kg
Vida útil	>20 Años

**FUENTE: Elaboración propia**

En la temporada de invierno se produce una disminución generalizada de la energía solar recibida en todo el territorio. Esto se atribuye al aumento de la radiación solar en el hemisferio norte durante el solsticio de invierno. El impacto de este efecto estacional se puede observar fácilmente en el comportamiento de la irradiación solar a nivel mundial, con una unidad de medida promedio de megajulios (MJ/m<sup>2</sup>) por metro cuadrado.



**FIGURA 47. Irradiación solar por periodo de un año**

**FUENTE:** Servicio nacional de meteorológica e hidrología (SENAMHI)

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y CÁLCULOS

#### 4.1. Cálculo de la demanda de consumo

Es crucial considerar que, a la hora de determinar el tamaño adecuado de los módulos fotovoltaicos para un sistema autónomo, junto con el banco de baterías y otros componentes, es fundamental tener conocimiento de las cargas específicas que se conectarán al sistema, como computadoras o proyectores de vídeo. Esto incluye comprender la potencia nominal ( $P$ ) en vatios requerida por cada carga, la cantidad de cargas del mismo tipo ( $n$ ) y la cantidad de horas de funcionamiento diarias ( $t$ ). Además, el consumo diario ( $Cd$ ) de cada familia en vatios-hora por día se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

$$Cd = P * n * t$$

**Donde:**

$n$ : Número de cargas del mismo tipo.

$P$ : Potencia unitaria de cada carga conectada.

$t$ : Tiempo diario de uso de una carga específica.

El consumo diario total entonces será:

$$Cd = \sum_{i=1}^N P_1 * n_1 * t_1$$

Donde:  $i$  es cada una de las cargas a alimentar y  $N$  son todas las cargas conectadas.

El cálculo de las cargas de CC y de CA suele realizarse por separado en los sistemas fotovoltaicos aislados de la red. Sin embargo, para los propósitos de este proyecto, solo se utilizarán cargas de CA. Como resultado, el medio inversor convertirá toda la energía producida por el sistema en corriente alterna.

**TABLA 9. Estimación de consumo de energía diaria por familia**

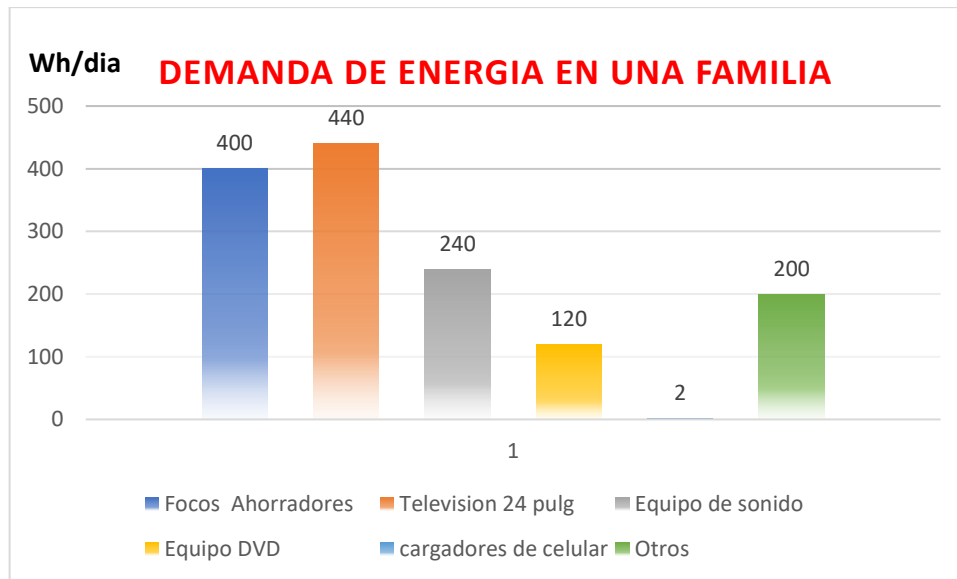
CÁLCULO DE LA DEMANDA DE CONSUMO						
Item	Equipos	Cantidad	Potencia (w)	Factor de demanda	Horas de trabajo (H/día)	Consumo diario (Wh/día)
1	Focos ahorradores	4	20	1	4	320
2	Televisión 24 pulg.	1	80	1	5	400
3	Equipo de sonido	1	60	1	4	240
4	Equipo DVD	1	30	1	4	120
5	Cargadores de celular	2	0.5	1	2	2
6	Otros	1	100	1	2	200
<b>Demanda de energía diaria</b>						<b>1282</b>
<b>Consumo total en 10 familias</b>						<b>12820</b>
<b>Potencia Instalada 10 familias</b>						<b>2905</b>

**FUENTE: Elaboración propia**

La estimación de la demanda de energía eléctrica se realizó tomando como muestra patrón una familia, al realizar los cálculos en la tabla N° 5. En donde se hizo una encuesta a los pobladores rurales del lugar, la cual se tomó datos de los equipos que normalmente se usa con frecuencia en zonas rurales. Los equipos de consumo diario tienen una potencia de consumo según manual de fabricante.

El consumo total de energía eléctrica por familia tiene un total de 1282 Vatios hora por día, la investigación tiene como población muestral de 10 familias consumidoras de energía eléctrica en la zona de estudio. Entonces la demanda

de consumo de energía eléctrica diario por familia es 1282 Wh/día, en 10 familias obtendremos un consumo de energía eléctrica diario de 12820 Wh/día.



**FIGURA 48. Consumo de energía eléctrica de equipos**

*FUENTE: Elaboración propia*

## 4.2. Determinación de parámetros de recursos naturales

### 4.2.1. Datos de recursos eólicos

Estos datos de recursos eólicos fueron extraídos de instituto nacional de meteorología (SENAMHI), donde se obtiene un registro de datos de por lo menos una vez en una hora durante los días del año. De ahí con los datos proporcionados por SENAMHI pudimos elaborar una tabla de datos con velocidad promedio mensual y dirección del viento. Este cuadro de datos desarrollado corresponde al año de 2021.

**TABLA 10. Datos procesados de la estación meteorológica de Laraqueri**

Estación: LARAQUERI					
Departamento:	PUNO	Provincia:	PUNO	Distrito:	PICHACANI
Latitud:	16°8'9.3"	Longitud:	70°2'45.2"	Altitud:	3928 msnm.
Tipo:	EMA -	Código:	472CB426		
AÑO 2021	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCION DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
<b>Enero</b>	8.4645	0.2772	69.7392	175.1371	3.6938



<b>febrero</b>	8.6076	0.1048	68.2560	183.7083	3.6183
<b>Marzo</b>	7.8473	0.1726	76.0981	177.8602	3.0023
<b>Abril</b>	7.2774	0.0222	57.7042	181.6139	3.1113
<b>Mayo</b>	6.0019	0.0133	50.7634	176.5685	3.1802
<b>Junio</b>	5.2021	0.0000	32.5841	188.0597	3.8169
<b>Julio</b>	4.9724	0.0000	32.9247	180.5699	3.5507
<b>Agosto</b>	5.8188	0.0085	33.9597	178.6196	3.9923
<b>Septiembre</b>	7.8525	0.0431	47.4889	168.4667	3.7440
<b>Octubre</b>	9.5907	0.0289	37.4593	177.9420	4.3542
<b>Noviembre</b>	9.8606	0.0691	42.2606	174.9523	4.4196
<b>Diciembre</b>	8.5737	0.2434	71.0645	180.0108	3.7647

**FUENTE:** *Elaboración propia*

De los datos procesados en una hoja de cálculos obtuvimos datos promedio mensual de la temperatura ambiental, precipitación, humedad, dirección del viento y por su puesto la velocidad del viento, los cuales fueron datos registrados durante el año 2021.

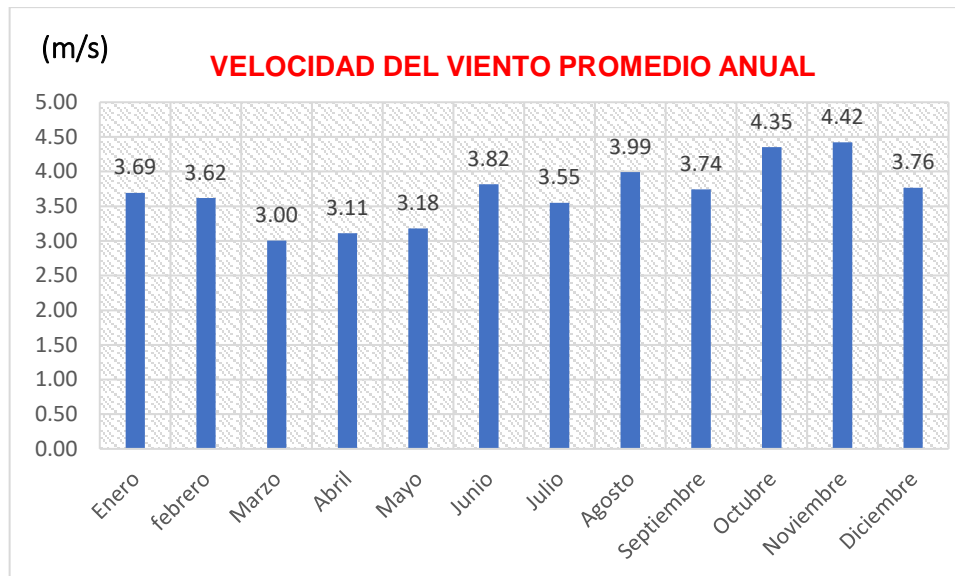
**TABLA 11. Velocidad, dirección de viento promedio anual (2021)**

<b>AÑO 2021</b>	<b>DIRECCION DEL VIENTO (°)</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)</b>
<b>Enero</b>	175.14	3.69
<b>Febrero</b>	183.71	3.62
<b>Marzo</b>	177.86	3.00
<b>Abril</b>	181.61	3.11
<b>Mayo</b>	176.57	3.18
<b>Junio</b>	188.06	3.82
<b>Julio</b>	180.57	3.55
<b>Agosto</b>	178.62	3.99
<b>Setiembre</b>	168.47	3.74
<b>Octubre</b>	177.94	4.35
<b>Noviembre</b>	174.95	4.42
<b>Diciembre</b>	180.01	3.76
<b>PROMEDIO ANUAL</b>		<b>3.69</b>

**FUENTE:** *Elaboración propia*

Para el diseño y simulación de un sistema eólico necesitamos contar con datos reales de la velocidad del viento, para esto se realizó diversos cálculos en el software Microsoft Excel, de donde se puede apreciar tanto la velocidad,

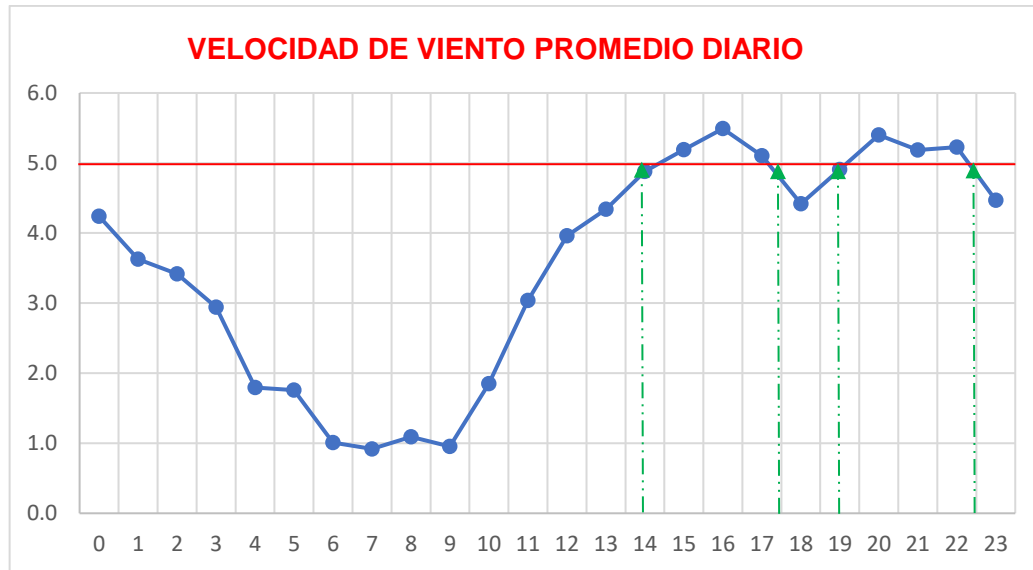
dirección del viento. Después de procesar datos de velocidad del viento, obtuvimos un promedio anual de 3.69 metros por segundos. (m/s)



**FIGURA 49. Velocidad del viento promedio anual**

**FIGURA 50. Elaboración propia**

Para una mejor interpretación de datos numéricos, establecimos cuadros de comparación de las velocidades promedios de todos los meses durante el año 2021. En este cuadro de comparaciones podemos apreciar los niveles de velocidad promedio mensual, donde los meses marzo, abril, mayo obtuvimos en velocidad menor a 3.5 metros por segundo, por otro lado, tenemos la velocidad promedio mensual más alto del año 2021, estos datos fueron registrados durante los meses de octubre y noviembre, con niveles promedio mayor a 4.35 m/s.



**FIGURA 51. Velocidad de viento promedio diario (2021)**

*FUENTE: Elaboración propia*

La velocidad del viento promedio diario de todo el año 2021 nos dará las horas pico de la velocidad del viento, entonces según la imagen de velocidad de viento promedio diario obtendremos las horas de máximo aprovechamiento de este recurso en las zonas rurales del distrito de Pichacani, En este gráfico ratificamos que las horas de máximo aprovechamiento son 2 $\frac{1}{2}$ , 3, 4, 5 ,7 $\frac{1}{2}$ , 8, 9 Y 10 de la tarde por encima de los 5.0 m/s, por lo cual tendremos 7 horas de máximo aprovechamiento de este recurso natural.

#### **4.2.2. Datos de radiación solar**

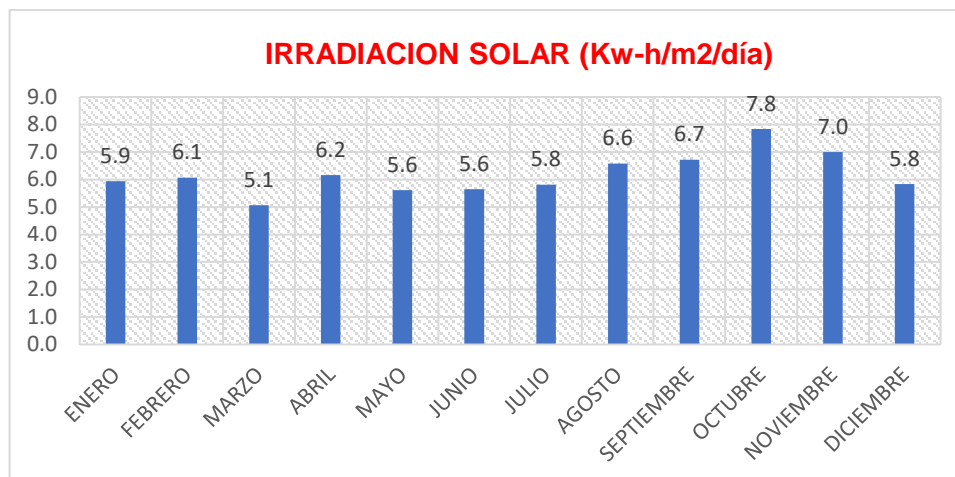
La intensidad de niveles de radiación solar, fueron obtenidos del instituto nacional de meteorología (SENAMHI), así mismo estos datos fueron comparados con datos tomados por Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). Estos datos se almacenaron durante los días del año 2021, de ahí pudimos elaborar una tabla de contenido con datos de irradiación solar, obteniendo datos reales de irradiación promedio mensuales y anuales.

**TABLA 12. Irradiación promedio anual**

PROMEDIO DE IRRADICION SOLAR	
AÑO 2021	Kw-h/m2/día
Enero	5.936
Febrero	6.070
Marzo	5.063
Abril	6.161
Mayo	5.612
Junio	5.647
Julio	5.807
Agosto	6.585
Septiembre	6.719
Octubre	7.838
Noviembre	6.999
Diciembre	5.835
<b>Promedio Anual</b>	<b>6.189</b>

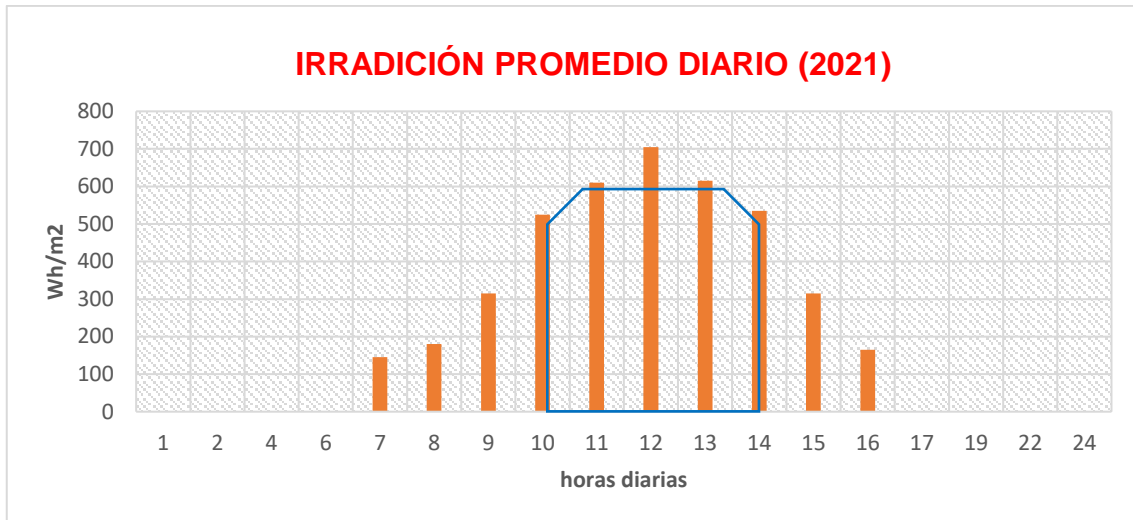
**FUENTE:** *Elaboración propia*

En la tabla podemos observar el promedio anual de irradiación, así mismo la irradiación promedio mensual, donde se visualiza el valor más bajo de irradiación se obtiene en el mes de marzo con un nivel de irradiación de 5.1 Kw-h/m2/día y el alto obtenemos en el mes de 7.8 Kw-h/m2/día.



**FIGURA 52. Irradiación solar promedio anual**

**FUENTE:** *Elaboración propia*



**FIGURA 53. horario de irradiación promedio en el año 2020**

*FUENTE: Elaboración propia*

En la figura anterior tenemos promedio anual de irradiación en horas pico las cuales podemos apreciar que de las 10 am hasta 2 pm son horas de mayor incidencia solar. En donde el mayor rendimiento de sistema fotovoltaico se desarrollará dentro de estas horas.

#### **4.3. Cálculos del sistema híbrido eólico fotovoltaico**

Desarrollado la tabla de demanda total de energía eléctrica por las 10 familias, se obtuvo una demanda de 12.820 Kwh/día. Entonces para realizar el dimensionamiento óptimo del sistema híbrido eólico fotovoltaico deberemos tomar en cuenta los datos de los recursos tomados y el total de demanda de energía eléctrica estimado por las familias.

Para la presente investigación tenemos que la energía que requiere el sistema híbrido eólico fotovoltaico, para satisfacer la demanda energética de zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia Puno. La energía eléctrica por día requerida es de 12 820 Wh/día esto tomando en cuenta las 10 familias. Se desarrolla el dimensionamiento de del sistema híbrido eólico fotovoltaico,

tomando en cuenta las horas de mejor rendimiento de cada uno de los sistemas, de estos datos podremos suministrar energía eléctrica a la demanda establecida en las 10 familias.

Para dimensionar entre los sistemas eólico fotovoltaico usaremos un software, el cual realizara un cálculo para poder acentuar carga para cada una de estos sistemas de generación. Este software (HOMER PRO) realizara los cálculos usando los datos meteorológicos de zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia de Puno, y la carga establecida para las 10 familias.



**FIGURA 54. Distribución de carga para los sistemas de generación**

**FUENTE: Software HOMER PRO**

Con esta herramienta de diseño de sistemas híbridos determinamos la relación 1:3 de entre ambos sistemas de generación lo se calculó según datos proporcionados por el software 73.15 % para el sistema fotovoltaico y 26.85 % para el sistema de generación eólico.

Para el sistema de híbrido eólico fotovoltaico tendremos que dimensionar el voltaje del sistema en corriente continua, lo cual se determina a partir de la demanda máxima de energía eléctrica por las 10 familias de las zonas rurales del distrito de Pichacani. Por lo tanto, optaremos por la siguiente valoración.



- Para consumo de 1 a 2,000 W-h, se valora un voltaje de 12V.
- Para consumo de 2,001 a 4,000 W-h, se valora un voltaje 24V.
- Para un consumo 4,001 W-h a más, se valora un voltaje de 48V.

En un diseño de un sistema para generar energía eléctrica, se debe tomar en cuenta que los tiempos de trabajo de los sistemas no siempre va ser favorable, por tanto, de se deberá sobre dimensionar el sistema con un factor de protección del 20 % a la demanda de consumo de energía eléctrica.

**4.3.1. Cálculo de sistema fotovoltaico**

Para realizar de cálculo del sistema fotovoltaico necesitamos la carga dimensionada por el software, lo cual es el 73.15 % de la demanda total de consumo de energía, este porcentaje tiene una equivalencia de 9378 Wh/día.

**TABLA 13. Marzo mes de menor irradiación solar durante el año 2021**

PROMEDIO DE IRRADIACIÓN MENSUAL CON MENOR ÍNDICE DEL AÑO 2021 (MARZO)			
Día	Kwh/m2/dia	Día	Kwh/m2/dia
1	4.09	17	5.89
2	4.90	18	3.81
3	4.66	19	4.93
4	4.88	20	5.81
5	5.07	21	6.38
6	6.12	22	3.54
7	5.22	23	5.05
8	6.01	24	4.93
9	5.84	25	5.17
10	5.91	26	5.18
11	5.86	27	4.77
12	5.72	28	5.15
13	4.84	29	4.86
14	5.20	30	4.41
15	3.98	31	3.52
16	5.24		
PROMEDIO DE IRRADIACIÓN MENSUAL			<b>5.06</b>

**FUENTE:** *Elaboración propia*



Para temas de cálculos del sistema fotovoltaico se deberá tomar los datos más críticos, en este caso tenemos el mes de marzo con menor irradiancia promedio a comparación de los demás meses del año, por efecto tomaremos la irradiación de 5.1 Kwh/m<sup>2</sup>/día, y con horas de mejor aprovechamiento de 5 horas pico. Por tanto, tendremos 2 días de autonomía para la demanda de consumo.

#### 4.3.1.1. Cálculo de numero de paneles fotovoltaicos

Se deberá tener en consideración la carga establecida para este sistema de generación, lo cual determinamos un consumo de 9378 Wh/día. El valor de la carga deberá ser sujeta al factor de seguridad de 20 %.

##### Cálculo de consumo diario:

$$Cd = Dt \times Fp$$

##### Donde:

Consumo diario (Cd) = ?

Demanda total (Dt) = 65,889 W-h/día

Factor de protección (Fp) = 20%

$$Cd = 9378 \times 1.20$$

$$Cd = 11253.60 \text{ Wh/día}$$

$$Cd = 11.25 \text{ Kwh/día}$$

##### Cálculo de la potencia fotovoltaica:

$$PF = Cd/HSP$$

##### Donde:

Potencia fotovoltaica (PF) = ?

Consumo diario (Cd) = 11253.60 Wh/día

Hora solar pico (HSP) = 5.0



$$PF = \frac{11253.60 \text{ Wh/día}}{5 \text{ h/día}}$$

$$PF = 2250.72 \text{ W}$$

$$PF = 2.25 \text{ Kw}$$

**Cálculo de paneles fotovoltaicos:**

$$NMF = PF/PM * EM$$

**Donde:**

Numero de módulos fotovoltaicos (NMF) = ?

Potencia fotovoltaica (PF) = 2250.72 W

Potencia del módulo (PM) = 500 W

Eficiencia del módulo (EM) = 60 %

$$NMF = 2250.72W/500 W * 0.60$$

$$NMF = 7.50$$

$$NMF \approx 8.0 \text{ Módulos fotovoltaicos}$$

**Potencia nominal del sistema fotovoltaico:**

$$PN = NMF x PM * 0.60$$

**Donde:**

Potencia nominal (PN) = ?

Numero de módulos fotovoltaicos (NMF) = 8.0

Potencia del módulo (PM) = 500 W

Al 60 % de trabajo del módulo fotovoltaico, mayor durabilidad y eficiencia;

PM 60 % = 300 Wp (especificaciones técnicas del fabricante).

$$PN = 8 x 500 x 0.60$$

$$PN = 2400 \text{ W}$$

$$PN = 2.40 \text{ Kw}$$



**Energía total generada día, establecida para el sistema fotovoltaico:**

$$EG_{día} = NMF \times PM(60\%) \times HSP$$

**Donde:**

Hora solar pico (HSP) = 5.0

Potencia del módulo (PM) = 500 W

Numero de módulos fotovoltaicos (NMF) = 8.0

$$EG_{día} = 8 \times 300 \times 5$$

$$EG_{día} = 12000 \text{ Wh/día}$$

$$EG_{día} = 12 \text{ Kwh/día}$$

#### **4.3.1.2. Cálculo de números de controladores**

Los controladores son los encargados de mantener los niveles de tensión y corriente en un rango determinado, esto para salvaguardar el sistema acumulación de energía y demás componentes.

**Cálculo de la potencia del sistema fotovoltaico:**

$$PF = NMF \times PM$$

**Donde:**

Potencia fotovoltaica (PF) = ?

Numero de módulos fotovoltaicos (NMF) = 8.0

Potencia del módulo (PM) = 300 Wp

$$PF = 8 \times 300 \text{ W}$$

$$PF = 2400 \text{ W}$$

$$PF = 2.40 \text{ Kw}$$

**Cálculo de la potencia de protección del sistema fotovoltaico:**

$$PP = PF \times FS$$

**Donde:**



Potencia protección del sistema fotovoltaico (PP) = }?

Potencia sistema fotovoltaico (PF) = 2400 W

Factor de seguridad (FS) = 20%

$$PP = 2400 W \times 1.20$$

$$PP = 2880 W$$

$$PP = 2.88 Kw$$

**Cálculo del controlador para el sistema:**

$$NCF = PP/P_{REG}$$

**Donde:**

Numero de controladores fotovoltaico (NCF) = ?

Potencia protección del sistema fotovoltaico (PP) = 2880 W

Potencia del Controlador ( $P_{REG}$ ) = 5,000 W

$$NCF = 2880 W / 5000W$$

$$NCF = 0.56$$

$$NCF \approx 1.0$$

#### **4.3.1.3. Cálculo de numero de inversores**

Los inversores son equipos encargados modificar la corriente continua (CD) de los bancos de baterías a corriente alterna (AC), lo cual se necesita de este equipo para que puedan llegar corriente (AC) a los componentes utilizados en un domicilio, para este sistema generación tenemos 48 VDC de entrada a 220 VAC de salida.

Para desarrollar los cálculos del inversor de carga se tomará en cuenta: la tensión (Voltios) del inversor de carga, la potencia de salida del inversor deberá ser superior carga demanda para este sistema.



### Datos del inversor:

Potencia nominal (PNI) = 5000W

Tensión de entrada = 48V

Eficiencia del inversor = 93 %

### Datos de la potencia instalada:

Este parámetro fue determinado en la tabla de demanda de consumo, donde la potencia instalada total es de 2905 W, pero el sistema fotovoltaico le corresponde el 73.15 % del total, entonces obtuvimos para este sistema 2126 W.

Entonces para hallar el número de inversores de carga, primero deberemos determinar la demanda máxima, para ello se debe multiplicar la potencia instalada con el factor de protección.

$$DM = PI \times Fp$$

### Donde:

Demanda máxima (DM) = ?

Potencia instalada (PI) = 2126 W

Factor de protección (Fp) = 20%

$$DM = 2126 \times 1.2$$

$$DM = 2551.2 \text{ W}$$

$$DM = 2.55 \text{ Kw}$$

### Para determinar la elección del inversor:

### Donde:

Numero de inversores de carga = ?

$$NIF = DM/PNI$$

$$NIF = 2551.2 \text{ W}/5000 \text{ W}$$

$$NIF = 0.51 \approx 1.0$$



**4.3.1.4. Cálculo de número de baterías**

Las baterías son las encargadas de acumular la energía generada y suministrar al sistema si así lo requiere, lo cual garantiza una disposición de energía para la demanda energética.

**Determinar el banco de baterías:**

$$I_s = \frac{C_d}{\frac{E_{Inv}}{V_{Entr}}}$$

**Donde:**

Corriente del sistema (IS) = ?

Voltaje de entrada (V<sub>ENTRADA</sub>) = 48 V

Consumo diario (Cd) = 11253.6 W-h

Eficiencia del Inversor (E<sub>INVERSOR</sub>) = 93%

$$I_s = \frac{11253.60 \text{ Wh}}{\frac{0.93}{48 \text{ V}}}$$

$$I_s = 252.10 \text{ A} - h$$

**Determinar el número de baterías en conexión paralelo:**

$$NBP = \frac{I_{ss} * DA/PD}{CB}$$

**Donde:**

Numero de baterías en paralelo (NBP) = ?

Corriente del sistema (IS) = 252.10 A-h

Días de autonomía (DA) = 2 días

Capacidad de descarga (PD) = 85%

Capacidad de la batería (CB) = 600 A-h

$$NBP = \frac{252.10 \text{ A} - H * 2 \text{ dias} / 0.85}{600 \text{ A} - H}$$



$$NBP = 0.99 \approx 1.0 \text{ Baterías en paralelo}$$

**Determinar el número de baterías en conexión serie:**

$$NBS = V_{SISTEMA} / V_{BATERIA}$$

**Donde:**

Número de baterías en serie (NBS) = ?

Voltaje de entrada ( $V_{ENTRADA}$ ) = 48 V

Tensión de la batería ( $V_B$ ) = 6 V

$$NBS = 48V / 6V$$

$$NBS = 8 \text{ Baterías en serie}$$

**Determinar el número total de baterías del sistema fotovoltaico:**

$$NTB = NBP * NBS$$

**Donde:**

Número total de baterías = ?

Número de baterías en paralelo = 2

Número de baterías en serie = 8

$$NTB = 1 * 8 = 8 \text{ baterías}$$

#### 4.3.1.5. Determinar sección de conductor eléctricos

Para determinar la sección de conductores eléctricos para cada tramo, deberemos tomar en cuenta ciertos parámetros del sistema fotovoltaico.

**TABLA 14. Caída de voltaje tolerable del sistema fotovoltaico**

TRAMO DE CONDUCTOR	VOLTAJE DEL SISTEMA (V)	CAIDA DE VOLTAJE TOLERABLE (%)	CAIDA DE VOLTAJE TOLERABLE (V)
MODULO - CONTROLADOR	48	1% - 3%	1.44
CONTROLADOR - BATERÍA	48	1%	0.48
BATERÍA - INVERSOR	48	1%	0.48

**FUENTE:** Elaboración propia



**Establecer sección de conductor eléctrico módulo (panel) - controlador:**

$$S_{MIN} = \frac{2 * I_P * L}{\Delta V * \sigma}$$

**Donde:**

Sección mínima de conductor ( $S_{MIN}$ ) = ¿?

Corriente de máxima potencia ( $I_P$ ) = 12.82 A

Longitud de conductor (L) = 20 m

Conductividad de cobre ( $\sigma$ ) = 56

Caída de voltaje ( $\Delta V$ ) = 1.44 V

$$S_{MIN} = \frac{2 * 12.82 * 20}{1.44 * 56}$$

$$S_{MIN} = 6.37 \text{ mm}^2$$

*Sección estandarizado  $\approx 10 \text{ mm}^2$*

**Determinar sección de conductor eléctrico controlador - batería:**

$$S_{MIN} = \frac{2 * I_P * L}{\Delta V * \sigma}$$

**Donde:**

Sección mínima de conductor ( $S_{MIN}$ ) = ¿?

Corriente de máxima potencia ( $I_P$ ) = 80 A

Longitud de conductor (L) = 4 m

Conductividad de cobre ( $\sigma$ ) = 56

Caída de voltaje ( $\Delta V$ ) = 0.48 V

$$S_{MIN} = \frac{2 * 80 * 4}{0.48 * 56}$$

$$S_{MIN} = 23.80 \text{ mm}^2$$

*Sección estandarizado  $\approx 25 \text{ mm}^2$*

**Determinar sección de conductor eléctrico controlador - inversor:**



$$S_{MIN} = \frac{2 * I_P * L}{\Delta V * \sigma}$$

**Donde:**

Sección mínima de conductor ( $S_{MIN}$ ) = ¿?

Corriente de máxima de carga ( $I_P$ ) = 60 A

Longitud de conductor ( $L$ ) = 6 m

Conductividad de cobre ( $\sigma$ ) = 56

Caída de voltaje ( $\Delta V$ ) = 0.48 V

$$S_{MIN} = \frac{2 * 60 * 6}{0.48 * 56}$$

$$S_{MIN} = 26.79 \text{ mm}^2$$

*Sección estandarizado  $\approx 35 \text{ mm}^2$*

#### 4.3.2. Cálculo del sistema Eólico

Para determinar el número de aerogeneradores del sistema de generación eólico, deberemos de tomar en consideración la velocidad del viento y las especificaciones técnicas de fabricante para un modelo de aerogenerador determinado.

La demanda de consumo para el sistema de generación eólico es el 26.85 % del total de consumo diaria de las 10 familias, por consiguiente, tenemos un consumo de energía de 3442 Wh/día. También tendremos 2 días de autonomía de los bancos de baterías para este sistema.

**TABLA 15. marzo con menor índice de velocidad de viento del 2021**

PROMEDIO DE VELOCIDAD DE VIENTO CON MENOR INDICE DEL 2021 (MARZO)			
Día	m/s	Día	m/s
1	2.38	16	2.52
2	3.12	17	2.29
3	3.49	18	2.78
4	2.37	19	3.40
5	1.85	20	2.55
6	2.58	21	2.31
7	3.78	22	3.00
8	2.98	23	3.33
9	3.24	24	6.42
10	2.48	25	5.28
11	3.24	26	3.67
12	2.36	27	3.13
13	2.84	28	4.08
14	2.40	29	4.03
15	1.90	30	3.57
PROMEDIO DE VELOCIDAD DE VIENTO			<b>3.00</b>

**FUENTE:** *Elaboración propia*

En el cuadro de velocidades apreciamos el menor índice de todo el año 2021, esta tabla corresponde al mes de marzo. Para efectos de determinar parámetros del sistema eólico, se calculará con datos críticos de recursos intervinientes en este sistema de generación energética.

#### **4.3.2.1. Determinar el número de aerogeneradores**

Para establecer de numero de aerogeneradores para este sistema eólico, tenemos una demanda de consumo diaria de 3442 Wh/día.

#### **Determinar el consumo total diario**

Para establecer el consumo diario de energía, se deberá tener en cuenta el factor protección de un 20% a la demanda energética total de las 10 familias para este sistema.

#### **Determinar consumo de energía diario:**



$$Cd = Dt \times Fp$$

**Donde:**

Consumo diario (Cd) = ?

Demanda total (Dt) = 3442 W-h/día

Factor de protección (Fp) = 20%

$$Cd = 3442 \times 1.20$$

$$Cd = 4130.40 \text{ Wh/día}$$

$$Cd = 4.13 \text{ Kwh/día}$$

**Cálculo de la potencia del sistema eólico:**

$$PF = Cd/Ht$$

**Donde:**

Potencia eólica (PEÓLICA) = ?

Consumo diario (Cd) = 4130.40 Wh/día

Horas eólico pico (HEP) = 7 h/día

$$P_{EÓLICA} = \frac{4130.40 \text{ Wh/día}}{7 \text{ h/día}}$$

$$P_{EÓLICA} = 590.06 \text{ W}$$

$$P_{EÓLICA} = 0.59 \text{ Kw}$$

**Determinar número de aerogeneradores:**

$$NA = \frac{P_{EÓLICA}}{PA}$$

La potencia del aerogenerador (PA) se toma en consideración según tabla de especificaciones de fabricante (de una potencia nominal de 1000 W, para una altura de 20 metros, 5.0 m/seg se obtiene 300 W de potencia).

**Donde:**

Numero de aerogeneradores (NA) = ¿?



Potencia eólica ( $P_{EÓLICA}$ ) = 590.06 W

Potencia del aerogenerador ( $PA$ ) = 300 W

$$NA = \frac{590.06 W}{300 W}$$

$$NA = 1.97 \approx 2.0 \text{ Aerogeneradores}$$

**Determinar potencia nominal del sistema eólico:**

$$PN = NA * PA_{5m/s}$$

**Donde:**

Potencia nominal ( $PN$ ) = ¿?

Número de aerogeneradores ( $NA$ ) = 2.0

Potencia del aerogenerador ( $PA$  5 m/s) = 300 W

$$PN = 2 * 300 W$$

$$PN = 600 \text{ Vatios}$$

**Determinar la generación de energía diaria del sistema eólico**

$$E_{GENERADA} = NA * PA_{5 m/s} * HEP$$

**Donde:**

Energía generada ( $E_G$ ) = ¿?

Horas eólico pico ( $HEP$ ) = 7 h/día

$$E_{GENERADA} = 2 * 300 W * 7 h/día$$

$$E_{GENERADA} = 4200 Wh/día$$

$$E_{GENERADA} = 4.2 Kwh/día$$

#### 4.3.2.2. Determinar número de controladores

Para este sistema usaremos los controladores MPPT, con las especificaciones técnicas de fabricante realizaremos los cálculos correspondientes a este sistema. Este dispositivo electrónico es la encargada de que la entrada de la



potencia a los bancos de baterías sea eficiente, también protege a las baterías de sobre carga.

**Determinar la corriente nominal del sistema eólico:**

$$I_{NOMINAL} = \frac{PN}{V_{ENTRADA}}$$

**Donde:**

Corriente nominal ( $I_{NOMINAL}$ ) = ¿?

Potencia nominal (PN) = 600 W

Voltaje de entrada (VE) = 48 V

$$I_{NOMINAL} = \frac{600 W}{48 V}$$

$$I_{NOMINAL} = 12.5 \text{ Amperios}$$

**Determinar la corriente total de los aerogeneradores:**

$$I_{TOTAL} = I_{NOMINAL} * NA$$

**Donde:**

Corriente total ( $I_{TOTAL}$ ) = ¿?

Corriente nominal (IN) = 12.5 A

Número de aerogeneradores (NA) = 3.0

$$I_{TOTAL} = 12.5 A * 3$$

$$I_{TOTAL} = 37.5 \text{ Amperios}$$

**Determinar número de controladores:**

$$NC = I_{TOTAL} / INC$$

**Donde:**

Número de controladores (NC) = ¿?

Corriente nominal controlador (INC) = 60 A

$$NC = 37.5 A / 60 A$$



$$NC = 0.63 \approx 1.0 \text{ Controladores}$$

#### 4.3.2.3. Determinar número de inversor

Este componente tiene como función principal convertir la corriente continua que almacena en banco de baterías a corriente alterna para consumo de las viviendas (48VDC – 220 VAC).

Para desarrollar los cálculos del inversor de carga se tomará en cuenta: la tensión (Voltios) del inversor de carga, la potencia de salida del inversor deberá ser superior carga demanda para este sistema.

##### **Características del inversor:**

Potencia nominal (PNI) = 5000 W

Voltaje de salida = 220 VAC

Voltaje de entrada = 48 VDC

Eficiencia del inversor = 93 %

##### **Datos de la potencia instalada:**

Este parámetro fue determinado en la tabla de demanda de consumo, donde la potencia instalada total es de 3255 W, pero el sistema eólico le corresponde el 26.85 % del total, entonces obtuvimos para este sistema 874 W.

Entonces para hallar el número de inversores de carga, primero deberemos determinar la demanda máxima, para ello se debe multiplicar la potencia instalada con el factor de protección.

$$DM = PI \times Fp$$

##### **Donde:**

Demanda máxima (DM) = ?

Potencia instalada (PI) = 874 W

Factor de protección (Fp) = 20%



$$DM = 874 \times 1.2$$

$$DM = 1048.8 W$$

$$DM = 1.049 Kw$$

**Para determinar la elección del inversor:**

Numero de inversores de carga (NIC) = ?

$$NIF = DM/PNI$$

$$NIF = 1048.8 W/5000 W$$

$$NIF = 0.2098 \approx 1.0 \text{ Inversores para el sistema eólico}$$

#### 4.3.2.4. Determinar número de baterías para el sistema

Las baterías son las encargadas de acumular la energía generada y suministrar al sistema si así lo requiere, lo cual garantiza una disposición de energía para la demanda energética.

#### Determinar el consumo total diario

Para establecer el consumo diario de energía, se deberá tener en cuenta el factor protección de un 20% a la demanda energética total de las 10 familias para este sistema.

**Determinar consumo de energía diario:**

$$Cd = Dt \times Fp$$

**Donde:**

Consumo diario (Cd) = ?

Demanda total (Dt) = 3442 W-h/día

Factor de protección (Fp) = 20%

$$Cd = 3442 \times 1.20$$

$$Cd = 4130.40 Wh/día$$

$$Cd = 4.13 Kwh/día$$



**Determinar el banco de baterías:**

$$I_s = \frac{C_d}{\frac{E_{Inv}}{V_{Entr}}}$$

**Donde:**

Corriente del sistema (IS) = ?

Voltaje de entrada (V<sub>ENTRADA</sub>) = 48 V

Consumo diario (Cd) = 4130.40 W-h

Eficiencia del Inversor (E<sub>INVERSOR</sub>) = 93%

$$I_s = \frac{\frac{4130.40 \text{ Wh}}{0.93}}{48 \text{ V}}$$

$$I_s = 92.527 \text{ A} - h$$

**Determinar el número de baterías en conexión paralelo:**

$$NBP = \frac{I_s * DA/PD}{CB}$$

**Donde:**

Numero de baterías en paralelo (NBP) = ?

Corriente del sistema (IS) = 92.527 A-h

Días de autonomía (DA) = 2 días

Capacidad de descarga (PD) = 85 %

Capacidad de la batería (CB) = 600 A-h

$$NBP = \frac{92.527 \text{ A} - H * 2 \text{ dias} / 0.85}{600 \text{ A} - H}$$

$$NBP = 0.37 \approx 1.0 \text{ Baterias en paralelo}$$

**Determinar el número de baterías en conexión serie:**

$$NBS = V_{SISTEMA} / V_{BATERIA}$$

**Donde:**



Número de baterías en serie (NBS) = ?

Voltaje de entrada ( $V_{ENTRADA}$ ) = 48 V

Tensión de la batería ( $V_B$ ) = 6 V

$$NBS = 48V/6V$$

$$NBS = 8 \text{ Baterias en serie}$$

Determinar el número total de baterías del sistema eólico:

$$NTB = NBP * NBS$$

Donde:

Número total de baterías = ?

Número de baterías en paralelo = 2

Número de baterías en serie = 8

$$NTB = 1 * 8 = 8 \text{ baterias}$$

#### 4.3.2.5. Determinar sección de conductor eléctrico

Para determinar la sección de conductores eléctricos para cada tramo, deberemos tomar en cuenta ciertos parámetros del sistema eólico.

**TABLA 16. Caída de voltaje tolerable del sistema eólico**

TRAMO DE CONDUCTOR	VOLTAJE DEL SISTEMA (V)	CAIDA DE VOLTAJE TOLERABLE (%)	CAIDA DE VOLTAJE TOLERABLE (V)
MODULO - CONTROLADOR	48	1% - 3%	1.44
CONTROLADOR - BATERÍA	48	1%	0.48
BATERÍA - INVERSOR	48	1%	0.48

FUENTE: *Elaboración propia*

Determinar sección de conductor eléctrico módulo (eólico) - controlador:

$$S_{MIN} = \frac{2 * I_P * L}{\Delta V * \sigma}$$

Donde:



Sección mínima de conductor ( $S_{MIN}$ ) = ¿?

Corriente de máxima potencia ( $I_P$ ) = 12.5 A

Longitud de conductor (L) = 35 m

Conductividad de cobre ( $\sigma$ ) = 56

Caída de voltaje ( $\Delta V$ ) = 1.44 V

$$S_{MIN} = \frac{2 * 12.50 * 35}{1.44 * 56}$$

$$S_{MIN} = 10.85 \text{ mm}^2$$

*Sección estandarizado  $\approx 16 \text{ mm}^2$*

**Determinar sección de conductor eléctrico controlador - batería:**

$$S_{MIN} = \frac{2 * I_P * L}{\Delta V * \sigma}$$

**Donde:**

Sección mínima de conductor ( $S_{MIN}$ ) = ¿?

Corriente de máxima potencia ( $I_P$ ) = 80 A

Longitud de conductor (L) = 4 m

Conductividad de cobre ( $\sigma$ ) = 56

Caída de voltaje ( $\Delta V$ ) = 0.48 V

$$S_{MIN} = \frac{2 * 80 * 4}{0.48 * 56}$$

$$S_{MIN} = 23.80 \text{ mm}^2$$

*Sección estandarizado  $\approx 25 \text{ mm}^2$*

**Determinar sección de conductor eléctrico controlador - inversor:**

$$S_{MIN} = \frac{2 * I_P * L}{\Delta V * \sigma}$$

**Donde:**

Sección mínima de conductor ( $S_{MIN}$ ) = ¿?



Corriente de máxima de carga ( $I_P$ ) = 60 A

Longitud de conductor (L) = 6 m

Conductividad de cobre ( $\sigma$ ) = 56

Caída de voltaje ( $\Delta V$ ) = 0.48 V

$$S_{MIN} = \frac{2 * 60 * 6}{0.48 * 56}$$

$$S_{MIN} = 26.79 \text{ mm}^2$$

*Sección estandarizado  $\approx 35 \text{ mm}^2$*

#### 4.4. Simulación del sistema eólico fotovoltaico

Para determinar el diseño y simulación del sistema eólico fotovoltaico se desarrollará con el software HOMER PRO, esta aplicación nos permite diseñar sistemas híbridos, con componentes reales que están en vanguardia de productos para instalaciones de generación eléctrica.

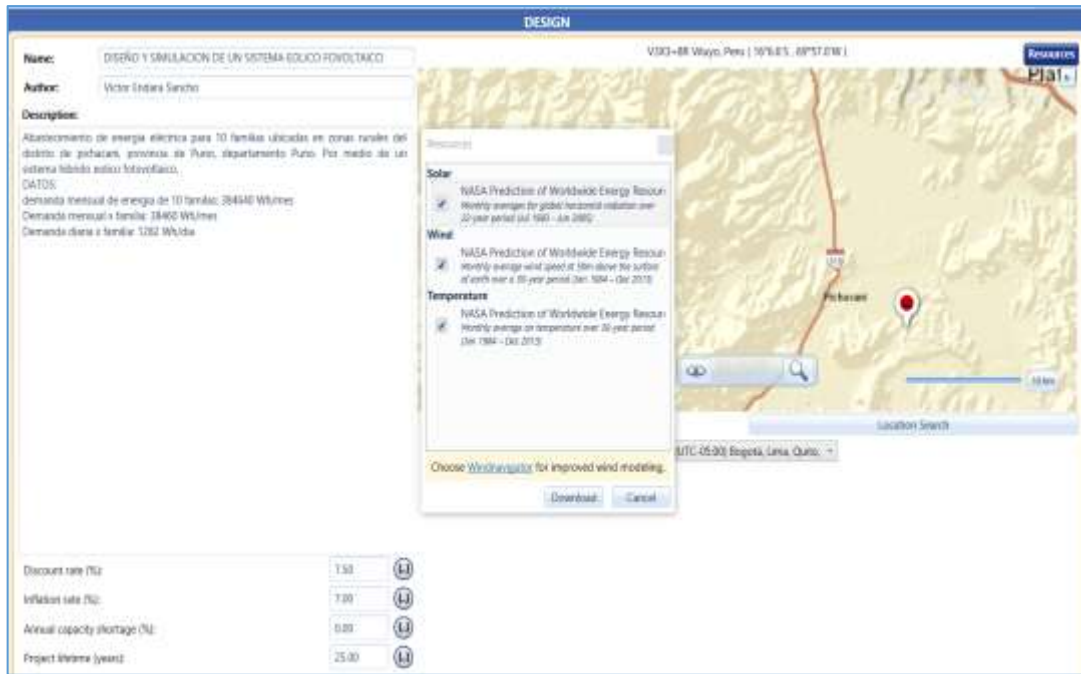
HOMER PRO, software de simulación de energías renovables, tiene una disposición de componentes para poder optimizar, los costos, cantidad de componentes que están inmersos en los sistemas que deseamos simular. Propone un dimensionamiento real de sistemas híbridos en función a los recursos energéticos naturales, los cuales se pueden descargar con un interfaz que te ofrece este software.

Con los datos obtenidos en el cuadro de demanda de consumo de energía eléctrica de las 10 familias daremos, lo cual es de 12820 Wh/día.

- 1) Como inicio a la simulación de sistemas de generación energética eólico fotovoltaico, designamos datos sobre el proyecto posterior a ello realizamos la ubicación de la zona donde se desea llevar a cabo el dimensionamiento del sistema híbrido.

Para este paso también necesitamos ciertos datos los cuales son:

- Tasa de descuento del Perú: 7.5 % Anual
- Tasa de inflación del Perú: 7.0 % Anual

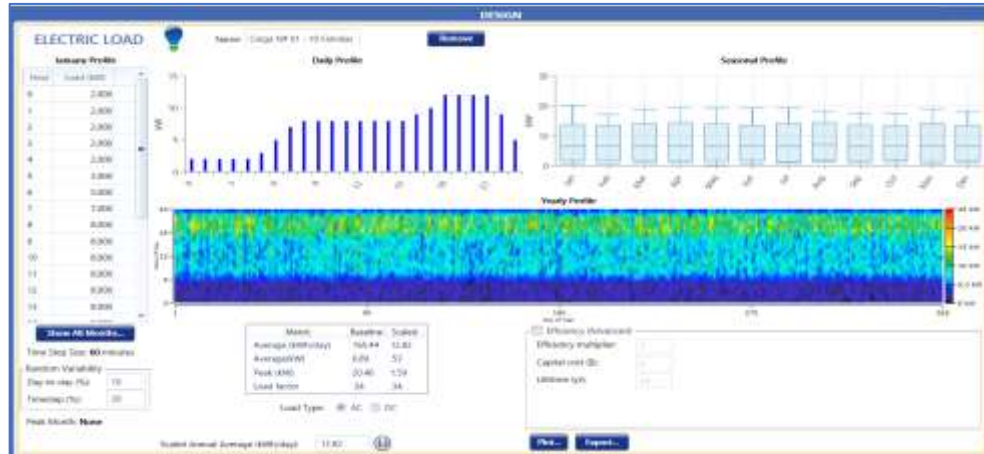


**FIGURA 55. Desimianación de datos preliminares para el sistema**

**FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)**

Una vez introducidos los datos en esta parte del programa, procederemos a descargar los datos de los recursos energéticos proporcionados por la NASA (La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio).

2) Designamos un perfil de consumo diaria (carga AC) para el proyecto, en este caso tendremos un perfil comunitario y una demanda diaria de 12820 Wh/día para las 10 familias de las zonas rurales de Pichacani. Con los datos obtenidos en el cuadro de demanda de consumo se podrá realizar la simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico. Esta parte del diseño y simulación tenemos índices ya predispuestos por el software.



**FIGURA 56. Designación de perfil de carga y demanda de consumo**

*FUENTE: elaboración propia (HOMER PRO)*

- 3) Designamos los paneles fotovoltaicos para el sistema híbrido, un panel de 1 Kw de potencia conectado a la barra AC. Para la designación adecuada de este componente tenemos que tener en cuenta el precio del módulo en el mercado, el costo de mantenimiento por año. Este componente es el encargado de captar la energía de la luz solar para luego convertirla en eléctrica a través del efecto fotoeléctrico.



**FIGURA 57. Designación del módulo fotovoltaico**

*FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)*

- 4) En seguida designaremos un aerogenerador para el sistema de generación eólico con una potencia de 1.5 Kw. Esto conectado a la barra AC. Este componente es el encargado de convertir la energía cinética del viento en

energía mecánica. Para la instalación en el software debemos tener en cuenta el costo del módulo, costo de reemplazo y el costo de mantenimiento anual.



**FIGURA 58. Designación de aerogenerador de 1.5 Kw**

**FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)**

5) De la misma manera se tendrá que designar el inversor de corriente, el cual está encargado fundamentalmente en convertir el voltaje de corriente continua 48VDC a 220VAC. Para su correcta instalación en el software tenemos mucho en cuenta el costo del módulo, costo de reemplazo y costo de mantenimiento.



**FIGURA 59. Designación de convertidor (48VDC/220VAC)**

**FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)**

6) El banco de batería son las encargadas de acumular la energía generada y suministrar al sistema si así lo requiere. Para la designación en el software

debemos de tener en cuenta los precios de mencionado componente ya se ha costo del mismo como costo de reemplazo, costo mantenimiento y costos de operación.



**FIGURA 60. Designación de banco de baterías para el sistema**

*FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)*

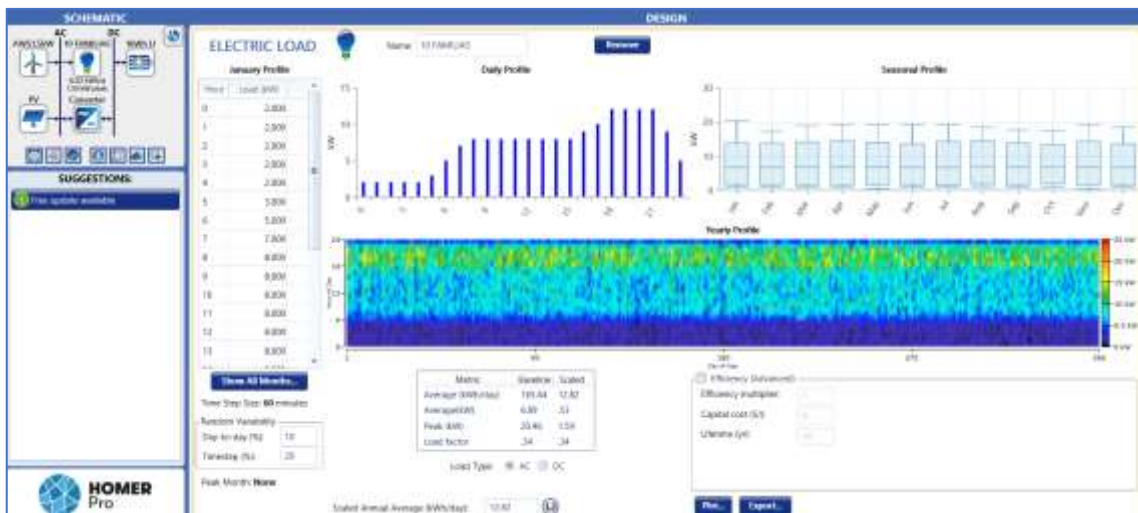
7) Los controladores es un componente encargado de mantener los niveles de tensión y corriente en un rango determinado, esto para salvaguardar el sistema acumulación de energía y demás componentes. El costo del componente, costo de reemplazo y costo de mantenimiento anual, son aspectos que deberemos de tener en cuenta para la consignación del controlador para el sistema.



**FIGURA 61. Designación de controlador**

*FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)*

8) Una vez realizado la designación de todos los componentes para el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico, obtendremos un esquema de generación de energía eléctrica, donde este sistema deberá satisfacer la demanda de consumo diario de 12820 Wh/día. Los componentes asignados son de acuerdo al requerimiento de la carga, recursos naturales disponibles y a los costos actuales del mercado de cada uno de los componentes. Por lo tanto, en la siguiente imagen tendremos en circuito completo del sistema híbrido.



**FIGURA 62. Esquema completo de sistema híbrido eólico fotovoltaico**

**FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)**



## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico en general, se realizó los cálculos correspondientes teniendo en cuenta el análisis de los recursos energéticos, demanda de consumo diario de las 10 familias (12820 Wh/día), horas pico de recursos naturales, meses de mayor índice de recursos naturales, meses de menor índice de recursos naturales, resultados promedio anual, componentes para el dimensionamiento del sistema y varias teorías para un diseño y simulación del sistema híbrido.

#### 5.1. Resultados del sistema de generación fotovoltaico

En el diseño y simulación de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica para satisfacer la demanda energética de las zonas rurales del distrito de Pichacani provincia de Puno, tuvimos en cuenta los siguientes aspectos:

- Demanda de consumo diario: 9378 W-h/día
- Voltaje para el sistema >4001 Wh: 48 V
- Horas pico solar: 5 horas
- Mes con menor índice de irradiación: 5.06 Kw/m<sup>2</sup>/día
- Promedio anual de irradiación: 6.2 Kwh/m<sup>2</sup>/día



- Días de autonomía de las baterías: 2.0 días

### 5.1.1. Resultados del módulo fotovoltaico

En este sistema tenemos una demanda energética de 9378 W.h/día con un factor de protección de 20 %, para lo cual realizando los cálculos obtuvimos los siguientes resultados. Para satisfacer una demanda energética de 11253.60 W-h/día, realizamos diversos cálculos de los cuales obtuvimos:

- Numero módulos fotovoltaicos de 04 unidades de potencia 1000 W, la cual según especificaciones técnica de fabricante este componente tiene una potencia de trabajo 60 %, por tanto, tendríamos una potencia de 4 (600) = 2400 W.
- Este sistema de generación fotovoltaica tiene una producción de energía de 12000 Wh/día.

### 5.1.2. Resultados del controlador (regulador de carga)

Este componente debidamente analizado sus características técnicas, se acomodó mucho más a las expectativas de un diseño y simulación de un sistema fotovoltaico, para lo cual distinguimos por un controlador de carga modelo MPPT 80A - PC18-8015A, de una potencia, corriente y voltaje máximo de 5000W, 80A y 130V correspondientemente.

- Con todas las características mencionadas tendremos 01 controlador de carga para el sistema fotovoltaico.

### 5.1.3. Resultados del inversor

Conforme con los cálculos y análisis del sistema fotovoltaico optamos por el inversor modelo MPPT de 48V, 80A, potencia de 5000W, con una regulación de voltaje de (220VAC~240VAC)  $\pm 5\%$ .

- Según los cálculos tendremos un inversor de (48 VDC a 220 VAC).



#### 5.1.4. Resultados de banco de baterías

Las baterías para el sistema fotovoltaico se evaluaron debidamente para que pueda almacenar el potencial generado por los paneles fotovoltaicos, para lo cual optamos por baterías 6V, 600 A-h y una capacidad de descarga de 85 % del almacenamiento de total.

- El número de baterías en paralelo es de 01 unidades.
- El número de baterías en serie es de 08 unidades.

En consecuencia, para configuración del banco de baterías obtuvimos 8 unidades para sistema fotovoltaico y todas las baterías conectadas en serie para poder tener un voltaje de 48V.

#### 5.1.5. Resultados de los conductores eléctricos

Para determinar la sección de los conductores eléctricos tomamos en cuenta la conductividad eléctrica de aleación de cobre (56 S/m), caída de tensión y corriente para cada tramo.

- Tramo módulo – controlador de carga: 6.37 mm<sup>2</sup>.
- Tramo controlador – batería: 23.80 mm<sup>2</sup>.
- Tramo batería – inversor: 26.79 mm<sup>2</sup>.

#### 5.2. Resultados del sistema de generación eólico

En el diseño y simulación de un sistema eólico para la generación de energía eléctrica para satisfacer la demanda energética de las zonas rurales del distrito de Pichacani provincia de Puno, tuvimos en cuenta los siguientes aspectos:

- Demanda de consumo diario: 3442 W-h/día
- Mes con menor índice de velocidad de viento: 3.0 m/s
- Promedio anual de velocidad de viento: 3.69 m/s
- Días de autonomía del banco de batería: 2.0 días



- Capacidad de descarga de la batería: 85%

### 5.2.1. Resultados de aerogeneradores

En este sistema tenemos una demanda energética de 3442 W-h/día con un factor de protección de 20 %, para lo cual realizando los cálculos obtuvimos los siguientes resultados. Para satisfacer una demanda energética de 4130.40 Kw-h/día, realizamos diversos cálculos de los cuales obtuvimos:

- Numero módulos de aerogeneradores es de 02 unidades de potencia 1000W, la cual según especificaciones técnica de fabricante este componente tiene una potencia de trabajo 300W a una velocidad de viento promedio 5.0 m/s.
- Este sistema de generación fotovoltaica tiene una producción de energía de 4200 W-h/día.

### 5.2.2. Resultados del controlador (regulador de carga)

Este componente debidamente analizado sus características técnicas, se acomodó mucho más a las expectativas de un diseño y simulación de un sistema fotovoltaico, para lo cual distinguimos por un controlador de carga modelo PWM de una potencia, corriente y voltaje máximo de 1500W, 60A y 100V correspondientemente.

- Con todas las características mencionadas tendremos 01 controlador de carga para el sistema eólico.

### 5.2.3. Resultados del inversor

Conforme con los cálculos y análisis del sistema eólico optamos por el inversor modelo MPPT de 48V, 80A, potencia de 5000W, con una regulación de voltaje de (220VAC~240VAC)±5%.

- Según los cálculos tendremos 01 inversor de (48 VDC a 220 VAC).



## 5.2.4. Resultados de banco de baterías

Las baterías para el sistema fotovoltaico se evaluaron debidamente para que pueda almacenar el potencial generado por los paneles fotovoltaicos, para lo cual optamos por baterías 6V, 600 A-h y una capacidad de descarga de 85 % del almacenamiento de total.

- El número de baterías en paralelo es de 1 unidades.
- El número de baterías en serie es de 8 unidades.

En consecuencia, para configuración del banco de baterías obtuvimos 8 unidades para sistema fotovoltaico y todas las baterías conectadas en serie para poder tener un voltaje de 48V.

## 5.2.5. Resultados de los conductores eléctricos

Para determinar la sección de los conductores eléctricos tomamos en cuenta la conductividad eléctrica de aleación de cobre (56 S/m), caída de tensión y corriente para cada tramo.

- Tramo módulo – controlador de carga: 6.37 mm<sup>2</sup>.
- Tramo controlador – batería: 23.80 mm<sup>2</sup>.
- Tramo batería – inversor: 26.79 mm<sup>2</sup>.

## 5.3. Resultados del diseño y simulación de un sistema eólico fotovoltaico

Los resultados del diseño y simulación de un sistema de generación de energía eléctrica, se ha desarrollado en función a parámetros ya establecidos en capítulos anteriores, utilizando conocimientos de electricidad y así obtener un circuito de generación de energía eléctrica híbrida, la simulación de este sistema se diseñó en el software HOMER PRO.

### 5.3.1. Resultados óptimos que genera el software HOMER PRO

The screenshot shows the 'RESULTS' window in HOMER PRO. It has tabs for 'Summary', 'Tables', and 'Graphs'. Below the tabs is an 'Export...' button. The main area is titled 'Optimization Results' with a note: 'Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.' The results are presented in a table with columns for 'Architecture', 'Cost', and 'System'.

Architecture				Cost			System			
PV (kW)	AWS (kWh)	kWh U	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	CDE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren. Frac. (%)	Total Fuel (L/yr)
3.84	1	16	1.74	CC	\$/145,204	\$/1.32	\$/4,110	\$/48,447	100	0
5.39		22	2.33	CC	\$/165,210	\$/1.50	\$/4,505	\$/59,153	100	0

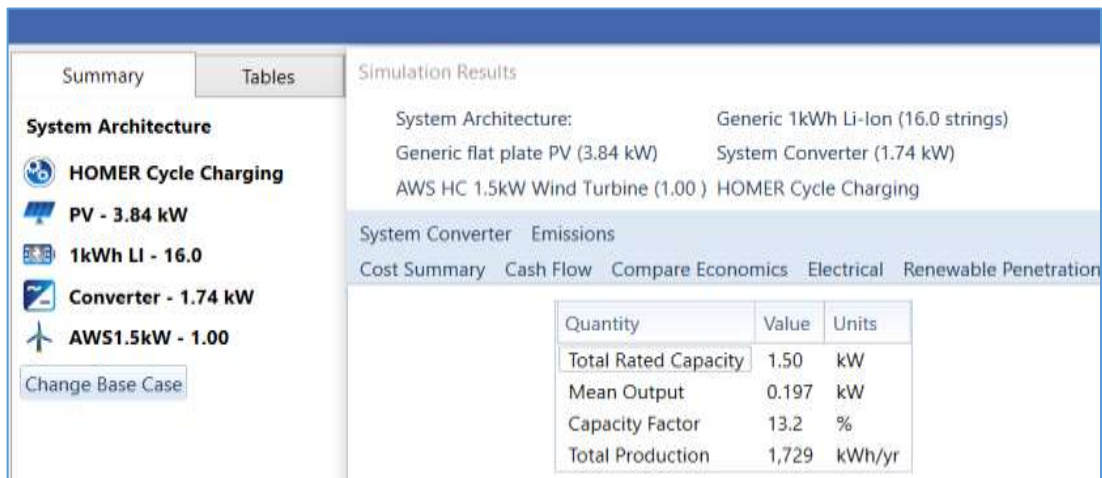
**FIGURA 63. Resultados óptimos de un sistema híbrido**

*FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)*

El software que aplicamos para la simulación del sistema híbrido eólico fotovoltaico, nos presenta dos alternativas de diseño, el primero eólico-fotovoltaico, el segundo solamente fotovoltaico. Estas opciones nos proponen según los datos predeterminados como la demanda de consumo diario de las 10 familias, datos del sistema económico nacional, recursos naturales energéticos de las zonas rurales del distrito de pichacani.

Para un sistema de generación eficiente tomamos como mejor opción la primera alternativa la cual es un sistema híbrido eólico fotovoltaico, donde el costo de capital inicial, costo promedio por Kwh, costo de operaciones neto es menor que la otra alternativa.

### 5.3.2. Resultados dimensionamiento de componentes



**FIGURA 64. Número de componentes**

**FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)**

El número de componentes para el sistema de generación híbrida eólica fotovoltaica, se dimensionan según datos asignados al software de simulación son los siguientes:

- Demanda de consumo diario (carga): 12820 Kw-h/día
- Módulos fotovoltaicos PV: 3.84 Kw
- Aerogeneradores (1.5 Kw): 1.0
- Banco de Baterías: 16.0
- Sistema de conversión: 1.74 Kw
- Controladores (regulador de carga): 1.0

### 5.3.3. Resultados de producción de electricidad

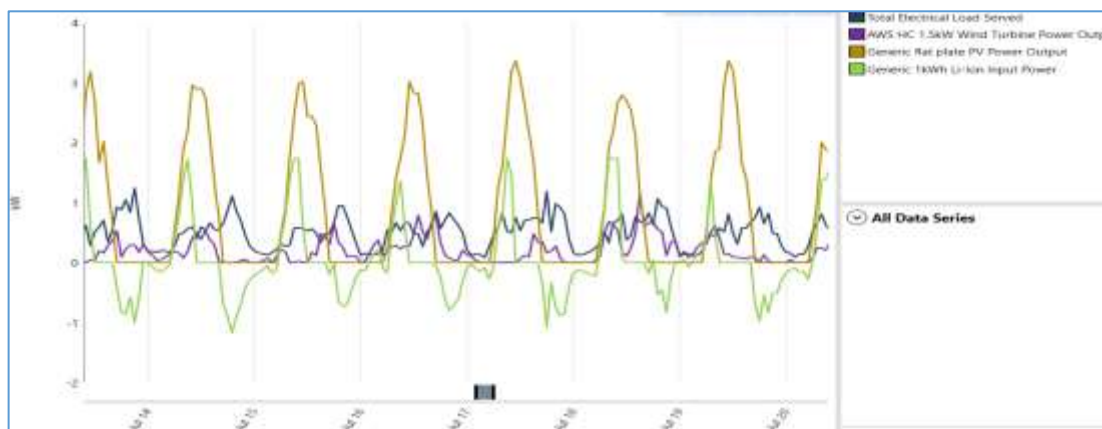


**FIGURA 65. Producción de electricidad**

**FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)**

La producción de energía eléctrica del sistema híbrido eólico fotovoltaico, va a satisfacer la demanda de energética que requiere las 10 familias (12820 kw/día) de las zonas rurales del distrito de pichacani durante 25 años de proyección, teniendo en cuenta particularmente la producción de energía eléctrica del sistema fotovoltaico podría abastecer la demanda establecida mas no independientemente el sistema eólico. La producción del sistema híbrido tendrá un exceso de energía producida anualmente el cual es de 3772 Kw-h/año

### 5.3.4. Resultados del análisis producción en función del tiempo



**FIGURA 66. Análisis de producción con respecto a la demanda**

**FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)**



En este cuadro podemos analizar, el sobredimensionamiento de los sistemas de generación eléctrica, esto para poder satisfacer la demanda de consumo en todo momento del año, conjuntamente con los demás componentes del sistema, visualizamos que la carga establecida es cubierta por la capacidad almacenada de energía eléctrica del banco de baterías, esto asegurando que el sistema de generación híbrida eólica fotovoltaico tenga una mayor eficiencia.

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico costa en evaluar los productos económicos que dieron como resultado para el diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico, entre ellos estudiar la rentabilidad y beneficios que puede brindar el aprovechamiento de los recursos naturales como el viento y la radiación solar.

En este capítulo analizaremos los siguientes parámetros:

- NPC: Costo actual neto total.
- COE: Costo promedio de la energía eléctrica por Kw-h.
- Capital inicial para desarrollar el proyecto.
- Costos de operaciones, mantenimiento y cambio de componentes.
- Análisis y comparación de cada uno de los sistemas de generación.
- La capital inversión de todo el proyecto.
- Principalmente estimar los indicadores económicos como la rentabilidad del proyecto.

#### 6.1. Evaluar el capital inicial de inversión

En la evaluación del capital inicial de inversión valorizaremos los costos del proyecto de generación eléctrica para zonas rurales del distrito de Pichacani, este costo inicial será estimada a corto plazo.



**6.1.1. Capital inicial para sistema eólico fotovoltaico**

**TABLA 17. Costos de componentes y accesorios para el sistema híbrido**

DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
<b>EQUIPOS PARA EL SISTEMA HÍBRIDO</b>				
Aerogeneradores NL 1500L	UND	1	5200.00	5200.00
Panel fotovoltaico UEPMB10-1000	UND	4	2100.00	8400.00
Baterías estacionarias 6V 600AH	UND	16	1900.00	30400.00
Controlador de carga 48V MPPT 5KW	UND	1	1130.00	1130.00
Inversor de corriente 48V MPPT 5KW	UND	1	2100.00	2100.00
<b>ACCESORIOS ELÉCTRICOS</b>				<b>47230.00</b>
Cable sintox LSOH 80°C 10 mm2	METRO	20	11.20	224.00
Cable sintox LSOH 80°C 16 mm2	METRO	35	16.45	575.75
Cable sintox LSOH 80°C 25 mm2	METRO	10	24.49	244.90
Cable sintox LSOH 80°C 35 mm2	METRO	16	32.82	525.12
Cable de cobre desnudo 6 AWG	METRO	15	2.15	32.25
Fusibles 20 Amperios DC, más zócalo	UND	12	15.64	187.68
Fusibles 125 Amperios DC, más zócalo	UND	8	25.80	206.40
Interruptor termomagnético tripolar 25A DC	UND	4	48.63	194.52
Protección sobretensión 1000VDC, 20kA	UND	2	47.25	94.50
Medidor de energía, 80 Amperios riel DIN.	UND	1	102.22	102.22
Interruptor termomag. monofásico 25 <sup>a</sup>	UND	2	3575.00	7150.00
Interruptor diferencial 40 amperios,30 mA	UND	1	50.50	50.50
<b>SOPORTE DE ESTRUCTURAL</b>				<b>9587.84</b>
Estructura de aerogenerador y accesorios.	UND	2	1200.00	2400.00
Soporte, accesorios de paneles solares	UND	4	250.00	1000.00
Tablero 10 polos, 40cm x 30 cm x 15 cm	UND	1	50.36	50.36
Porta fusibles 100 <sup>a</sup>	UND	2	62.30	124.60
<b>OTROS ACCESORIOS</b>				<b>3574.96</b>
Tubería de PVC-SAP 1/2"	UND	50	3.20	160.00
Tubería flexible 1/2"	METRO	30	1.60	48.00
Tubería flexible 3/4"	METRO	35	1.80	63.00
Caja de paso 12x12x15, de PVC	UND	1	4.85	4.85
Cintillo Negro 300 x 7.5 mm	UND	100	0.19	19.20
Pegamento 1/4 litro	LITRO	1/4	12.85	3.21
Abrazaderas de 1"	UND	12	1.20	14.40
Abrazaderas e 1 1/2"	UND	12	1.60	19.20
Tarugos	UND	100	0.29	28.50
Pernos	UND	100	0.65	64.84
OTROS	UND	1	1500	3000.00
<b>SUB TOTAL</b>				<b>1925.20</b>
<b>COSTOS TOTAL DE LA INVERSIÓN</b>				<b>62318.00</b>

**FUENTE:** *Elaboración propia*

La inversión de capital inicial para el sistema de generación híbrida se evaluará de acuerdo a la cantidad, número y precio de los componentes:

Para la instalación de del sistema eólico fotovoltaico, necesitamos tomar en cuenta varios aspectos, así como la estimación de gastos para la adquisición de los componentes del sistema, materiales, costos por mano de obra, entre otros.

**TABLA 18. Costos de mano de obra para la instalación del sistema**

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
<b>MANO DE OBRA PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA</b>				
Ingeniero Supervisor	RRHH	1	1600.00	1600.00
Asistente	RRHH	1	750.00	750.00
Técnico electricista	RRHH	1	1100.00	1100.00
Auxiliar de electricista	RRHH	1	800.00	800.00
Maestro de obras civiles	RRHH	1	450.00	450.00
Auxiliar de obras civiles	RRHH	2	80.00	160.00
<b>COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA</b>				<b>4860.00</b>

**FUENTE:** *Elaboración propia*

## 6.2. Costos después de la inversión inicial

La inversión de todo el proyecto consta de varias etapas, una de ellas es la inversión después de haber realizado las instalaciones correspondientes del sistema eólico fotovoltaico. Esta parte del proyecto estimaremos costos de operación y mantenimiento.

### 6.2.1. Costos de operación, mantenimiento y reemplazo de componentes

Los gastos por operación y mantenimiento de los equipos del sistema eólico fotovoltaico se realizarán cada cierto tiempo con una programación determinada, para ello usamos el software HOMER PRO.

Los mantenimientos para los sistemas híbridos eólico fotovoltaico, se llevaran a cabo por profesionales conocedores sobre estos sistemas de generación, para ello se estableció un gasto por mantenimiento.



**FIGURA 67. Costos por operación, mantenimiento y reemplazo de equipos**

*FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)*

En la figura podemos apreciar la cantidad de componentes que debe tener este sistema de generación eléctrica híbrida eólico fotovoltaico, el capital que se requiere para la operación, mantenimiento, costo de reemplazo de componentes, el cual está debidamente proyectado para la ejecución de estas operaciones. Los mantenimientos y reemplazos de componentes se ejecutarán a lo largo de 25 años.

### 6.2.2. Resultados de flujo de efectivo



**FIGURA 68. Flujo de efectivo durante 25 años**

*FUENTE: Elaboración propia (HOMER PRO)*



En el cuadro de flujo de efectivo tenemos el gasto que se desarrolla paulatinamente durante los 25 años que dura este proyecto de investigación, inicialmente tenemos un gasto de 48447.00 nuevos soles, los siguientes años tenemos gastos de operación y mantenimiento hasta el año 15, donde tendremos que realizar un gasto por reemplazo del banco de baterías al 100 %, en el año 20 tenemos un mantenimiento predictivo a la turbina de viento y en el año 25 se estaría finalizando el proyecto con la venta de algunos componentes que estaría valorizado 13570.00 nuevos soles.

### **6.3. Análisis económico del proyecto**

El análisis económico paso crucial entre el desarrollo del diseño y la ejecución del proyecto, análisis de viabilidad económica, un sistema que brinda esta posibilidad de poder ejecutar un proyecto ya determinado. La inversión prevista debe mostrar un rendimiento suficiente en un periodo adecuado para la económica.

#### **➤ Valor neto actual (VAN)**

Es el valor presente de la inversión y el flujo neto, es decir, el flujo en cada proyecto durante este período, se completa el cálculo de ingresos menos gastos para este proyecto. La tasa de descuento utilizada es de 7.5 % (COK: tasa de descuento), que puede considerarse un costo complementario del proyecto sobre rendimientos futuros (porque los reduce) debido a Nada de eso funcionó hoy.

**Los criterios de evaluación son los siguientes:**

- VAN > 0, inversión recomendada, significa que obtienes la mejor elección de inversión para obtener ganancias.



- $VAN = 0$ , no importa si la inversión propuesta es la mejor opción, es decir ofrecen la misma rentabilidad que la inversión.
- $VAN < 0$ , el inversor deja de ganar dinero frente a su mejor solución, por lo que no es práctico implementar el proyecto.

➤ **Tasa interna de rentabilidad (TIR)**

Es una tasa porcentual que señala la rentabilidad promedio constante que originan los fondos que se mantienen invertidos en el proyecto. Todo matemáticamente evaluados, la tasa de interés de la rentabilidad (TIR) es aquel que hace igual a cero el valor actual neto (VAN) de un flujo de efectivo.

**Los criterios de evaluación son los siguientes:**

- $TIR > 7.5\%$ , es una inversión recomendada, significa que la rentabilidad es este proyecto es superior que la rentabilidad que ofrece la mejor opción de inversión.
- $TIR = 7.5\%$ , no importa si la inversión propuesta es la mejor opción, es decir ofrecen la misma rentabilidad que la inversión.
- $TIR < 7.5\%$ , no es práctico implementar el proyecto.

**TABLA 19. Evaluación de rentabilidad de proyecto**

AÑO	FME	FME/(1+i)^N		
0		-48447.60	<b>PERIODO</b>	ANUAL
1	4329.30	4027.26	<b>NÚMERO DE PERIODO</b>	24
2	4334.82	4032.39	<b>TASA DE DESCUESTO 7.5%</b>	0.075
3	4340.35	4037.53	<b>INGRESO ECONÓMICO ANUAL</b>	<b>7082.76</b>
4	4345.87	4042.67		
5	4351.40	4047.81		
⋮	⋮	⋮		
21	4439.79	4130.04		
22	4445.31	4135.18	<b>VALOR ACTUAL NETO (VAN)</b>	10616.00
23	4450.84	4140.31	<b>TASA INTERNA DE RENTABILIDAD (TIR)</b>	23.28%
24	4456.36	4145.45		
25	4461.89	4150.59		

**FUENTE:** *Elaboración propia*



- En la evaluación económica del proyecto obtuvimos una tasa interna de rentabilidad del 23.28%, del cual interpretamos que el retorno del capital se realizara hasta el periodo 23, y a partir del siguiente periodo serán la rentabilidad para la inversión del proyecto.
- El valor actual neto es de 10616.00, donde  $VAN > 0$ , por lo tanto, se interpreta que el proyecto es viable, donde es recomendable en realizar la inversión.
- Los resultados de la tasa interna de rentabilidad es  $TIR = 23.28\%$ , teniendo como respuesta un índice superior a la tasa de descuento  $TIR > 7.5\%$ , entonces el proyecto de investigación será rentable lo cual es una opción de inversión.

142



## CONCLUSIONES

1. Con la recolección de datos meteorológicos en las zonas rurales del distrito de Pichacani, se pudo realizar los cálculos y la simulación del sistema híbrido, donde concluimos que el potencial energético de la zona es favorable para la instalación de sistemas híbrido, puesto que estos recursos naturales son de fuente inagotable con un índice promedio conveniente para el buen funcionamiento de los sistemas de generación energética.
2. La metodología de solución para un diseño y simulación de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para la generación de energía eléctrica como alternativa energética para zonas rurales del distrito de Pichacani, provincia Puno, se desarrolló por medio del análisis de la situación real de carencia de energía eléctrica, toma de datos e interpretación de recursos naturales de la zona, donde se logra obtener una potencia del sistema proporcional a la demanda energética.
3. Realizados los cálculos matemáticos para el sistema eólico fotovoltaico, se ha dimensionado el diseño del sistema con los siguientes componentes: 08 paneles fotovoltaicos, 2.0 aerogeneradores de 1000W, 1.0 controladores de 5000W, 1.0 inversores de 5000W, 16.0 baterías estacionarias 600 A-H de 6V, para satisfacer la demanda energía diario de 12820 W-h/día,
4. Con los resultados obtenidos en el análisis económico, pudimos concluir que el proyecto de investigación tiene una viabilidad aprobada. El sistema tendrá un costo actual neto de 145240.00 S/. con una inversión inicial de 48447.00 S/. donde el proyecto tendrá TIR de 23.28% y un VAN de 7082.76, según el análisis económico el proyecto tiene una rentabilidad.



## RECOMENDACIONES

1. Una de las recomendaciones más relevantes es que la realización de proyectos de sistemas híbridos eólico fotovoltaico son favorables en la región Puno, puesto que en esta zona del país se encuentran recursos naturales (velocidad de viento, radiación solar) de gran potencial energético, lo cual aprovechando este potencial energético podremos satisfacer necesidades de demanda de energía en lugares alejados al sistema interconectado nacional.
2. Es cierto que en la región tenemos recursos naturales donde podemos realizar proyectos de sistemas de generación de energía eléctrica. Estos recursos deben ser evaluados para cada punto donde queramos instalar mencionados sistemas, ya que los recursos naturales no tienen los mismos índices de potencial energético.
3. Para el dimensionamiento del sistema híbrido eólico fotovoltaico, necesitamos obtener datos meteorológicos de fuente confiable, ya que esta información será en gran parte indispensable para el diseño y simulación del sistema, a partir de ahí ir viendo que equipos se pueden adecuar a estas características.
4. Para el dimensionamiento del sistema realizar una sobredimensión de equipos, por lo que según investigaciones recomiendan un incremento de 20% como factor de seguridad en base a la valorización inicial. Esto se realiza con el objetivo de poder cubrir la demanda de energía los días donde tenemos menor índice de recursos energéticos. El proyecto es una mejor opción ya que se realiza el aprovechamiento de recursos naturales tales como la velocidad del viento y la radiación solar.



## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arturo, C., & Álvarez, M. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA*  
<https://www.uv.mx/rmipe/files/2017/02/Guia-didactica-metodologia-de-la-investigacion.pdf>
- Diaz Galinos, L. (2010). "ANALISIS ENERGETICO DE UN SISTEMA HIBRIDO EOLICO-FOTOVOLTAICO EN EL SECTOR TIPICO IV UTILIZANDO EL METODO DE SERIES SINTETICAS".  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3588>
- Durán Montejano, L. (2012). *Meteorología - Viento - Taller Virtual de Meteorología y Clima*. <http://meteolab.fis.ucm.es/meteorologia/viento>
- Hualpa, M. (2006). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE SISTEMAS HÍBRIDOS EÓLICO- SOLAR EN EL DEPARTAMENTO DE MOQUEGUA* [PONTICIA UNIVERSIDAD CÁTOLICA DEL PERÚ].  
[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/20.500.12404/1032/HUALPA\\_HUAMA\\_NI\\_MAIMER\\_SISTEMAS\\_HIBRIDOS\\_EOLICO\\_SOLAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/20.500.12404/1032/HUALPA_HUAMA_NI_MAIMER_SISTEMAS_HIBRIDOS_EOLICO_SOLAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ORTRAT, S. L. (2005). *ORTRAT S.L. ANEMÓMETROS Y ESTACIONES METEOROLÓGICAS*. [http://ortrat.es/wp-content/uploads/2012/01/documentos\\_ambiente\\_Anemometros-y-Estaciones-meteorologicas.pdf](http://ortrat.es/wp-content/uploads/2012/01/documentos_ambiente_Anemometros-y-Estaciones-meteorologicas.pdf)
- Ponce, C., & Garcia, A. (2014). *Diseños de sistemas Híbridos eólicos solar para suministros de energía eléctrica a zona rural en el estado de Chihuahua*.  
<http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/865/817>



- Quicaño Maque, P. S. (2013). *"METODOLOGÍAS PARA DISEÑOS DE UN MINI SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICA": INGENIERO ELECTRICISTA.*  
<http://190.119.145.154/bitstream/handle/UNSA/3148/ELqumaps.pdf?sequence=1>
- Serván Sócola, J. (2014). *ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE BAJA POTENCIA EÓLICO SOLAR CONECTADO A LA RED.*  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2038/IME\\_176.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2038/IME_176.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- tagle salazar, pablo, & Duque Rivera, J. (2016). *DISEÑOS PRELIMINARES DE UN SISTEMA HIBRIDO DE SUMINISTROS DE ENERGIA DOMOTICA PARA UNA COMUNIDAD AISLADA EN BASE AL MODELADO EN EL SOFTWARE HOMER*  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16039/1/DISE%C3%91O%20PRELIMINAR%20DE%20UN%20SISTEMA%20H%C3%8DBRIDO%20DE%20SUMINISTRO.pdf>
- Werner De Dios Ortega, A., & Errasti Cabrera, M. (2013). Diseño por simulación de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para una vaquería en Cuba Design by simulation of a PV-Wind an isolated dairy farm in Cuba. *Ingeniería Mecánica*, 16(2), 123–131. <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v16n2/im05213.pdf>.

ANEXOS

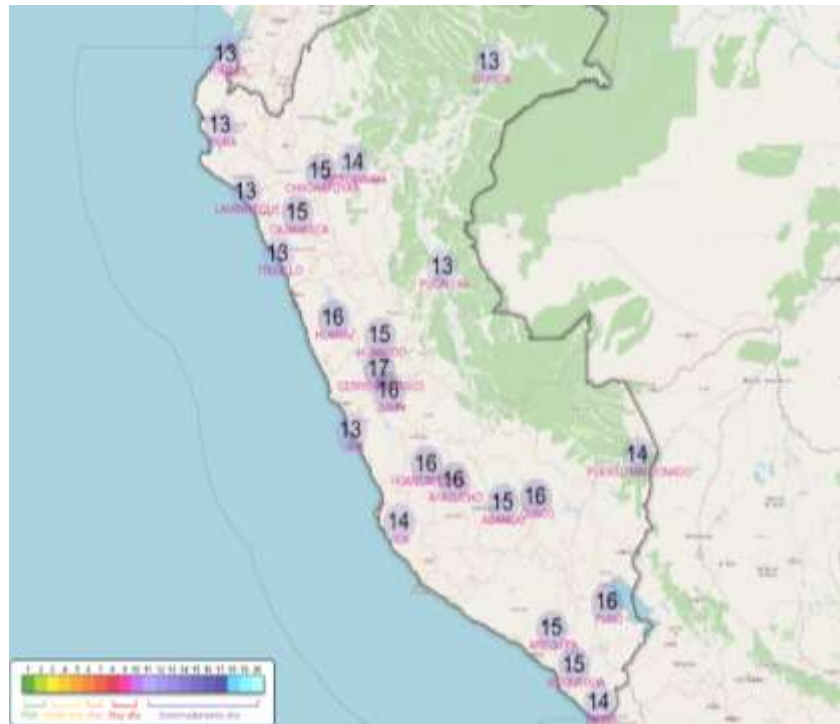


FIGURA 69. Índice de radiación en el Perú

FUENTE: SENAMHI (SENAMHI 2016)

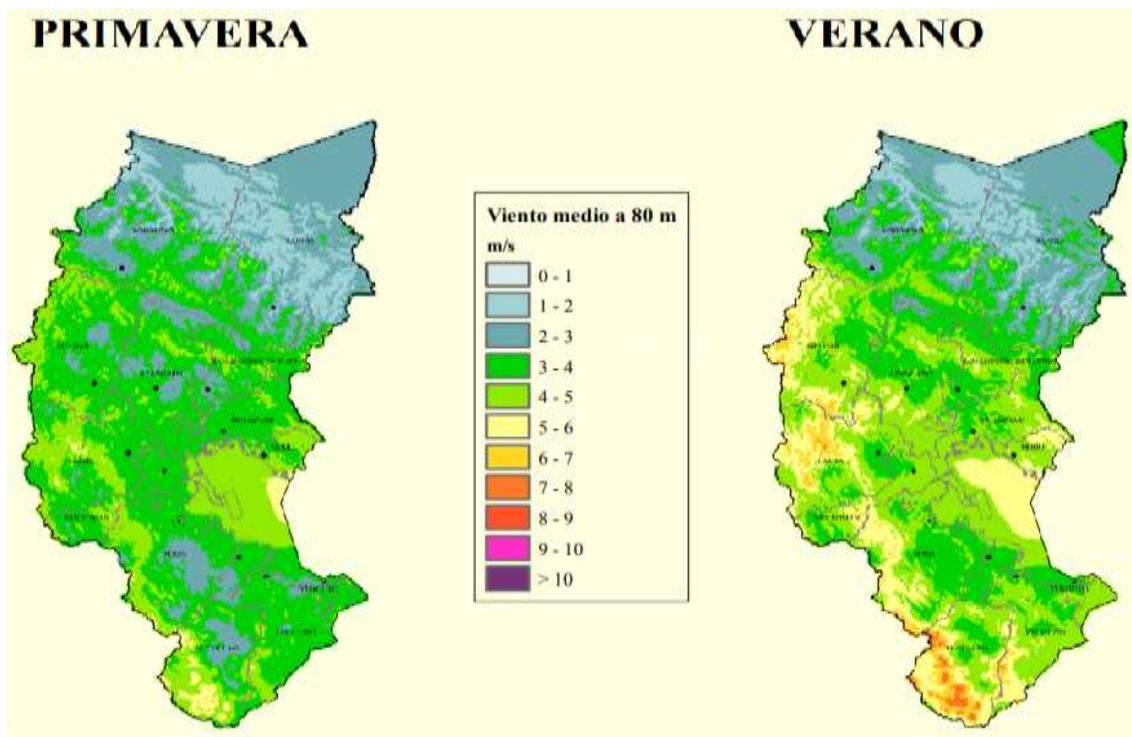


FIGURA 70. Velocidad de viento región Puno

FUENTE: SENAMHI (2016)



## Cables para Construcción



### Alambres y Cables TW-80

**Características:** Aislamiento retardante a la llama, resistente a productos químicos y a la humedad. Colores: Rojo, negro, amarillo, verde, blanco y azul.

**Conductor:** Alambre o cable de cobre suave.

**Aislamiento:** PVC – opcional PVC LS (Low Smoke)

**Tensión de Operación:** 450/750V

**Temperatura de Operación:** En lugares secos y húmedos hasta 80°C

**Instalación:** En ductos, tuberías, tableros, en bandejas portacables (según NEC).

**Aplicación:** Usados para alumbrado eléctrico en edificaciones, instalaciones fijas de propósito general en residencias, edificios comerciales y redes interiores secundarias industriales.

**Rango de Calibre:** 2.5 mm<sup>2</sup> a 300 mm<sup>2</sup> / 14 AWG a 300 kcmil

**Norma de Fabricación:** NTP 370,252

### CABLES Y ALAMBRES TW 80°C 450/750V

Conductor			Espesor de Aislamiento	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)	
Calibre	No. Hilos	Resistencia DC a 20°C				A	B
AWG/kcmil		Ohm/Km	mm	mm	Kg/Km		
16	min 1	13,45	0,7	3,1	18	12	15
14	min 1	8,4443	0,8	3,5	29	22	28
12	min 1	5,3149	0,8	3,9	42	28	33
10	min 1	3,3436	0,8	4,5	63	33	44
8	min 1	2,1021	1	5,7	99	44	66
6	min 6	1,3226	1	6,6	150	61	88
4	min 6	0,8315	1,2	8,2	235	77	116
2	min 6	0,5230	1,2	9,7	359	105	154
1/0	min 18	0,3287	1,4	11,9	558	138	215
2/0	min 18	0,2608	1,4	12,9	692	160	248
3/0	min 18	0,2068	1,6	14,6	874	182	286
4/0	min 18	0,1640	1,6	16,0	1088	215	330
350	min 35	0,0992	2,0	20,9	1796	286	462

Notas:

(\*) Cond: 80°C, Tamb: 30°C, Tdcto: 30°C, a) En ducto, b) Al aire.

\*Los datos aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de fabricación y pueden ser modificados sin previo aviso.  
\*Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo están disponibles bajo pedido.\*

FIGURA 71. Conductores eléctricos TW 80°C 450/750V

FUENTE: [www.catalogoperu.centelsa](http://www.catalogoperu.centelsa)



**Cables para Construcción**

**CABLE TW 80°C 450/750V**

Conductor			Espesor de Aislamiento	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)	
Calibre	No. Hilos	Resistencia DC a 20°C				A	B
mm <sup>2</sup>		Ohm/Km	mm	mm	Kg/Km		
2,5	min 6	7,1928	0,8	3,6	33	24	30
4	min 6	4,4749	0,8	4,1	49	31	35
6	min 6	2,9897	0,8	4,7	69	39	50
10	min 6	1,7764	1	6,0	115	51	74
16	min 6	1,1163	1	7,0	174	68	99
25	min 6	0,7057	1,2	8,7	273	88	132
35	min 6	0,5086	1,2	9,8	369	110	165
50	min 6	0,3752	1,4	11,5	495	138	204
70	min 12	0,2599	1,4	13,3	698	165	253
95	min 15	0,1871	1,6	15,5	964	198	303
120	min 18	0,1485	1,6	17,0	1196	231	352
150	min 18	0,1204	1,8	19,0	1478	264	413
185	min 30	0,0961	2	21,2	1850	303	473
240	min 34	0,0732	2,2	24,1	2416	352	528
300	min 34	0,0582	2,4	26,9	3022	391	633

Notas:  
 (\*) Tcond:80°C, Tamb:30°C, Tducto: 30°C, a) En ducto, b) Al aire.  
 "Los datos aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de fabricación y pueden ser modificados sin previo aviso."  
 "Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo están disponibles bajo pedido."

**FIGURA 72. Conductores eléctricos TW 80°C 450/750V**

**FUENTE: [www.catalogoperu.centelsa](http://www.catalogoperu.centelsa)**



## Cables para Construcción



### Cables SintoX LSOH-80

**Características:** Cable monopolar con conductor de cobre suave aislado con una poliolefina termoplástica con características LSOH.

**Conductor:** Conductor de cobre suave, sólido o cableado.

**Aislamiento:** Poliolefina termoplástica libre de halógenos, baja emisión de humos tóxicos, retardante a la llama.

**Tensión de Operación:** 450/750 V

**Temperatura de Operación:** 80°C

**Instalación:** En tubería conduit, canaletas cerradas, instalaciones subterráneas, bandeja portacables, equipos eléctricos y electrónicos

**Aplicación:** Ideal para instalación en lugares con una alta concentración de personas, de poca ventilación, en los cuales ante un incendio, NO tengan emisiones de gases halógenos, tóxicos o corrosivos, humos oscuros, ampliando el tiempo disponible para una posible evacuación, limitando el efecto corrosivo del humo en equipos electrónicos, industriales o informáticos.

**Rango de Calibre:** 1.5 mm<sup>2</sup> – 400 mm<sup>2</sup>

**Norma de Fabricación:** NTP 370.252, IEC 60332-3 Cat. C, IEC 60754-2

### CABLE SINTOX LSOH 80°C 450/750V

Conductor			Espesor de Aislamiento	Diámetro Exterior Aproximado	Peso Total Aproximado	Capacidad de Corriente (*)	
Calibre	No Hilos	Resistencia DC a 20°C				A	
		Ohm/Km				a	b
1,5	min 6	11,7453	0,7	3,1	22	14	18
2,5	min 6	7,1928	0,8	3,6	33	24	30
4	min 6	4,4749	0,8	4,1	49	31	35
6	min 6	2,9897	0,8	4,7	69	39	50
10	min 6	1,7764	1	6,0	115	51	74
16	min 6	1,1163	1	7,0	174	68	99
25	min 6	0,7057	1,2	8,7	273	88	132
35	min 6	0,5086	1,2	9,8	369	110	165
50	min 6	0,3752	1,4	11,5	496	138	204
70	min 12	0,2599	1,4	13,3	698	165	253
95	min 15	0,1871	1,6	15,5	965	198	303
120	min 18	0,1485	1,6	17,0	1196	231	352
150	min 18	0,1204	1,8	19,0	1478	264	413
185	min 30	0,0961	2	21,2	1850	303	473
240	min 34	0,0732	2,2	24,1	2417	352	528
300	min 34	0,0582	2,4	26,9	3023	391	693
400	min 53	0,0456	2,6	30,1	3845	451	737

Notas:

(\*) Tcond:80°C; Tamb:30°C; Tducto: 30°C. a) En ducto; b) Al Aire

"Los datos aquí indicados están sujetos a las tolerancias normales de fabricación y pueden ser modificados sin previo aviso."

"Otras configuraciones y calibres no especificados en este catálogo están disponibles bajo pedido."

FIGURA 73. Conductores eléctricos TW 80°C 450/750V

FUENTE: [www.catalogoperu.centelsa](http://www.catalogoperu.centelsa)



**IMPORTACIONES LIDERS S.A.C**  
CALLAS CHULPAS NRO. 450 URB. ZARATE  
LIMA - LIMA - SAN JUAN DE LURIGANCHO  
Teléfono: 01 3222178 | 958 957 597 957 445 043 948  
005 455  
administracion@fotovoltaicosperu.com  
www.energiasrenovablesperu.com

R.U.C. 20601344026

PROFORMA

N° P002-601

Señor(es) : ENDARA SANCHO VICTOR ALFONSO

Dirección :

D.N.I. : 47371849

Atención : +51 950 765 345

Teléfono : Ing. Arturo Lugo

Rodriguez

Fecha Emisión	Moneda	Forma de Pago	Plazo Entrega	Garantía
16/12/2022	SOLES			

Item	Cod.	Cant.	U/M	Descripción	Valor Unit.	Valor Total
1		1.00	NIU	AEROGENERADOR EJE HORIZONTAL DE 1500W/48V -FD2.2-1500. CLASE A	4,406.78	4,406.78
2		1.00	NIU	CONTROLADOR DE CARGA EOLICO/SOLAR DE 30AMP - JN-48-W1500.	1,796.61	1,796.61
3	000037	1.00	NIU	Inversor Controlador Onda Pura de 5000W/48V+MPPT100A LIDERS	4,745.76	4,745.76
4		4.00	NIU	BATERIAS GEL LIBRE MANTENIMIENTO DE 300AH/12 - CLASE A - LIDERS	1,618.64	6,474.58
5		2.00	NIU	PANEL SOLAR MONOCRISTALINO DE 400W/24V - CLASE A - TRINA/LIDERS	889.83	1,779.66

SON: VEINTIDOS MIL SEISCIENTOS SESENTA CON 00/100 SOLES S/.	Venta Gravada	: S/.	19,203.39
	Total I.G.V.	: S/.	3,456.61
	Total Precio de Venta	: S/.	22,660.00

Observaciones:

\*SIRVASE ABONAR EN NUESTRAS CUENTAS\*

BANCO	SOLES	DÓLARES
	191-2300917-0-84 / CCI : 00219100230091708458	191-2020280-1-78 / CCI : 00219100202028017851
	139-300126755-6 / CCI : 003-139-003001267556-34	139-300182368-7 / CCI : 003-139-003001823687-34
	0011-0717-0100017782 / CCI : 011-717-000100017782-62	0011-0717-0100017790 / CCI : 011-717-000100017790-65
	00360017602100001001 / CCI : 803-002-003600176001-50	00360017602110102001 / CCI : 0803-002-003600176002-58

\*GRACIAS POR SU PREFERENCIA\*

www.facturaonline.pe





## Cotización

Autosolar Energía del Perú S.A.C

VICTORINO

Carretera Panamericana Sur KM 29.5 Megacentro, Unidad I-6, Lurin  
Referencia: Frente a Campomar, entrada al Megacentro altura Puente VIDU  
Teléfono: (01)715-1357 WhatsApp: 993943927  
autosolar@autosolar.pe  
R.U.C: 20602492118

VICTORINO

DOCUMENTO	NÚMERO	PÁGINA	FECHA
Presupuesto	1 021622	1	16/12/2022

CLIENTE	R.U.C.	AGENTE	CONDICION DE PAGO	VALIDEZ DE LA OFERTA
30863	29	jennifer.chapilliquen@autosolar.pe - Anexo 4105	Contado	15 días, salvo cambio de tarifa

### GARANTÍA DE UN AÑO EN LOS EQUIPOS OFERTADOS

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UD.	SUBTOTAL	DTO.	TOTAL
	*COTIZACION DE EQUIPOS***	1,00				
1002324	Panel Solar JA SOLAR 545W 24V Mono PERC Half-Cell	1,00	902,67	902,67		902,67
3004092	Inv. Carg. MUST 5000W 48V MPPT 80A Alta Frecuencia	1,00	2.487,82	2.487,82		2.487,82
2002512	Controlador Carga MPPT LCD 60A 12/24/48V MustSolar	1,00	958,05	958,05		958,05
1708242	Batería GEL 150Ah 12V Tensite	1,00	622,63	622,63		622,63
1702510	Batería TENSITE GEL 6V 600Ah C120	1,00	1.793,33	1.793,33		1.793,33
	*NOTA: - LOS ENVÍOS A PROVINCIA SE REALIZAN MEDIANTE LAS AGENCIAS MARVISUT O SHALOM, CON PAGA A DESTINO - EL COSTO DE ENVÍO ES ADICIONAL AL MONTO COTIZADO	1,00				

TIPO	IMPORTE	DESCUENTO	PRONTO PAGO	PORTES	FINANCIACIÓN	BASE	I.G.V	R.E.
18,00	6.764,50					6.764,50	1.217,61	
10,00								
4,00								

**TOTAL: S/. 7.982,11**

COMPRA DEL DÍA DE HOY SERÁN PROCESADAS AL DÍA SIGUIENTE LABORAL  
GARANTÍA DE TRANSPORTE A PROVINCIA SOLO POR LAS EMPRESAS:

**MARVISUR - SHALOM**

**NO INCLUYE ENVÍO A OTRAS AGENCIAS NI INSTALACION, SALVO SE INDIQUE EN LA COTIZACIÓN**

**TIPO DE MONEDA: NUEVOS SOLES**  
**PARA DOLARES: TIPO DE CAMBIO DEL DÍA: 3,65**

Firmado Autosolar



FORMA DE PAGO: TRANSFERENCIA BANCARIA

**DATOS BANCARIOS EN SOLES Y DOLARES**

BCP SOLES: 1942448005022 / CCI: 00219400244800502298

BCP DOLARES: 1942552861183 / CCI: 00219400255286118390

INTERBANK SOLES: 6373001500225 / CCI: 00363700300150022563



Lima: Av. Los Nogales 530 -2° piso Urb. Canto Bella (01)7190522/0523  
 Arequipa: Calle Paucarpata 130 Of. 113 Cercado (054)231932  
 Web: <https://www.panelesolaresperu.com/>  
 E-mail: [cotizaciones@fotovoltaicosperu.com](mailto:cotizaciones@fotovoltaicosperu.com)

## SMALL WIND TURBINE 1.5 KW



Model	1.5kW
Rated power	1,500 W
Maximum power	1,800 W
Rated voltage	48/96 V
Start-up wind speed	2.5 m/s
Rated wind speed	10 m/s
Survival wind speed	45 m/s
Top net weight	52 kg
Wheel diameter	3.2 m
Number of blades	3
Blades material	Reinforced glass fiber
Generator	Three phase permanent magnet ac synchronous generator
Magnet	NdFeB
Generator case	Casting aluminum alloy
Control system	Electromagnet/wind wheel yaw
Speed regulation	Automatically adjust windward direction
Working temperature	from -40°C to 80°C
Tower height (m) recommended	6 (3m*2)
Package dimension	67*48*26cm 140*26*17cm
Gross weight	58 kg



## UZS600-6

6V 600AH

# Ultracell®

Quality in Every Language

### UZS600-6



### Physical Specification

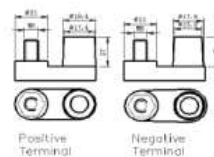
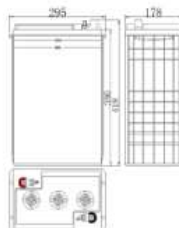
Part Number	UZS600-6
Length	295 ± 2 mm
Width	178 ± 2 mm
Container Height	405 ± 2 mm
Total Height (with terminal)	408 ± 2 mm
Without Electrolyte	34.5 kg
With Electrolyte	52.0 kg

### Specifications

	Nominal Voltage	6V
	Nominal Capacity (120HR)	600AH
Terminal Type	Standard Terminal	F22
Container Material	Standard Option	ABS
Rated Capacity	120hr, 1.80V/cell, 25°C	600.0 AH/ 5.00A
	100hr, 1.80V/cell, 25°C	550.0 AH/ 5.50A
	10hr, 1.80V/cell, 25°C	360.0 AH/ 36.0A
	5hr, 1.75V/cell, 25°C	324.0 AH/ 64.8A
	1hr, 1.60V/cell, 25°C	202.0 AH/ 202A
Max Discharge Current	1300A (5s)	
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -15°C~50°C(5°F~122°F)
		Charge: -10°C~50°C(14°F~122°F)
		Storage: -20°C~50°C(-4°F~122°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25±3°C
	Float Charging Voltage (25°C)	6.60 ~ 6.72V at 25°C Temp. Coefficient -18mV/°C
	Cycle Charging Voltage (25°C)	7.05 ~ 7.20V at 25°C Temp. Coefficient -30mV/°C
	Capacity affect by Temperature (10HR)	40°C 102% 25°C 100% 0°C 85% -15°C 65%
Design Floating Life at 20°C	20 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

### Dimensions

#### F22 Terminal



Positive Terminal

Negative Terminal

ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE



## Specification

MODEL		PV18-2024 VHM	PV18-3024 VHM	PV18-3048 VHM	PV18-4048 VHM	PV18-5048 VHM	PV18-5548 VHM
Nominal Battery System Voltage		24VDC			48VDC		
INVERTER OUTPUT	Rated Power	2000W	3000W	3000W	4000W	5000W	5500W
	Surge Power	4000W	6000W	6000W	8000W	10000W	11000W
	Waveform	Pure Sine Wave					
	AC Voltage Regulation (Batt.Mode)	(220VAC~240VAC)±5%					
	Inverter Efficiency(Peak)	93%					
	Transfer Time	10ms (UPS / VDE4105) 20ms (APL)					
AC INPUT	Voltage	230VAC					
	Selectable Voltage Range	170-280VAC(UPS) / 90-280VAC(APL) / 184-253VAC(VDE4105)					
	Frequency Range	50Hz / 60Hz(Auto sensing)					
BATTERY	Normal Voltage	24VDC		48VDC			
	Floating Charge Voltage	27.4VDC		54.8VDC			
	Overcharge Protection	30VDC		60VDC			
SOLAR CHARGER & AC CHARGER	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	145VDC					
	PV Array MPPT Voltage Range	30-130VDC		60-130VDC			
	Standby Power Consumption	2W					
	PV Input Power	2000W		4000W			
	Maximum Solar Charge Current	80A					
	Maximum Efficiency	98%					
	Maximum AC Charge Current	20A/30A		60A			
	Maximum Charge Current	80A		140A			
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Machine Dimensions(W*H*D)(mm)	300*414*116		329*485*134			
	Package Dimensions(W*H*D)(mm)	423*599*257		426.5*507*250			
	Net Weight(kg)	10	11	12			
	Gross Weight(kg)	11.7	12	13.5			
OTHER	Humidity	5% to 95% Relatly Humidity (Non-condensing)					
	Operating Temperature	0°C-50°C					
	Storage Temperature	-15°C ~60°C					

## MUST™

### PC1800A Series (60A/80A) MPPT Solar Charge Controller



- |                                |                                        |                              |
|--------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| 1. LCD display                 | 5. Operation button                    | 9. Wiring box cover          |
| 2. Power ON/Charging indicator | 6. PV connectors                       | 10. RS485 communication port |
| 3. Fault and warning indicator | 7. Battery connectors                  | 11. USB                      |
| 4. Wiring fault indicator      | 8. Battery temperature sensor terminal |                              |

MODEL		PC18-6015A		PC18-8015A	
Nominal Battery System Voltage		12V/24V/48VDC (Auto detection); 36V (Setting)			
ELECTRICAL SPECIFICATIONS	Battery Voltage	12V	24V	36V	48V
	Maximum Battery Current	60Amps		80Amps	
	Battery Voltage				
	PV Array MPPT Voltage Range	15-95V	30-130V	45-130V	60-130V
	Maximum Input Power	12 Volt-940W 24 Volt-1880W 36 Volt-2820W 48 Volt-3760W		12 Volt-1250W 24 Volt-2500W 36 Volt-3750W 48 Volt-5000W	
Protections	Solar high voltage disconnect Solar high voltage reconnect Battery high voltage disconnect Battery high voltage reconnect High temperature disconnect High temperature reconnect				
BATTERY CHARGING	Charging Algorithm	3-Step or 4-Step (Li)			
	Charging Stages	Bulk, Absorption, Float			
	Temperature Compensation Coefficient	-5mV / °C / cell (25°C ref.)			
	Temperature Compensation Range	0°C to +50°C			
	Temperature Compensation Set Points	Absorption, Float			
	Charging Set Points	Absorption Stage		Float Stage	
	Flooded Battery	14.2V/28.4V/42.6V/56.8V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	AGM / GEL / LEAD Battery (Default)	14.4V/28.8V/43.2V/57.6V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	Over-charging Voltage	15.5V/30.0V/45.0V/60.0V			
	Over-charging Comeback Voltage	14.5V/29.5V/44.5V/59.0V			
Battery Defect Voltage	10.0V/17.0V/25.5V/34.0V				
MECHANICAL AND ENVIRONMENT	Product Size (W*H*D)(mm)	315*160*135			
	Product Weight (kg)	4.7kg			
	Ambient Temperature Range	-10°C to 75°C			
	Storage Temperature	-40°C to 75°C			
	Humidity	0% -90% RH (No condensing)			
	Enclosure	IP20			



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 19 DE JUNIO DEL 2024

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: VICTOR ALFONSO ENDARA SANCHO

Dirección: JR. LOS CASTAÑOS N° 322 URB. LOS KENUALES

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 47371849

Teléfono: 950765345 email: vandara35@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Asesor: M.Sc MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO EÓLICO FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO DE PICHACANI, PROVINCIA DE PUNO

Palabras claves, (3 a 5 términos): DISEÑO, SIMULACIÓN, ENERGÍA ELÉCTRICA

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



### Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELÉCTRICA - P18

  
Firma de Autor



huella digital

19 DE JUNIO DEL 2024

Fecha