

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de un sistema híbrido para cubrir demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa**

Amilcar Suarez Quintanilla

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **AGRADECIMIENTO**

A mis docentes de la Universidad Continental

A mi linda madre

## **DEDICATORIA**

A las personas que tienen muchos deseos de aprender y de poder compartir sus conocimientos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Agradecimiento</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xv</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>16</b>
<b>Planteamiento del problema</b> .....	<b>16</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.1.1. Problema general.....	19
1.1.2. Problemas específicos .....	20
1.2. Objetivos.....	20
1.2.1. Objetivo general .....	20
1.2.2. Objetivos específicos.....	20
1.3. Justificación e importancia.....	20
1.3.1. Justificación.....	20
1.3.2. Importancia.....	21
1.4. Hipótesis y descripción de variables .....	21
1.4.1. Hipótesis general .....	21
1.4.2. Hipótesis específicas .....	21
<b>Capítulo II</b> .....	<b>25</b>
<b>Marco teórico</b> .....	<b>25</b>
2.1. Antecedentes del problema .....	25
2.1.1. Nivel internacional .....	25
2.1.2. Nivel nacional .....	26
2.2. Bases teóricas .....	28
2.2.1. Electrificación rural.....	28
2.2.2. Proyección de la población .....	28
2.2.3. Índice de habitantes por vivienda.....	28
2.2.4. Demanda eléctrica.....	29
2.2.5. Energía eólica.....	29
2.2.6. Velocidad del viento.....	29

2.2.7. Coeficiente de Hellman .....	29
2.2.8. Potencia eólica.....	30
2.2.9. Aerogeneradores.....	30
2.2.10. Energía solar fotovoltaica.....	31
2.2.11. Sistema solar fotovoltaico .....	31
2.2.11.1. Generador fotovoltaico.....	32
2.2.11.2. Regulador o controlador.....	33
2.2.11.3. Inversor .....	33
2.2.11.4. Banco de baterías .....	34
2.2.11.5. Diseño del sistema fotovoltaico .....	34
2.2.11.6. Determinación de la radiación solar.....	35
2.2.11.7. Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos .....	36
2.2.11.8. Dimensionamiento de las baterías.....	37
2.2.11.9. Selección del inversor .....	38
2.2.12. Sistema híbrido eléctrico.....	38
2.2.13. Dimensionamiento de los conductores.....	39
2.2.14. Valor actual neto .....	39
2.2.15. Tasa interna de retorno .....	40
2.2.16. Evaluación del costo beneficio (B/C).....	40
2.2.17. Tasa de descuento.....	40
2.3. Definición de términos básicos.....	40
<b>Capítulo III .....</b>	<b>42</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>42</b>
3.1. Método y alcance de la investigación.....	42
3.2. Diseño de la investigación .....	42
3.3. Población y muestra .....	43
3.3.1. Población.....	43
3.3.2. Muestra.....	43
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	44
3.4.1. Recolección de datos .....	44
3.4.2. Procesamiento de datos .....	45
<b>Capítulo IV .....</b>	<b>46</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>46</b>
4.1. Determinación de la demanda eléctrica actual .....	46
4.1.1. Diagnóstico situacional del centro poblado de Huanchos.....	46
4.1.2. Determinación de la demanda eléctrica.....	47

4.1.3. Proyección de la demanda del centro poblado de Huanchos .....	50
4.1.3.1. Índice de habitantes por vivienda.....	50
4.1.3.2. Proyección de la población .....	50
4.1.3.3. Proyección de las viviendas .....	51
4.1.3.4. Proyección de la demanda.....	51
4.2. Dimensionamiento del sistema híbrido para el centro poblado de Huanchos.....	52
4.2.1. Evaluación de la disponibilidad eólica.....	52
4.2.1.1. Temperatura .....	52
4.2.1.2. Velocidad del viento.....	52
4.2.1.3. Distribución de Weibull .....	53
4.2.1.4. Densidad del aire.....	55
4.2.1.5. Potencial energético del viento .....	55
4.2.2. Evaluación de la disponibilidad solar.....	56
4.2.3. Dimensionamiento de los módulos de energía disponible .....	58
4.2.3.1. Selección del aerogenerador.....	58
4.2.4. Cálculo de la potencia del aerogenerador.....	60
4.2.5. Cálculo de la velocidad del viento a una altura de 12 m.....	60
4.2.6. Cálculo de la potencia aprovechable del viento .....	61
4.2.7. Cálculo de la potencia del aerogenerador.....	61
4.2.8. Controlador de carga para el sistema eólico.....	62
4.2.9. Selección de paneles fotovoltaicos.....	63
4.2.9.1. Número de paneles en serie: (NPserie) .....	66
4.2.9.2. Número de paneles en paralelo: (NPparalelo).....	66
4.2.10. Controlador para los paneles fotovoltaicos .....	66
4.2.10.1. Capacidad nominal del controlador.....	66
4.2.10.2. Dimensionamiento del sistema de acumulación de energía.....	67
4.2.11. Selección del inversor .....	70
4.2.12. Dimensionamiento de conductores eléctricos .....	71
4.2.12.1. Tramo aerogenerador – regulador .....	72
4.2.12.2. Tramo regulador (aerogenerador) – acumulador.....	74
4.2.12.3. Tramo campo fotovoltaico – regulador .....	75
4.2.12.4. Tramo campo regulador – acumulador .....	76
4.2.12.5. Tramo acumulador – inversor .....	77
4.2.12.6. Tramo inversor – tablero .....	77
4.2.13. Determinación del área para la instalación del sistema híbrido .....	79
4.2.13.1. Cálculo del ángulo óptimo ( $\beta$ ) .....	79
4.2.13.2. Distancia de sombras y distancia mínima entre paneles .....	79

4.2.14. Análisis de costo-beneficio del sistema eólico-fotovoltaico .....	82
4.2.15. Resultados descriptivos .....	90
4.2.16. Resultados inferenciales .....	91
4.3. Diseño del sistema híbrido para cubrir la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica ....	92
4.4. Discusión de los resultados .....	92
4.4.1. Contrastación de resultados.....	92
4.4.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	92
<b>Conclusiones .....</b>	<b>94</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>95</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>96</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	23
Tabla 2. Resumen de información del centro poblado Huanchos .....	46
Tabla 3. Cargas de vivienda unifamiliar del SCE «E» .....	49
Tabla 4. Equipos eléctricos en un puesto de salud .....	49
Tabla 5. Equipos eléctricos en un centro educativo .....	50
Tabla 6. Cargas para alumbrado público.....	50
Tabla 7. Resumen de proyección de la población .....	51
Tabla 8. Consumo eléctrico total del centro poblado de Huanchos .....	51
Tabla 9. Análisis descriptivo de las velocidades del viento .....	53
Tabla 10. Tabulación de los valores $x_i - y_i$ .....	54
Tabla 11. Distribución de probabilidad del viento .....	55
Tabla 12. Cálculo de la densidad de potencia eólica.....	56
Tabla 13. Promedio mensual de radiación solar del 2020.....	57
Tabla 14. Resumen de los parámetros iniciales .....	58
Tabla 15. Características técnicas del aerogenerador AH-10 kW .....	59
Tabla 16. Características del regulador eólico .....	62
Tabla 17. Características técnicas del panel fotovoltaico.....	64
Tabla 18. Irradiancia mensual .....	65
Tabla 19. Características técnicas del controlador fotovoltaico.....	67
Tabla 20. Parámetros generales del sistema diseñado.....	68
Tabla 21. Características técnicas de la batería.....	69
Tabla 22. Características técnicas del inversor .....	70
Tabla 23. Distancias de equipos para cálculo de conductores eléctricos .....	71
Tabla 24. Calibres de conductores según CNE .....	73
Tabla 25. Sección de conductores para una corriente de 252 A.....	78
Tabla 26. Resumen de distancias entre los equipos del sistema híbrido .....	78
Tabla 27. Valor referencial de los equipos del sistema híbrido .....	82
Tabla 28. Costos de mano de obra directa .....	83
Tabla 29. Costos directos .....	83
Tabla 30. Costos indirectos del proyecto .....	83
Tabla 31. Inversión total del proyecto.....	84
Tabla 32. Costos por mantenimiento.....	84
Tabla 33. Depreciación anual de equipos.....	84
Tabla 34. Generación de energía eléctrica .....	85
Tabla 35. Parámetros para calcular los indicadores económicos .....	85

Tabla 36. Evaluación económica del proyecto.....	88
Tabla 37. Resultado de los indicadores económicos.....	89
Tabla 38. Estimación de la radiación solar y la energía eólica para el 2021 mediante promedios móviles.....	90
Tabla 39. Análisis descriptivo de la demanda.....	90
Tabla 40. Prueba de normalidad de la demanda.....	91
Tabla 41. Prueba de t-Student de la demanda.....	91
Tabla 42. Matriz de consistencia.....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de acceso a la electricidad a nivel mundial .....	17
Figura 2. África Subsahariana, región de África con menor acceso a la electricidad .....	17
Figura 3. Acceso a la electricidad entre los años 2000-2019 zona urbana.....	18
Figura 4. Acceso a la electricidad entre los años 2000-2019 zona rural .....	18
Figura 5. Proyección de electrificación para el 2025 .....	19
Figura 6. Coeficientes de Hellman según la rugosidad del terreno .....	29
Figura 7. Aerogenerador de eje horizontal.....	30
Figura 8. Aerogenerador de eje vertical .....	31
Figura 9. Estructura de un generador fotovoltaico .....	33
Figura 10. Formación de una onda cuadrada por medio de pulsos .....	34
Figura 11. Directrices para el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados.....	35
Figura 12. Presentación de la información de radiación solar .....	36
Figura 13. Estructura de un sistema híbrido eólico – fotovoltaico.....	39
Figura 14. Ingreso promedio mensual en los hogares de la región Huancavelica.....	47
Figura 15. Distribución socioeconómica del Perú.....	47
Figura 16. Consumo por nivel socio económico.....	48
Figura 17. Categorías de niveles socioeconómicos.....	48
Figura 18. Temperatura mensual del 2020.....	52
Figura 19. Histograma de frecuencias para el viento .....	53
Figura 20. Regresión lineal de $x_i$ vs. $y_i$ .....	54
Figura 21. Densidad de potencia eólica .....	56
Figura 22. Dimensiones del aerogenerador .....	60
Figura 23. Determinación de la densidad de potencia a 4.62 m/s .....	61
Figura 24. Dimensiones del panel fotovoltaico JAM72S20 440-465/MR.....	79
Figura 25. Disposición de distancia entre sombras de los paneles fotovoltaicos .....	80
Figura 26. Distribución de los paneles fotovoltaicos .....	81
Figura 27. Distribución general de los componentes del sistema híbrido .....	82
Figura 28. Periodo de recuperación de la inversión .....	89

## RESUMEN

La inaccesibilidad a la energía eléctrica, supone un obstáculo para el crecimiento de muchas comunidades rurales del país, como el centro poblado de Huanchos que es un centro poblado que cuenta con 203 habitantes y un total de 89 viviendas, las cuales se encuentran desconectadas a la red eléctrica, por lo que muchos pobladores de la localidad optan por soluciones como el uso de combustibles para la generación de energía, emitiendo gases contaminantes al ambiente; por tal razón, la presente investigación, tiene por objetivo proponer el diseño de un sistema híbrido eólico – fotovoltaico para el centro poblado de Huanchos del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, del departamento de Huancavelica. La metodología de la investigación es de tipo aplicativo, diseño experimental y enfoque cuantitativo, y las técnicas aplicadas fueron la observación y análisis documental. Los resultados obtenidos indican que Electrocentro proporciona un suministro mensual de solo 1 194,09 kWh, equivalente al 60 % de la demanda actual con un valor de 1 989,86 kWh, la energía promedio que demandan las viviendas, escuela y otros centros que se proyectó para 20 años tiene un valor de 8667,7 kWh y una potencia instalada de 113 kW, cubierta por el sistema híbrido conformado por el aerogenerador de 10 kW y 162 paneles de 465 W. Se concluyó que la implementación del sistema híbrido cubre el 100 % de la demanda actual, así mismo, cubre hasta un crecimiento poblacional estimado al 2041, el costo de inversión fue de S/ 630 452.64, el análisis del TIR indicó una tasa del 31 % y un costo beneficio de S/ 3.61 con un tiempo de retorno de 3.3 años.

**Palabras claves:** aerogenerador, energía renovable, paneles fotovoltaicos, sistema híbrido

## ABSTRACT

The inaccessibility to electrical energy represents an obstacle to the growth of many rural communities in the country, such as the town center of Huanchos, which is a town center that has 203 inhabitants and a total of 89 homes, which are disconnected from the electrical network, so many local residents opt for solutions such as the use of fuels for energy generation, emitting polluting gases into the environment; For this reason, the objective of this research is to propose the design of a hybrid wind - photovoltaic system for the town of Huanchos in the district of Paucarbamba, province of Churcampa, in the department of Huancavelica. The research methodology is of an application type, experimental design and quantitative approach, and the techniques applied were observation and documentary analysis. The results obtained indicate that Electrocentro provides a monthly supply of only 1194.09 kWh, equivalent to 60 % of the current demand with a value of 1989.86 kWh, the average energy demanded by homes, schools and other centers that projected for 20 years has a value of 8667.7 kWh and an installed power of 113 kW, covered by the hybrid system made up of the 10 kW wind turbine and 162 465 W panels. It was concluded that the implementation of the hybrid system covers the 100 % of the current demand, likewise, covers up to an estimated population growth in 2041, the investment cost was S/ 630 452.64, the IRR analysis indicated a rate of 31 % and a cost benefit of S/ 3.61 with a time return of 3.3 years.

**Keywords:** hybrid system, photovoltaic panels, renewable energy, wind turbine

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema híbrido de generación eléctrica para abastecer de energía al centro poblado de Huanchos, ubicado en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampá, Huancavelica.

La tesis es del tipo descriptivo aplicado, con un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, las técnicas de recolección usadas fueron la observación, el análisis documental y recolección de datos.

Para el desarrollo de la investigación, se realizó un diagnóstico de la localidad, se obtuvo la demanda de la población y se caracterizó el potencial energético de los recursos climáticos como radiación solar y vientos. Se aplicaron los cálculos necesarios para obtener la demanda energética, la energía de los recursos y acorde a ello, se diseñó el sistema eléctrico y se dimensionan sus elementos. Para el desarrollo de los objetivos, el trabajo se ha dividido en 6 capítulos que abordan los temas siguientes para la realización de la tesis:

Capítulo I, se abarcó el planteamiento y formulación del problema, el objetivo general y específicos, hipótesis y la operacionalización de variables.

Capítulo II, en este apartado se abordaron los antecedentes, teoría referente al tema y definición de términos técnicos usados en el desarrollo del trabajo.

Capítulo III, se abordó la metodología de la investigación, como el tipo, enfoque y diseño de la tesis, así mismo, las técnicas de adquisición de datos e instrumentación.

Capítulo IV, se abordó el desarrollo de la investigación, se analizó la información de la localidad y del clima, se efectuaron los cálculos necesarios para el diseño del sistema eléctrico.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, también la lista de referencias y anexos.

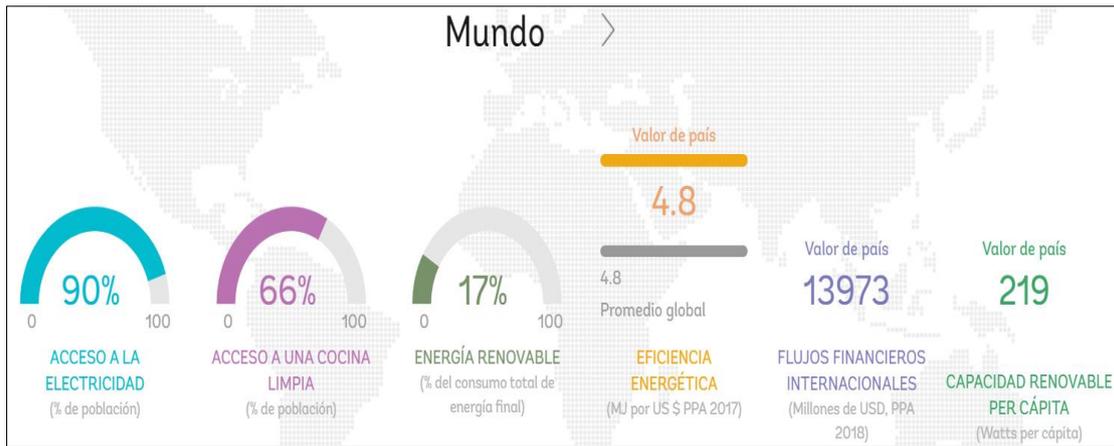
## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

La energía eléctrica más que un servicio, es una necesidad fundamental para la gran mayoría de actividades presentes en la vida diaria. Siendo esta, de suma importancia para el desarrollo de la sociedad, dado que se encuentra presente en la mayoría de los distintos sectores de un país, fábricas, hospitales, viviendas, entre otros. Motivo por el cual, frente a este crecimiento de demanda y a la crisis energética a causa de la excesiva generación de energía de forma convencional, es que se viene desarrollando nuevas alternativas como la explotación de recursos renovables mediante aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, sistemas híbridos, etc.

Un informe de la Agencia Internacional de Energías Renovables (Irena), el Banco Mundial (BM), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la División Estadística de Naciones Unidas (UNSD). Demostró que a pesar de la tecnología y a los avances desarrollados en los últimos años, el 11 % de la población mundial, sobre todo en el África subsahariana, sigue sin tener acceso a la energía eléctrica y continuará sin acceso de este servicio hasta el 2030 con un aproximado de 650 millones de habitantes. Por otro lado, la Agencia Internacional de la Energía (AIE), dio a conocer que la cantidad de personas sin energía eléctrica se redujo de 1200 millones en el 2010 a 1000 millones en el 2016 y posteriormente a 840 millones al 2017, este progreso se vio reflejado en países como India, Bangladesh, Kenia y Myanmar (1).



**Figura 1. Porcentaje de acceso a la electricidad a nivel mundial**  
**Fuente: Global Tracking Framework (2)**

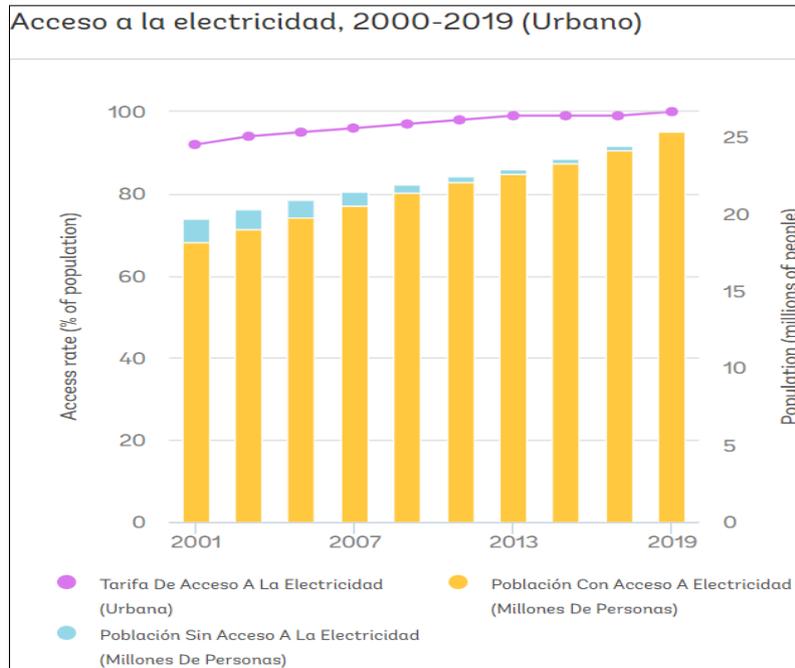
Por su parte la OMS demostró que la cantidad de personas sin acceso a la energía eléctrica disminuyó de 1200 millones a 759 millones para el 2019, lo cual demuestra un resultado favorable, sin embargo, debido a los impactos ocasionados por el covid-19 ocasionó el aumento de más de 30 millones de personas, sin acceso a este servicio, en su mayoría de África seguido de países como Nigeria, Etiopía y la India. Así mismo, frente a esta problemática mundial, países como Asia Oriental, China, Indonesia y España vienen apostando por energías renovables como solar, eólica, hidráulica y biomasa para la generación de energía eléctrica (3).



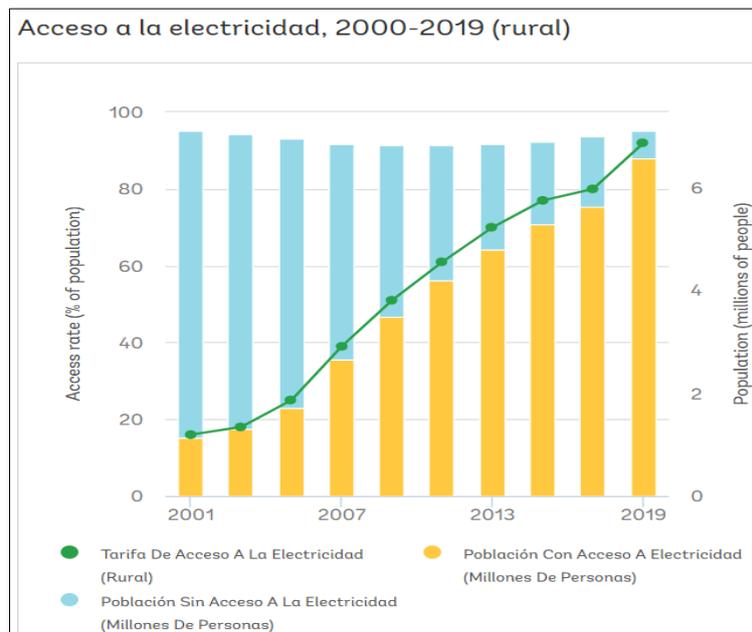
**Figura 2. África Subsahariana, región de África con menor acceso a la electricidad**  
**Fuente: Global Tracking Framework (2)**

Sin embargo, en el 2010 el Ministerio de Energía y Minas y la Organización Latinoamericana de Energía (Olade), dio a conocer que aproximadamente 6 millones de peruanos no tenían el servicio de energía eléctrica, lo cual representa el 22 % de la población, motivo por el cual el Estado peruano tuvo como objetivo revertir esta situación desarrollando programas de electrificación rural, ya que estas zonas son las más afectadas, para ello empleó diversas tecnologías con base en fuentes de energías renovables. Obteniendo como resultados que, en el 2014 mediante un programa del BM, más de 105 000 usuarios (colegios, hospitales y centros comunitarios) obtuvieron el acceso a este servicio eléctrico. Motivo por el cual, este desarrollo

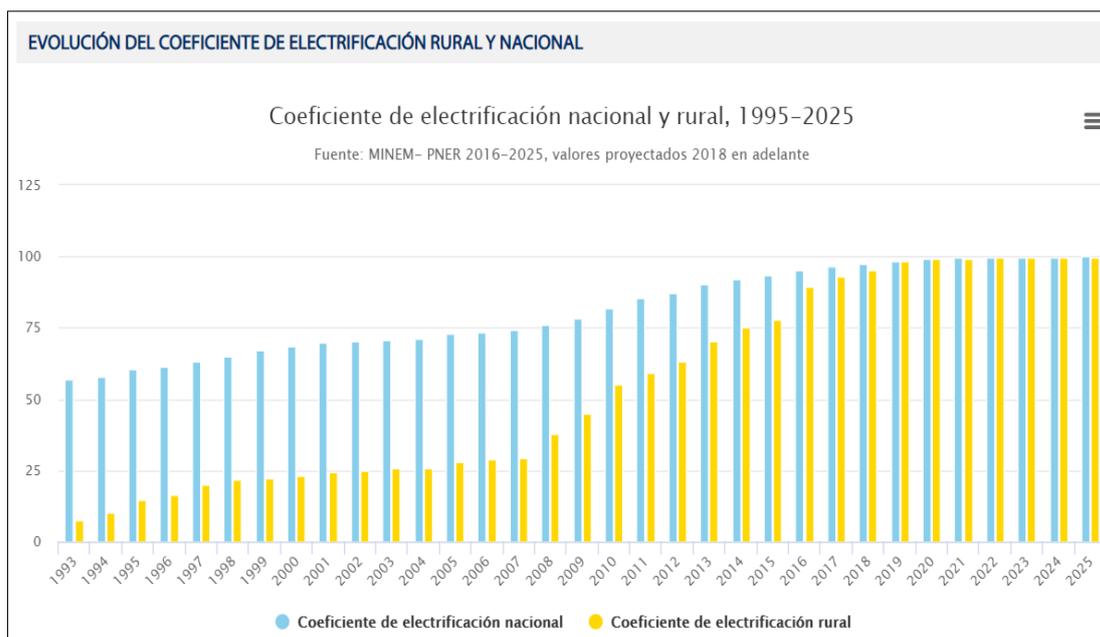
energético ha venido creciendo considerablemente y en el 2019 se registra una cobertura por encima del 98 % en zona urbana y un 82 % en zonas rurales. Frente a esta brecha se tiene como objetivo que para el 2025 se llegue a cubrir el servicio eléctrico en un 100 % de la población peruana (4).



**Figura 3. Acceso a la electricidad entre los años 2000-2019 zona urbana**  
**Fuente: The Energy Progress Report (5)**



**Figura 4. Acceso a la electricidad entre los años 2000-2019 zona rural**  
**Fuente: The Energy Progress Report (5)**



**Figura 5. Proyección de electrificación para el 2025**  
**Fuente: Osinergmin (6)**

Asimismo, el Ministerio de Energía y Minas (Minem) indica que el Perú, debido a su accidentada geografía en los Andes, hace difícil el acceso a las comunidades rurales, que, por tales motivos, se hallan aisladas del sistema eléctrico interconectado nacional, ajenas de muchos de los servicios públicos que se hallan en las ciudades grandes (7), por ende, el Estado peruano ha implementado medidas para contrarrestar esta problemática, mediante el uso de tecnologías de generación alternativas dentro de su plan de electrificación rural. Una de estas comunidades rurales que se ve afectada por el desabastecimiento eléctrico es el centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, perteneciente al departamento de Huancavelica, que, debido a la lejanía de la localidad, esta no cuenta con un servicio eléctrico eficiente, lo cual genera un deficiente desarrollo económico y social generando molestias en la población, obstaculizando las mejoras en su calidad y estilo de vida. Motivo por el cual frente a esta problemática se dimensiona un sistema híbrido con energías renovables como alternativa de energía limpia para cubrir la demanda insatisfecha y lograr un desarrollo económico y sostenible de esta población.

### 1.1.1. Problema general

¿De qué manera el diseño de un sistema híbrido cubre la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la demanda eléctrica para la generación mediante un sistema híbrido en el centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampá?
- ¿Cuál es el diseño del sistema híbrido para cubrir la demanda del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampá?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema híbrido para cubrir la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampá, departamento de Huancavelica.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- A. Identificar la demanda eléctrica para la generación mediante un sistema híbrido en el centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampá.
- B. Diseñar un sistema híbrido para cubrir la demanda del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampá.

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación**

#### **Justificación metodológica**

Esta investigación tiene como finalidad proponer un diseño de un sistema híbrido para cubrir la demanda desabastecida del centro poblado de Huanchos, donde se realizaron etapas metodológicas para el cumplimiento y desarrollo de los objetivos, así también, para la elaboración de instrumentos de recolección de datos, los cuales permiten calcular las variables en estudio y llegar a plantear una solución específica para el problema presentado. Por ende, este diseño híbrido se realizó con el fin de fomentar el uso de esta tecnología y aprovechando el potencial energético de cada región, que permitió que sea replicado en los diferentes ambientes y lugares.

#### **Justificación práctica**

Esta investigación se justifica de manera práctica porque con los resultados permitió encontrar soluciones sintetizadas, en concreto, esta investigación se enfoca en resolver algún problema que perjudica de manera directa o indirecta a una determinada situación, motivo por que, mediante el diseño de un sistema híbrido, se busca el abastecimiento energético, así como también, el crecimiento industrializado del centro poblado de Huanchos.

### **Justificación teórica**

La presente investigación tiene como finalidad aportar conocimientos sobre el desarrollo de energías renovables y así proponer un sistema híbrido como innovación tecnológica para lograr abastecer de energía eléctrica al centro poblado de Huanchos, distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, cubriendo de manera eficiente la demanda actual, así como también la demanda proyectada.

### **Justificación social**

La introducción y el desarrollo de esta tecnología de sistemas híbridos permitió que zonas ajenas de las concesiones de las empresas generadoras y distribuidores de energía eléctrica, cuenten con energía eléctrica sin necesidad de hacer proyectos que demandan tiempo y elevados costos de inversión, beneficiando a la población de las zonas rurales y más alejadas. Mejorando así su confort y estatus de vida de los pobladores.

### **Justificación ambiental**

La utilización de energías renovables para generar energía eléctrica mediante sistemas híbridos para zonas rurales o aisladas, es una tecnología que permite evitar las emisiones de CO<sub>2</sub> que afecta de manera directa a la atmósfera, trayendo consecuencias como el efecto invernadero y el cambio climático. Por ello, con esta propuesta se logró un equilibrio en el desarrollo sostenible.

### **1.3.2. Importancia**

Con la recopilación, búsqueda y revisión de diversas investigaciones e informaciones de campo, se concreta que, con el diseño de un sistema híbrido, permitió cubrir la demanda insatisfecha del centro poblado de Huanchos, distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, mejorando así su calidad de vida de los pobladores y proporcionándoles un mejor estado de confort.

## **1.4. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El diseño de un sistema híbrido cubre la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa.

### **1.4.2. Hipótesis específicas**

A. La demanda eléctrica para la generación mediante un sistema híbrido en el centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa es elevada.

**B.** El diseño del sistema híbrido cubre la demanda del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa.

- **Descripción de variables**
- **Variable independiente:** Diseño de sistema híbrido
- **Variable dependiente:** Demanda eléctrica

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
<b>Dependiente:</b> Sistema híbrido	Los sistemas híbridos permiten cubrir las demandas de los consumidores alejados de la ciudad, que une dos tipos de energías renovables para lograr resolver el problema que tiene de manera individual y a su vez potencializar sus virtudes (7).	Sistema formado por dos tipos de energías renovables las cuales apoyan a la generación eléctrica para cubrir la demanda desabastecida.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	Radiación solar, potencia eólica, Número de módulos fotovoltaicos, Número de baterías, inversores.	W/m <sup>2</sup>
				Potencia del generador FV:	kWp
				Número de paneles fotovoltaicos: $NP_{total} = \frac{E_{diaria} * 1,3}{HPS * W_p}$	Módulos
			Número de inversores: $N_{inv} = \frac{Cap_{inv}}{P_{inv}}$	inversores	
			Número de baterías: $NB_T = NB_S * NB_P$	Baterías	
			Velocidad del viento: $v_h = v_{10} * \left(\frac{h}{10}\right)^\alpha$ Potencia eólica: $P = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * (V)^3$	m/s kW	
Dimensionamiento del sistema eólico	Selección de la turbina eólica	kW			

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Escala
<b>Independiente:</b> Demanda eléctrica	Se entiende por demanda eléctrica a la cantidad de energía eléctrica que un determinado número de consumidores necesitan para realizar sus actividades (8).	Poder cubrir la demanda eléctrica de un establecimiento y también teniendo en consideración su demanda proyectada	Parámetros demográficos	Índice de habitantes por vivienda: $IHV = \frac{Población}{N.º de viviendas}$	Hab./vivienda
				Población proyectada: $P_f = P_a * (1 + r)^{(T_f - T_i)}$	Habitantes
				Proyección de viviendas: $N_{viviendas} = \frac{P_{proyectada}}{IHV}$	Viviendas
			Parámetros de consumo	Demanda total Energía diaria: $E_{diaria} = \frac{Consumo\ mensual\ (kWh)}{N.º\ de\ días}$	kWh kWh

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Nivel internacional**

Los autores Pisco y Torres (8) en su artículo de investigación «Diseño de un sistema híbrido aislado para abastecer a la hacienda Quirola», tuvo como objetivo diseñar un sistema aislado híbrido hidráulico fotovoltaico para una pequeña comunidad rural. La investigación es del tipo descriptiva, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. El desarrollo de la investigación partió con la determinación de la demanda energética de la comunidad promedio de 252 W/h, el generador fotovoltaico fue dimensionado para 900 W con tres paneles policristalinos, 3 baterías, un inversor de un 1 kW, y aplicando el *software* Homer se simuló la mejor solución que fue la red fotovoltaica con una inversión de \$ 1970.00 de instalación y \$ 4540.00 de operación. Se concluyó que la zona cuenta con los recursos para la generación de energía renovable, tanto eólica como solar.

Los autores Gómez y Huérfano (9) en su investigación «Dimensionamiento e implementación de un sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico para abastecimiento de energía eléctrica en la institución Luis Carlos Galán de Cazucá, Soacha», tuvo como objetivo dimensionar un sistema híbrido para abastecer de energía eléctrica dicha institución, la metodología de estudio es de tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo de diseño experimental, obteniendo como resultado que el sistema híbrido estuvo conformado por dos paneles monocristalinos de 365 W-24 V, un aerogenerador de eje vertical de 3 aspas de 400 W-24 V, generando una potencia de 4,8 kWh, lo cual representa un 10 % sobre el consumo total de la institución, permitiendo así una reducción de costo en el consumo eléctrico del 12,4 %, aproximadamente.

Amezquita (10) en su investigación «Diseño de un sistema de energía híbrido (solar - eólica) para el soporte de las telecomunicaciones en el cerro Girasoles del Ejército Nacional de Colombia» tuvo el objetivo de diseñar un sistema híbrido para garantizar las telecomunicaciones del cerro Girasoles del Ejército Nacional de Colombia. La investigación es aplicada. Los resultados obtenidos indicaron que la velocidad del viento promedio fue de 6.8 m/s, y la radiación solar se estimó en 4 kW-h/m<sup>2</sup>. Se concluyó que el proyecto tiene un costo de inversión de \$ 120 058 689.63, así mismo, las mediciones determinaron que la zona de interés cuenta con los recursos para el funcionamiento del sistema de forma sostenible.

Quinzo (11) en su investigación «Proyecto para el diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el complejo deportivo Cancha Sho en la ciudadela Bellavista, de Guayaquil», tuvo por objetivo realizar un diseño y estudio de sistemas eléctricos de fuentes renovables utilizando como energía la solar y eólica (sistema híbrido), la metodología de estudio tuvo un diseño no experimental con un enfoque cuantitativo, y de tipo descriptivo, explicativo, siendo su muestra el consumo energético del complejo deportivo «Cancha Sho», obteniéndose como resultados que la energía por suministrar es de 64 905,96 Wh/día, y ya que para cubrir esta demanda eléctrica se necesitan 2 aerogeneradores de 1 500 Wh-24V y 15 paneles solares de 320 W-24 V, y la inversión total de este proyecto ascendió a \$ 27 269,00, evidenciando que los sistemas híbridos son sistema de generación muy eficientes y no contaminan el medio ambiente.

Fernández y Cervantes (12) en su investigación «Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira», el objetivo fue la propuesta del diseño e implementación de un sistema fotovoltaico que se interconecta a la red eléctrica CFE para poder disminuir la facturación eléctrica de la Universidad Tecnológica de Altamira, la metodología de esta investigación tiene un diseño no experimental, con enfoque cuantitativo y de tipo descriptivo, obteniéndose como resultado un ahorro anual en la facturación de la energía eléctrica de \$ 1 007 516.55 de pesos mexicanos y el costo de implementación es de \$ 10 100 489.63 pesos mexicanos, y teniendo un retorno de inversión de 10 años, En conclusión, si la paridad peso-dólar fuera menor, el tiempo de retorno de la inversión sería menor, y son proporcionales. Se recomienda que, el factor de potencia fuera del rango para controlarlo, sería colocar un banco de capacitores y la automatización de los sistemas ayudaría a disminuir considerablemente las energías de consumo innecesario.

### **2.1.2. Nivel nacional**

Calderón (13) en su investigación «Diseño del sistema híbrido fotovoltaico-eólico aislado para suministrar energía eléctrica al caserío Quirichima, sector Coyuna, distrito de Cañarís» tuvo como objetivo el diseño de un sistema eólico-fotovoltaico para abastecer de energía eléctrica a un

caserío. La investigación es del tipo aplicado no experimental, y los resultados obtenidos indicaron que la demanda del caserío Quirichima es de 4196 kW, la radiación promedio es de 4.86 kWh/m<sup>2</sup>/día, además el sistema se compuso de 22 módulos fotovoltaicos de 190 Wp, controlador Victron Energy de 85 A con un costo total de S/ 103 368.0. Se concluyó que la solución óptima es un sistema híbrido con potencias de 4.18 kW y 3.5 kW para los subsistemas solar y eólico, respectivamente.

Gamarra (14) en su investigación «Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica híbrido eólico-solar para el fundo Huasacache de la U. C. S. M.», el objetivo fue dimensionar un sistema de generación eléctrica híbrido para el fundo de la U. C. S. M., cuya metodología se caracteriza por tener enfoque cuantitativo de tipo aplicado con un diseño no experimental. Donde se obtuvo como resultados que su consumo es de 13 420 kW, motivo por el que para cubrir esta demanda se necesita la instalación de 3 aerogeneradores de eje horizontal de 3 kW y 32 paneles solares de 330 Wp con una inclinación de 14,74°, todo esto ascendió a un costo de inversión de \$ 82 943,38. Para un periodo de vida de 20 años. Demostrando una vez más que los sistemas híbridos (eólico-solar) son un sistema eficiente de generación de energía eléctrica.

Balladares (15) en su investigación «Cálculo y selección de sistema fotovoltaicos modulares para consumo energético básico en el caserío de San Pedro, distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque» el principal objetivo fue realizar la aplicación de energías renovables en zonas fuera de la concesionaria eléctrica, que cuenta con una metodología de tipo descriptivo transversal, con enfoque cuantitativo y de diseño no experimental, donde la muestra fue el consumo energético del caserío en estudio, y donde se obtuvo como resultado que el sistema fotovoltaico propuesto es económico y sobre todo rentable, con una inversión de S/ 164 636,93, un VAN de S/ 327 628.63 y un TIR de 36 %, convirtiéndolo en un proyecto económicamente viable, aparte que logra satisfacer de manera eficiente la demanda eléctrica calculada en la investigación y permitiendo reducir los deficientes formas de generar energía eléctrica.

Santa Cruz (16) en su tesis «Diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado Nueva Esperanza, ubicado en el distrito de Catache – Santa Cruz – Cajamarca» tuvo como objetivo el dimensionamiento de un sistema eólico fotovoltaico para el suministro eléctrico de un centro poblado. La investigación es del tipo aplicado, no experimental. Los resultados partieron con la obtención de la demanda promedio de 12 840.0 kWh/día, la radiación promedio de la zona fue de 4.47 kWh/m<sup>2</sup>/día, La instalación se compuso de un aerogenerador Enair 70 PRO, 18 paneles fotovoltaicos con un costo de

S/ 250 748.74, y se concluyó que el sistema híbrido permite que los pobladores gocen del suministro eléctrico de forma sostenible.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Electrificación rural**

El diagnóstico del Ministerio de Energía y Minas indica que la electrificación rural a nivel nacional presenta características particulares, como la inaccesibilidad, la lejanía de las comunidades, un bajo consumo energético, poblaciones reducidas y dispersas, bajos ingresos de los habitantes; asimismo, ahondado al problema de infraestructura de las vías, desalientan la inversión privada en los proyectos de electrificación rural, ya que la situación actual de las poblaciones alejadas determina una baja rentabilidad económica para tales proyectos, no obstante, estos proyectos tienen una rentabilidad social, permitiendo a largo plazo el desarrollo social y económico de sus pobladores (7).

### **2.2.2. Proyección de la población**

Se proyecta a partir de la población inicial, y es un parámetro importante, ya que con este valor se puede proyectar el número de viviendas en un horizonte determinado de tiempo. La población se proyecta a 20 años según la guía para proyectos de electrificación y se utiliza la ecuación siguiente (17).

$$P_{proyectado} = P_{inicial} \times (1 + r)^{(T-T_i)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$P_{proyectado}$ : población proyectada

$P_{inicial}$ : población inicial

r: tasa de crecimiento intercensal

T: tiempo evaluado.

$T_i$ : tiempo inicial

### **2.2.3. Índice de habitantes por vivienda**

Este valor resulta de la razón entre el número de pobladores beneficiarios y el número de hogares a electrificar, esto se expresa mediante la ecuación (17):

$$IHV = \frac{\text{Población}}{\text{N.º de viviendas}} \quad \text{Ecuación 2}$$

#### 2.2.4. Demanda eléctrica

La demanda eléctrica inicial se estima a partir de la recolección de información de las viviendas, escuelas y comercios que pueda hallarse en la población. La demanda total de la población resulta de la suma de la demanda eléctrica de cada una de las cargas, y se calcula con la siguiente ecuación (17):

$$D_{total} = D_{viviendas} + D_{posta} + D_{escuela} + D_{alumbrado} \quad \text{Ecuación 3}$$

#### 2.2.5. Energía eólica

Es aquella energía que se puede extraer de la energía cinética del viento, se usa principalmente para abastecer de energía eléctrica a diversos sectores, son llamadas energías renovables, ya que no producen mucha contaminación a la hora de su obtención y vienen a sustituir a las energías fósiles (18).

#### 2.2.6. Velocidad del viento

La velocidad del viento está afectada por distintos parámetros, como por ejemplo, la rugosidad del terreno o algunos obstáculos en la zona (edificios, árboles, etc.), por lo tanto, para realizar este cálculo se debe tener en consideración la siguiente ecuación (19).

$$v_h = v_{10} * \left(\frac{h}{10}\right)^\alpha \quad \text{Ecuación 4}$$

#### 2.2.7. Coeficiente de Hellman

Este coeficiente califica la rugosidad según el tipo de terreno. En la tabla siguiente se muestran distintos valores para el coeficiente de Hellman.

Tipo de Terreno	Valor del exponente de Hellman
Lugares llanos con hielo o hierva	$\alpha = 0.08 \div 0.12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0.14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0.13 \div 0.16$
Zonas turísticas	$\alpha = 0.2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0.02 \div 0.26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0.25 \div 0.4$

**Figura 6. Coeficientes de Hellman según la rugosidad del terreno**  
*Fuente: Recuperada de «Valoración del viento como fuente de energía eólica en el Estado de Guerrero» (20)*

### 2.2.8. Potencia eólica

Para estimar la potencia que produce el viento a una altura determinada, se debe tener en consideración la densidad del aire, así como también, el área de barrido de las palas del aerogenerador (19). La ecuación siguiente determina la potencia obtenida en función de la velocidad del viento.

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * (V)^3 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

P = potencia del viento

$\rho$  = densidad del aire

A = área de barrido de las alas del aerogenerador

V = velocidad

### 2.2.9. Aerogeneradores

Es un dispositivo que se encarga de extraer la energía cinética del viento, que mediante un conjunto de mecanismos pueden convertirla en energía eléctrica aprovechable para la civilización. Los aerogeneradores presentan un diseño aerodinámico para aprovechar al máximo la extracción de energía (21).

#### a) Tipos de aerogeneradores

- **Aerogenerador de eje horizontal:** Este tipo de aerogenerador se caracteriza por la perpendicularidad de sus palas con respecto a su eje principal, este tipo de aerogeneradores son los más usados en la industria debido a menor costo en comparación a otros modelos (22).



*Figura 7. Aerogenerador de eje horizontal*

*Fuente: «Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine» (23)*

- **Aerogenerador de eje vertical:** Este tipo de aerogeneradores se caracterizan por presentar su eje central de forma principal, presentan ventajas en su funcionamiento y diseño con respecto a los aerogeneradores de eje horizontal, sin embargo, presentan menor rendimiento y un mayor costo frente a estos últimos, por lo que no son muy empleados en la industria (24).



*Figura 8. Aerogenerador de eje vertical*

*Fuente: «Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine» (23)*

#### **2.2.10. Energía solar fotovoltaica**

Es aquella energía extraída de los rayos, en forma de ondas electromagnéticas, provenientes del sol, que por el conocido efecto fotoeléctrico se puede convertir en energía eléctrica almacenable y utilizable (25).

#### **2.2.11. Sistema solar fotovoltaico**

El sistema solar fotovoltaico es un conjunto de componentes con los cuales es posible la extracción de la energía solar y la transformación de esta en energía eléctrica para luego ser almacenada y utilizada en un futuro (26).

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación del sol en energía eléctrica mediante dispositivos elaborados con semiconductores, que, debido al efecto fotoeléctrico, generan un flujo de electrones cuando la luz incide sobre su superficie (27). Los sistemas fotovoltaicos consisten en un conjunto de elementos que tienen como finalidad la recolección de la radiación, conversión de la energía y su almacenamiento. Los componentes que lo conforman, por lo general, son los siguientes:

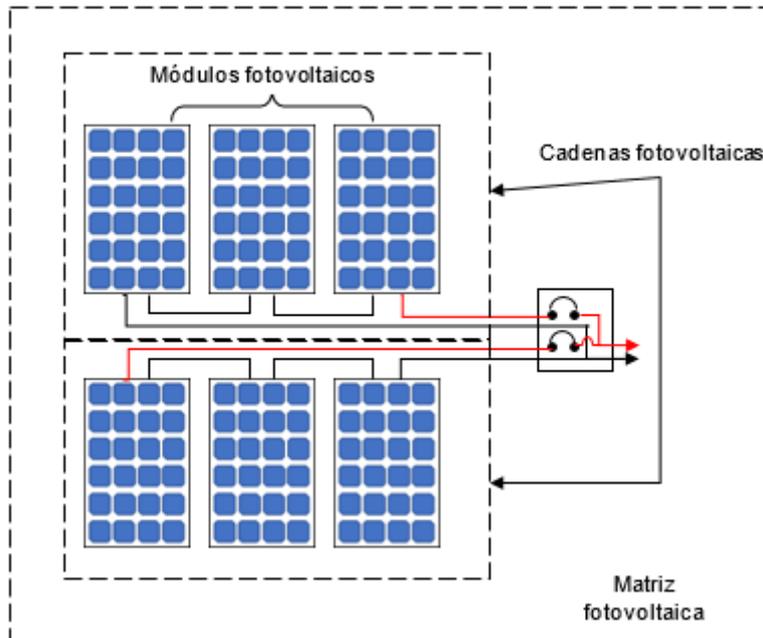
### 2.2.11.1. Generador fotovoltaico

El generador fotovoltaico es el elemento principal del sistema, ya que su función es la captación y conversión de la radiación solar en energía eléctrica (28). El generador fotovoltaico se conforma de un arreglo de múltiples módulos fotovoltaicos, suelen fabricarse de materiales semiconductores como el silicio en forma sólida, y se tiene dos tipos: los monocristalinos, que tiene una estructura cristalina de mayor pureza; luego están los policristalinos, de menor calidad por su mayor contenido de impurezas (29).

El generador fotovoltaico tiene cierta estructura que se presenta a continuación:

- a) **Módulo fotovoltaico:** viene a ser la unidad básica del generador FV, y se compone de la unión de múltiples celdas, que se conectan en serie para obtener un valor de tensión más alto. La conexión de varias celdas forma la unidad o módulo fotovoltaico.
  
- b) **String o cadena fotovoltaica:** La cadena o *string*, se conforma a su vez de un grupo de módulos FV conectados en serie con un valor de tensión mínima de operación de 48 V en CC.
  
- c) **Matriz fotovoltaica:** se conforma de varios módulos conectados formando una matriz e incrementa la potencia nominal del sistema tal. Para incrementar el voltaje del arreglo se disponen los módulos en serie, y para incrementar la capacidad de generación se disponen en paralelo (29).

En la figura 9, se muestra la estructura de un generador fotovoltaico, partiendo con una unidad básica que es el módulo, que a su vez se conforma de celdas pequeñas conectadas en serie; luego están las cadenas que se conforma de múltiples módulos y, por último, se tiene la matriz fotovoltaica que engloba a toda la instalación.



*Figura 9. Estructura de un generador fotovoltaico*

### **2.2.11.2. Regulador o controlador**

El regulador tiene la función de evitar cualquier sobrecarga o descarga que pueden producir daños costosos para la instalación, y también asegura que el sistema trabaje de manera eficaz (28).

### **2.2.11.3. Inversor**

El inversor es un dispositivo que mediante un circuito electrónico fuerza a la corriente directa cambiar de dirección de flujo de forma periódica, formando valles y picos de forma que se asemeje a la corriente alterna (30), de forma que la corriente pueda ser usada de manera convencional. En la figura 10 se observa la formación de una onda sinusoidal aplicando pulsos; este efecto se logra con base en transistores que funcionan como interruptores, los cuales reciben la señal de un controlador para emitir pulsos positivos o negativos creando una onda, transformando así la corriente directa en alterna.



### 2.2.11.6. Determinación de la radiación solar

La medición de la radiación es una etapa fundamental para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, motivo por que se deben conocer ciertas definiciones importantes:

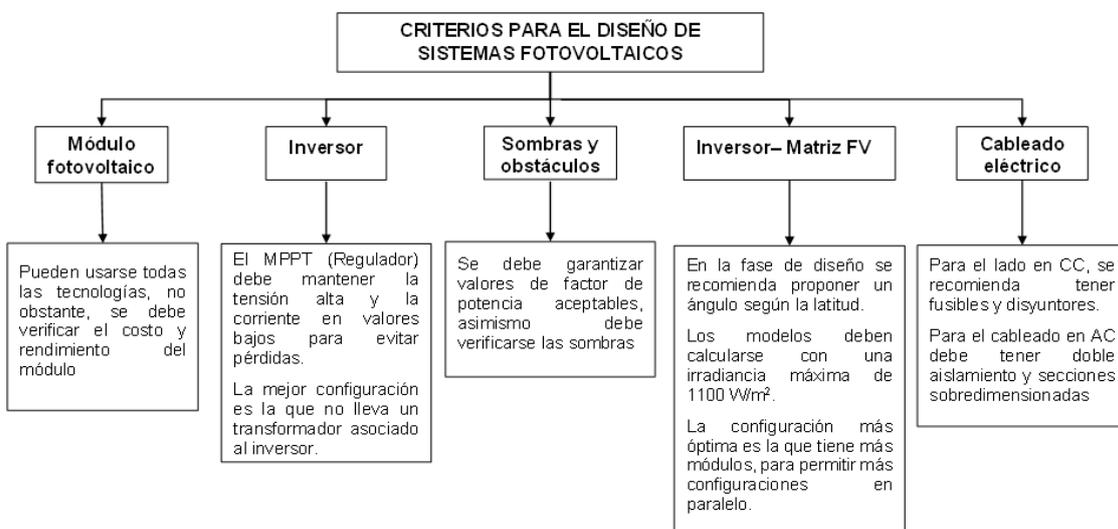
- Radiación solar: son las ondas electromagnéticas provenientes del sol.
- Irradiancia (I): indica cuanta energía solar se alcanza por unidad de superficie.
- Irradiación (H): es la cantidad de energía por unidad de superficie en un determinado tiempo.
- Hora solar pico: determina la cantidad de horas disponibles de sol con una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup> al día (32), y se calcula mediante la ecuación:

$$1 \text{ HSP} = \frac{\text{Radiacion Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} \quad \text{Ecuación 6}$$

La medición de la radiación solar se realiza con un instrumento llamado piranómetro que puede determinar la radiación directa y difusa. La radiación global se determina mediante la ecuación siguiente:

$$\text{Radiación global} = R. \text{Directa} + R. \text{Difusa} \quad \text{Ecuación 7}$$

Debido a que obtener mediciones muy precisas de la radiación solar demanda de tiempo y depende de factores como el climático para realizar tales mediciones, se opta por la utilización de atlas solares y de la información obtenida de estaciones meteorológicas. La información recolectada se procesa y se ordena en tablas o de forma gráfica (32) como se muestra a modo de ejemplo en la figura 12, donde se ordena la información en un diagrama de barras.



**Figura 11. Directrices para el diseño de sistemas fotovoltaicos aislados**  
 Fuente: «Una revisión de los sistemas fotovoltaicos: diseño, operación y mantenimiento» (33)

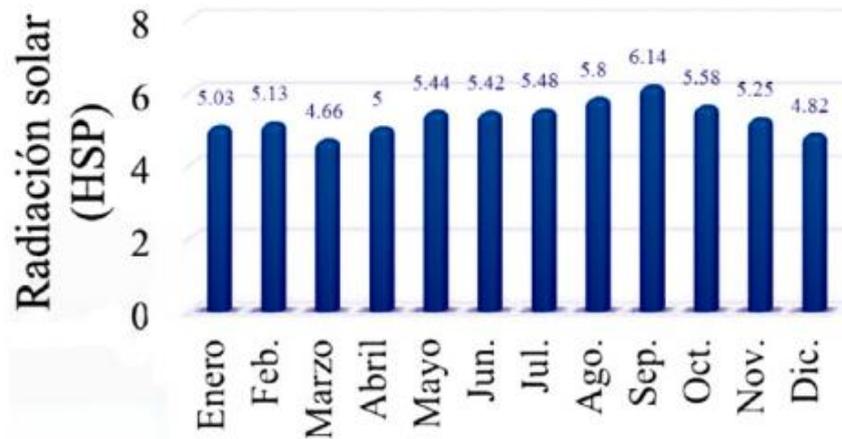


Figura 12. Presentación de la información de radiación solar

Fuente: «Viabilidad técnico económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de agua» (34)

### 2.2.11.7. Dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos

El dimensionamiento del número de módulos fotovoltaicos se realiza mediante la siguiente ecuación (35):

$$N_p = \frac{1.3 * E_{diaria}}{HPS * W_p} \quad \text{Ecuación 8}$$

El factor 1.3 es un factor de sobredimensionamiento que compensa posibles pérdidas debido a la orientación o inclinación de los paneles,  $E_{diaria}$  es la energía consumida por las cargas expresados en kWh/día, las horas solares pico (HSP) disponibles y  $W_p$  que es la potencia del módulo seleccionado.

El número de paneles fotovoltaicos en serie se calcula mediante la expresión (35):

$$NP_{serie} = \frac{Vn}{Vp_{max}} \quad \text{Ecuación 9}$$

El arreglo de los paneles en paralelo se calcula mediante la ecuación (35):

$$NP_{paralelo} = \frac{NP_{total}}{NP_{serie}} \quad \text{Ecuación 10}$$

### 2.2.11.8. Dimensionamiento de las baterías

El dimensionamiento del sistema de acumulación depende de los siguientes parámetros:

- a) **Días de autonomía (D):** corresponde al tiempo que el sistema puede operar sin recibir radiación o generar energía. Este parámetro se ve afectado por las condiciones climáticas, y para la aplicación en electrificación rural se recomienda un tiempo de autonomía de 3 a 6 días, y para sistemas híbridos se recomienda 3 días de autonomía.
- b) **Profundidad de descarga (Pd):** este parámetro corresponde al nivel máximo de descarga que puede alcanzar la batería sin comprometer su vida útil. Para sistemas de acumulación estacionarias se recomienda usar un valor de 0.6 (35).
- c) **Tensión de trabajo del sistema (V):** las tensiones de trabajo más usuales son de 12 a 24 V.
- d) **Capacidad necesaria del sistema (Cap):** la capacidad del sistema de baterías se calculó con la relación siguiente:

$$C_{ap} = \frac{E_T(Wh/dia)}{V_n} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde

$V_n$  es el voltaje del sistema

$E_t$  la energía total

- e) **Capacidad del banco de baterías:** la capacidad del banco de baterías se calcula mediante la ecuación:

$$Cap_{BAT} = \frac{C_{ap} * N}{(P_d)} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$N$  son los días de autonomía

$P_d$  es la profundidad de descarga

- f) **Número de baterías:** el número de baterías se calcula mediante.

$$NB_T = NB_S \times NB_P \quad \text{Ecuación 13}$$

g) **Capacidad total del banco de baterías:** se calcula mediante:

$$Cap_{TBanco} = NB_P \times AH_{BAT} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde

$AH_{Bat}$  es la capacidad nominal de la batería (36)

#### 2.2.11.9. Selección del inversor

a) **La capacidad del inversor:** se calcula mediante la ecuación (37):

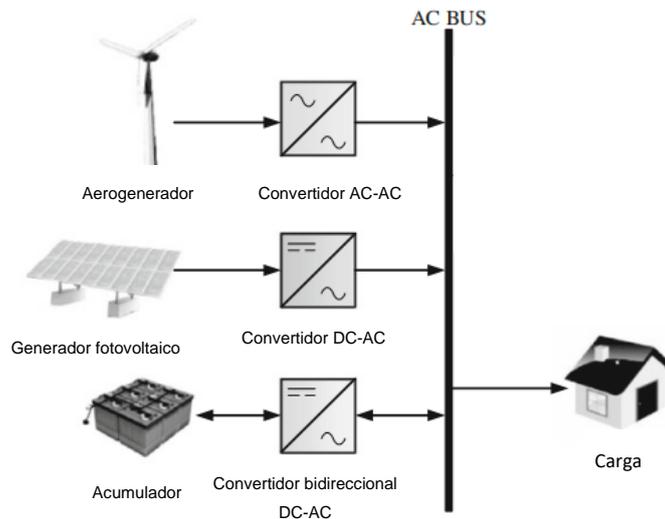
$$Cap_{inv} = \frac{C_{Inst}}{\text{eficiencia del inversor}} \quad \text{Ecuación 15}$$

b) **Número de inversores:** el número de inversores se calcula mediante la ecuación siguiente (37):

$$N_{inv} = \frac{Cap_{inv}}{P_{inv}} \quad \text{Ecuación 16}$$

#### 2.2.12. Sistema híbrido eléctrico

Es aquel sistema que combina dos o más fuentes de generación de energía, tanto renovables como fósiles, para garantizar la disponibilidad del abastecimiento. La combinación que más se emplea es la eólica con la solar, debido a las horas limitadas de funcionamiento de este último (38). En la figura 13 se puede observar la disposición de un sistema híbrido, que se conforma de elementos como generadores fotovoltaico y eólico con los convertidores de corriente conectados a una barra o bus en corriente alterna que se deriva a la carga.



**Figura 13. Estructura de un sistema híbrido eólico – fotovoltaico**  
 Fuente: «Hybrid energy system for rural electrification in Sri Lanka: design study» (39)

### 2.2.13. Dimensionamiento de los conductores

Uno de los factores importantes para el eficiente aprovechamiento de energía eléctrica, es saber dimensionar de manera correcta un conductor eléctrico, por lo contrario, una mala selección en el calibre del conductor produce efectos dañinos en los equipos eléctricos, generando pérdida de energía en el conductor, cortocircuito, sobrecalentamiento en las líneas y sobre todo disminución de su vida útil. La sección se calcula mediante la ecuación:

$$S(mm^2) = 4,4 * 10^{-2} \frac{L * I}{\nabla V} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

4,4 x 10<sup>-2</sup> = factor de conductividad del cobre

L = longitud del tramo (m)

I = máxima corriente (A)

ΔV = tensión máxima en serie (V)

### 2.2.14. Valor actual neto

El valor actual neto es un indicador económico para evaluar la rentabilidad económica de un proyecto de inversión, que demuestra el ingreso adicional que genera un proyecto después de descontar todos sus costos en un determinado periodo, es decir todo proyecto es aceptable cuando el valor del VAN es mayor a cero, de lo contrario no es viable. Para calcular dicho indicador se utilizó la siguiente ecuación (40).

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n} \quad \text{Ecuación 18}$$

### 2.2.15. Tasa interna de retorno

Por su parte, este indicador es aquella tasa de interés que hace que el valor actualizado de los ingresos sea igual al valor actualizado de los costos, Por lo tanto, hace que el VAN sea igual a cero. Para calcular el valor de dicha tasa se utilizó la siguiente expresión:

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n} = 0 \quad \text{Ecuación 19}$$

El criterio fundamental para aceptar o rechazar la viabilidad del proyecto, es la tasa interna de retorno, es decir, si el TIR es mayor a la tasa de descuento del proyecto (12 %), es aceptable y si es menor a la tasa de descuento es inviable (41).

### 2.2.16. Evaluación del costo beneficio (B/C)

Este indicador se calcula mediante la relación entre los beneficios y los costos o egresos de un proyecto. Su resultado se basa en la relación entre el VAN de los ingresos de efectivo futuras y el VAN del presupuesto (42).

$$B/C = \frac{VAN_{total\ ingresos}}{VAN_{total\ egresos}} \quad \text{Ecuación 20}$$

### 2.2.17. Tasa de descuento

La tasa de descuento es un parámetro de gran importancia en la evaluación de proyectos de inversión tanto públicos y privados, asimismo, permite comparar los flujos de beneficio y costos que ocurren en distintos periodos de tiempo (43).

## 2.3. Definición de términos básicos

En esta sección se definen los términos más usados en la generación de energía eléctrica mediante el uso de sistemas híbridos (21).

- **Horas de sol pico HSP:** Se define como HSP a la cantidad de radiación que existe en un metro cuadrado de territorio. Es un indicador importante para determinar si es factible el uso de sistemas fotovoltaicos.
- **Célula fotoeléctrica:** Están hechos de un material semiconductor y se encargan de transformar la radiación en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico.
- **Demanda eléctrica:** Es la energía que requiere un determinado usuario o instalación para su funcionamiento.
- **Energía:** Es la capacidad para realizar un trabajo.
- **Fuerza de sustentación:** Fuerza que actúa perpendicularmente a la incidencia de un fluido sobre una superficie.
- **Fuerza de arrastre:** Fuerza que actúa paralelamente a un fluido para incidir en una superficie.
- **Impacto ambiental:** Es la acción que los seres humanos causamos sobre el ecosistema.
- **Distribución:** Parte del sistema de suministro en el que se provee de energía eléctrica a los usuarios.
- **Electricidad:** Es un tipo de energía que se produce por el movimiento de los electrones a través de un medio de propagación.
- **Velocidad de diseño nominal:** Velocidad de viento con el que un aerogenerador obtiene el máximo rendimiento.
- **Velocidad máxima crítica:** Velocidad del viento máxima con el que un aerogenerador puede funcionar sin correr riesgos potenciales.
- **Curva de potencia:** Gráfica que muestra el rendimiento de un aerogenerador a diferentes velocidades de viento.
- **Combustible fósil:** Son aquellos combustibles derivados del petróleo.
- **Energía renovable:** Son aquellas energías que se obtienen al emplear recursos naturales, los cuales por su naturaleza son inagotables.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Método y alcance de la investigación**

Según el estudio realizado por Maldonado (44), el método de una investigación está determinado por el conjunto de procedimientos que se emplean de forma organizada y sistematizada, para llegar a desarrollar de manera adecuada y correcta la totalidad de las etapas concernientes a este estudio. En el desarrollo de la investigación se tomó en consideración los siguientes métodos: método inductivo, con el fin de articularlas por medio de relaciones de causa – efecto, y posteriormente llegar a crear proposiciones de validez general; y método deductivo, está definido por los enunciados o características acerca de la realidad, es decir, el contenido de las proposiciones en alusión a una investigación, inicia con lo general a un caso particular, que en su mayoría se encuentran contemplados por una ley científica.

La presente investigación cuenta con un enfoque cuantitativo con un alcance propositivo – descriptivo del tipo aplicado, debido a que la prioridad en la investigación es aprovechar de manera directa las energías renovables disponibles en esta región, que según Azuero (45), este tipo de análisis se fundamenta en un análisis estadístico, para ejecutar la medición de las variables, además se usó instrumentos de recolección de datos, lo que de alguna manera proporcionó una representación numérica; es decir, para el desarrollo de este proyecto se recolectaron datos reales cuantificables del consumo de energía eléctrica del centro poblado de Huanchos, distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampá, como información base para desarrollar los resultados.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

Ñaupas et al. (46), menciona que una investigación experimental es un tipo de estudio en que el investigador manipula deliberadamente una o más variables independientes para observar

los efectos que estas manipulaciones tienen sobre una o más variables dependientes, mientras controla otros factores que podrían influir en los resultados. El diseño experimental busca establecer relaciones causales entre las variables, permitiendo inferir si hay una relación de causa y efecto.

La investigación es experimental porque implica la manipulación controlada de variables, como el diseño e implementación de un sistema híbrido, para cubrir la demanda eléctrica en el centro poblado de Huanchos. Se pretende establecer relaciones causales, comparando un grupo experimental que experimenta el sistema híbrido con un grupo de control que no lo hace. Se midieron y registraron resultados, considerando factores como eficiencia energética y costos, con el objetivo de evaluar el impacto y la viabilidad del sistema propuesto

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Ñaupas et al. (46) lo definen como el conjunto de elementos o individuos que muestran rasgos comunes que lo asocian como el conjunto de unidades de estudio. Al respecto, para la presente investigación, la población se conformó por el consumo eléctrico de 8667,2 kWh perteneciente a las edificaciones en el centro poblado de Huanchos, como se establece a continuación:

- Consumo eléctrico de 103 viviendas
- Consumo eléctrico de 1 puesto de salud
- Consumo eléctrico de un centro educativo
- Consumo eléctrico del alumbrado público

#### **3.3.2. Muestra**

Según Ñaupas et al. (46). define la muestra como una fracción pequeña de la población, la cual estuvo conformada por la más representativa, a la que se le aplicó los instrumentos de recolección de datos, esta puede estar constituida, por individuos, cosas, elementos o procesos, lo cuales tuvieron que cumplir con las características necesarias para llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos del estudio. La muestra para este estudio se determinó mediante criterios de selección:

#### **Criterios de inclusión:**

- Viviendas pertenecientes a la jurisdicción del centro poblado de Huanchos
- Viviendas que participaron en el censo realizado por el INEI en el 2017
- Viviendas con el nivel socioeconómico «E» pertenecientes al centro poblado de Huanchos

- Edificaciones que consumen energía eléctrica en el centro poblado de Huanchos.

#### **Criterios de exclusión**

- Viviendas que no pertenezcan al centro poblado Huanchos
- Viviendas que no fueron incluidas en el censo del INEI realizado en el 2017
- Hogares que no se encuentran dentro de la proyección realizada

La muestra es igual a la población, el muestreo es no probabilístico de tipo censal, pues el investigador considera obtener mejores resultados al evaluar a todas las viviendas y edificaciones que consumen energía eléctrica, pues se busca abarcar la demanda total del centro poblado Huanchos.

### **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas de recolección de la información, están definidas por el conjunto de procedimientos requeridos para lograr el desarrollo de los objetivos planteados, conforme a lo mencionado con el fin que lleguen a regular el proceso de investigación, que abarca desde el inicio de la tesis hasta su culminación (46). Para el presente estudio, las técnicas de recolección de datos son la observación y el análisis documental, y se hace mención con sus determinadas definiciones:

**Observación:** La observación es un elemento importante en el desarrollo de una investigación, que sirve de apoyo al investigador para recabar datos importantes. En la presente investigación se aplicó la observación no experimental (47).

**Análisis documental:** Es vital para los estudios donde se tienen que examinar procesos o datos, además se elaboró por medio de un documento conforme a las dimensiones e indicadores de una variable, los cuales llegaron a permitir que se tengan los datos necesarios para la medición de la variable. En el presente estudio se han revisado diferentes libros, revistas, artículos y tesis, relacionadas con la generación de energía eléctrica a partir de las energías renovables.

#### **3.4.1. Recolección de datos**

La recolección de datos, tanto para temperatura, niveles de radiación y velocidad del viento en la zona, asimismo, la recolección de la data de la demanda de la población se hizo por medio de documentos históricos de los últimos censos realizados por el INEI. Según los registros se pudo determinar el crecimiento poblacional y posteriormente lograr determinar la demanda eléctrica y cuánto se debe generar para abastecer la demanda desabastecida y en cuánto se proyectó para que el sistema logre suministrar por el tiempo de vida útil de este sistema. Por otro

lado, también se utilizaron bases de datos históricos como mapas solares, eólicos, sitios webs como *weather spark* para obtención de datos climáticos.

### **3.4.2. Procesamiento de datos**

Posterior a la recopilación de los datos históricos, se procedió a utilizar el *software* Microsoft Excel para tabular y cuantificar dicha información, con el objetivo de determinar el tipo de energía renovable más apropiado para el diseño del sistema híbrido. Además, se llevó a cabo el cálculo del crecimiento poblacional del centro poblado de Huanchos en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa. Este enfoque experimental ha posibilitado proyectar de manera precisa la demanda eléctrica futura y dimensionar el sistema híbrido de manera eficiente. La aplicación de herramientas como Microsoft Excel no solo simplificó la gestión de datos, sino que también facilitó el análisis estadístico, permitiendo una planificación efectiva. Con este enfoque integral, se asegura que el sistema híbrido diseñado no solo atendió de manera óptima la demanda existente, sino que estaría preparado para satisfacer las necesidades energéticas cambiantes del centro poblado de Huanchos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Determinación de la demanda eléctrica actual

##### 4.1.1. Diagnóstico situacional del centro poblado de Huanchos

Huanchos es uno de los centros poblados más antiguos del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, región Huancavelica, que se encuentra a una altitud de 3342 m s. n. m. y según el último censo realizado en el 2017, este centro poblado cuenta con una población de 203 habitantes y un total de 89 viviendas ocupadas, representando un aproximado de 2 a 3 personas por vivienda (48).

A continuación, se detalla de forma resumida la información relevante del centro poblado.

**Tabla 2. Resumen de información del centro poblado Huanchos**

Características	Descripción
Distrito	Paucarbamba
Provincia	Churcampa
Región	Huancavelica
Ubigeo	090507
Latitud sur	12° 31' 30.9" S (-12.52525283000)
Longitud oeste	74° 33' 35.5" W (-74.55986830000)
Altitud	3347 m s. n. m.

La energía abastecida por la empresa Electrocentro, es de 1194,09 kWh mensuales, siendo deficiente para una calidad de vida aceptable para la población.

#### 4.1.2. Determinación de la demanda eléctrica

Para determinar este parámetro, se tiene en cuenta el nivel socioeconómico del lugar de estudio, sin embargo, según el informe de resultados de la última encuesta residencial de consumo y usos de energía – ERCUE 2018, realizado por Osinerming a nivel de departamento, estimó que el ingreso promedio mensual en los hogares de la región Huancavelica es aproximadamente de S/ 1923,00, tal como se refleja en la siguiente figura (49).

Departamento	Media (S/)	Mediana (S/)
Amazonas	1338	960
Ancash	2052	1560
Apurimac	1842	1410
Arequipa	2768	2300
Ayacucho	1941	1500
Cajamarca	1480	1155
Cusco	1887	1360
Huancavelica	1923	1750
Huanuco	1787	1270
Ica	1791	1500
Junin	2308	1980
La Libertad	2155	1850
Lambayeque	2002	1320

Figura 14. Ingreso promedio mensual en los hogares de la región Huancavelica  
Fuente: Osinerming (49)

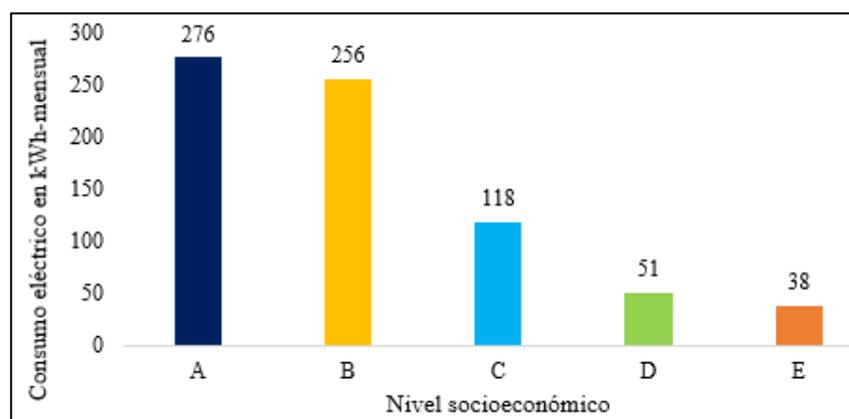
Por lo tanto, con el ingreso mensual por hogar, se determinó el nivel socioeconómico (NSE) a la cual pertenece dicho lugar. Sin embargo, un informe de Ipsos sobre «perfiles socioeconómicos Perú 2019», clasifica estos niveles según la siguiente figura (50).



Figura 15. Distribución socioeconómica del Perú  
Fuente: Ipsos (50)

Por lo tanto, de acuerdo con el ingreso promedio mensual y según la imagen anterior, el centro poblado de Huanchos, perteneciente a la región Huancavelica, se encuentra en un nivel socioeconómico «E».

Según el nivel socioeconómico «E», Osinerming estima algunos parámetros, como el consumo promedio en kWh-mensual y el costo aproximado de facturación del consumo eléctrico, siendo estos parámetros fundamentales para determinar el cuadro de cargas y estimar la proyección de la demanda de cada vivienda, estos resultados se reflejan en la siguiente figura (51).



**Figura 16. Consumo por nivel socio económico**

**Fuente:** «Encuesta Residencial de Uso y Consumo de Energía ERCUE 2014-2015 (51).»

De la imagen anterior, se determina que el consumo promedio mensual de energía eléctrica para el nivel socioeconómico «E» es de 38 kWh aproximadamente, con este valor se estima el consumo para una vivienda de acuerdo al cuadro de cargas que esta contenga.

A continuación, se detalla el gasto mensual de energía eléctrica según la categoría del lugar de estudio, donde se puede observar que para el sector rural el consumo promedio de energía eléctrica representa una facturación de S/ 47,00 aproximadamente (49).

Categoría	Media (S/)	Mediana (S/)
Urbana	100	70
Rural	47	12
Pobre extremo	46	18
Pobre no extremo	65	48
No pobre	98	63
<b>Nacional</b>	<b>87</b>	<b>57</b>

**Figura .17. Categorías de niveles socioeconómicos**

**Fuente:** «Encuesta residencial de consumo y usos de energía Ercue-2018» (49)

A continuación, se presenta el cuadro de cargas que contiene una vivienda típica del sector socioeconómico «E» (52).

**Tabla 3. Cargas de vivienda unifamiliar del SCE «E»**

Nivel socioeconómico E						
Artefactos eléctricos	Potencia eléctrica		Cantidad	Horas consumo diario	Días consumo al mes	Consumo mensual en kWh
	Watts	kW				
Refrigeradora	350	0,35	1	4	30	42
Tv de 20 "	100	0,1	1	3	30	9
Foco de 42 W	42	0,042	2	3	30	7,56
Foco de 20 W	20	0,020	3	4	30	7,2
<b>Total, de consumo mensual en kWh</b>						<b>65,76</b>

Fuente: Osinerming (52).

De la tabla anterior, se concluye que el consumo de una vivienda promedio del centro poblado de Huachos es de 65,76 kWh. Asimismo, se observa en la tabla las cargas del centro de salud de complejidad I-1 para zonas rurales (53).

**Tabla 4. Equipos eléctricos en un puesto de salud**

Puesto de salud						
Equipos eléctricos	Potencia eléctrica		Cantidad	Horas consumo diario	Días de consumo al mes	Consumo mensual en kWh
	Watts	kW				
Focos	25	0,025	5	5	30	18,75
Computadora de escritorio	200	0,2	1	6	30	36
Laptop	45	0,045	1	5	30	6,75
Impresora	150	0,15	1	0,2	15	0,45
Televisor de 20"	100	0,1	2	5	30	30
Frigobar pequeño	200	0,2	2	4	30	48
Ventilador	57	0,057	3	2	15	5,13
Electrobomba 1 hp	746	0,746	1	0,1	12	0,8952
Centrífuga pequeña	746	0,746	1	0,2	12	1,7904
Microscopio	20	0,02	2	0,1	12	0,048
Refrigeradora	350	0,35	1	3	30	31,5
Congeladora	350	0,35	1	3	30	31,5
Ecógrafo por ultra sonido	100	0,1	1	0,3	3	0,09
<b>Total, de consumo mensual en kWh</b>						<b>210,90</b>

Fuente: Osinerming (52)

Por lo tanto, de la tabla anterior se concluye que un puesto de salud tiene una demanda mensual de 378,15 kWh aproximadamente.

Otra de las cargas especiales consideradas para este estudio es un centro educativo, que sus cargas eléctricas, así como también su demanda, se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 5. Equipos eléctricos en un centro educativo**

Centro educativo						
Equipos eléctricos	Potencia eléctrica		Cantidad	Horas de consumo diario	Días de consumo al mes	Consumo mensual en kWh
	Watts	kW				
Focos	25	0,025	10	2	26	13
Computadora	200	0,2	1	5	26	26
Laptop	45	0,045	1	5	20	4,5
Impresora	150	0,15	1	0,2	12	0,36
Televisor de 20"	100	0,1	1	2	10	2
Ventilador	57	0,057	1	1	10	0,57
Electrobomba 1 hp	746	0,746	1	0,2	10	1,492
<b>Total, de consumo mensual en kWh</b>						<b>47,92</b>

Fuente: Osinerming (52).

De la tabla anterior se concluye que el centro educativo tiene una demanda mensual de 47,92 kWh.

Por otro lado, otra de las cargas consideradas como especial es el alumbrado público, por lo tanto, para este proyecto se consideró que estaría conformado por 40 lámparas de sodio de 100 W, su consumo se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 6. Cargas para alumbrado público**

Alumbrado público						
Equipos eléctricos	Potencia eléctrica		Cantidad	Horas de consumo diario	Días de consumo al mes	Consumo mensual en kWh
	Watts	kW				
Lámpara de sodio	50	0,05	25	10	30	375
<b>Total, de consumo mensual en kWh</b>						<b>375</b>
<b>Consumo de energía por abonado</b>						
			kWh-mes	Cantidad	Total, kWh-mes	kWh-año
	<b>CUAD</b>		65.76	89	5852.6	70231.7
	<b>CUAUG</b>		258.83	2	517.7	6211.8
	<b>CUAC</b>		0	0	0	0
	<b>Total</b>				<b>6370.3</b>	<b>76443.5</b>

Fuente: Osinerming (52).

### 4.1.3. Proyección de la demanda del centro poblado de Huanchos

#### 4.1.3.1. Índice de habitantes por vivienda

Este valor indica la cantidad de habitantes por vivienda que existen dentro del centro poblado de Huanchos, este valor se calculó aplicando la fórmula 2 con un valor de 3 hab./vivienda.

#### 4.1.3.2. Proyección de la población

La proyección de las viviendas de la ciudad de Huanchos se realizó aplicando la ecuación 1, considerando los parámetros que se observan en:

**Tabla 7. Resumen de proyección de la población**

Parámetro	Valor	Unidad
Población inicial	203	Habitantes
Tasa de crecimiento	0,0177	--
Año de proyección	2041	Año
Año inicial	2017	Año
Población proyectada	cal	Habitantes

#### 4.1.3.3. Proyección de las viviendas

La proyección de las viviendas se calculó con la población proyectada y el IHV del centro poblado dando una proyección de 103 viviendas para el 2041.

#### 4.1.3.4. Proyección de la demanda

La demanda proyectada se calculó con el número proyectado de viviendas y el consumo promedio de una vivienda unifamiliar resultando en una demanda de energía de 6773,28 kWh. La tabla siguiente resume los valores de las cargas del centro poblado.

**Tabla 8. Consumo eléctrico total del centro poblado de Huachos**

Consumo eléctrico mensual total en kWh			
Carga	Consumo en kWh	Cantidad	Consumo mensual en kWh
Viviendas	65,76	103	6 773,28
Puesto de salud	378,15	1	378,15
Centro educativo	75,92	1	75,92
Alumbrado público	1 440	1	1 440
<b>Consumo eléctrico total del centro poblado de Huachos</b>			<b>8667,2</b>

La tabla de consumo eléctrico del centro poblado de Huachos indica el valor del consumo total proyectado que es de 8667,2 kWh. La demanda diaria del centro poblado de Huachos se determinó dividiendo la demanda mensual entre 30 días:

$$E_{diaria} = 288,9 \text{ kWh}$$

Por lo tanto, se concluye que la energía diaria generada con el sistema híbrido eólico – fotovoltaico fue de 288,9 kWh al día.

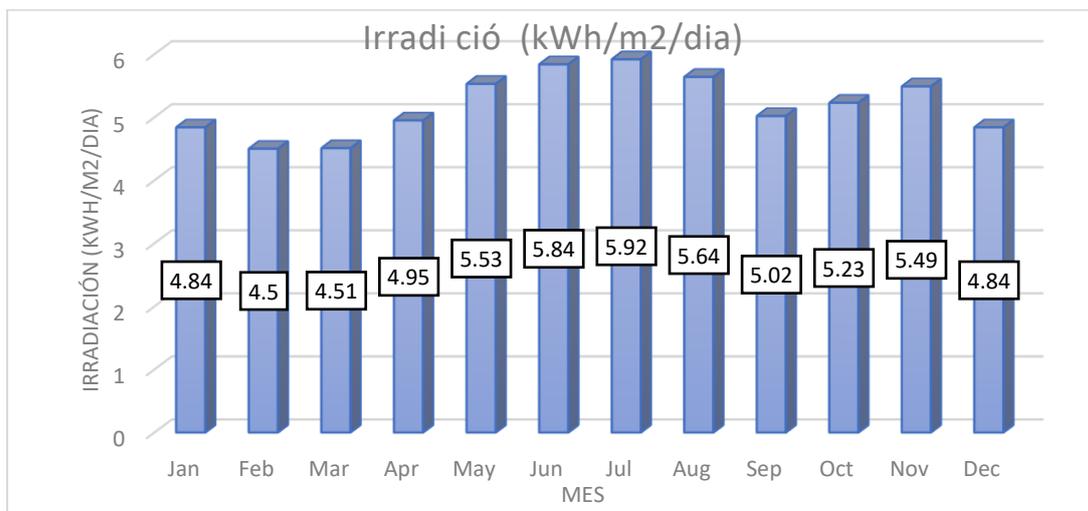
A pesar de la demanda actual de energía eléctrica en el centro poblado de Huachos, que asciende a 1989,86 kWh, la empresa Electrocentro solo proporciona un suministro mensual de 1194,09 kWh, equivalente al 60.01 % de la demanda total.

## 4.2. Dimensionamiento del sistema híbrido para el centro poblado de Huanchos

### 4.2.1. Evaluación de la disponibilidad eólica

#### 4.2.1.1. Temperatura

El centro poblado de Huanchos se caracteriza por contar con un clima variado, con temporadas frías y calurosas, debido a que se localiza a una altitud promedio de 2750 m s. n. m. y en setiembre, octubre y abril se registran lluvias de mayor magnitud (54).



**Figura 18. Temperatura mensual del 2020**  
**Fuente: NASA Power (55)**

De la figura 18 se puede obtener la temperatura promedio que es de 13.49 °C para la zona de estudio en el 2020. El registro diario de la temperatura se puede observar en el anexo L.

#### 4.2.1.2. Velocidad del viento

El registro de la velocidad del viento se realizó para los meses del 2020, con un total de 366 datos con un tiempo de muestreo de un día entre cada medición. La información fue obtenida de la base de datos de *Power Nasa*, y el registro se puede observar en el anexo K. Los datos se agruparon en intervalos, los cuales se determinaron mediante la regla de Sturges:

$$N.^\circ \text{ de intervalos} = 1 + 3.32 \log(366) = 9.54 \text{ intervalos}$$

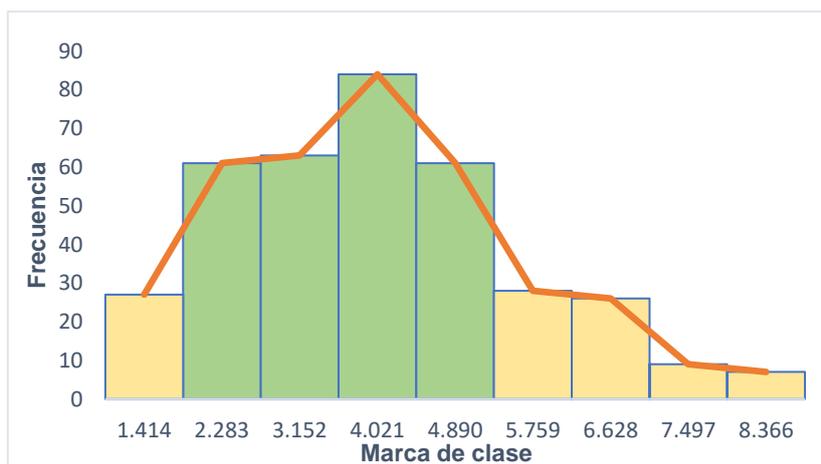
Donde por cantidad entera se tomaron 9 intervalos, para mayor exactitud en la distribución de frecuencia.

**Tabla 9. Análisis descriptivo de las velocidades del viento**

Tabla de distribución de frecuencia							
Ítem	Intervalos		Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada.	Frecuencia relativa acumulada
	Límite inferior	Límite superior	Vi	ni	hi	Ni	Hi
1	0.98	1.85	1.414	27	0.074	27	0.074
2	1.85	2.72	2.283	61	0.167	88	0.240
3	2.72	3.59	3.152	63	0.172	151	0.413
4	3.59	4.46	4.021	84	0.230	235	0.642
5	4.46	5.32	4.890	61	0.167	296	0.809
6	5.32	6.19	5.759	28	0.077	324	0.885
7	6.19	7.06	6.628	26	0.071	350	0.956
8	7.06	7.93	7.497	9	0.025	359	0.981
9	7.93	8.80	8.366	7	0.019	366	1.000
<b>Total</b>				366	1		

En la tabla 9 se muestra la distribución de frecuencia de las velocidades del viento, donde se agruparon en nueve intervalos, con una amplitud de 0.869 m/s, y se obtuvo la marca de clase  $X_i$  de cada uno de los intervalos, además se obtuvo la frecuencia absoluta, la frecuencia relativa, frecuencia absoluta acumulada y frecuencia relativa acumulada.

El histograma elaborado a partir de la tabla 9, permitió observar entre qué velocidades se halla la mayoría de los datos. La mayoría de los datos tiende a valores de velocidad de 4.021 con una frecuencia absoluta de 84, como se observa en la figura 19.



**Figura 19. Histograma de frecuencias para el viento**

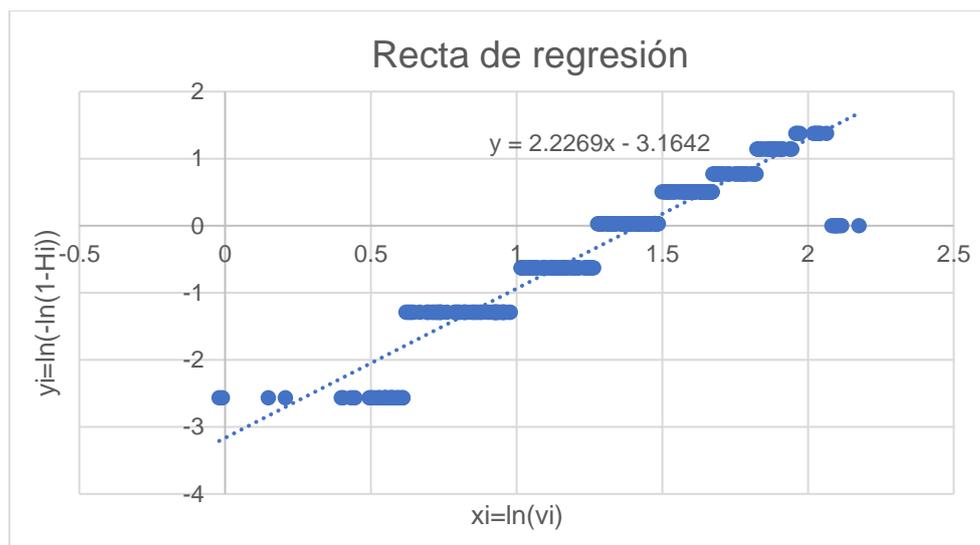
#### 4.2.1.3. Distribución de Weibull

La distribución de probabilidad del viento se realizó mediante la función de Weibull. Los parámetros de la función se obtuvieron mediante el método gráfico, por lo que se construyó la

tabla 10, donde se tabularon los valores  $x_i$  e  $y_i$  a partir de la velocidad y la frecuencia relativa acumulada respectivamente, para generar la gráfica que se observa en la figura 20.

**Tabla 10. Tabulación de los valores  $x_i - y_i$**

N.º de muestras	Velocidad $V_i$ m/s	Frecuencia relativa ac. $H_i$	$x_i = \ln(V_i)$	$y_i = \ln(-\ln(1-H_i))$
1	0.98	0.074	-0.020203	-2.568724536
2	0.99	0.074	-0.01005	-2.568724536
3	1.16	0.074	0.14842	-2.568724536
4	1.23	0.074	0.2070142	-2.568724536
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
362	8.11	1	2.0930979	0
363	8.15	1	2.0980179	0
364	8.21	1	2.1053529	0
365	8.29	1	2.11505	0
366	8.80	1	2.1747517	0



**Figura 20. Regresión lineal de  $x_i$  vs.  $y_i$**

$$y_i = 2.2269x_i - 3.1642$$

De donde se obtienen los parámetros de la función de Weibull:

Factor de forma  $k = 2.2269$

Factor de escala  $c = \exp(-3.1642/2.269) = 4.0327$

La función de densidad de probabilidad de Weibull queda determinada de la forma siguiente:

$$F(v) = 0.0997 \times v^{1.2269} \times e^{-\left(\frac{v}{4.0327}\right)^{2.2269}}$$

La función de probabilidad permitió determinar que la mayoría de las mediciones de la velocidad del viento en todos los meses del 2020 se encuentran entre los valores de 3.59 m/s y 4.46 m/s con una probabilidad de ocurrencia de 78.23 % y 80.78 % respectivamente, tal como se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11. Distribución de probabilidad del viento**

Ítem	Velocidad m/s	Densidad de probabilidad de Weibull
1	0.98	0.086
2	1.85	0.313
3	2.72	0.589
4	3.59	0.782
5	4.46	0.807
6	5.32	0.677
7	6.19	0.470
8	7.06	0.274
9	7.93	0.135
10	8.80	0.056

#### 4.2.1.4. Densidad del aire

Para el cálculo de la densidad del aire se utilizó la ecuación, que está en función a la temperatura y la altitud de la zona. La localidad se halla a 2750 m s. n. m. y conforme a los cálculos realizados cuentan con una temperatura promedio de 13.49 °C, por tanto, la densidad del aire es:

$$\rho = 1.255 \left( \frac{288}{13.49 + 273} \right) \times e^{-\left(\frac{2750}{8435}\right)}$$

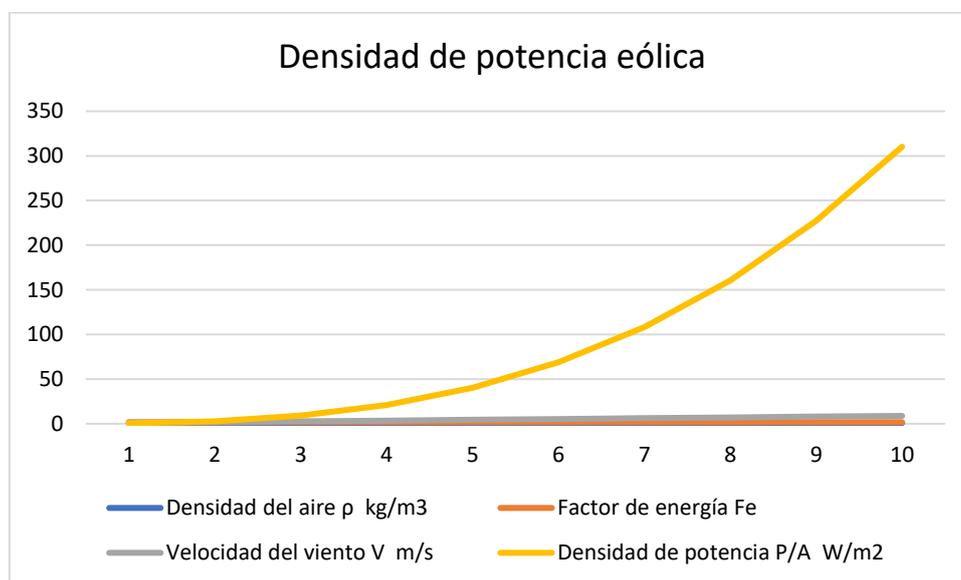
$$\rho = 0.9106 \frac{kg}{m^3}$$

#### 4.2.1.5. Potencial energético del viento

El potencial energético se determinó mediante la Ecuación 5 para la potencia eólica, que es función de los parámetros de la velocidad del viento, la densidad del aire y el área del aerogenerador. La Tabla 12 muestra los parámetros que intervienen en el cálculo de la densidad de potencia eólica. La Figura 21 se obtuvo de la Tabla 12 y muestra la curva para la densidad de potencia.

**Tabla 12. Cálculo de la densidad de potencia eólica**

Ítem	Densidad del aire $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Factor de energía $F_e$	Velocidad del viento $V$ m/s	Densidad de potencia $P/A$ W/m <sup>2</sup>
1	0.9106	1.78	0.98	0.429
2	0.9106	1.78	1.85	2.878
3	0.9106	1.78	2.72	9.140
4	0.9106	1.78	3.59	21.007
5	0.9106	1.78	4.46	40.272
6	0.9106	1.78	5.32	68.726
7	0.9106	1.78	6.19	108.161
8	0.9106	1.78	7.06	160.370
9	0.9106	1.78	7.93	227.143
10	0.9106	1.78	8.80	310.274



**Figura 21. Densidad de potencia eólica**

#### 4.2.2. Evaluación de la disponibilidad solar

En la siguiente tabla, se detalla de manera resumida las condiciones climatológicas concerniente a la irradiación en kWh/m<sup>2</sup> con respecto al 2020, parámetro fundamental para la selección y generación de energía eléctrica a través de los paneles fotovoltaicos. La irradiación global se obtuvo de los valores de irradiancia global  $G_{global}$  mensual, durante 24 horas, que puede observarse con más detalle en el anexo Ñ.



Por lo tanto, en la siguiente figura se detalla de manera gráfica el valor de radiación concerniente al 2021.

Por lo tanto, de la tabla se determina que el nivel de radiación máximo se da en octubre, noviembre y diciembre, para este proyecto se tomó el promedio anual siendo este valor de 4,78 kWh/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.3. Dimensionamiento de los módulos de energía disponible

Después de analizar y evaluar las fuentes de energías renovables disponibles en la región Huancavelica, se procede a la selección y dimensionamiento de equipos que conformaron el sistema híbrido eólico – solar para el caserío de Huanchos.

En las siguientes tablas se muestra un resumen de todas las variables estudiadas.

**Tabla 14. Resumen de los parámetros iniciales**

Variable	Dimensión
Potencia instalada	113 kW
Consumo de potencia promedio mensual (kWh)	8 667.7 kWh
Consumo de potencia promedio diario (kWh)	288.9 kWh
Velocidad del viento (m/s)	4.46 m/s
Irradiación promedio (kW/m <sup>2</sup> )	4.78 kWh/m <sup>2</sup>
Irradiación mínima mes de Julio (kW/m <sup>2</sup> )	3.91 kWh/m <sup>2</sup>
Tensión del sistema (V)	48 V

Para la selección de equipos se tuvo en cuenta su alta eficiencia y su avanzada tecnología. Sin embargo, para su cotización, modo de instalación y características de los equipos como paneles fotovoltaicos, baterías, controladores e inversores se tomó como referencia a la empresa española *Auto Solar Energy Solutions SLU*, así como, a la empresa fabricante de aerogeneradores *Qingdao Anhua New Energy Equipment Co., Ltd* de China.

##### 4.2.3.1. Selección del aerogenerador

Con los datos proporcionados en la tabla anterior, se realizó la selección del aerogenerador. Para ello se toma en cuenta la velocidad del viento, para este análisis fue de 4.46 m/s. Cabe recalcar que esta velocidad de viento es para una altura de 10 metros.

Cabe mencionar que la demanda eléctrica diaria por satisfacer es de 288,9 kWh, por lo tanto, se eligió un aerogenerador de 10 kW, para cubrir parte de este consumo eléctrico, ya que la velocidad del viento no es muy favorable. Sin embargo, la demanda restante fue cubierta por los paneles fotovoltaicos.

En la siguiente imagen se muestran las características del aerogenerador seleccionado.

**Tabla 15. Características técnicas del aerogenerador AH-10 kW**

<b>10KW -220/380V pequeño aerogenerador horizontal NE-10 kG</b>	
N.º de Modelo.	AH-10 kW
Marca comercial	ANE
Código hs	85023100
<b>Parámetros del sistema</b>	
Potencia nominal	10 kW/12 kW
Máximo poder	11 kilovatios
Altura de torre	12 metros
Velocidad nominal del rotor	220 rpm
Velocidad nominal	10 m/s
Tensión de salida	380 V
Poner en marcha la velocidad del viento	2.5 m/s
Velocidad de trabajo	3-30 m/s
Velocidad del viento de seguridad	50 m/s
La supervivencia máx. del viento (m/s)	60 m/s
Diámetro de rotor de viento (m)	7.6 m
Numero de hélices	3 palas
Cp promedio del sistema	3.6

Fuente: Qingdao Anhua New Energy Equipment (56)

A continuación, se determinó cuánta potencia va a entregar el aerogenerador, esto dependió de la velocidad del viento.

#### 4.2.4. Cálculo de la potencia del aerogenerador

Para calcular la potencia del aerogenerador, esto va depender de la velocidad del viento y también de la altura de la torre del aerogenerador. Por lo tanto, para el desarrollo de este cálculo se tienen las siguientes consideraciones, tal como se muestra en la siguiente figura.



*Figura 22. Dimensiones del aerogenerador*

Altura de la torre: 12 m

Diámetro del rotor: 7.6 m

Velocidad del viento a una altura de 10 m: 4.46 m/s

#### 4.2.5. Cálculo de la velocidad del viento a una altura de 12 m

La velocidad del viento se calculó mediante la ecuación de Hellman. En la Figura 6 se describe los coeficientes de Hellman para distintos tipos de terrenos donde se tomó un coeficiente de Hellman de 0.2, por lo tanto, la velocidad del viento a una altura de 12 m es:

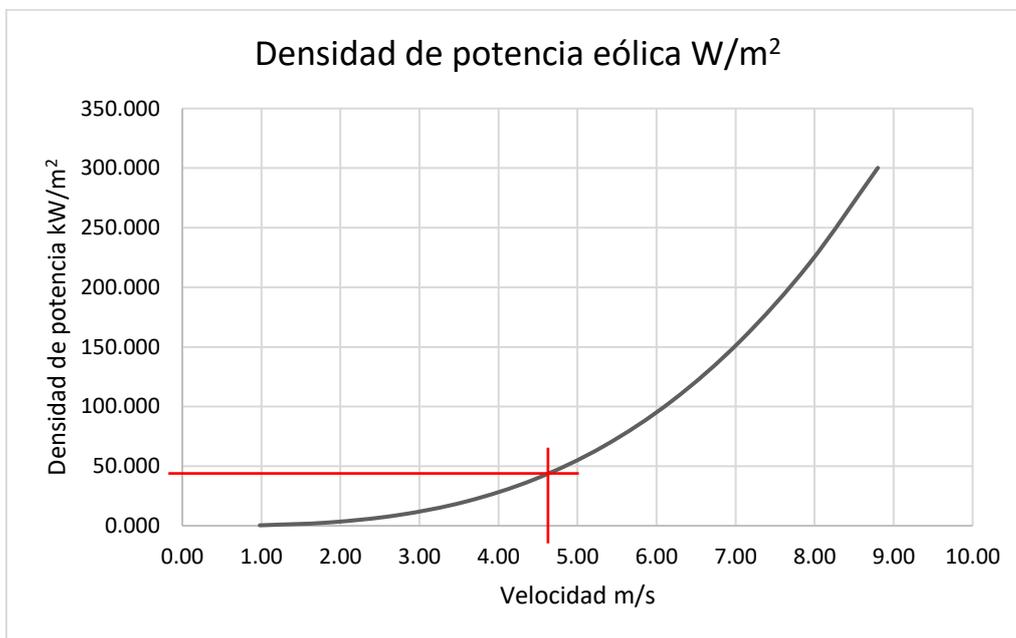
$$v_{34} = 4.46 \text{ m/s} * \left(\frac{12}{10}\right)^{0.2}$$
$$v_{34} = 4.62 \text{ m/s}$$

#### 4.2.6. Cálculo de la potencia aprovechable del viento

Para obtener la potencia extraíble del viento se tuvieron en cuenta los parámetros de la velocidad, el área de barrido de las palas del aerogenerador y la densidad de potencia para una velocidad determinada. El área de barrido de las palas se determinó:

$$A_{barrido} = \frac{\pi}{4} \times (7.6m)^2 = 45.36 m^2$$

Con la velocidad del viento a 4.62 m/s se determinó la densidad de potencia, aplicando la curva de la Figura 21, con una densidad de potencia aproximada de 43.438 W/m<sup>2</sup>.



*Figura 23. Determinación de la densidad de potencia a 4.62 m/s*

Para la obtención de la potencia eólica aprovechable, se multiplica la densidad de potencia por el área de barrido del aerogenerador:

$$P = (43.438 \frac{W}{m^2}) \times (45.36 m^2)$$
$$P = 1970.35W$$

#### 4.2.7. Cálculo de la potencia del aerogenerador

Para calcular la potencia del aerogenerador se tienen en cuenta las pérdidas que se pueden generar y afectar su eficiencia, lo que comúnmente se denomina «coeficiente de potencia», usualmente este factor lo brinda el fabricante (19).

El coeficiente promedio brindado por el fabricante es:

$$C_p = 0.36$$

Por lo tanto, la potencia del aerogenerador fue:

$$P_{aerog} = C_p * \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * (V)^3$$

$$P_{aerog} = 0,36 * \left(\frac{1}{2}\right) * 0.9106 \frac{kg}{m^3} * 45.36m^2 * \left(4.62 \frac{m}{s}\right)^3 = 733.16W$$

Con este resultado se concluye que el aerogenerador solo generó una potencia de 733.16 W, esto implica que la demanda restante se generó con paneles fotovoltaicos.

Se sabe que el aerogenerador funciona las 24 horas del día, por lo tanto, la energía en kWh al día que entrega este equipo se calculó a continuación.

$$E_{día aerog} = 733.16W * 24h = 17.596kWh$$

Con el resultado se concluye que la potencia eléctrica diaria que produjo el aerogenerador es de 17.596 kWh, sin embargo, la demanda eléctrica diaria por satisfacer es de 288,9 kWh, por lo tanto, la energía restante fue generada con paneles fotovoltaicos, siendo esta 271 596 kWh.

#### 4.2.8. Controlador de carga para el sistema eólico

El sistema eólico estuvo compuesto por un controlador con un modelo WWS100-220 y una capacidad de 10 kW de potencia, sus características se definen en la siguiente tabla.

**Tabla 16. Características del regulador eólico**

Modelo	WWS100-120	WWS100-220	WWS100-240
Potencia nominal de entrada de turbina de viento	10 kW	<b>10 kW</b>	10 kW
Potencia de entrada de turbina eólica máxima	15 kW	<b>15 kW</b>	15 kW
Turbina de viento de freno actual	84 A	<b>46 A</b>	42 A
Energía de entrada solar clasificada	3 kW	<b>3 kW</b>	3 kW
Cargo de cierre de tensión	145 V	<b>266 V</b>	290 V

Fuente: Engelec (57)

#### **4.2.9. Selección de paneles fotovoltaicos**

Como se mencionó anteriormente, el aerogenerador produjo una energía diaria de 17.596 kWh, y el sistema fotovoltaico generó la energía restante que es de 54.194 kWh. En total se tiene que generar una potencia diaria de 288,9 kWh. Motivo por el que se seleccionó paneles fotovoltaicos de alta eficiencia con una potencia de 465W cada panel de tipo monocristalino, por lo que se tomó como referencia a la empresa española *Auto Solar Energy Solutions SLU*.

En la siguiente tabla se describen las características técnicas del panel fotovoltaico.

**Tabla 17. Características técnicas del panel fotovoltaico**

Características eléctricas del módulo Fotovoltaico - Modelo JAM72S20-465/MR				Características mecánicas del módulo		
Potencia máxima nominal	$P_{max}$	465	W	Peso	25	kg
Voltaje en circuito abierto	$V_{oc}$	50.15	V	Largo	2120	mm
Tensión de alimentación máxima	$V_{mp}$	42.43	V	Ancho	1052	mm
corriente de corto circuito	$I_{sc}$	11.49	A	Espesor	40	mm
Corriente de alimentación máxima	$I_{mp}$	10.96	A			
Eficiencia del módulo	%	20.8				
Tolerancia de potencia						
Coeficiente de temperatura de $I_{sc}$	$\alpha_{I_{sc}}$	0.051				
Coeficiente de temperatura de $V_{oc}$	$\beta_{V_{oc}}$	-0.289				
Coeficiente de temperatura de $P_{max}$	$\gamma_{P_{mp}}$	-0.35				
Temperatura de operación nominal	$TNOCT$	47	°C			
<b>Influencia de la temperatura</b>						
Temperatura de celda $T_c$		59.76	°C			
Variación de la Potencia		-12.17	%			
Variación del Voltaje de circuito abierto		6.74	%			
Variación de la corriente de corto circuito		1.77	%			
Pot. Máxima		408.4	W			
$V_{oc}$ corregida		53.53	V			
$I_{sc}$ Corregido		11.7	A			
$V_{oc}$ en serie			V			
$I_{sc}$ en paralelo			A			
Precio Unitario	S/	738.29				
Precio total	S/	118 126.40				

$$T_c = T_a + G \times \frac{TNOCT - 20}{800}$$

Fuente: Autosolar (58)

Inicialmente, se determinó que la potencia generada mediante los paneles fotovoltaicos es 271 596 kWh. Por lo tanto, se determinó la cantidad de módulos fotovoltaicos que se emplearon para este proyecto.

Las horas solar pico obtenidas con la ecuación 6 de sol disponibles son:

$$HSP = 4.78 h$$

**Tabla 18. Irradiancia mensual**

Mes	Irradiancia <W/m <sup>2</sup> >	HSP <horas>	Radiación kWh/m <sup>2</sup>
Enero	5421	5.42	5.42
Febrero	5125	5.13	5.13
Marzo	4661	4.66	4.66
Abril	4273	4.27	4.27
Mayo	4037	4.04	4.04
Junio	3910	3.91	3.91
Julio	4101	4.10	4.10
Agosto	4725	4.73	4.73
Setiembre	4638	4.64	4.64
Octubre	5460	5.46	5.46
Noviembre	6216	6.22	6.22
Diciembre	5512	5.51	5.51
			4.78

Y el total de paneles fotovoltaicos necesarios se determinó aplicando la fórmula 8, con un número de módulos de:

$$N_p = \frac{1.3 * E_{diaria}}{HPS * W_p}$$

$$NP_{total} = \frac{1.3 \times 271.596 \times 10^3 Wh}{4.78h \times 465W}$$

$$NP_{total} = 159 \text{ módulos}$$

Por lo tanto, con este resultado se concluye que para satisfacer la demanda restante se necesitan 159 paneles fotovoltaicos con una potencia de 465 W.

Sin embargo, al momento de instalar los módulos fotovoltaicos se debe tener en cuenta el tipo de conexión por realizar, siendo estas conexiones en serie y en paralelo, esto va a depender del nivel de tensión que se establezca en el sistema, para esta investigación, el nivel de tensión del sistema híbrido eólico-fotovoltaico es de 48 V.

#### **4.2.9.1. Número de paneles en serie: (NPserie)**

Se aplicó la ecuación 9 para determinar el número de paneles en serie:

$$NP_{serie} = \frac{Vn}{Vp_{max}}$$

$$NP_{serie} = \frac{48 V}{42,43 V} = 1,13 \approx 2$$

Donde:

Vn: tensión nominal del sistema (48 V)

VPmax: voltaje de potencia máxima (42,43 V)

#### **4.2.9.2. Número de paneles en paralelo: (NPparalelo)**

Se aplicó la ecuación 10 para determinar el número de paneles en paralelo:

$$NP_{paralelo} = \frac{NP_{tot}}{NP_{serie}}$$

$$NP_{paralelo} = \frac{159}{2} = 80$$

En total se necesitaron 162 paneles para generar una potencia diaria de 54.194 kWh, y cubrir la demanda actual proyectada.

$$NP_{Totales} = 162$$

### **4.2.10. Controlador para los paneles fotovoltaicos**

#### **4.2.10.1. Capacidad nominal del controlador**

Por las condiciones climatológicas inestables, se toma en consideración el factor 1,15 para prevenir el aumento de intensidades, y tensiones en los paneles fotovoltaicos (35).

$$Cap_{control} = \frac{NP_{Totales} * I_{sc} * 1,15}{NP_{serie}}$$

$$Cap_{control} = \frac{162 * 9,38 * 1,15}{2} = 873,747 A$$

Del resultado anterior se obtiene una corriente a controlar de 873,747 A, motivo por que se eligió el controlador de la marca solares MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) con capacidad de 100 A – 48 V, cabe recalcar que se eligió este equipo porque tiene una alta eficiencia (30 %) en el aprovechamiento de energía.

En la Tabla 19 se describen las características técnicas de este equipo:

**Tabla 19. Características técnicas del controlador fotovoltaico**

<b>Controlador de carga solar «MPPT»</b>	
Modelo	SR-MC48100N25
Sistema de voltaje	12/24/36/48V
Voltaje máximo de entrada de energía	250 V
Corriente de carga	100 A
Potencia del panel solar (48V)	5 200 W
Peso	5,7 kg
Dimensiones	314*227*121 mm

Fuente: Autosolar (59)

A continuación, se calculó el número de controladores de carga solar.

$$N_{controladores} = \frac{873.747 A}{100 A}$$

$$N_{controladores} = 8.74 \approx 9$$

Por lo tanto, se utilizaron 9 controladores solares MPPT con capacidad de 100 A – 48 V.

#### **4.2.10.2. Dimensionamiento del sistema de acumulación de energía.**

Para el dimensionamiento de este sistema se debe de tener en cuenta algunas consideraciones, tal como se detalla en la siguiente tabla, que son consideraciones propias del sistema. Así como, parámetros que uno debe tomar en cuenta según su criterio y necesidades del diseño.

**Tabla 20. Parámetros generales del sistema diseñado**

Coefficiente de pérdidas por rendimiento en el acumulador	<b>Kb</b>	0.05
Fracción de energía que se pierde por autodescarga	<b>Ka</b>	0.005
Pérdidas por el rendimiento del inversor	<b>Ki</b>	0.05
Pérdidas en el controlador de carga	<b>Kr</b>	0.1
Otras pérdidas no consideradas anteriormente.	<b>Kv</b>	0.05
Número de días de autonomía para asegurar un servicio sin carga	<b>Pd</b>	0.6
Profundidad máxima de descarga admisible	<b>N</b>	5
Rendimiento global de la instalación	<b>R</b>	0.72

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) \times (1 - k_a \times \frac{N}{P_d})$$

**Datos para el cálculo del generador fotovoltaico**

Energía total	<b>E</b>	209.23	<b>kWh-día</b>
Rendimiento de la instalación	<b>R</b>	0.719	...
Horas solares pico	<b>HSP</b>	4.50	<b>horas</b>
Potencia corregida del módulo FV	<b>P<sub>corr.</sub></b>	408.4	<b>Wp</b>
Potencia del generador FV	<b>P<sub>gen.</sub></b>	54194	<b>W</b>
Número de módulos FV	<b>N<sub>mód.</sub></b>	<b>162</b>	<b>Módulos</b>

División de la energía	kWh-año	kWh-mes	kWh-día	Porcentaje
Energía total	109099.0	9091.6	298.9	100
Energía eólica	32729.7	2727.5	89.7	30
Energía solar FV	76369.3	6364.1	209.23	70

$$P_{generador} = \frac{E}{R \times HSP} N_{módulos} = \frac{P_{generador}}{P_{corregido}}$$

División de la energía	kWh-año	kWh-mes	kWh-día	Porcentaje
Energía total	109099.0	9091.6	298.9	100
Energía eólica	32729.7	2727.5	89.7	30
Energía solar FV	76369.3	6364.1	209.23	70

**Características eléctricas del generador**

Número de paneles en total	162.0	<b>módulos</b>
Área total del generador fotovoltaico	352.4	<b>m<sup>2</sup></b>
Tensión de máxima potencia V <sub>pm</sub>	679	<b>V</b>
Corriente de Máxima potencia I <sub>mp</sub>	110	<b>A</b>

Con este resultado se realiza la selección de las baterías, cabe recalcar que la selección de estos equipos es a criterio personal, ya que en el mercado existe un sin número de fabricantes con diferentes tipos, marcas, diseños y capacidades, sin embargo, para este análisis se seleccionó batería litio LG Chem Resu7H de 48V 189 Ah.

A continuación, se detallan las características técnicas de la batería seleccionada.

<b>Datos de la batería Seleccionada</b>			
Tensión de la batería		48	<b>V</b>
Capacidad de la batería		189	<b>Ah</b>
<b>Cálculos del banco de baterías</b>			
Capacidad del banco de baterías	$C$	3573.3	<b>Ah</b>
Número de baterías en serie	$N_s$	14	...
Número de Baterías en paralelo	$N_p$	19	$C = \frac{E \times N}{U \times P_d}$
Cantidad total de baterías	$NT$	265	
Precio unitario		S/ 31 000.96	
Precio total		S/ 8 205 691.81	

A continuación, se detallan las características técnicas de la batería seleccionada.

**Tabla 21. Características técnicas de la batería**

## 48V





Modelos	RESU3.3	RESU6.5	RESU10
Energía total [kWh]	3.3	6.5	9.8
Energía utilizable [kWh]	2.9	5.9	8.8
Capacidad [Ah]	63	126	189
Tensión nominal [V]	51.8	51.8	51.8
Rango de voltaje [V]	42.0-58.8	42.0-58.8	42.0-58.8
Potencia máxima [kW]	3.0	4.2	5.0
Pico de potencia [kW] (durante 3 seg)	3.3	4.6	7.0
Dimensión [H x A x P, mm]	452 x 401 x 120	452 x 654 x 120	452 x 483 x 227
Peso [kg]	31	52	75
Clasificación de protección hermética	IP55		
Comunicación	CAN 2.0 B		
Certificación	Cétula	UL1642	
	Producto	UL1973 / TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM	

Marcas de inversores compatibles : SMA, SolaX, Sungrow, Schneider Electric, Ingeteam, GoodWe, Redback, Victron Energy  
(A partir del tercer trimestre de 2016 se agregarán más) Inversor compatible



**RESU Plus es un kit de expansión diseñado especialmente para los modelos 48V de la nueva serie de RESU. Con RESU Plus, todos los modelos 48V pueden ser interconectados entre sí.**

- Dimensiones: 385 x 240 x 65 (HxAxP, mm)
- Unidad de baterías expandibles: máx. 2 unidades.
- Clasificación IP55

Fuente: Autosolar (60)

Sin embargo, al momento de instalar el banco de acumulación de energía, al igual que en los módulos fotovoltaicos también se debe tener en cuenta el tipo de conexión por realizar, siendo estas conexiones en serie y en paralelo, esto va a depender del nivel de tensión que se establezca en el sistema, para esta investigación el nivel de tensión del sistema híbrido es de 48 V.

Con este resultado se concluye que el banco de baterías está correctamente dimensionado.

Por lo tanto, para el sistema de acumulación de energía se necesita un total de 265 baterías con capacidad de 189 Ah y con una tensión de 48 V para poder cubrir en su totalidad la demanda actual y proyectada.

#### 4.2.11. Selección del inversor

El inversor seleccionado es de la marca Growatt serie GFX1448E, que cuenta con las siguientes características de operación:

**Tabla 22. Características técnicas del inversor**

Datos técnicos del inversor	Valor	Unidad
<b>Entrada DC</b>		
Voltaje de entrada de CC nominal	48	Vcc
Tensión máxima	1100	V
Tensión de servicio	250	V
Rango de tensión de funcionamiento	200-1000	V
Intensidad máxima	25	A
Número independientes de MPPT	7	...
Número de <i>strings</i> por MPPT	2	...
<b>Salida AC</b>		
Potencia nominal CA	30	kW
Máxima potencia de salida AC	77.7	kW
Máxima corriente de salida	112.7	A
Tensión nominal AC	400	V
Frecuencia de salida de CA	50	Hz
Voltaje de salida de CA 230	230	VCA
Salida auxiliar	12 Vc, 0,7 ACC	Vc
Precio del equipo	€ 4222.50	S/ 16 425.53
Eficiencia	0.99	
<b>Dimensiones</b>		
alto	330	mm
largo	210	mm
ancho	410	mm

Fuente: TiensoL (61) <https://tiensol.es/inversores-de-red-trifasicos/188-inversor-trifasico-30-kw-growatt-30000t13-s.html>

Como se mencionó anteriormente un inversor convencional suele trabajar con una eficiencia aproximada del 80 %, pero para este diseño se eligió un inversor híbrido con una eficiencia de 95 %.

$$Cap_{inv} = \frac{113\,000\,W}{95\%}$$

$$Cap_{inv} = 118\,947,4\,W$$

Cálculo del número de inversores

$$N_{inv} = \frac{Cap_{inv}}{P_{inv}}$$

$$N_{inv} = \frac{118\,947,4\,W}{30\,000W}$$

$$N_{inv} = 3,9 \approx 4$$

En conclusión, para cubrir la demanda de 113 kW, se necesitaron 4 inversores de 30 kW de potencia cada uno.

#### 4.2.12. Dimensionamiento de conductores eléctricos

**Tabla 23. Distancias de equipos para cálculo de conductores eléctricos**

Tramo	Longitud	Valor máximo admisible
Aerogenerador – regulador	15 m	1 %
Regulador – acumulador	15 m	1 %
Panel fotovoltaico – regulador	10 m	1 %
Regulador – acumulador	12 m	1 %
Acumulador – inversor	12 m	1 %
Inversor – tablero general	10 m	1 %

Para calcular la sección necesaria de cada conductor eléctrico en cada tramo del sistema; según el manual de instalación del regulador de carga, se utilizó la siguiente ecuación, cabe mencionar solo para cables de cobre.

$$S(mm^2) = 4,4 * 10^{-2} \frac{L * I}{\nabla V}$$

Donde:

$4,4 \times 10^{-2}$  = factor de conductividad del cobre

L = longitud del tramo(m)

I = máxima corriente (A)

$\Delta V$  = tensión máxima en serie (V)

#### 4.2.12.1. Tramo aerogenerador – regulador

Con una tensión máxima de salida en el aerogenerador de  $V = 380$  V, la caída de tensión correspondiente al 1 % fue de:

$$\nabla V = 380V * 1 \%$$

$$\nabla V = 3,8 V$$

Con el valor de la tensión (380 V) y su potencia (10 kW), se estima el valor de la corriente, valor importante para dimensionar la sección del conductor eléctrico.

$$I = \frac{P(Watts)}{V}$$

$$I = \frac{10\,000\,W}{380\,V}$$

$$I = 26,32\,A$$

Para un buen dimensionamiento de conductores, el CNE recomienda que su capacidad de corriente no debe ser menor del 125 % de su corriente nominal (61).

$$I = 26,32\,A * 1,25$$

$$I = 32,9\,A$$

Además, conociendo la longitud del tramo,  $L = 15$  m, la caída de tensión,  $\nabla V = 3,8V$  y la corriente  $I = 32,9A$ .

La sección de cable fue de:

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} \frac{15 \text{ m} * 32,9 \text{ A}}{3,8 \text{ V}}$$

$$S = 5,7 \text{ mm}^2$$

Para saber el calibre del conductor se hace referencia a las tablas establecidas por el CNE que se muestran a continuación.

**Tabla 24. Calibres de conductores según CNE**

Calibre conductor (mm <sup>2</sup> )	N.º de hilos	Diámetro hilo (mm)	Diámetro conductor (mm)	Espesor aislamiento (mm)	Diámetro exterior (mm)	Peso (kg/km)	Re. elect. máx. CC 20 °C (Ohm/km)	Amperaje	
								Aire (A)	Ducto (A)
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	32	7.41	37	27
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	48	4.61	45	346
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	67	3.08	61	44
10	7	1.33	3.99	1.1	6.2	116	1.83	88	62

Con una sección de 5,7 mm<sup>2</sup> y según la tabla anterior corresponde a un conductor NHX-90 de calibre de 6 mm<sup>2</sup>.

Para estar seguros de la elección, nuevamente se calcula el porcentaje de caída de tensión.

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{L * I}{S(\text{mm}^2)}$$

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{15 * 32,9}{6}$$

$$\nabla V = 3,619 \text{ V}$$

$$\nabla V \% = \frac{3,619}{6}$$

$$\nabla V \% = 0,95 \%$$

Con esto se concluye que se eligió de manera correcta el conductor NHX-90 de calibre de  $6\text{mm}^2$ .

#### 4.2.12.2. Tramo regulador (aerogenerador) – acumulador

Para calcular la caída de tensión en este tramo se tiene en cuenta la tensión de salida de regulador, que es de  $V = 220\text{ V}$ , la caída de tensión correspondiente al 1 % fue de:

$$\nabla V = 220\text{ V} * 1\%$$

$$\nabla V = 2,2\text{ V}$$

Para calcular la corriente se tiene en consideración la tensión de salida del regulador, su potencia y su longitud.

$$P = 10\text{ kW}$$

$$V = 220\text{ V}$$

$$L = 15\text{ m}$$

$$I = \frac{P(\text{Watts})}{V}$$

$$I = \frac{10\,000\text{ W}}{220\text{ V}}$$

$$I = 45,45\text{ A}$$

Una vez calculada la corriente, se conoció el calibre del conductor con la siguiente ecuación.

$$S(\text{mm}^2) = 4,4 * 10^{-2} \frac{15\text{ m} * 45,45\text{ A}}{2,2\text{ V}}$$

$$S = 13,35\text{ mm}^2$$

Con una sección de  $13,35\text{ mm}^2$  y según la tabla 23 corresponde a un conductor NHX-90 de calibre de  $16\text{ mm}^2$ .

Para verificar la correcta elección del conductor eléctrico, se comprobó que con esta sección no se superan los límites porcentuales de caída de tensión.

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{L * I}{S(mm^2)}$$

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{15 * 45,45}{16}$$

$$\nabla V = 1,87 V$$

$$\nabla V \% = \frac{1,87}{2,20}$$

$$\nabla V \% = 0,85 \%$$

Con esto se concluye que se eligió de manera correcta el conductor NHX-90 de calibre de 16 mm<sup>2</sup>.

#### **4.2.12.3. Tramo campo fotovoltaico – regulador**

Con una tensión máxima de salida en los paneles de Vmp = 42,43 V, la caída de tensión correspondiente al 1 % fue de:

$$\nabla V = 42,43 * 1 \%$$

$$\nabla V = 0,4243$$

Además, conociendo la longitud del tramo, L = 10 m, y la corriente ICC = 11,49 A

La sección de cable fue de:

$$S(mm^2) = 4,4 * 10^{-2} \frac{10 m * 11,49 A}{0,4243 V}$$

$$S = 11,9 mm^2$$

Con una sección de 11,9 mm<sup>2</sup> y según la tabla 23 corresponde a un conductor eléctrico NHX-90 de calibre de 16 mm<sup>2</sup>.

Para verificar la correcta elección del conductor eléctrico, se comprobó que con esta sección no se superan los límites porcentuales de caída de tensión.

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{L * I}{S(mm^2)}$$

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{10 * 11,49}{16}$$

$$\nabla V = 0,32 V$$

$$\nabla V \% = \frac{0,32}{0,4243}$$

$$\nabla V \% = 0,75 \%$$

Con esto se concluye que se eligió de manera correcta el conductor NHX-90 de calibre de 16 mm<sup>2</sup>.

#### 4.2.12.4. Tramo campo regulador – acumulador

Para este cálculo se tiene en consideración la corriente de salida de los paneles

I = 11,49 A y la caída de tensión fue de 1 %.

L = 12 m

V = 48 V

$$\nabla V = 48V * 1 \%$$

$$\nabla V = 0,48 V$$

Con este valor se calculó la sección del conductor

$$S(mm^2) = 4,4 * 10^{-2} \frac{L * I}{\nabla V}$$

$$S(mm^2) = 4,4 * 10^{-2} \frac{12 m * 11,49 A}{0,48 V}$$

$$S = 12,64 mm^2$$

Con una sección de  $12,64 \text{ mm}^2$  y según la tabla 23 corresponde el conductor NHX-90 de calibre de  $16 \text{ mm}^2$ .

Para verificar la correcta elección del conductor eléctrico, se comprobó que con esta sección no se superan los límites porcentuales de caída de tensión.

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{L * I}{S(\text{mm}^2)}$$

$$\nabla V = 4,4 * 10^{-2} \frac{12 * 11,49}{16}$$

$$\nabla V = 0,32 \text{ V}$$

$$\nabla V \% = \frac{0,32}{0,48} = 0,66 \%$$

Con esto se concluye que se eligió de manera correcta el conductor NHX-90 de calibre de  $16 \text{ mm}^2$ .

#### **4.2.12.5. Tramo acumulador – inversor**

Como se trata de la misma tensión, entonces también le corresponde un cálculo igual que el anterior, obteniendo un conductor NHX-90 de calibre de  $16 \text{ mm}^2$ .

#### **4.2.12.6. Tramo inversor – tablero**

Para esta sección a diferencia de los tramos anteriores, tenemos corriente alterna trifásica la cual se trabajó con los siguientes parámetros.

Potencia = 113 kW; V = 380 V;  $\text{Cos}\phi = 0,85$

$$P = \sqrt{3} * V * I * \text{COS}\phi$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \text{COS}\phi}$$

$$I = \frac{113\ 000\text{W}}{\sqrt{3} * 380 * 0,85} = 201,9 \text{ A}$$

Como todo conductor no trabaja al 100 % y por seguridad a esta corriente se le agrega un 25 % de su capacidad.

$$I = 201,9 * 1,25$$

$$I = 252,4 A$$

Con este valor de corriente de 252,4 A y según la siguiente tabla de CNE se selecciona el tipo de conductor que le corresponde para esta corriente calculada

**Tabla 25. Sección de conductores para una corriente de 252 A**

Calibre conductor (mm <sup>2</sup> )	N.º hilos	Diámetro hilo (mm)	Diámetro conductor (mm)	Espesor aislamiento (mm)	Diámetro exterior (mm)	Peso (kg/km)	Re. elect. máx. CC 20 °C (Ohm/km)	Amperaje	
								Aire (A)	Ducto (A)
35	7	2.51	6.92	1.1	9.1	359	0.524	197	135
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	489	0.387	245	160
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	689	0.268	307	203
95	19	2.51	11.55	1.4	14.4	942	0.193	375	242

Fuente: CNE

Por lo tanto, para una corriente de 252,4 A y según la tabla 24 del CNE le corresponde un conductor eléctrico NHX-90 con una sección de 70 mm<sup>2</sup> que soporte una corriente de hasta 307 A.

En la siguiente tabla se observa de manera resumida el calibre del conductor para cada tramo de cada equipo.

**Tabla 26. Resumen de distancias entre los equipos del sistema híbrido**

Tramo	Longitud (m)	Calibre conductor NHX-90 (mm <sup>2</sup> )
Aerogenerador – regulador	15	6
Regulador – acumulador	15	16
Panel fotovoltaico – regulador	10	16
Regulador – acumulador	12	16
Acumulador – inversor	12	16
Inversor – tablero general	10	70

#### 4.2.13. Determinación del área para la instalación del sistema híbrido

Para determinar el área total de la instalación, primero se tiene que calcular algunos parámetros, tales como, el ángulo óptimo de cada panel y la distancia entre ellos. Lo cual se refleja en los siguientes cálculos.

##### 4.2.13.1. Cálculo del ángulo óptimo ( $\beta$ )

Para un mejor aprovechamiento de la radiación solar depende mucho del ángulo que tenga dicho panel fotovoltaico y también de la latitud del lugar. Como se expresa a continuación (37).

$$\beta = 3,7 + 0,69 * |\phi|$$

Donde:

$\phi$ : Es latitud del lugar siendo este valor igual a -12,5252 (62).

$$\beta = 3,7 + 0,69 * |-12,5252|$$

$$\beta = 12^\circ$$

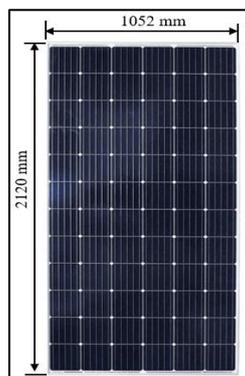
Se consideró 15° con la finalidad de evitar la acumulación de polvo y humedad.

$$\beta = 12^\circ + 15^\circ$$

$$\beta = 27^\circ$$

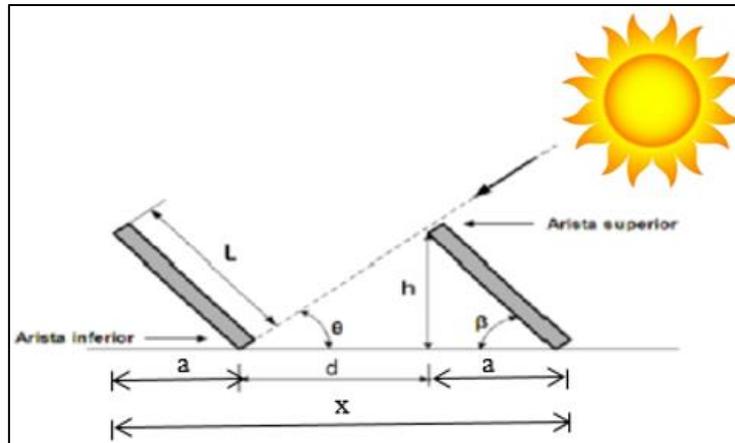
##### 4.2.13.2. Distancia de sombras y distancia mínima entre paneles

Para realizar una instalación de paneles fotovoltaicos, se tiene en cuenta la sombra que proyecta cada módulo. A continuación, se determinó la distancia requerida (35).



**Figura 24. Dimensiones del panel fotovoltaico JAM72S20 440-465/MR**  
**Fuente: Autosolar (58)**

En la siguiente figura se muestra la distribución de las sombras que proyectan los paneles fotovoltaicos.



**Figura 25. Disposición de distancia entre sombras de los paneles fotovoltaicos**  
**Fuente: Abad y Flores (35)**

Donde:

$d_{min}$ : Distancia mínima entre aristas de paneles (m)

$$d = \frac{h}{\tan(67^\circ - \phi)}$$

$\phi$ : latitud del lugar (-12,5252)

$\beta$ : ángulo de inclinación del panel fotovoltaico con respecto a la horizontal

L: longitud del panel fotovoltaico (2,120 m)

h: altura solar (m)

$$h = \text{sen}(\beta) * L$$

$$h = \text{sen}(27^\circ) * 2,120$$

$$h = 0,96 \text{ m}$$

Finalmente se calculó la distancia

$$d = \frac{0,96}{\tan(67^\circ - 12,067608)}$$

$$d = 0,7 \text{ m}$$

Por lo tanto, los paneles fotovoltaicos estuvieron separados por una distancia de 0,7 metros.

Calculando el valor de «a». Para ello se utilizó la razón trigonométrica.

$$\cos \beta = \frac{a}{L}$$

Donde:

$$\beta = 27^\circ$$

L= 2,120 m (longitud de panel fotovoltaico)

$$\cos 27^\circ = \frac{a}{2,120}$$

$$a = 1,89m$$

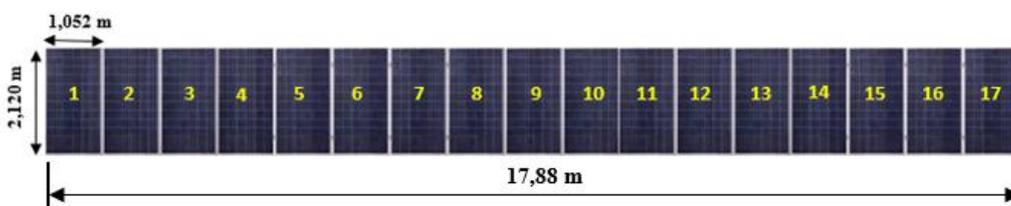
Entonces la longitud (X) de separación entre paneles para el arreglo en paralelo fue de:

$$X = 2a + d$$

$$X = 2(1,89) + 0,7$$

$$X = 4,48 \text{ m}$$

Finalmente, se calculó la distancia que toma un arreglo en serie, que estuvo conformado por 17 paneles fotovoltaicos. Cabe recalcar que para este arreglo no hubo separación alguna, por ende, la distancia total sería la suma del ancho de cada panel. Tal como se muestra en la siguiente figura.



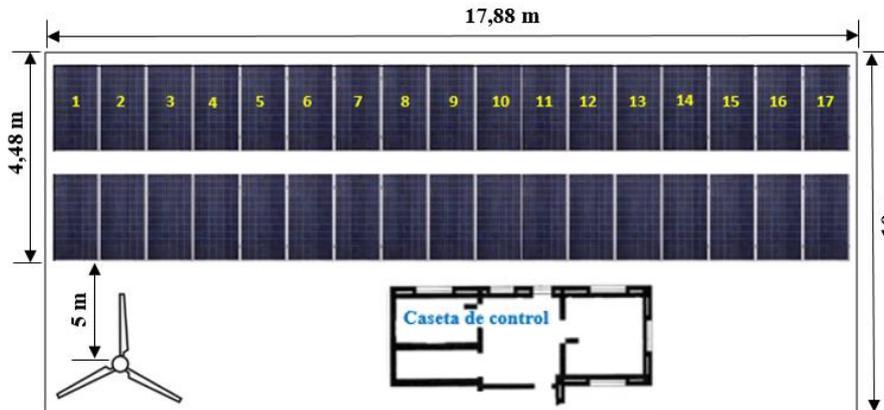
*Figura 26. Distribución de los paneles fotovoltaicos*

*Fuente: Abad y Flores (35)*

$$D = (\text{Ancho de panel fotovoltaico}) * (\# \text{ de paneles fotovoltaicos})$$

$$D = 1,052 \text{ m} * 17 = 17,88 \text{ m}$$

Finalmente, el arreglo de los paneles fotovoltaicos más la instalación del aerogenerador y la caseta para el tablero de control y demás componentes quedaron definidas de la siguiente manera.



**Figura 27. Distribución general de los componentes del sistema híbrido**  
Fuente: Abad y Flores (35)

Con la distribución de los equipos realizados anteriormente se tiene que el área que ocupó la instalación híbrida eólica – fotovoltaica fue de 180 m<sup>2</sup> aproximadamente. El plano a detalle del sistema híbrido eólico fotovoltaico se puede observar en el anexo X.

#### 4.2.14. Análisis de costo-beneficio del sistema eólico-fotovoltaico

Para el desarrollo de este análisis es necesario tener en cuenta algunos aspectos como es el costo directo e indirecto del proyecto, así mismo, se consideran los costos de mantenimiento y su depreciación anual. Para el cálculo del costo directo, se consideraron el costo directo de los materiales del sistema eólico – solar (ver anexo I), que se presenta en la tabla 27.

**Tabla 27. Valor referencial de los equipos del sistema híbrido**

Costo de los componentes del sistema eólico - solar				
Descripción	Modelo	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Aerogenerador	AH-10 kW	1	S/ 34 020.00	S/ 34 020.00
Regulador del aerogenerador	WWS100-220	1	S/ 7160.26	S/ 7160.26
Panel fotovoltaico	JAM72S20 440-465/MR	162	S/ 917.55	S/ 148 643.04
Regulador fotovoltaico	SR-MC48100N25	9	S/ 2519.60	S/ 22 676.40
Batería	Ultracell UZS600	68	S/ 2360.00	S/ 160 480.00
Inversor	Inversor Growatt de 70 kW	4	S/ 16 425.53	S/ 65 702.12
<b>Total</b>				<b>S/ 438 681.82</b>

Se considera como un costo directo la mano de obra contratada para la ejecución del proyecto, que se muestra más a detalle en la tabla 28.

**Tabla 28. Costos de mano de obra directa**

<b>Costo de mano de obra directa</b>				
<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Tiempo (mes)</b>	<b>Costo total</b>
Ingeniero Mecánico eléctrico	1	S/ 6000.00	3	S/ 18 000.00
Ingeniero de seguridad	1	S/ 5500.00	3	S/ 16 500.00
Técnico Montajista	2	S/ 2800.00	3	S/ 16 800.00
Técnico electricista	3	S/ 3000.00	3	S/ 27 000.00
Maestros	2	S/ 2200.00	3	S/ 13 200.00
Obreros	5	S/ 1800.00	3	S/ 27 000.00
<b>Total</b>				<b>S/ 118 500.00</b>

El costo directo total del proyecto resulta de la suma total de los anteriores costos directos, que en la tabla 29 se muestra a detalle.

**Tabla 29. Costos directos**

<b>Costos directos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo (S/)</b>
Costos de los componentes del sistema eólico – solar	S/ 438 681.82
Mano de obra	S/ 118 500.00
Montaje electromecánico	S/ 11 000.00
Otros	S/ 5500.00
<b>Total</b>	<b>S/ 573 681.82</b>

Para el costo indirecto del proyecto se consideraron los parámetros como suministro de materiales y transporte que se muestra en la tabla 30.

**Tabla 30. Costos indirectos del proyecto**

<b>Costos indirectos</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo (S/)</b>
Suministro de materiales	S/ 9000.00
Transportes de materiales	S/ 10 500.00
<b>Total</b>	<b>S/ 19 500.00</b>

Entonces el presupuesto total del proyecto híbrido eólico – solar resulta de la suma de los costos directos e indirectos que se muestra en la tabla 31.

**Tabla 31. Inversión total del proyecto**

<b>Inversión del proyecto</b>	
Costos directos	S/ 573 681.82
Costos indirectos	S/ 30 500.00
Imprevistos (5 %)	S/ 28 066.15
<b>Total</b>	<b>S/ 632 247.97</b>

Por lo tanto, con los resultados de la tabla anterior se concluye que la inversión total del proyecto asciende a un monto de S/ 573 681.82.

A continuación, se detalla el costo de mantenimiento de equipos del sistema híbrido.

**Tabla 32. Costos por mantenimiento**

<b>Costos por mantenimiento</b>	
Mantenimiento correctivo	S/ 10000.00
Mantenimiento preventivo	S/ 9000.00
<b>Total</b>	<b>S/ 19 000.00</b>

En la siguiente tabla se calculó la depreciación ( $Dep_{equ}$ ) de los equipos del proyecto, que es igual a su costo total entre su vida útil.

$$Dep_{equ} = \frac{\text{Costo total}}{\text{vida útil}}$$

**Tabla 33. Depreciación anual de equipos**

<b>Depreciación anual de los equipos</b>					
<b>Equipos</b>	<b>Vida útil (años)</b>	<b>Cantida d</b>	<b>Costo und. (S/)</b>	<b>Costo total (S/)</b>	<b>Depre/año</b>
Aerogenerador	20	1	S/ 34 020.00	S/ 34 020.00	S/ 1701.00
Regulador del aerogenerador	13	1	S/ 7160.26	S/ 7160.26	S/ 550.79
Panel fotovoltaico	20	165	S/ 895.44	S/ 148 643.04	S/ 7432.15
Regulador fotovoltaico	13	9	S/ 2519.60	S/ 22 676.4	S/ 1744.33
Batería	12	68	S/ 2360.00	S/ 160 480.00	S/ 13 373.33
Inversor	15	4	S/ 16 425.53	S/ 65 702.12	S/ 3285.106
<b>Depreciación total (S/)</b>				<b>S/ 28 086.726</b>	

Sin embargo, con este proyecto se estaría cubriendo al 100 % la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, donde la producción de energía en kWh multiplicado por el costo del kW se tendría el ingreso mensual, parámetro fundamental para desarrollar el flujo de caja y los indicadores económicos. A continuación, en la tabla 32, se detallan los ingresos mensuales y anuales de la producción de energía eléctrica con el diseño de este sistema híbrido, como aclaración, el costo de la energía producida se obtiene del pliego tarifario para sistemas fotovoltaicos otorgado por Minem, en este caso la tarifa para sistemas fotovoltaicos en sierra con módulos del tipo BT8-50, se obtiene un costo del kWh de S/ 2.30 (63).

Sh = empresa

S/

**Tabla 34. Generación de energía eléctrica**

<b>Generación de energía eléctrica</b>				
<b>kWh-día</b>	<b>kWh-mes</b>	<b>kWh-año</b>	<b>Costo kWh (S/)</b>	<b>Total, S/</b>
288.9	8667.7	10 4012.4	S/ 2.30	<b>S/ 239 228.52</b>

Por lo tanto, con los resultados de la tabla anterior se concluye que el ingreso económico anual asciende a S/ 239 228.52, aproximadamente.

Una vez analizada la depreciación de equipos y el presupuesto total de la inversión, se realizó el cálculo de indicadores (VAN, TIR, B/C) para poder interpretar de manera efectiva la inversión desde la perspectiva económica. Para este análisis se debe tener en consideración los siguientes datos.

**Tabla 35. Parámetros para calcular los indicadores económicos**

<b>Parámetros para calcular los indicadores</b>	
Inversión del proyecto	<b>S/ 632 247.97</b>
Depreciación de equipos	<b>S/ 28 086.726</b>
Ingreso anual	<b>S/ 239 228.52</b>
Taza de descuento	16 %
Tiempo de vida del proyecto	20 años

#### **A. Tasa de descuento**

La tasa de descuento es una de las medidas con mayor relevancia en la evaluación de proyectos de inversión, tanto en el sector público como privado, a su vez es el elemento que permite comparar flujos de beneficios y costos que ocurren en distintos periodos de tiempo (43). Para la elaboración de este proyecto se estima una tasa de descuento del 16 %.

## B. Valor actual neto (VAN)

El VAN es un indicador de rentabilidad que demuestra el ingreso adicional que genera un proyecto después de descontar todos sus costos en un determinado periodo, es decir, todo proyecto es aceptable cuando el valor del VAN es mayor a cero, de lo contrario no es viable. Para calcular dicho indicador se utilizó la siguiente ecuación (40).

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n}$$

Donde:

I<sub>0</sub>: es la inversión inicial

BN: beneficios netos del periodo

r: tasa de interés

n: número de periodos considerados

t: tiempo

## C. Tasa interna de retorno (TIR)

Por su parte, este indicador es aquella tasa de interés que hace que el valor actualizado de los ingresos sea igual al valor actualizado de los costos, Por lo tanto, hace que el VAN sea igual a cero. Para calcular el valor de dicha tasa se utilizó la siguiente expresión:

$$VAN = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^n} = 0$$

El criterio fundamental para aceptar o rechazar la viabilidad del proyecto, es la tasa interna de retorno, es decir, si el TIR es mayor a la tasa de descuento del proyecto (12 %), es aceptable y si es menor a la tasa de descuento es inviable (41).

## D. Periodo de recuperación

Representa la cantidad de años que se necesita para recuperar una inversión a partir de los flujos netos de efectivo descontados. Su objetivo principal es determinar el tiempo en que se recupera la inversión inicial. Para ello se debe tener en cuenta dos aspectos (41).

Flujos de caja igual: para este tipo de análisis se emplea la siguiente ecuación:

$$Payback = \frac{I_0}{F}$$

Donde:

I0: es la inversión inicial del proyecto

F: es el valor de los flujos de caja

Flujos de caja diferente: en este tipo de análisis los flujos de caja son variables, para ello se calcula con la siguiente ecuación:

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{F_t}$$

Donde:

a: es el número del periodo inmediatamente anterior hasta recuperar el desembolso inicial

I0: es la inversión inicial del proyecto

b: es la suma de los flujos hasta el final del periodo «a»

Ft: es el valor del flujo de caja en el que se recupera la inversión

#### **E. Evaluación del costo-beneficio (B/C)**

Este indicador se calcula mediante la relación entre los beneficios y los costos o egresos de un proyecto. Su resultado se basa en la relación entre el VAN de los ingresos de efectivo futuras y el VAN del presupuesto (42).

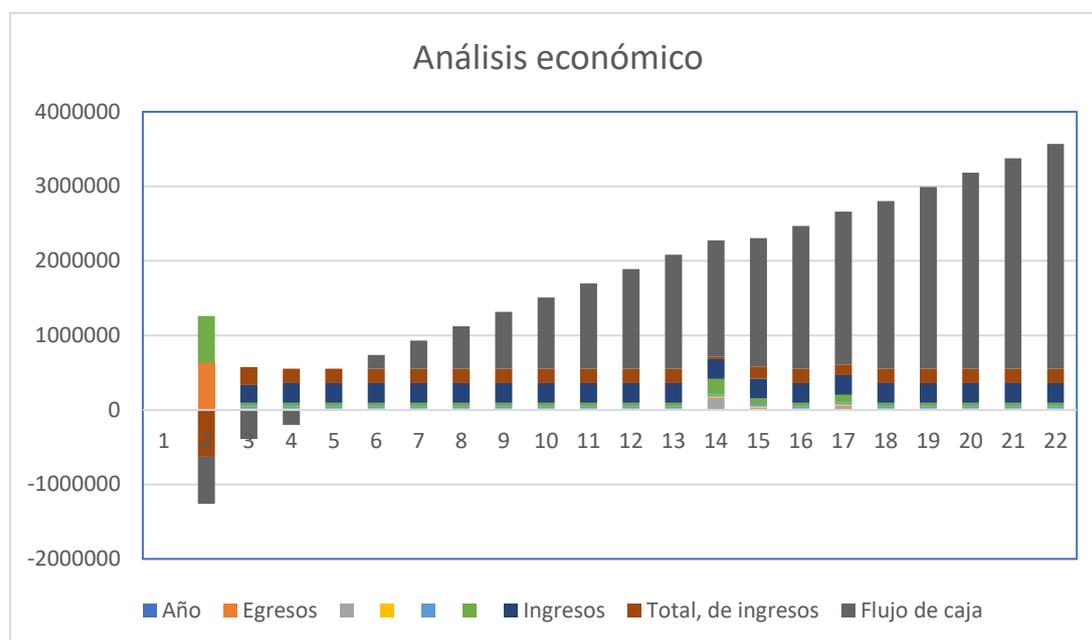
$$B/C = \frac{VAN_{total\ ingresos}}{VAN_{total\ egresos}}$$

A continuación, en la siguiente tabla se representa la evaluación económica para un periodo de 20 años, donde se muestran valores de cómo el flujo de caja va ascendiendo dentro del periodo establecido.

**Tabla 36. Evaluación económica del proyecto**

Año	Inversión	Cambio de equipos	Egresos		Total egresos	Ingresos		Flujo de caja
			Operación y mtto.	Pérdidas por depreciación		cobro de energía	Total, de ingresos	
0	S/ 630 452.64	0			S/ 630 452.64		-S/ 630,452.64	-S/ 630,452.64
1	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 239 228.52	S/ 239,228.52	-S/ 391,224.12
2	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	-S/ 199,082.32
3	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	-S/ 6,940.53
4	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 185,201.27
5	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 377,343.06
6	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 569,484.85
7	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 761,626.65
8	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 953,768.44
9	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 1,145,910.24
10	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 1,338,052.03
11	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 1,530,193.82
12	0	S/ 160 480.00	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	207 566.73	S/ 266 271.74	S/ 31,661.79	S/ 1,561,855.62
13	0	S/ 29 836.66	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	76 923.39	S/ 266 271.74	S/ 162,305.13	S/ 1,724,160.75
14	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 1,916,302.55
15	0	S/ 53 343.36	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	100 430.09	S/ 266 271.74	S/ 138,798.43	S/ 2,055,100.98
16	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 2,247,242.77
17	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 2,439,384.57
18	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 2,631,526.36
19	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 2,823,668.16
20	0	0	S/ 19 000.00	S/ 28 086.73	47 086.73	S/ 266 271.74	S/ 192,141.79	S/ 3,015,809.95

Con los datos de la tabla anterior se calcula el *pay back* que a continuación se representa de manera gráfica. Arroja como resultado un periodo de recuperación a partir del tercer año.



**Figura 28. Periodo de recuperación de la inversión**

En la siguiente tabla se presentan los indicadores económicos:

**Tabla 37. Resultado de los indicadores económicos**

	Resultados finales		
<b>Inversión</b>	<b>S/ 630 452.64</b>	<b>VAN</b>	<b>S/ 2 744 839.45</b>
<b>Tasa de descuento</b>	<b>16 %</b>	<b>TIR</b>	<b>31 %</b>
<b>VAN costos</b>	<b>S/ 260 400.61</b>	<b>Pay Back</b>	<b>3.27</b>
<b>VAN beneficios</b>	<b>S/ 1 318 282.20</b>	<b>B/C</b>	<b>S/ 3.61</b>

De los resultados finales se concluye que se obtiene un VAN de S/ 2 744 839.45 y un TIR del 31 %, que lo convierte en un proyecto viable con un periodo de recuperación de 3.27 años y un costo-beneficio de S/ 3.61.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos, si bien es cierto que al ser un estudio no experimental, de igual manera, se debe determinar el cumplimiento de las hipótesis específicas. Por tal motivo, se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

**Tabla 38. Estimación de la radiación solar y la energía eólica para el 2021 mediante promedios móviles**

	Fecha	Radiación solar	Energía eólica	Energía eléctrica
Observado	Ene-20	4.84	4.19	6370.3
	Feb-20	4.50	3.68	6367.1
	Mar-20	4.51	3.66	6436.0
	Abr-20	4.95	3.64	6515.1
	May-20	5.53	3.29	6978.5
	Jun-20	5.84	3.62	7286.5
	Jul-20	5.92	4.17	7321.8
	Ago-20	5.64	4.57	6993.2
	Set-20	5.02	4.65	6607.2
	Oct-20	5.23	5.00	6283.6
	Nov-20	5.49	4.36	6725.8
	Dic-20	4.84	3.53	6370.3

#### 4.2.15. Resultados descriptivos

La tabla 39 permite visualizar las características de los conjuntos sometidos a evaluación. Siento estos «Demanda\_eléctrica\_pre» «Demanda\_eléctrica\_post», cada uno con 3 datos por evaluar.

**Tabla 39. Análisis descriptivo de la demanda**

	Media	60,0067	
<b>Demanda_eléctrica_pre</b>	95 % de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	52,5418
		Límite superior	67,4715
	Media recortada al 5 %	.	
	Mediana	60,0100	
	Varianza	9,030	
	Desviación estándar	3,00500	
	Mínimo	57,00	
	Máximo	63,01	
	Rango	6,01	
	Asimetría	-,005	
	Media	100,0000	
<b>Demanda_eléctrica_post</b>	95 % de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	87,5793
		Límite superior	112,4207
	Media recortada al 5 %	.	
	Mediana	100,0000	
	Varianza	25,000	
	Desviación estándar	5,00000	
	Rango	10,00	
	Asimetría	,000	

La tabla 39 presenta un análisis descriptivo de dos conjuntos, el análisis del pretest «Demanda\_eléctrica\_pre» promedio es de aproximadamente 60,0067, con un intervalo de

confianza del 95 % entre 52,5418 y 67,4715, indicando un deficiente abastecimiento de la demanda eléctrica antes de la implementación del sistema híbrido, la dispersión alrededor de la media se refleja en una varianza de 9,030 y una desviación estándar de 3,005. En comparación con el análisis del postest «Demanda\_eléctrica\_post» la demanda eléctrica abastecida promedio después de la implementación del sistema híbrido es de 100,0000, con un intervalo de confianza entre 87,5793 y 112,4207, la varianza es mayor y tiene un valor de 25,000 y la dispersión aumenta con una desviación estándar de 5,00000. Estos resultados proporcionan una visión detallada de la distribución y la variabilidad del abastecimiento de la demanda eléctrica antes y después de la implementación del sistema híbrido, destacando que se incrementó de manera positiva el indicador.

#### 4.2.16. Resultados inferenciales

La cantidad de datos presentada es inferior a 30, debido a esto se optó por emplear la prueba de Shapiro-Wilk con el fin de evaluar la normalidad de las muestras.

**Tabla 40. Prueba de normalidad de la demanda**

	Kolmogórov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Demanda_eléctrica_pre	,175	3	.	1,000	3	,998
Demanda_eléctrica_post	,175	3	.	1,000	3	1,000

El resultado de la prueba de normalidad para la variable disponibilidad Demanda\_eléctrica\_pre presenta una significancia con un valor de 0.998 que es superior a 0,05, lo que lo define con una distribución normal. Así mismo, la variable Demanda\_eléctrica\_post presenta una significancia de 1,000, siendo de igual manera superior a 0,05, interpretándose como de distribución normal. Con base en estos resultados se procede a aplicar la prueba *t*-Student para muestras emparejadas.

**Tabla 41. Prueba de *t*-Student de la demanda**

	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Diferencias emparejadas		t	gl	Sig. (bilateral)
				95 % de intervalo de confianza de la diferencia Inferior	Superior			
Par 1 Demanda _eléctrica _pre Demanda _eléctrica _post	-39,99333	1,99500	1,15181	-44,94919	-35,037747	-34,722	2	0,001

La tabla 41 presenta como resultado de la muestra una significancia con valor inferior a 0,05, lo que fundamenta el rechazo de la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Determinando así que el diseño del sistema híbrido cubre la demanda energética del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa.

### **4.3. Diseño del sistema híbrido para cubrir la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica**

El diseño e implementación del sistema híbrido propuesto para cubrir la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica, abarca la instalación de un aerogenerador de 10 kW y 162 paneles fotovoltaicos JAM72S20 440-465/MR para aprovechar las fuentes de energía eólica y solar disponibles. Se incorporan baterías modelo Ultracell UZS600 para el almacenamiento de energía, reguladores del aerogenerador y fotovoltaicos, así como, inversores Growatt de 70 kW.

La implementación de este sistema híbrido ha permitido satisfacer el 100 % de la demanda actual del centro poblado de Huanchos, ubicado en el distrito de Paucarbamba. La demanda eléctrica actual se sitúa en 1 989,86 kWh, mientras que la empresa Electrocentro proporciona un suministro mensual de solo 1 194,09 kWh, equivalente al 60 % de dicha demanda.

Es importante destacar que este sistema híbrido no solo cubre la demanda actual, sino que también ha sido diseñado para hacer frente al crecimiento futuro del centro poblado hasta el 2041. Se proyecta que la generación final mensual alcance los 8667.7 kWh, asegurando así un suministro sostenible y adecuado para las necesidades en constante expansión de la comunidad.

## **4.4. Discusión de los resultados**

### **4.4.1. Contrastación de resultados**

#### **Hipótesis general**

El resultado de la prueba *t*-Student arrojó una significancia de 0.001 siendo este valor inferior al valor límite de 0,05 lo que significa el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alterna. Concluyendo que el diseño del sistema híbrido cubre la demanda energética del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa.

#### **4.4.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

El número de habitantes de la localidad se obtuvo mediante la web de los centros poblados de la INEI, pero también se apoyó la información con el registro de viviendas y habitantes del último censo del 2017 que ofrece información más actual. El cálculo de la demanda se realizó

mediante la estimación de las cargas de la vivienda, se proyectó a 20 años, obteniendo una demanda de energía de 8667,7 kWh, de igual manera, Calderón (13) obtuvo una carga proyectada de 4196 kW para el caserío de Quirichima, en tanto, Santa Cruz (16) estimó la demanda promedio del caserío de Catache con un valor de 12 840 kWh/día.

Los niveles de radiación que se obtuvieron del atlas solar ofrecido por el Ministerio de Energía y Minas, son muy generales y poco precisos, solo sirvieron como una medida aproximada de la radiación de la localidad. Para data más precisa sobre el nivel de radiación se utilizaron programas de medición de la radiación solar como NASA Power (55). Las velocidades del viento se tomaron de la misma plataforma. Las velocidades de viento para la zona resultaron ser insuficientes, con valores de viento de 4.46 m/s que resulta ser un valor muy bajo, ya que los aerogeneradores en su mayoría tiene una velocidad de arranque de 3 m/s, no obstante, otros investigadores lograron buenas cantidades de energía como, por ejemplo, Gómez y Huérfano (9), quienes obtuvieron un valor de 4.8 kWh con una turbina de tres aspas de 400W y 24 V, en contraste con la investigación presente, que determinó una potencia aprovechable de 295.5 W, con una eficiencia del aerogenerador de 15 %, siendo una potencia insuficiente para cubrir la demanda del caserío. Por otra parte, el sitio obtuvo mediciones de irradiancia solar muy buenas, con una irradiación de 4.78 kWh/m<sup>2</sup> y 4.78 horas de disponibilidad del sol, por lo que se dimensionó el sistema fotovoltaico con 162 paneles de 465 W, que suministran toda la energía requerida por el caserío. Santa cruz (16) obtuvo un valor similar de radiación, con 4.47 kWh/m<sup>2</sup> al día en el caserío de Catache.

Para un estudio más detallado del mercado eléctrico de la zona se puede aplicar la metodología SNIP, que ofrece un panorama más amplio de la demanda energética de la zona. En este caso se utilizó información ofrecida por instituciones nacionales de confianza como INEI (48) que sirven para estimar el número de pobladores de la zona en caso que el trabajo de campo no pueda llevarse a cabo.

El centro poblado de Huanchos ofrece la ventaja de tener una baja dispersión de las viviendas, lo que facilita la electrificación de la mayoría de los hogares. El análisis económico indica que el proyecto es rentable con un VAN, TIR y B/C de S/ 2 744 839.45, 31 % y S/ 3.61 respectivamente, con retorno de un tiempo de 3.3 años y un costo de inversión de S/ 630 452.64; mientras que Balladares (15) obtuvo una inversión mucho menor con S/ 164 636.93, pero debe resaltarse que la diferencia en la demanda de energía entre la investigación presente y la del autor es muy grande si se comparan ambos resultados. Además, al realizar el análisis estadístico mediante la correlación de Pearson, se determinó que el diseño del sistema híbrido impacta en el consumo de la energía eléctrica, debido a que se obtuvo una significancia menor a 0.05.

## CONCLUSIONES

La creación e implementación del sistema híbrido que tiene como objetivo cubrir la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa, departamento de Huancavelica, ha culminado con éxito al lograr un incremento significativo en la cobertura de demanda. Al evaluar la demanda eléctrica actual de 1989.86 kWh y considerando que el suministro mensual proporcionado por la empresa Electrocentro representa únicamente el 60 % de dicha demanda, el sistema híbrido fue una solución efectiva para cubrir completamente las necesidades energéticas de la comunidad. Este logro no solo aborda de manera integral la demanda presente, sino que también anticipa y proyecta un crecimiento futuro hasta el 2041, asegurando así una generación final mensual de 8.667,7 kWh.

Se identificó la demanda eléctrica diaria proyectada del centro poblado de Huanchos, la cual es de 288,9 kWh. La proyección de la demanda eléctrica no solo tiene en cuenta las necesidades actuales, sino que también anticipa el crecimiento futuro del centro poblado hasta el 2041, permitiendo así una planificación estratégica y sostenible de la capacidad de generación de energía.

Se dimensionó un sistema híbrido que combina energía solar y eólica que ha demostrado ser una solución viable y efectiva para cubrir la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos. El sistema propuesto tiene una capacidad para generar un total de 246,87 kWh de energía eléctrica diaria, lo que satisface por completo la demanda diaria de 288,9 kWh. El dimensionamiento del sistema se ha llevado a cabo considerando tanto el recurso eólico como solar disponible en la zona, lo que asegura un rendimiento óptimo y aprovechamiento de ambas fuentes de energía. Se ha seleccionado un aerogenerador de 10 kW, que aporta 17.596 kWh diarios, y 162 paneles fotovoltaicos con una capacidad de 465 W, generando 77.304 kWh al día. El proyecto se presenta como una opción altamente viable en comparación con la generación eléctrica convencional. Con un período de recuperación de 3.27 años y un costo-beneficio mayor a uno de S/ 3.61, la inversión en este sistema híbrido resulta económicamente atractiva, ya que por cada sol invertido se obtuvo S/ 3.61 de beneficio.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar una evaluación de otras fuentes de energía renovable que aún no han sido explotados hasta la actualidad; por ejemplo, el recurso hídrico, biomasa, entre otros. Que serían alternativas para la generación eléctrica en los años venideros.
2. Para los sistemas de los módulos fotovoltaicos se recomienda utilizar sistemas automatizados con tecnología de control como, por ejemplo, implementar seguidores solares, esto permitirá optimizar un mejor ángulo de los paneles fotovoltaicos y una mejor recepción de radiación solar, maximizando su aprovechamiento y producción de energía eléctrica, considerando los valores de irradiación de la zona.
3. Se recomienda optar por el aprovechamiento de estas energías renovables, y evitar el uso convencional para la generación eléctrica. Por lo tanto, esto permitirá generar energía limpia sin afectar el medio ambiente y, sobre todo, generará puestos de trabajo en la sociedad.
4. Se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo a todo el sistema eólico-fotovoltaico, con la finalidad de que los equipos operen con la máxima disponibilidad y eficiencia que los caracteriza.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **Gestión.** *Agencia Internacional de la Energía.* 2019.
2. **Global Tracking Framework.** *The Energy Progress Report.* [En línea] 2019.  
<https://trackingsdg7.esmap.org/>.
3. **Organización Mundial de la Salud.** *Global launch tracking.* [En línea] 7 de junio de 2021.  
<https://www.who.int/es/news/item/07-06-2021-global-launch-tracking-sdg7-the-energy-progress-report>.
4. **Ministerio de Energía y Minas.** *Energía.* Lima : s.n., 2019.
5. **The Energy Progress Report.** *Affordable And Clean Energy.* Lima : s.n., 2019.
6. **Osinermin.** *Evolución del coeficiente de electrificación nacional y rural, 1995-2025.* Lima : s.n., 2019.
7. **Ministerio de Energía y Minas.** *Plan nacional de electrificación rural (PNER) periodo 2021 - 2023.* 2020.
8. **PISCO, Juan Carlos; TORRES, Ángel Iván.** *Diseño de un sistema híbrido aislado para abastecer a la hacienda Quirola.* 2021, Universidad y Sociedad.
9. **GÓMEZ, María; HUÉRFANO, Karen.** *Dimensionamiento e implantación de un sistema híbrido eólico-solar fotovoltaico para abastecimiento de energía eléctrica en la institución Luis Carlos Galán de Cazucá, Soacha.* [En línea] 2020.  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30293/2020karenhuerfano.pdf?sequence=5>.
10. **AMEZQUITA, Luis Gabriel.** *Diseño de un sistema de energía híbrido (solar - eólica) para el soporte de las telecomunicaciones en el cerro Girasoles del Ejército Nacional de Colombia.* Universidad Piloto de Colombia. Bogotá D. C. : s.n., 2019. Tesis.
11. **QUINZO, Luis.** Proyecto para el diseño de un sistema híbrido eólico-fotovoltaico para el complejo deportivo Cancha Sho en la ciudadela Bellavista de la ciudad de Guayaquil. [En línea] 2019.  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/12527/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-195.pdf>.
12. **FERNÁNDEZ, Luis; CERVANTES, Agustín.** *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira.* Altamira : s.n., 2017.
13. **CALDERÓN, Jesús Miguel.** *Diseño del sistema híbrido fotovoltaico - eólico aislado para suministrar energía eléctrica al caserío Quirichima sector Coyuna distrito de Cañarís.* Universidad César Vallejo. 2021. Tesis.
14. **GAMARRA, Raúl.** *Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica híbrido eólico-solar para el fundo Huasacache de la U. C. S. M. Arequipa : s.n., 2019.*

15. **BALLADARES, Iván.** *Cálculo y selección de sistemas fotovoltaicos modulares para consumo energético básico en el caserío de San Pedro, distrito de Olmos, provincia y región de Lambayeque.* Lambayeque : s.n., 2018.
16. **SANTA CRUZ, Kleber Jesús.** *Diseño de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica del centro poblado Nueva Esperanza ubicado en el distrito de Catache - Santa Cruz - Cajamarca.* Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. 2018. Tesis.
17. **ZAPATA, Nancy; SIFUENTES, Marco; LEON, Maya.** *Electrificación rural: Guía para la formulación de proyectos de inversión exitosos.* Ministerio de Economía y finanzas. 2011. Guía.
18. **REZAEIHA, Abdolrahim; MONTAZERI, Hamid; BLOCKEN, Bert.** *A framework for preliminary large-scale urban wind energy potential assessment: Roof-mounted wind turbines.* 15 de Junio de 2020, Energy Conversion and Management, 214(15).
19. **ALMENDROS, José.** *Módulo Energía Eólica.* 2008.
20. **MENDOZA, Indalecio.** *Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero.* México : s.n., 2018.
21. **PATEL, Mukund R.; BEIK, Omid.** *Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation.* Tercera. Boca Raton : s.n., 2021.
22. **ABDELSALAM, Ali M., y otros.** *Experimental study on small scale horizontal axis wind turbine of analytically-optimized blade with linearized chord twist angle profile.* Febrero de 2021, Energy, Vol. 216(1).
23. **MUHD, Johari; JALIL, Muhammad; SHARIFF, Mohammad.** *Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT).* Selangor : s.n., 2018, International Journal of Engineering & Technology, págs. 74-80.
24. **TEKSIN, S.; AZGINOGLU, N.; AKANSU, S.** *Structure estimation of vertical axis wind turbine using artificial neural network.* Enero de 2022, Alexandria Engineering Journal, 61(1), págs. 305-314.
25. **SINGH, S. N.; TIWARI, Prabhakar; TIWARI, Sumit.** *Introduction to Solar Energy.* Springer : Energy Systems in Electrical Engineering, 2021.
26. **WANDARI, D. A.; NOEGROHO, N.; TEDJA, M.** *An application of solar panel for energy efficiency at vertical building in Lebak Bulus Jakarta.* Banten : s.n., 2020, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
27. **COSME, Jhoset, y otros.** *Sistemas fotovoltaicos: un análisis de revisión.* 2018, Ingenium.
28. **TOBAJA, M. Carlos.** *Energía solar fotovoltaica.* 1. s.l. : Cano Pina, SL, 2018.
29. **MOHANTY, Parimita, y otros.** *Fundamentos de la radiación solar y componentes del sistema fotovoltaico.* [ed.] Springer. 2015.

30. **ARENAS, Daniel; CHACÓN, Enrique; BELKY, Jazmín.** *Revisión del estado actual de los sistemas de energía fotovoltaica.* 2019.
31. **Editores.** Inversores de corriente para sistemas fotovoltaico. 326, 2017, *Revista de ingeniería eléctrica.*
32. **ENTRENA, Francisco José.** *UFO212 Determinación del potencial solar.* 1. Málaga : IC Editorial, 2013.
33. **HERNANDEZ, Luis; GALLARDO, Sara; GÓMEZ, Victor Alonso.** *Una revisión de los sistemas fotovoltaicos: diseño, operación y mantenimiento.* 2019, solar energy, págs. 426-440.
34. **GARCÍA, Jesús Enrique; SEPÚLVEDA, Sergio B.; FERREIRA, Julián.** *Viabilidad técnico económica de un sistema fotovoltaico en un planta de tratamiento de agua.* 2018.
35. **ABAD, Paúl; FLORES, Edwinds.** *Dimensionamiento de un Sistema fotovoltaico autónomo para reducir el consumo de combustible en la plataforma de descarga de la pesquera Exalmar - Chimbote Perú.* 2016.
36. **GUERRERO, Ramón.** *UFO150: Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas.* Málaga : IC Editorial, 2017.
37. **ALQUÍMERES, Segundo.** *Dimensionamiento de un sistema eólico fotovoltaico para electrificar el caserío Zapotal, Jayanca, departamento de Lambayeque.* Lambayeque, Perú : s.n., marzo de 2019.
38. **PISCO, Juan; TORRES, Ángel.** *Diseño de un sistema híbrido aislado para abastecer a la hacienda Quirola.* Quevedo : s.n., abril de 2021, Universidad y Sociedad, 13(2).
39. **RANAWEERA, Iromi; KOLHE, Mohan Lal; GUNAWARDANA, Bernard.** *Hybrid Energy System for Rural Electrification in Sri Lanka: Design Study.* 2015.
40. **SIMISTERRA, Érika; SUÁREZ, Rosa; CRISTÓBAL, Sergio.** *La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).* 2018, Redalyc.
41. **MÁRQUEZ, Carlos; CASTRO, Julián.** *Uso del valor actual neto, tasa interna de retorno y relación beneficio-costos en la evaluación financiera de un programa de vacunación de fiebre aftosa en el estado Yaracuy, Venezuela.* [En línea] 2015.  
<http://ve.scielo.org/pdf/rfcv/v56n1/art08.pdf>.
42. **AGUILERA, Anailys.** *El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas.* 2017, Scielo.
43. **EDWARDS, Gonzalo.** *Estimación de la tasa social de descuento a largo plazo en el marco de los sistemas de inversión.* [En línea] 2016.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-718X2016000100099](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2016000100099).
44. **MALDONADO, Jorge Enrique.** *Metodología de la Investigación Social.* Bogota : Ediciones de la U, 2018.

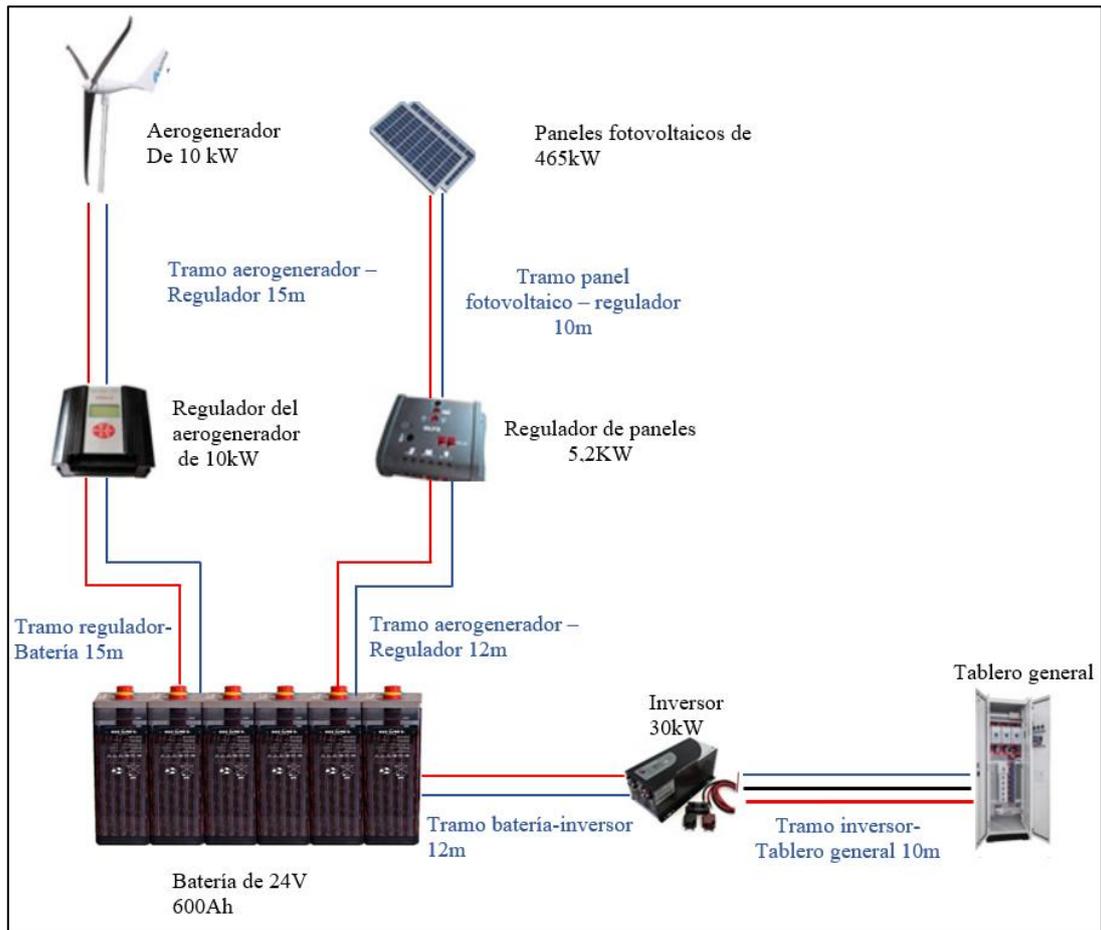
45. **AZUERO, Ángel Enrique.** *Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación.* Caracas : s.n., diciembre de 2019, Koinonia, Vol. IV, págs. 110-127.
46. **ÑAUPAS, Humberto, y otros.** *Metodología de la investigación.* [En línea] 2018.  
<https://corladancash.com/wp-content/uploads/2020/01/Metodologia-de-la-inv-cuanti-y-cuali-Humberto-Naupas-Paitan.pdf>.
47. **DÍAZ, Lidia.** *La observación.* México D.F : s.n., 2011.
48. **Instituto Nacional de Estadística e Informática.** *Directorio Nacional de Centros Poblados.* Lima : s.n., 2017.
49. **Osinerming.** *Encuesta Residencial de Consumo y Usos de Energía ERCUE-2018.* [En línea] 2018.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1414562/ERCUE%20Electricidad%202018.pdf>.
50. **Ipsos.** *Características de los niveles socioeconómicos en el Perú.* [En línea] Febrero de 2019.  
<https://www.ipsos.com/es-pe/caracteristicas-de-los-niveles-socioeconomicos-en-el-peru>.
51. **Osinerming.** *Encuesta residencial de uso y consumo de energía ERCUE 2014-2015.* Lima : s.n., 2015.
52. —. *Guía para calcular el consumo eléctrico doméstico.* Lima : s.n., 2017.
53. **Ministerio de Salud.** *Infraestructura y equipamiento de los establecimientos de salud del primer nivel de atención.* [En línea] 2015. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/3366.pdf>.
54. **EnPerú.** *Distrito Paucarbamba.* [En línea] 2021.  
<https://www.enperu.org/huancavelica/distrito-paucarbamba-churcampa-peru>.
55. **NASA Prediction Of Worlwide Energy Resources.** *NASA Prediction Of Worlwide Energy Resources.* [En línea] 09 de 2022. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
56. **Qingdao Anhua New Energy Equipment.** *Turbina de viento de 10 kW.* China : s.n., 2020.
57. **Engelec.** *Controlador de carga de viento solar de 10kw para generador de viento.* *Engelec.* [En línea] 2021. [https://spanish.alibaba.com/product-detail/10kw-solar-wind-charge-controller-for-wind-generator-with-battery-solar-wind-speed-protection-function-pwm-mppt-controller-60735657898.html?spm=a2700.7724857.normal\\_offer.d\\_title.78982de59djY50](https://spanish.alibaba.com/product-detail/10kw-solar-wind-charge-controller-for-wind-generator-with-battery-solar-wind-speed-protection-function-pwm-mppt-controller-60735657898.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_title.78982de59djY50).
58. **Autosolar.** *Panel Solar JA SOLAR 455W 24V Monocristalino PERC.* *Autosolar.* [En línea] 2021. <https://autosolar.pe/pdf/Panel-ja-solar-455w-24v.pdf>.
59. —. *Regulador MPPT 250V 100A LCD 12/24/48V.* *Autosolar.* [En línea] 2021. <https://autosolar.pe/pdf/MPPT-MC48-Ficha.pdf>.
60. —. *Batería Estacionaria 600Ah 24V Ultracell UZS600.* *Autosolar.* [En línea] 2021. <https://autosolar.pe/acumuladores-estacionarios/bateria-estacionaria-600ah-24v-ultracell-uzs600>.

61. **Ministerio de Energía y Minas.** *Dirección General de Electricidad.* [En línea] 2010.  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/95952/RM\\_139\\_1982\\_DM.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/95952/RM_139_1982_DM.pdf).
62. **Huanchos.** *Deperu.com.* [En línea] 2021.  
<https://www.deperu.com/centros-poblados/huanchos-51745>.
63. **Osinermin.** *Pliego Tarifario fijado por el OSINERGMIN para Electrocentro S. A.* Lima : Electrocentro S.A, 2021.
64. **RODRIGUEZ, Segundo.** *Dimensionamiento de un sistema eólico fotovoltaico para electrificar el caserío de Zapotal en Jayanca en el departamento de Lambayeque.* Lambayeque : Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019. pág. 132, Ingeniero mecánico electricista.
65. **BORGES, Davel y PUCH, Pedro.** *Control de demanda eléctrica aplicando algoritmos genéticos.* 2017, Scielo.
66. **SCHAFFARCZYK, A. P..** *Introduction to Wind Turbine Aerodynamics.* Segunda. Kiel : s.n., 2020.
67. **GORJIAN, Shiva y SHUKLA, Ashish.** *Photovoltaic Solar Energy Conversion: Technologies, Applications and Environmental Impacts.* [ed.] Academic Press. 2020.
68. **Emser.** *Proyección de la población.* Colombia : s.n., 2018.
69. **Snadi.** *30kw inversor híbrido solar de tres construido en fase con cargador de controlador.* China : s.n., 2021.

## **ANEXOS**

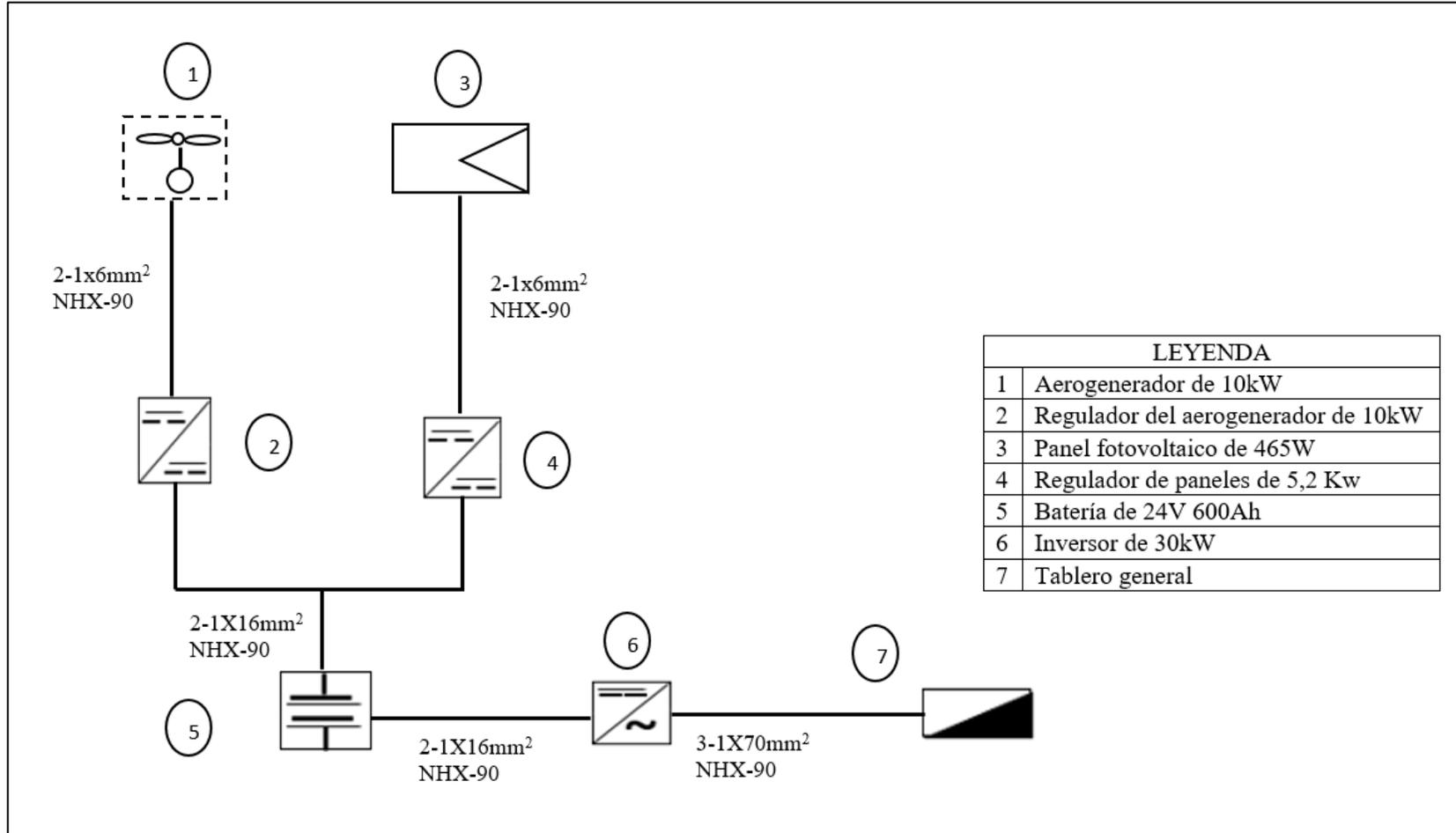
## Anexo 1

### Distribución y distancia de equipos del sistema híbrido



## Anexo 2

Diagrama unifilar de la distribución de equipos eléctricos del sistema híbrido



### Anexo 3

#### Aerogenerador de turbina de viento horizontal AH-10 kW -220/380 V



Parámetros del aerogenerador

---

#### Información básica

N ° de Modelo.	AH-10KW
Marca comercial	ANE
Código hs	85023100
<b>Parámetros del sistema</b>	
Potencia nominal	10kW
Máximo poder	11 kilovatios
Altura de torre	>12 metros
Velocidad nominal del rotor	180 rpm
Velocidad nominal	10 m/s
Tensión de salida	380 v
Poner en marcha la velocidad del viento	3 m/s
Velocidad de trabajo	3-30 m/s
Velocidad del viento de seguridad	50 m/s

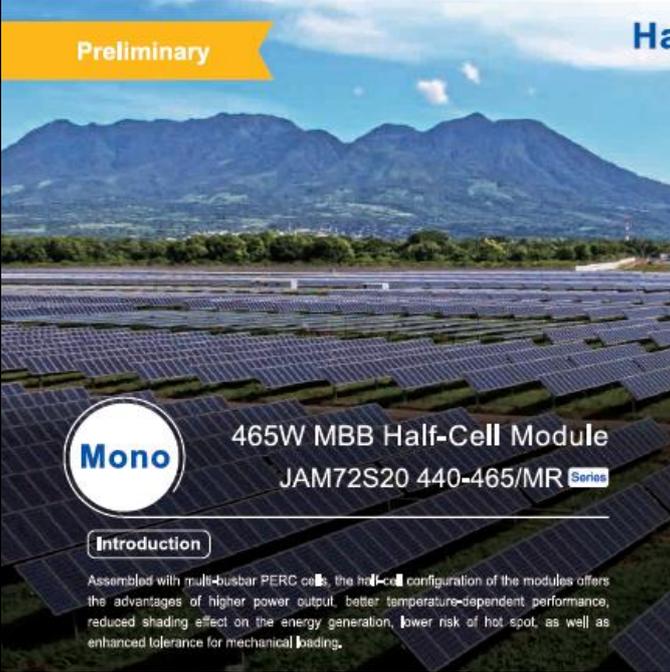
---

## Anexo 4

### Panel fotovoltaico JAM72S20 440-465/MR

Preliminary

## Harvest the Sunshine

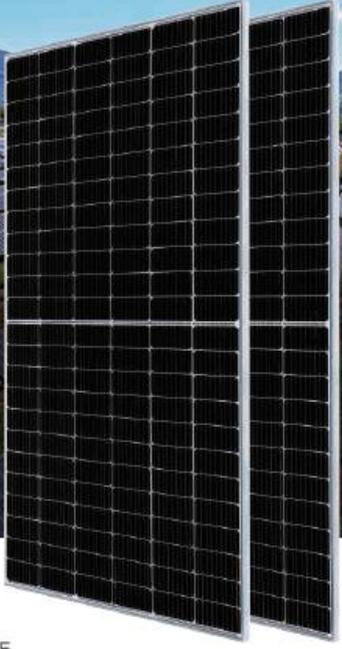


Mono

### 465W MBB Half-Cell Module

JAM72S20 440-465/MR Series

**Introduction**  
 Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.





Higher output power



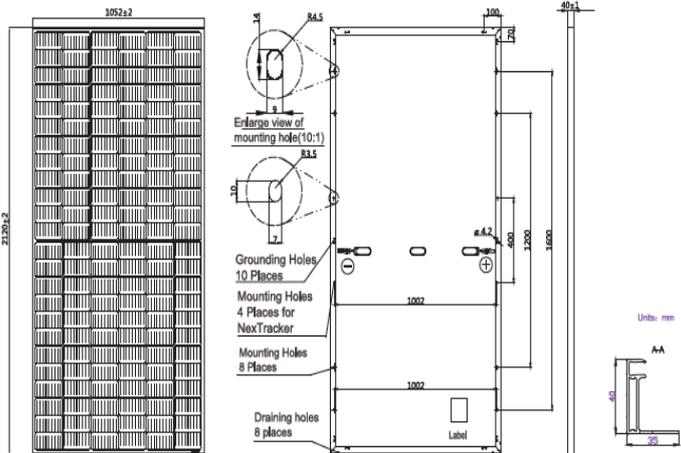
Lower LCOE

### Especificaciones técnicas

JA SOLAR

## JAM72S20 440-465/MR Series

#### MECHANICAL DIAGRAMS



Units: mm

#### SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	25.0kg±3%
Dimensions	2120±2mm×1052±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup> (IEC) , 12 AWG(UL)
No. of cells	144 (6×24)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+)/400mm(-); Landscape: 1200mm(+)/1200mm(-)
Packaging Configuration	27pcs/pallet 594pcs/40ft Container

### Parámetros eléctricos JAM72S20 440-465/MR

<b>ELECTRICAL PARAMETERS AT STC</b>								
TYPE	JAM72S20 -440/MR	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR		
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	440	445	450	455	460	465		
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.40	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15		
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	40.90	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43		
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.28	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49		
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.76	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96		
Module Efficiency [%]	19,7	20,0	20,2	20,4	20,6	20,8		
Power Tolerance	0~+5W							
Temperature Coefficient of Isc( $\alpha_{Isc}$ )	+0.044%/°C							
Temperature Coefficient of Voc( $\beta_{Voc}$ )	-0.272%/°C							
Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ )	+0.350%/°C							
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM1.5G							
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.								
<b>ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT</b>						<b>OPERATING CONDITIONS</b>		
TYPE	JAM72S20 -440/MR	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Rated Max Power(Pmax) [W]	333	336	340	344	348	352	Operating Temperature	-40 °C ~+85 °C
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	46,40	46,65	46,90	47,15	47,38	47,61	Maximum Series Fuse	20A
Max Power Voltage(Vmp) [V]	38,70	38,95	39,19	39,44	39,68	39,90	Maximum Static Load,Front*	5400Pa
Short Circuit Current(Isc) [A]	9,16	9,20	9,25	9,29	9,33	9,38	Maximum Static Load,Back*	2400Pa
Max Power Current(Imp) [A]	8.60	8.64	8.68	8.72	8.76	8,81	NOCT	45±2 °C
NOCT	Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1,5G						Safety Class	Class II
*For NexTracker installations ,Maximum Static Load, Front is 2400Pa while Maximum Static Load, Back is 2400Pa,							Fire Performance	UL Type 1

Curvas relacionadas con la tensión, corriente y potencia

Este catálogo pertenece a JA Solar (58)

## Anexo 5

### Batería Litio LG Chem Resu 7H

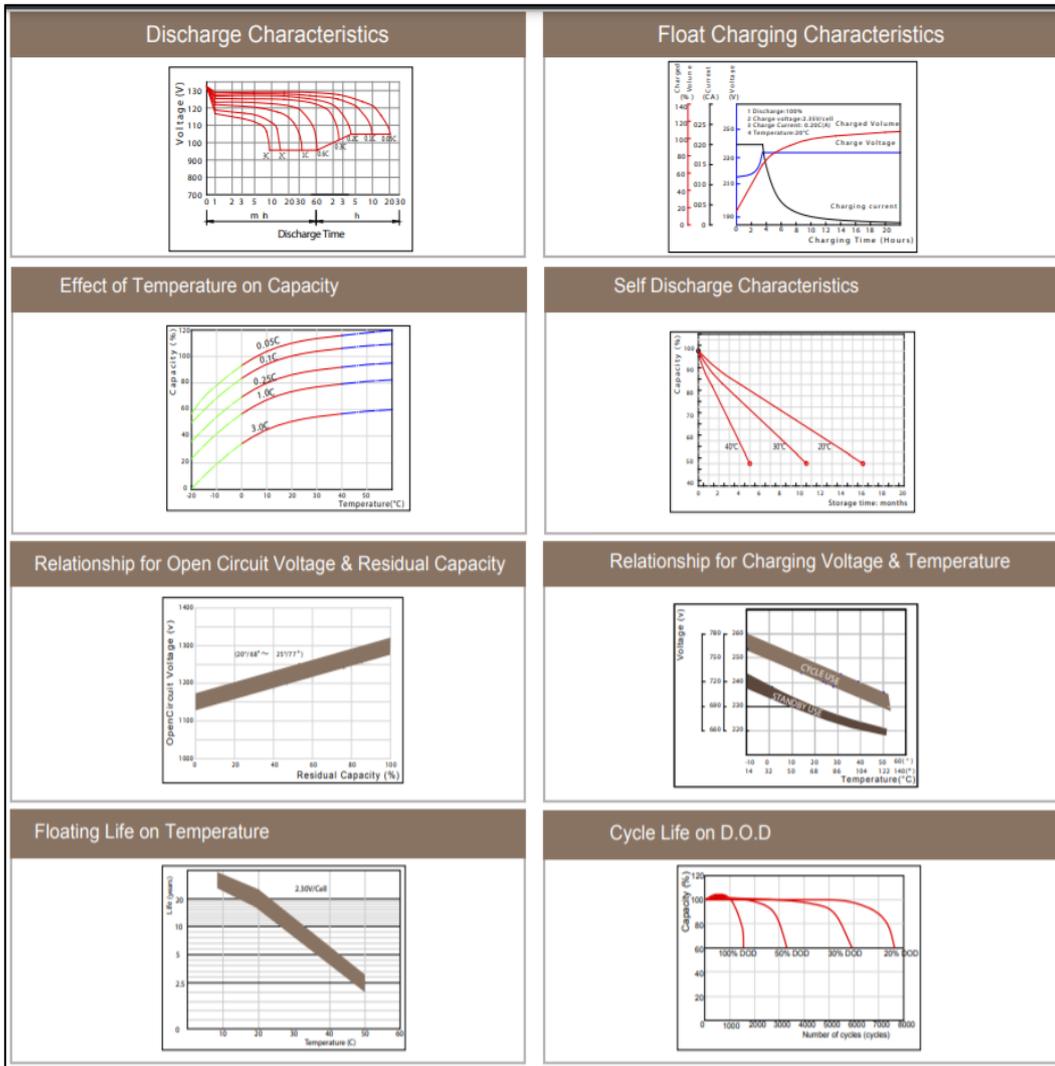


S/ 31 000,96

### Especificaciones técnicas

48V				
Modelos		RESU3.3	RESU6.5	RESU10
Energía total [kWh]		3.3	6.5	9.8
Energía utilizable [kWh]		2.9	5.9	8.8
Capacidad [Ah]		63	126	189
Tensión nominal [V]		51.8	51.8	51.8
Rango de voltaje [V]		42.0-58.8	42.0-58.8	42.0-58.8
Potencia máxima [kW]		3.0	4.2	5.0
Pico de potencia [kW] (durante 3 seg)		3.3	4.6	7.0
Dimensión [H x A x P; mm]		452 x 401 x 120	452 x 654 x 120	452 x 483 x 227
Peso [kg]		31	52	75
Clasificación de protección hermética		IP55		
Comunicación		CAN 2.0 B		
Certificación	Célula	UL1642		
	Producto	UL1973 / TUV (IEC 62619) / CE / FCC / RCM		
Marcas de inversores compatibles : SMA, Solax, Sungrow, Schneider Electric, Ingeteam, GoodWe, Redback, Victron Energy (A partir del tercer trimestre de 2016 se agregarán más) Inversor compatible				
		<b>RESU Plus es un kit de expansión diseñado especialmente para los modelos 48V de la nueva serie de RESU. Con RESU Plus, todos los modelos 48V pueden ser interconectados entre sí.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones: 385 x 240 x 65 (HxAxP, mm)</li> <li>• Unidad de baterías expandibles: máx. 2 unidades.</li> <li>• Clasificación IP55</li> </ul>		

# Curvas de carga y descarga de la batería



**Anexo 6**  
**Inversor Growatt de 70 kW**



**Especificaciones técnicas**

<b>Datos Técnicos del inversor</b>		
<b>Entrada DC</b>		
Máxima salida del generador	91	<b>kW</b>
Tensión máxima	1100	<b>V</b>
Tensión de servicio	250	<b>V</b>
Rango de tensión de funcionamiento	200-1000	<b>V</b>
Tensión nominal	600	<b>V</b>
Intensidad máxima por MPPT	25	<b>A</b>
Número independientes de MPPT	7	<b>...</b>
Número de strings por MPPT	2	<b>...</b>
<b>Salida AC</b>		
Potencia nominal CA	70	<b>kW</b>
Máxima potencia de salida AC	77.7	<b>kW</b>
Maxima corriente de salida	112.7	<b>A</b>
Tensión nominal AC	400	<b>V</b>

Link de referencia del equipo	<a href="https://tiensol.eS/inversores-de-red-trifasicoS/193-inversor-trifasico-70-kw-growatt-max-70ktl3-lv.html">https://tiensol.eS/inversores-de-red-trifasicoS/193-inversor-trifasico-70-kw-growatt-max-70ktl3-lv.html</a>	
Precio del equipo	€ 4222.50	S/ 16 425.53
Eficiencia	0.99	

Dimensiones		
alto	600	<b>mm</b>
largo	860	<b>mm</b>
ancho	300	<b>mm</b>

## Anexo 7

### Controlador de carga solar MPPT SR-MC48100N25



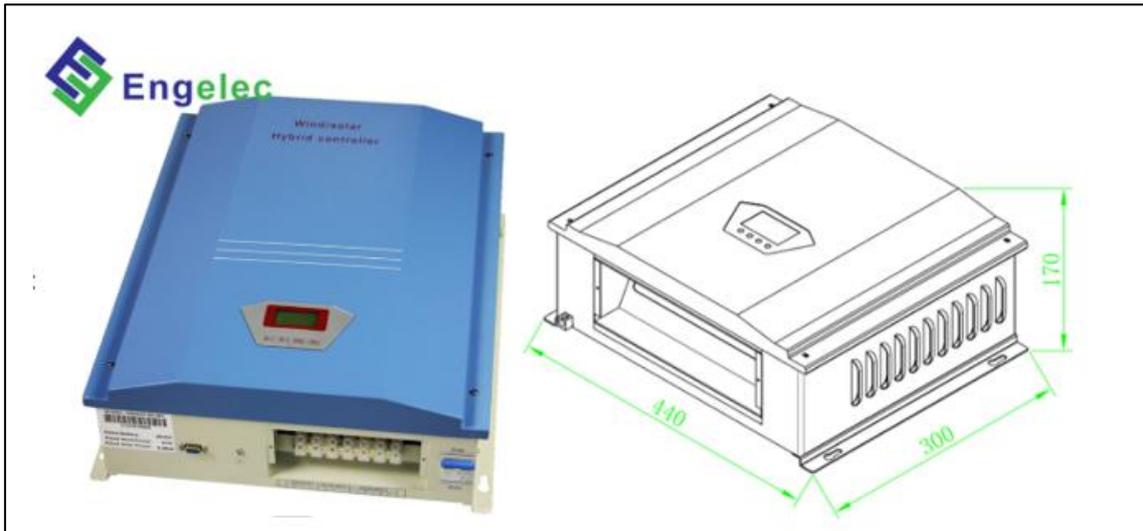
### Características técnicas de MPPT SR-MC48100N25

Modelo	SR-MC4885N15	SR-MC48100N15	SR-MC4885N25	SR-MC48100N25
Voltaje del sistema	12V / 24/36 / 48V			
Consumo de energía estática	0,54 W			
Voltaje máximo de entrada de energía solar (25 °C)	150 V		250 V	
Rango de voltaje en MPP (punto de máxima potencia)	Voltaje de la batería + 2 ~ 120 V		Voltaje de la batería + 2 ~ 180V	
Corriente de carga	85A	100A	85A	100A
Energía del panel solar (Batería de 12V)	1100W	1300W	1100W	1300W
Energía del panel solar (Batería de 24 V)	2200W	2600W	2200W	2600W
Energía del panel solar (Batería de 48V)	4400W	5200W	4400W	5200W
Soporte tipo de batería	Baterías de plomo-ácido, baterías coloidales, baterías abiertas, baterías de litio			
Coefficiente de compensación de temperatura	- 3mV / °C / 2V			
Rango de temperatura de funcionamiento	- 35 °C -60 °C			
Humedad	95%, sin condensación			
Grado de protección	Ip32			
Peso	5,7 kg			
Modo de comunicación	Módulo TTL (3.3V) / RS485 / Bluetooth			
Dimensiones del producto	314 * 227 * 121 (mm)			
Bloques de terminales	35 mm, 2AWG			

Pertenece al catálogo (59)

## Anexo 8

### Controlador de carga eólico WWS100-240



#### Especificaciones técnicas del controlador eólico de 10 kW

Modelo	WWS100-120	WWS100-220	WWS100-240
Voltaje nominal de la batería	120 V	220 V	220 V
Potencia nominal de entrada de turbina de viento	10KW	10KW	10KW
Potencia de entrada de turbina eólica máxima	15KW	15 kilovatios	15 kilovatios
Turbina de viento de freno actual	84A	46A	42A
Energía de entrada solar clasificada	3KW	3KW	3KW
Carga de cierre de tensión	145 V	266 V	290 V
Modo de visualización	LCD		
Genial el modo	Ventilador		
Corriente de reposo	Menos que 20mA		
Inversa protección de la batería	Dispositivo de protección anti-conexión inversa en el interior del controlador.		
Circuito abierto de protección	El controlador no se desmagnará si la batería está en circuito abierto.		
Protección Solar anticarga	La batería no carga la tabla PV al revés.		
Protección Solar anti-reversa	El controlador no se dañará cuando el PV esté conectado al reverso.		
De freno Manual	Generador de viento dejar de girar o desacelerar el giro		
Protección contra rayos	Protección contra rayos en el interior del controlador.		
Clase de protección	IP20 (Interior)		
Resistencia de aislamiento	Resistencia entre la entrada CC/ca y la carcasa: más de 50 Mu		
Los parámetros del sistema			
Rango de temperatura ambiente y humedad	-20 ~ + 55°C/35 ~ 85% RH (sin condensación)		
Altitud	A menos de 4000 m		
Dimensiones (largo x ancho x Alto)	Controlador: 440 x 300 x 170mm; caja de descarga: 520 x 430 x 675mm		
Peso neto	Controlador: 9 kg; caja de carga de descarga: 45 kg		
Para servir mejor a nuestros clientes. Nuestra empresa puede ajustar la configuración de los parámetros según los requisitos del cliente.			

Este catálogo pertenece a Engelec (57)

## Anexo 9

### Cotizaciones de los componentes del sistema eólico - solar



**Qingdao Anhua 10kw de potencia libre de la turbina de viento con la norma ISO certificado CE**

Precio FOB de Referencia Conseguir Precio Último >

**US \$9,000-12,000** / Set | 1 Set (Pedido Mínimo)

Tipo de salida: corriente continua  
Número de Blade: Tres Láminas  
Eje de rotación: Horizontal  
Camino estrés de Blade: Fuerza de Levantamiento  
Energía: 10-100kW  
Fase: Three Phase

Inicio > Todas las categorías > Mejoras para el hogar > Suministros y equipos eléctricos > Energía solar > Controladores solares

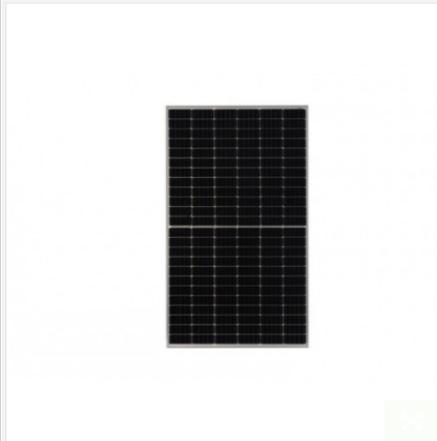


Controlador de carga híbrido eólico Solar, 10000W/10KW, 120V/220V/240V, regulador de carga, pantalla LCD con carga de descarga  
tienda: AMGPower Solutions Store

**PEN 6.971,25 - 7.160,26** ~~PEN 7.338,16~~ -7.537,12 **5% off**

[Ver detalles & comprar](#)

Pagos seguros y fiables  Garantía de devolución de dinero  24/7 servicio al cliente



**Panel Solar JA Solar 455W JAM72S20 455/MR - Mono PERC**

Referencia: JAM72S20-455MR

El panel solar JA Solar 455W JAM72S20 455/MR, es un **módulo monocristalino de 455W y 156 células (2x78)** de la marca **JA Solar**, uno de los fabricantes líderes de la industria fotovoltaica mundial. Las placas solares de JA Solar cuentan con **12 años de garantía de producto y 25 años de garantía de potencia lineal**.

Dimensiones del panel: Longitud 2120mm Ancho 1052mm Altura 40mm Peso 24,6kg

Ideal tanto para instalaciones de energía solar fotovoltaica aisladas como conectadas a la red eléctrica. Estos paneles destacan por su **increíble relación calidad/precio**.

**--CONSULTAR DISPONIBILIDAD--**

**216,29 €** Impuestos incluidos

4 [AÑADIR AL CARRO](#)

La cantidad mínima de pedido para el producto es 4.

[Home](#) / [Power Management](#) / [Solar Charge Controllers 5A to 300A 12V-24V-36V-48V](#) / [55A - 300A Solar Charge Controllers \(12V-24V-36V-48V\)](#) / [MPPT 100A Programmable Solar Charge Controller 12/24/36/48V for Off-grid Cabin / Marine MC48100N25 for AGM Gel Lithium SiO2 Carbon Foam Flooded Batteries and Lithium Iron Phosphate Batteries](#)

Sale!



## MPPT 100A Programmable Solar Charge Controller 12/24/36/48V for Off-grid Cabin / Marine MC48100N25 for AGM Gel Lithium SiO2 Carbon Foam Flooded Batteries and Lithium Iron Phosphate Batteries

~~\$857.01~~ **\$666.56**

100A MPPT Charge Controller MC48100N25 – Max PV Voc: 250V

4 in stock (can be backordered)

## Anexo 10

### Plano eléctrico del sistema híbrido fotovoltaico



## Anexo 11

### Mediciones de la velocidad de viento a 10 metros

Velocidad del viento mensual a 10 metros -2020												
Días	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	2.21	4.48	5.27	6.73	5.91	1.90	5.33	6.52	4.42	4.08	1.49	2.91
2	3.63	3.76	3.89	6.74	5.27	2.76	3.24	5.23	4.66	5.27	1.89	2.62
3	3.45	4.14	3.70	5.86	3.32	3.20	4.30	6.56	5.18	6.29	6.12	3.59
4	3.51	2.91	4.52	3.15	2.51	2.59	4.20	5.31	6.75	8.02	6.59	4.70
5	4.13	2.77	4.00	2.00	2.57	5.01	4.02	5.49	6.58	8.21	2.53	2.51
6	3.16	3.28	4.09	4.20	3.61	4.34	2.61	5.25	4.59	8.09	5.77	3.95
7	1.16	1.87	3.50	3.73	3.73	4.52	1.76	7.12	3.49	7.68	6.93	5.24
8	2.97	2.54	4.65	1.73	5.26	5.11	1.70	6.04	5.02	7.58	6.23	4.41
9	5.42	4.91	3.20	2.98	3.78	4.02	3.18	4.84	5.96	8.15	4.12	5.20
10	4.91	6.79	2.01	1.77	2.03	4.40	1.64	2.33	6.47	7.18	2.36	0.99
11	5.81	5.47	1.73	1.68	1.23	4.06	3.34	2.41	5.36	6.70	1.74	4.24
12	6.96	2.76	4.40	1.84	2.53	4.30	3.35	2.59	5.48	6.16	2.24	4.83
13	5.28	1.66	4.59	1.65	1.80	5.30	5.52	3.77	5.16	3.76	2.27	4.99
14	5.17	4.22	3.12	2.38	2.07	6.39	4.96	4.10	6.23	3.64	3.85	3.73
15	3.90	4.24	1.88	2.05	3.45	4.96	4.59	3.42	2.84	6.52	5.12	3.97
16	7.09	4.84	2.84	1.78	4.57	2.99	4.39	3.81	2.14	5.16	3.08	4.66
17	8.80	4.78	3.06	3.10	2.30	2.20	6.20	3.81	4.27	3.09	2.27	5.44
18	6.99	5.36	3.90	4.12	2.09	4.92	6.13	2.85	4.16	1.84	2.66	4.12
19	5.28	5.02	2.09	4.75	1.50	5.32	5.90	2.55	4.02	1.70	3.95	3.54
20	3.10	2.41	3.08	3.81	1.95	4.14	6.73	2.06	4.55	4.91	2.28	3.20
21	2.81	1.73	2.80	3.96	1.91	3.29	5.65	2.85	2.00	6.58	3.95	3.73
22	2.55	5.09	3.45	4.55	3.05	3.24	3.67	3.95	3.77	3.98	7.61	2.48
Días	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
24	4.36	3.02	3.98	2.09	3.20	2.23	3.74	5.61	7.87	3.77	6.62	2.04
25	4.85	2.10	2.86	1.77	5.96	3.63	3.52	4.12	4.12	4.62	5.76	2.53
26	4.27	1.86	4.02	4.29	6.60	3.74	2.87	5.61	2.08	4.92	3.91	2.60
27	3.00	2.20	2.89	5.48	3.66	1.56	3.33	5.12	2.39	2.93	4.38	4.41
28	2.46	4.29	3.36	5.10	2.59	2.28	5.38	4.39	2.86	2.65	5.12	3.49
29	1.54	4.97	3.60	6.48	4.39	2.35	6.18	5.01	4.18	1.81	5.31	1.82
30	3.78		5.20	5.30	3.36	2.85	4.39	7.70	4.86	2.53	6.31	3.08
31	4.04		5.40		2.98		4.79	7.53		3.73		2.34
Promedio	4.19	3.68	3.66	3.64	3.29	3.62	4.17	4.57	4.65	5.00	4.36	3.53

## Anexo 12

### Mediciones de la temperatura en el centro poblado

<b>Día</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1	12.63	13.23	12.69	12.58	13.58	12.62	13.36	13.22	13.04	14.31	13.58	14.04
2	12.57	14.12	13.98	13.12	13.17	12.52	13.12	13.1	13.48	15.11	12.89	14.12
3	14	13.84	13.98	13.23	12.65	11.61	13.6	12.55	14.13	14.02	13.02	13.83
4	13.61	14.38	13.9	13.65	12.73	12.12	13.84	12.62	14.39	14.02	14.55	13.52
5	14.25	14.25	14.23	13.93	13.49	10.62	13.7	12.76	14.86	14.6	15.23	13.64
6	14.06	13.25	14.16	13.38	14.13	12.86	13.09	12.79	15.41	15.13	14.34	12.62
7	13.05	14.04	13.65	12.3	11.94	13.41	13.47	12.79	14.53	14.48	14.18	12.8
8	12.69	13.7	15.05	13.73	12.07	13.61	12.06	12.02	10.91	15.24	14.95	14.04
9	13.17	13.26	13.73	13.77	13.4	14.33	8.66	13.3	13.73	16.06	14.55	13.91
10	14.86	14	13.73	13.5	13.99	13.97	10.73	12.42	14.44	15.44	13.44	14.57
11	14.22	13.86	14.11	13.88	14.1	14.38	12.51	12.27	14.54	15.37	8.85	13.22
12	13.56	13.66	13.81	14.28	12.48	13.9	13.09	12.54	14.44	14.82	13.33	14.51
13	14.79	13.58	14.69	14.85	13.8	14.08	13.23	14.59	13.99	13.96	12.87	13.86
14	14.06	13.88	14.51	15.06	13.69	12.96	13.23	12.38	14.38	13.27	14	14.1
15	13.23	14.38	13.76	13.43	11.26	12.73	13.23	12.11	13.77	13.51	15.15	13.55
16	13.19	14.54	13.12	12	12.16	13.43	13.43	13.65	13.43	14.31	14.46	13.14
17	12.4	14.8	12.45	11.85	13.53	13.79	13.52	14.53	13.16	13.65	13.99	12.26
18	12.05	13.64	12.75	12.04	14.3	14.38	13.75	14.55	13.01	13.06	13.06	12.81
19	13.81	14.15	13.95	12.69	14.24	14.03	13.26	14.39	11.55	14.83	14.22	13.47
20	14.45	14.04	13.72	13.44	11.67	13.33	13.37	12.77	14.4	13.98	12.8	13.35
21	13.35	12.35	13.21	13.71	13.38	13.83	12.86	11.88	13.76	14.01	14.76	14.1
22	13.25	12.62	12.76	13.65	12.77	13.73	13.14	11.37	14.08	14.86	14.16	13.49
23	13.78	13.62	13.01	13.44	13.65	12.57	12.44	12.23	14.23	14.89	15.39	13.08
<b>Día</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
24	14.23	14.93	13.55	12.74	11.78	13.09	13.42	12.83	14.54	14.95	15.49	13.05

25	13.8	14.16	15.07	13.85	13.47	13.03	8.45	13.27	14.66	15.46	15.01	12.51
26	14.92	13.58	14.32	13.62	11.95	13.53	11.81	14.14	14.01	14.73	15.09	11.12
27	15.07	12.79	13.69	13.6	11.55	14.27	13.3	14.88	12.87	13.71	13.32	11.67
28	13.19	13.58	13.33	13.94	11.35	13.55	14.02	15.86	12.12	13.98	13.73	11.62
29	12.43	13.98	12.6	13.83	11.53	12.97	13.6	15.9	10.41	13.64	12.74	13.23
30	13.44		13.13	13.5	12.47	12.55	13.32	14.38	12.45	12.69	15.01	13.23
31	14.1		12.5		12.48		13.16	13.62		11.56		12.09
<b>Promedio</b>	13.62	13.80	13.65	13.42	12.86	13.26	12.83	13.28	13.62	14.31	13.94	13.24

### Anexo 13

#### Mediciones de la irradiancia directa

Irradiancia directa $G_{directa}$ W/m <sup>2</sup>												
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
00:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:45	54	26	24	35	28	14	11	32	48	79	110	64
08:45	93	71	50	96	124	130	124	145	114	157	181	118
09:45	110	94	69	132	205	233	230	246	164	204	252	150
10:45	138	117	96	180	272	323	332	340	220	229	295	183
11:45	153	156	117	198	304	387	398	402	248	254	320	209
12:45	184	168	173	251	343	405	438	450	317	308	355	201
13:45	226	205	204	249	334	390	429	457	354	347	369	248
14:45	254	213	239	254	318	338	401	422	349	387	423	301
15:45	286	251	292	265	267	264	301	336	289	310	368	274
16:45	230	218	209	168	145	137	164	190	170	199	252	220
17:45	139	125	97	0	0	0	30	36	0	0	104	128
18:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Anexo 14

### Mediciones de la irradiancia difusa

Irradiancia difusa $G_{difusa}$ W/m <sup>2</sup>												
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
00:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	8	0	0	0	0	0	0	0	4	24	34	23
07:45	76	62	51	48	41	31	31	48	71	98	110	100
08:45	170	161	147	123	90	68	68	101	142	192	199	196
09:45	285	265	248	217	149	114	114	153	218	282	297	296
10:45	389	379	358	296	204	150	146	193	272	363	388	392
11:45	459	450	432	354	253	177	172	219	318	419	448	456
12:45	520	499	470	379	263	196	185	240	346	447	478	499
13:45	525	498	473	370	254	186	178	230	323	405	441	472
14:45	430	460	392	299	201	162	137	187	270	312	327	381
15:45	317	323	260	190	128	104	109	138	196	223	231	288
16:45	206	216	171	117	79	67	73	103	133	149	152	194
17:45	115	120	88	52	35	34	30	57	72	72	82	104
18:45	54	48	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15
19:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Anexo 15

### Mediciones de la irradiancia global

Irradiancia global $G_{global}$ $W/m^2$												
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
00:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:45	8	0	0	0	0	0	0	0	4	24	34	23
07:45	130	88	75	83	69	45	42	80	119	177	220	164
08:45	263	232	197	219	214	198	192	246	256	349	380	314
09:45	395	359	317	349	354	347	344	399	382	486	549	446
10:45	527	496	454	476	476	473	478	533	492	592	683	575
11:45	612	606	549	552	557	564	570	621	566	673	768	665
12:45	704	667	643	630	606	601	623	690	663	755	833	700
13:45	751	703	677	619	588	576	607	687	677	752	810	720
14:45	684	673	631	553	519	500	538	609	619	699	750	682
15:45	603	574	552	455	395	368	410	474	485	533	599	562
16:45	436	434	380	285	224	204	237	293	303	348	404	414
17:45	254	245	185	52	35	34	60	93	72	72	186	232
18:45	54	48	1	0	0	0	0	0	0	0	0	15
19:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
21:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	5421	5125	4661	4273	4037	3910	4101	4725	4638	5460	6216	5512

Anexo 16

Tabla 42. Matriz de consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
General	General	General	Independiente	
¿De qué manera el diseño de un sistema híbrido cubre la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa?	Diseñar un sistema híbrido para cubrir la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos del distrito de Paucarbamba departamento de Huancavelica provincia de Churcampa	El diseño de un sistema híbrido cubre la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos, del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa	Diseño de sistema híbrido	<b>Enfoque:</b> Cuantitativo <b>Nivel:</b> Explicativo <b>Tipo:</b> Aplicativa <b>Diseño:</b> Experimental <b>Técnicas e Instrumentos:</b> - <b>Técnicas:</b> Observación y análisis documentario. - <b>Instrumentos:</b> Guía de observación guía documentaria. <b>Población:</b> La población se conformó por el consumo eléctrico de 8667.2 kWh perteneciente a las edificaciones en el centro poblado de Huanchos. <b>Muestra:</b> La muestra está conformada por viviendas pertenecientes e incluidas en el censo de INEI 2017 del CC.PP. Huanchos.
Específicos	Específicos	Específicos	Dependiente	
1. ¿Cuál es la situación actual del servicio de energía eléctrica en el centro poblado de Huanchos del distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa?	1. Identificar la demanda eléctrica para la generación mediante un sistema híbrido en el centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa.	1. La identificación de la situación del servicio de energía eléctrica permitió identificar las necesidades de la demanda eléctrica del centro poblado de Huanchos del distrito de Paucarbamba, Provincia de Churcampa.	Demanda eléctrica	
2. ¿De qué manera se dimensiona un sistema híbrido para cubrir la demanda del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa?	2. Dimensionar un sistema híbrido para cubrir la demanda del centro poblado de Huanchos, en el distrito de Paucarbamba, provincia de Churcampa.	2. El dimensionamiento del sistema híbrido para la generación de energía eléctrica y eólica es viable para el centro poblado de Huanchos del distrito de Paucarbamba, Provincia de Churcampa.		