



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA



**ANÁLISIS DE FUENTES DE GENERACIÓN DE ENERGÍAS NO
CONVENCIONALES ADAPTABLES AL CENTRO POBLADO DE
SUPUCACHI, PROVINCIA DE PUNO, DEPARTAMENTO DE
PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

SAÚL PERCY ROQUE YANA
JESÚS FERNANDO LOPEZ RIMACHE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

ANÁLISIS DE FUENTES DE GENERACIÓN DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES ADAPTABLES AL CENTRO POBLADO DE SU PUCACHI, PROVINCIA DE PUNO, DEPARTAMENTO DE PUNO

AUTOR

SAÚL PERCY ROQUE YANA, JESÚS FERNANDO LOPEZ RIMACHE

RECuento DE PALABRAS

23141 Words



Ing. Julio Freddy Chura Acero
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
C.I.P. 135145
V.O.B.
Sub. Director de Investigaciones
EPIME.

RECuento DE CARACTERES

116317 Characters

RECuento DE PÁGINAS

131 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 2, 2023 11:53 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 2, 2023 11:55 AM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos es:

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Marcos Jose Villanueva Cornejo
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
C.I.P. 98153

Resumen



DEDICATORIA

“La persistencia puede cambiar las derrotas en increíbles logros”.

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño.

A DIOS porque él fue el forjador de mi camino, mi padre divino y omnipotente que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo.

A mis padres Celes y Saby por haberme dado su amor, calidez familiar y apoyo incondicional en la parte moral y económica, asimismo por haberme dirigido por el sendero correcto.

A mis queridas hermanas Alejandra y Marisol por haber sentado en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación.

Saul Percy



DEDICATORIA

“Con cada obstáculo superado, nuestra determinación se fortalece y nuestros logros se vuelven más asombrosos”.

En este momento de culminación dedico este trabajo a Dios, fuente de sabiduría y guía en mi vida. En cada paso de esta travesía académica, su amor inquebrantable me ha dado fuerzas para seguir adelante.

Quisiera dedicar esta tesis a mis queridos padres Roberto y Luisa, quienes han sido mi mayor apoyo y fuente de inspiración a lo largo de mi trayectoria académica. Su amor incondicional, dedicación y sacrificio han sido fundamentales en mi éxito y logros. Gracias por creer en mí y por alentarme a perseguir mis sueños.

A mi querido hermano Gustavo, mi compañero de vida. Tu apoyo constante, palabras de aliento y amor inquebrantable han sido mi mayor fortaleza en esta travesía académica.

Jesús Fernando



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecemos a nuestra alma mater UNA-PUNO por abrirnos las puertas del conocimiento y guiarnos en nuestro camino hacia el éxito. Esta institución ha sido nuestro hogar intelectual, donde hemos encontrado inspiración, oportunidades y grandes mentores.

Agradecemos de corazón al Ing. Marcos Jose Villanueva Cornejo, mi excepcional asesor de tesis, por su sabia guía y apoyo incondicional. Su experiencia y pasión por la excelencia han dejado una huella imborrable en nuestra vida académica y personal.

A nuestros amados familiares, amigos y docentes, nuestra gratitud infinita por su apoyo y compañía en esta travesía académica.

A nuestros padres, hermanos, amigos y queridos profesores, su apoyo incondicional ha sido fundamental en cada paso que hemos dado. Gracias por su amor, aliento y sabiduría compartida.

Saúl Percy & Jesús Fernando



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 19

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 20

1.2.1. Problema General 20

1.2.2. Problemas específicos..... 20

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 21

1.3.1. Hipótesis general 21

1.3.2. Hipótesis específicas..... 21

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO 21

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 23

1.5.1. Objetivo general 23

1.5.2. Objetivos específicos 23

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 24



2.1.1. Antecedentes internacionales	24
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.2. MARCO TEÓRICO.....	30
2.2.1. Energías no renovables	30
2.2.2. Energías renovables.....	31
2.2.3. Producción energética en Perú	33
2.2.4. Sistema fotovoltaico	35
2.2.5. Sistema eólico.....	40
2.2.6. Biodigestor	43

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	51
3.1.1. Ubicación.....	51
3.1.2. Límites.....	51
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	52
3.2.1. Población	52
3.2.2. Muestra.....	52
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	52
3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	53
3.5. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO	54
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	54
3.5.2. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	55

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS.....	56
-----------------------------	-----------



4.1.1. Evaluación del potencial energético del centro poblado	56
4.1.2. Cálculo del potencial energético del centro poblado.....	60
4.1.3. Análisis de costo beneficio por cada fuente de energía identificada no convencional	90
4.1.4. Validación de la hipótesis.....	103
4.2. DISCUSIÓN.....	113
4.2.1. Evaluación del potencial energético del centro poblado	113
4.2.2. Cálculo del potencial energético del centro poblado.....	113
4.2.3. Análisis de costo beneficio por cada fuente de energía identificada no convencional.....	114
V. CONCLUSIONES.....	116
VI. RECOMENDACIONES	118
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS.....	126
Anexo A. Toma de datos	126
Anexo B. Ganado del Centro Poblado.....	127
Anexo C. Encuesta de la cantidad de ganado y conocimiento del Sistema de Biogás.	128

Área : Renovables

Tema : Generación Solar, eólica y biogás.

Fecha de sustentación: 07 de junio de 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Energías no renovables	31
Figura 2: Energías renovables	32
Figura 3: Generación energética 2021	33
Figura 4: Espectro electromagnético	34
Figura 5: Radiación IUV	35
Figura 6: Sistema fotovoltaico.....	35
Figura 7: Tipos de paneles solares.....	36
Figura 8: Controlador solar	37
Figura 9: Baterías de almacenamiento solar.....	37
Figura 10: Inversor solar	38
Figura 11: Parque eólico.....	40
Figura 12: Aerogenerador.....	41
Figura 13: Partes de un aerogenerador	42
Figura 14: Biodigestor	44
Figura 15: Biodigestor de domo fijo	48
Figura 16: Biodigestor de domo flotante.....	48
Figura 17: Biodigestor tubular.....	49
Figura 18: Ubicación geográfica de Supucachi.....	51
Figura 19: Power Data Access Viewer.....	55
Figura 20: Radiación solar a lo largo del año	56
Figura 21: Temperatura a 2m del suelo	58
Figura 22: Velocidad del viento en un año.....	59
Figura 23: Aerogenerador ENERCON E33	75
Figura 24: Velocidad del viento	77



Figura 25: Potencia producida por la velocidad del viento	80
Figura 26: Frecuencia relativa	81
Figura 27: Frecuencia acumulada.....	82
Figura 28: Distribución de Weibull	83
Figura 29: Distribución de Weibull	84
Figura 30: Probabilidad de Weibull	85
Figura 31: Dimensiones de la zanja trapezoidal.....	89
Figura 32: Prueba de Hipótesis al 5%	105
Figura 33: Prueba de Hipótesis del sistema eólico al 5%	106
Figura 34: Prueba de Hipótesis del sistema de biogás al 5%	108
Figura 35: Prueba de Hipótesis Total al 5%	110
Figura 36: Costo/Beneficio.....	112



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Radiación solar en un año.....	56
Tabla 2: Temperatura en un año	57
Tabla 3: Velocidad del viento en un año	59
Tabla 4: Residuos generados por animales.....	60
Tabla 5: Población en la localidad de Supucachi	61
Tabla 6: Crecimiento demográfico	61
Tabla 7: Consumo de una vivienda	62
Tabla 8: Consumo de la escuela	63
Tabla 9: Consumo del centro de salud.....	63
Tabla 10: Consumo de la casa comunal	64
Tabla 11: Consumo comercial	64
Tabla 12: Electrificación rural	65
Tabla 13: Demanda proyectada	66
Tabla 14: Velocidad del viento.....	76
Tabla 15: Potencia generada.....	79
Tabla 16: Distribución de Weibull	80
Tabla 17: Probabilidad de Weibull	84
Tabla 18: Datos mostrados según las condiciones del centro poblado.....	87
Tabla 19: Dimensiones de geomembrana.....	88
Tabla 20: Volumen del líquido y del biogás de nuestro biodigestor	88
Tabla 21: Aspectos técnicos del biodigestor	89
Tabla 22: Dimensionamiento de la zanja.....	90
Tabla 23: Dimensiones de la zanja	90
Tabla 24: Costo de equipos de sistema fotovoltaico	91



Tabla 25: Costo de instalación de sistema fotovoltaico.....	91
Tabla 26: Inversión inicial de sistema fotovoltaico	92
Tabla 27: Mantenimiento de sistema fotovoltaico.....	92
Tabla 28: Flujo de caja de sistema fotovoltaico	94
Tabla 29: Equipos de sistema eólico	95
Tabla 30: Traslado de sistema eólico.....	95
Tabla 31: Instalación de sistema eólico	96
Tabla 32: Inversión inicial de sistema eólico	96
Tabla 33: Mantenimiento del sistema eólico	96
Tabla 34: Flujo de caja de sistema eólico.....	98
Tabla 35: Costo de equipos de biodigestor	99
Tabla 36: Instalación de biodigestor.....	100
Tabla 37: Inversión inicial de biodigestor	100
Tabla 38: Mantenimiento de biodigestor.....	100
Tabla 39: Flujo de caja de biodigestor.....	102
Tabla 40: Comparación de oferta con demanda anual del sistema fotovoltaico	103
Tabla 41: Comparación de oferta con demanda anual del sistema eólico.	105
Tabla 42: Comparación de oferta con demanda anual del sistema de biogás	107
Tabla 43: Comparación de oferta total con la demanda anual.....	109
Tabla 44: Comparación del costo/beneficio de los sistemas	112



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CC o DC	: Corriente continua
AC	: Corriente alterna
IUV	: Radiación Ultravioleta
TIR	: Tasa Interna de Retorno
VAN	: Valor Actual Neto
PVSyst	: Software para sistemas fotovoltaicos
AGM	: Absorbent Glass Mat (batería de fibra de vidrio absorbente)
HSP	: Hora Solar Pico
LCOE	: Levelized Cost of Energy (Costo nivelado de energía)
TMAR	: Tasa Media Anual de Reducción
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
PVC	: Policloruro de Vinilo



RESUMEN

El centro poblado de Supucachi no cuenta con suministro de energía eléctrica, por la lejanía de su ubicación, por este motivo el objetivo de este trabajo es realizar un análisis de las fuentes energéticas no convencionales existentes en la zona, tales como el sistema solar fotovoltaico, sistema eólico y sistema de generación de biogás, con la finalidad de proponer la fuente con el mejor costo beneficio. La investigación cuenta con un enfoque cuantitativo, de tipo básica y de diseño no experimental; ya que, se presenta una solución a la problemática mencionada sin modificar intencionalmente las variables. Como resultado de la evaluación del potencial energético de la zona, se proyectó la radiación solar, temperatura y velocidad del viento por un año, asimismo, se calculó los residuos generados de los animales por día; posteriormente, se calculó el potencial energético proyectando el crecimiento demográfico por 10 años obteniendo que es necesario abastecer una demanda de 50 kW y un consumo anual de 88 131 kWh, a partir de ello se realizó el dimensionamiento de los sistemas generadores de energía que se pueden aplicar en la zona; finalmente, se propuso la utilización del mejor sistema según la relación costo beneficio, el cual es un biodigestor, con una TIR de 15.3 % y un VAN de S/ 58 242.69. La razón de esta elección se debe a la cantidad elevada de excretas producto de la ganadería, pudiendo generar incluso más energía de la proyectada e implementar el uso de biogás en otras formas. Para ello se realizó una encuesta a un determinado número de personas y encontrar la cantidad de biomasa necesaria para abastecer la demanda.

Palabras clave: Análisis económico, solar fotovoltaica, eólica, biogás, electrificación rural.



ABSTRACT

The town of Supucachi does not have an electricity supply, due to the remoteness of its location, for this reason the objective of this work is to carry out an analysis of the non-conventional energy sources existing in the area, such as the photovoltaic solar system, wind system and biogas generation system, in order to propose the source with the best cost benefit. The research has a quantitative approach, of a basic type and of a non-experimental design since a solution to the aforementioned problem is presented without intentionally modifying the variables. As a result of the evaluation of the energy potential of the area, solar radiation, temperature and wind speed were projected for a year, likewise, the waste generated by the animals per day was calculated. Subsequently, the energy potential was calculated projecting population growth for 10 years, obtaining that it is necessary to supply a demand of 50 kW and an annual consumption of 88 131 kWh, from this the dimensioning of the energy generating systems that can be applied in are. Finally, the use of the best system according to the cost-benefit relationship was proposed, which is a biodigester, with an IRR of 15.3 % and a NPV of S/ 58 242.69. The reason for this choice is due to the high amount of excreta produced by livestock, which can generate even more energy than projected and implement the use of biogas in other ways. For this, a survey was carried out on a certain number of people and to find the amount of biomass necessary to supply the demand.

Keywords: Economic analysis, solar photovoltaic, wind power, biogas, rural electrification.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la creciente contaminación del medio ambiente ha generado la necesidad urgente de implementar nuevos sistemas de generación de energía eléctrica. Esto se debe a que resulta crucial acelerar la adopción de fuentes de energías renovables hasta seis veces su ritmo actual, con el fin de evitar un aumento significativo en la temperatura debido al efecto invernadero, el proceso de alguna transformación química, mecánica, térmica, solar, nuclear; esto ocasiona que los recursos no renovables de la naturaleza, día tras día se deterioren causando daños irreversibles al planeta (Ventura & Delgado, 2020).

Según (Barrena Gurbillón et al., 2019), El Potencial de Calentamiento Global (PCG) de un gas de efecto invernadero (GEI) se expresa en comparación con el que posee el mismo volumen de CO₂ durante el mismo periodo de tiempo, por lo que el PCG del CO₂ es siempre 1.

El acceso a la energía eléctrica es un factor importante en el desarrollo de la humanidad (Jaro, 2020). En muchos sectores rurales, la accesibilidad para suministrar energía eléctrica es escasa o nula debido a su lejanía geográfica y a las limitaciones económicas de sus habitantes. Ante esta situación, se plantea como una solución viable el uso de fuentes alternativas de energía, especialmente las renovables, que según (Colmenares & Arcila, 2022), con ellas se puede generar energía más limpia que no afecta al medio ambiente, de igual forma, pueden reducir el uso de los combustibles fósiles. Todo ello adaptadas a las características del lugar de estudio, en este caso, Supucachi, ubicada en la provincia de Puno.



Para determinar la viabilidad económica de la implementación de sistemas de generación de energía renovable en Supucachi, es fundamental realizar un análisis económico exhaustivo. Este análisis permitirá evaluar los costos de instalación, operación y mantenimiento de diferentes tecnologías, como los sistemas fotovoltaicos (energía solar) y eólicos (energía eólica). Además, se deben considerar factores como la disponibilidad y la variabilidad de las fuentes renovables en la zona, así como los posibles incentivos o subvenciones gubernamentales para fomentar su adopción (Vega et. al, 2019).

En el caso de un sistema fotovoltaico, se requeriría la instalación de paneles solares que aprovechen la radiación solar para generar electricidad (Mejía, 2019). Este tipo de tecnología es especialmente adecuada en zonas con altos niveles de radiación solar, como Supucachi. El análisis económico debe considerar el costo de los paneles solares, inversores, estructuras de montaje, cableado y otros componentes, así como los gastos asociados con el mantenimiento y el almacenamiento de energía.

Por otro lado, los sistemas eólicos son tecnologías consolidadas que aprovechan la energía cinética del viento para generar electricidad (Mendoza, 2018). La producción de electricidad utilizando el potencial eólico no se producen alteraciones sobre los acuíferos, por otro lado, no emite gases contaminantes de efecto invernadero, o productos secundarios peligrosos al ambiente (Moreto, 2020). Para evaluar su viabilidad económica en Supucachi, se deben analizar factores como la velocidad y la dirección del viento en la zona, así como los costos de instalación de aerogeneradores, cimentaciones, cableado y transformadores, junto con los costos de mantenimiento y almacenamiento de energía.

Además de la energía solar y eólica, también se puede considerar la opción de implementar sistemas de generación de biogás. Esta tecnología aprovecha la



descomposición de materia orgánica, como estiércol animal o residuos vegetales, para generar biogás y, posteriormente, electricidad (Martí, 2019). La producción de biogás es un proceso que ocurre en forma espontánea, en entorno anaerobio, es decir que carece de oxígeno, dicho proceso lo realizan los microorganismos como parte del ciclo biológico de la materia orgánica, el cual involucra la fermentación o digestión de materiales orgánicos para obtener el biogás (Osejos et al., 2018). El análisis económico en este caso deberá incluir los costos de construcción de los biodigestores, equipos de generación de electricidad y sistemas de recolección de materia orgánica, así como los gastos asociados con su mantenimiento.

La electrificación rural es un objetivo fundamental para mejorar la calidad de vida de las comunidades en áreas remotas. Al considerar las opciones de energía renovable y realizar un análisis económico adecuado, se puede determinar la combinación óptima de tecnologías que permita suministrar electricidad de manera sostenible y asequible en Supucachi. Esto no solo beneficiará a la comunidad en términos de acceso a servicios básicos, sino que también que sea autosostenible (Colmenares & Arcila, 2022).

El presente estudio abarca diferentes capítulos para su desarrollo:

El Capítulo I abarca la introducción del estudio describiendo la problemática, la justificación de su desarrollo y los objetivos a desarrollar.

El Capítulo II abarca un resumen de otros trabajos de investigación similares (antecedentes) y la sintetización de teorías acerca del tema de estudio.

El Capítulo III abarca los materiales y métodos de la investigación, es decir con qué y cómo se llevará a cabo el estudio, describiendo el objeto de estudio.



El Capítulo IV abarca los resultados de la investigación, es decir el desarrollo paso a paso de los objetivos y la discusión de estos frente a otros autores.

El Capítulo V abarca la redacción de conclusiones, el Capítulo VI, la propuesta de algunas recomendaciones para mejorar la investigación y finalmente, el Capítulo VII abarca las referencias bibliográficas del estudio.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es necesario que el sector eléctrico incremente el uso de energías renovables a nivel mundial hasta un 85% para el año 2050, esto para mantener el incremento de temperatura por el efecto invernadero por debajo de los 2° C, ayudando de esta forma cumplir con el tratado de París (IRENA, 2018). Una de las fuentes más utilizadas a nivel mundial es la energía solar fotovoltaica, esto por sus facilidades de utilización, así como sus bajos costos de instalación y mantenimiento, en comparación con otros sistemas de generación de energía eléctrica como el uso de aerogeneradores, que conllevan a un gasto mayor en la instalación y traslado de los equipos. En los últimos años ha habido un pico que ha ido incrementando, llegando hasta los 303 GW de energía generada en el año 2016 a lo largo del mundo (Plá et. al, 2018).

En el Perú, la electrificación urbana se encuentra por encima del 99%, sin embargo, la rural avanza a pasos cortos, con un promedio de 4% en los últimos años, a pesar de esto, aún se mantiene una brecha grande, puesto que está en un 82%, esto por las complicaciones que existe en la distribución por los terrenos irregulares. Es por esta razón que es necesario buscar otras alternativas para producir energía eléctrica en las zonas más alejadas del país, según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2020).



Existe cierta dificultad en poder suministrar energía eléctrica domiciliaria en los sectores rurales por ciertos factores específicos, los cuales son la poca o nula accesibilidad a las localidades, lejanía de las mismas y un bajo nivel adquisitivo, esto se traduce en una nula viabilidad de los proyectos de electrificación tradicional, por la baja rentabilidad que estos poseerían. Existe un total a nivel nacional de aproximadamente 281 503 viviendas por electrificar (MINEM, 2022).

Considerando las razones mencionadas anteriormente, se dificulta brindar energía a ciertas zonas del país y como solución se opta por la utilización de otro tipo de fuente de energía, como puede ser eólica, solar, biogás, entre otras. Para la elección del sistema de generación es necesario considerar los factores ambientales que pueden influir o que pueden ayudar a la generación, así como los residuos que se encuentran en el área o que produce el ganado, de esta forma poder utilizar biomasa. En la presente investigación se busca encontrar cual de estos tipos de energías renovables es la ideal para implementarse en la zona, considerando el costo/beneficio que estos tienen, así como la potencia que se puede obtener de los mismos sistemas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema General

¿Qué fuentes de generación de energía no convencionales son adaptables al centro poblado Supucachi, provincia de Puno, departamento de Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera se evaluará el potencial energético del sistema fotovoltaico, eólico y biogás en el centro poblado?
- ¿De qué manera se calculará el potencial energético total del centro poblado?



- ¿De qué manera se realizará el análisis de costo/beneficio por cada fuente de energía identificada no convencional?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

El análisis de fuentes de generación de energías no convencionales permite identificar fuentes de energía adaptables y adecuadas para cubrir las necesidades energéticas de manera sostenible en el centro poblado de Supucachi, provincia de Puno, departamento de Puno.

1.3.2. Hipótesis específicas

- La evaluación del potencial energético del centro poblado provee los datos esenciales para cubrir la demanda energética mediante sistemas de generación fotovoltaica, eólica y biogás.
- El cálculo del potencial energético total demuestra que las fuentes de energías no convencionales satisfacen la demanda en el centro poblado.
- El análisis de costo/beneficio por cada fuente de energía no convencional identifica la fuente de energía más viable económicamente.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio tiene como finalidad recomendar el uso de energías renovables en la ciudad de Supucachi, considerando diversos factores. La propuesta es muy beneficiosa para la región ya que brindará acceso a un suministro eléctrico económicamente sostenible. La contribución de este estudio es utilizar el conocimiento existente en el campo de los recursos energéticos renovables para identificar los recursos energéticos renovables más adecuados para las necesidades de los centros densamente poblados mencionados anteriormente. Tras realizar un diagnóstico exhaustivo, se



ofrecieron varias opciones económicamente viables para abastecer de energía eléctrica a este centro densamente poblado, lo que facilitaría las actividades diarias de los vecinos, a la vez que ayudaría a reducir las consecuencias del calentamiento global provocado por el efecto invernadero. La razón de ser de esta investigación se basa en la necesidad de encontrar alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente para la producción de energía. Las fuentes de energía renovable ofrecen una solución prometedora porque son abundantes, nunca se agotan y no emiten gases de efecto invernadero. Además, se ha comprobado que su implementación ayuda a reducir los niveles de temperatura y preservar el entorno natural.

Desde un punto de vista metodológico, este estudio se basa en la recopilación y análisis de información relevante sobre las diversas fuentes de energía renovable disponibles en la región, así como la evaluación de su viabilidad técnica y económica. Utilice herramientas y técnicas apropiadas para determinar la capacidad de producción, los costos de implementación y operación, y los beneficios ambientales asociados con cada opción.



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Realizar el análisis de fuentes de generación de energías no convencionales adaptables al centro poblado Supucachi, provincia de Puno, departamento de Puno.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar la evaluación del potencial energético de cada fuente de energía no convencional identificada en el centro poblado.
- Calcular el potencial energético total del centro poblado.
- Realizar el análisis de costo/beneficio por cada fuente de energía identificada no convencional.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Rojas y Velazco (2021), en su investigación tuvo como objetivo realizar el diseño de la instalación eléctrica y de un sistema de bombeo suministrado por energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico que cubra las cargas, utilizando la metodología de enfoque cuantitativo y de diseño experimental. Los resultados obtenidos en la investigación la cual promueve el uso de recursos renovables e indicando las condiciones apropiadas para la implementación de dicho sistema con la particularidad de favorecer al medio ambiente y culminado con una estimación de costos donde se financia a 60 meses y que para validar el sistema fotovoltaico se apoyan en el software PVsyst.

Los autores Rincón y Rodríguez (2021), en su investigación cuyo principal objetivo fue diseñar un sistema solar fotovoltaico para brindar 41,5kWh/día de energía eléctrica al colegio, la investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental, teniendo como resultado que el diseño final tiene un excedente de energía del 32%, además que se necesitarán un total de 40 paneles, la investigación tiene un TIR de 20% y un VAN positivo. Por lo que se concluye que la utilización de paneles satisface y deja un sobrante para posibles instalaciones futuras, a la vez que se recupera la inversión en un promedio de 8 años.

Los autores Barón y Amaya (2020), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda energética de las



ballas publicitarias, la investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental, teniendo como resultado se utilizarán entre 4 a 6 paneles dependiendo de la zona, cada uno con una potencia de 360W para satisfacer la demanda energética, a la vez se establecieron 4 escenarios de financiamiento, teniendo en todos un TIR mayor al 23%. Por lo que se concluye que el proyecto es rentable y ayuda a disminuir los gastos por consumo energético.

La autora Jaro (2020), en su trabajo de fin de máster tuvo como principal objetivo realizar un diseño de un sistema fotovoltaico para una industria procesadora de leche, la investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, por lo que se tuvo como resultado se utilizaran 100 paneles con una potencia de 400W cada uno, para poder alimentar a la industria sin problema, asimismo, el inversor seleccionado cuenta con una potencia de 13.530W, el proyecto cuenta con una VAN positivo y un TIR de 3,65% con un periodo de recuperación de 22 años. Por lo que se concluye que el proyecto es rentable, sin embargo, el periodo de recuperación es largo.

Los autores Potes y Proaño (2020), en su investigación tuvo como objetivo principal realizar el diseño de un sistema fotovoltaico que se conecte a la red del bloque B de la universidad, la investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental, por lo que se tuvo como resultado que se utilizarán 66 paneles los cuales serán capaces de entregar al año 30336 kWh, la investigación tuvo tasa interna de retorno del 24,07% y un VAN positivo, a la vez se tuvo un costo beneficio de 2,28. Por lo que se concluye que el proyecto ayudará a reducir una emisión total de 18,42 T de CO₂ al año.

Los autores Amaya y Sanchez (2022), en su investigación cuyo objetivo fue implementar un biodigestor alimentado con excretas porcinas y co-sustrato de caña de azúcar en la finca agropecuaria Fundo bonito en el Municipio de Puerto Gaitán -Meta.



En donde considera que es necesaria la investigación de los diferentes co-sustratos para aprovechar otros desechos agrícolas para aumentar la producción de biogás. Como resultado determina que las características físico-químicas de la caña de azúcar pueden ser utilizadas en la digestión anaeróbica, puesto que el ST y SV se encuentran en el rango establecido con valores de 91.40 % de SV y 19.43 % de ST. Así mismo el análisis obtenido del co-sustrato muestra que es factible en la utilización del biodigestor con digestión anaeróbica, ya que se tuvo una producción de metano media, pero en un tiempo de degradación más alta.

Los autores Colmenares y Arcila (2022), en su trabajo de investigación tuvieron como objetivo el diseño y la simulación de un sistema eólico que cumpla con las normas ambientales de Colombia, para así poder implementarla en un poste de alumbrado autosuficiente en el municipio de Sibaté-Cundinamarca. Esta investigación es de tipo experimental, dentro de los resultados el Sistema de alumbrado público cumplió con las normas demarcadas por Colombia, así como reguladas por la UPME y RETLAP, como la norma NTC 900, con la ayuda del Software DIALux. Por otro lado, el cálculo de la velocidad del viento en el municipio de Sibaté a 10 m de altura fue 2.65 m/s, el cual resultó una potencia útil de 11.44 W/m^2 . Seguidamente, con la ayuda de la luminaria (31 W) de baja potencia de marca Slighting se determinó el consumo en los postes de alumbrado público de 135.78 kWh/año. En la simulación usaron los softwares de Lumion, SolidWorks y SketchUp para modelamientos en 3D.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ventura y Delgado (2020), con su investigación cuyo objetivo principal fue diseñar un sistema fotovoltaico para lograr abastecer a la posta médica del centro poblado Urakusa ubicado en la provincia de Condorcanqui en la región de Amazonas, se utilizó una metodología con enfoque cuantitativo y de diseño no experimental y de



tipo descriptivo transversal. Los resultados obtenidos muestran que el sistema propuesto genera 5,94 kW y esto permite el incremento de horas de fluido eléctrico teniendo una radiación solar de 3,88 kWh/m² por día como mínimo y donde el sistema fotovoltaico está conformado por 18 paneles de 330 W de 24 V, un regulador MPPT 250/100 A, tiene 24 baterías de 12V 250 Ah y dos inversores DC-AC que son de 48V y 3 mil VA esto permite cumplir las necesidades que requieren en la posta médica. Se concluye en que el sistema fotovoltaico brinda la energía suficiente para alimentar a la posta y que el periodo de recuperación de la inversión es de 7 años.

El autor Huamán (2020), en su investigación cuyo objetivo principal fue diseñar un sistema fotovoltaico ON GRID que se conecte a la red eléctrica del centro de salud permitiendo grandes ahorros en el pago de energía eléctrica, este utilizó una metodología de enfoque cuantitativo y de diseño experimental. Los resultados obtenidos muestran que se logra añadir e instalar los 3 inversores de red en el tablero general con su respectivo sistema de protección teniendo en cuenta el diseño eléctrico y este sistema tiene una potencia de generación fotovoltaica de 51,84 KW. Como conclusión se tiene que es posible asumir la carga de la red pública, de esta forma generando un ahorro energético y reduciendo el costo de mantenimiento de los servicios de distribución.

El autor Mesones (2019), en su trabajo de investigación tuvo como principal objetivo realizar una selección y dimensionar un sistema solar fotovoltaico que de energía con alta calidad y de esta forma reduzca el consumo de energía eléctrica, la investigación es de tipo descriptiva con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, por lo que se tuvo como resultado la energía consumida por el restaurante es de aproximadamente 91 843 kWh/día con una máxima demanda de 9 881 W, así mismo se determinó que la zona cuenta con 4,5 HSP, además con el software PBSYST



6.7.0 se determinó un PR de 0,842, y se estableció una inversión de S/.46 631,70 con un VAN positivo de S/. 6 362,75 y un TIR de 16%. Por lo que se concluye que la instalación reducirá los gastos del restaurante en consumo energético, pero a largo plazo, en un promedio de 7 años.

El autor Montalvo (2019), en su investigación cuyo objetivo fue diseñar un sistema solar fotovoltaica para lograr incrementar la potencia eléctrica en la localidad comunal de Alto Anapati en la provincia de Pangoa perteneciente al departamento de Junín, realizando estudios sobre potencial eléctrico de la localidad con respecto a la radiación solar, en la presente utiliza una metodología de enfoque cuantitativa y de diseño no experimental. Los resultados obtenidos arrojan que se genera 154,35 kW mensuales cubriendo la demanda de la localidad. Por lo que se concluye que, si se realiza un diseño adecuado de un sistema fotovoltaico, es posible aumentar la potencia que produce y suministrar de forma correcta, energía eléctrica a las viviendas aisladas de Junín.

El autor Mejía (2019), en su investigación tuvo como principal objetivo realizar el diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar al laboratorio de ingeniería mecánica, la investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental, por lo que se tuvo como resultado que la radiación de la zona se encuentra en un rango de 3,88 a 5,12 kWh/m²/día, asimismo se estimó que el consumo semanal de energía del laboratorio es de aproximadamente 21 168kWh, por lo que se seleccionaron 28 paneles con una potencia de 135W cada uno, de esta forma satisfacer la demanda. Como conclusión, es posible realizar un sistema fotovoltaico para alimentar las necesidades del laboratorio de ingeniería mecánica.



Los autores Barrena Gurbillón et al. (2019), en su investigación disponen como objetivo instalar un sistema de producción de biogás y bioabonos con un biodigestor tubular de geomembrana de PVC con 1 mm de espesor, y 12 m^3 de capacidad total y un volumen de trabajo de 9 m^3 , así mismo determinar el rendimiento de biogás como combustible e influencia de los sustratos o biol con el desarrollo de los pastos. Este proceso es anaeróbico. El biodigestor es alimentado con una relación de carga de estiércol: agua en porción de 1:5. El tiempo de retención fue 29 días a una temperatura ambiental de 14.4 °C. Durante el diseño experimental se estableció un tiempo de retención hidráulico de aprox. 35 días, dividiendo 9000 L con el tiempo de retención, se obtiene una alimentación diaria de 257 L para mantener la producción de biogás. Llegando a la conclusión, obtenemos las dimensiones del biodigestor, el cual tiene 10 m de largo y 1.27 m de diámetro. Esta última genera 2 800 L/día, el cual es suficiente para la preparación de los alimentos de la familia. Por otro lado, se garantiza una producción de 240 L de biol por cada día.

Los autores Alva y Leiva (2020), en dicha investigación, el cual señalan como objetivo principal evaluar si el manejo adecuado del estiércol del bovino será viable para la implementación de un sistema de producción de biogás, esto para el uso doméstico de la población ganadera del caserío de Carrerapampa, San Pablo – 2019. Esta investigación presenta un diseño experimental con enfoque mixto. Los resultados obtenidos para los 2 biodigestores piloto de diferentes relaciones estiércol: agua que se implementaron, en donde se evaluó la temperatura, pH y oxígeno disuelto (OD), señalando que en los 3 parámetros los niveles de significancia son menores que 0.05, procediendo a rechazar la H_0 y asegurar que las dos mezclas producen biogás, pero la mezcla con relación de estiércol: agua (1:3) tuvo estabilidad en sus valores de cada



parámetro y es la más eficiente. Las dimensiones calculadas fueron un volumen líquido de 3.60 m^3 y 1.20 m^3 de gas, para obtener 700 L de biogás por cada 5 horas.

El autor Moreto (2020), en su investigación tuvo como objetivo determinar el potencial eólico para producir energía eléctrica en la meseta andina del distrito de Frías – Ayabaca. Esta investigación es denominada descriptiva, teniendo como resultado de un conjunto recopilado de datos por SENAMHI una velocidad del viento promedio de 8.05 m/s en el Caserío de Arenales Meseta Andina, de igual forma el potencial eólico que se puede aprovechar del viento a diferentes alturas: 10 m es de 1.778 kW; a 40 m es 4.339 kW y a los 60 m se obtiene 4.997 kW de potencia. La velocidad promedio registrado a 10 m de altura, el cual es un estudio de campo da como resultado 8.703 m/s en el año 2018; esta misma con un aerogenerador de eje horizontal marca Bornay 6000 puede producir una energía de 8 067.28 kW-h/año, a 40 m genera 19 230.24 kW-h/año y a 60 m la energía es de 22 667.28 kW-h/año.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Energías no renovables

El uso de recursos energéticos limitados y no renovables plantea desafíos significativos en términos de disponibilidad y sostenibilidad a largo plazo. Estas fuentes de energía, caracterizadas por su agotamiento gradual, presentan un ritmo de regeneración inferior a su utilización, lo que amenaza la seguridad y estabilidad del suministro energético (Vivanco, 2020).

Los recursos energéticos no renovables, como los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), se han convertido en los pilares fundamentales de la economía global. Sin embargo, a medida que se extraen y consumen, su disponibilidad disminuye, ya que el proceso de formación de estos recursos lleva millones de años. A medida que

aumenta la demanda de energía a nivel mundial, la explotación de estos recursos se vuelve más intensa y la tasa de agotamiento se acelera (Vivanco, 2020).

Figura 1: Energías no renovables



Fuente: Vivanco (2020)

- Energía nuclear: tiene como origen el proceso de fisión del núcleo de uranio, esto produce una gran cantidad de radiación y calor.
- Combustibles fósiles: es biomasa tratada por el paso de los años, la presión y temperatura. En este grupo se encuentra el petróleo, licuado de petróleo, gas natural y el carbón.

2.2.2. Energías renovables

El uso de energías renovables se ha convertido en una alternativa clave para mitigar los desafíos energéticos y ambientales que enfrentamos en la actualidad. Las energías renovables, también conocidas como energías no convencionales, son aquellas fuentes de energía que tienen la capacidad de regenerarse o renovarse más rápidamente que su utilización, lo que las diferencia de las energías no renovables (Vivanco, 2020).

La diversidad de las energías no convencionales permite aprovechar diferentes fuentes naturales y artificiales para la generación de energía. Estas fuentes incluyen la biomasa, que utiliza materia orgánica como los desechos agrícolas y forestales para

producir energía; la energía marina, que se obtiene a través de las corrientes oceánicas, las olas y las mareas; la energía hidráulica, que aprovecha la fuerza del agua en ríos o embalses para generar electricidad; la energía eólica, que utiliza el viento para hacer girar las turbinas y producir energía eléctrica; la energía geotérmica, que aprovecha el calor del subsuelo para generar electricidad o calor; y la energía solar, que convierte la radiación solar en electricidad o calor mediante paneles solares (Vivanco, 2020).

Figura 2: Energías renovables



Fuente: Vivanco (2020)

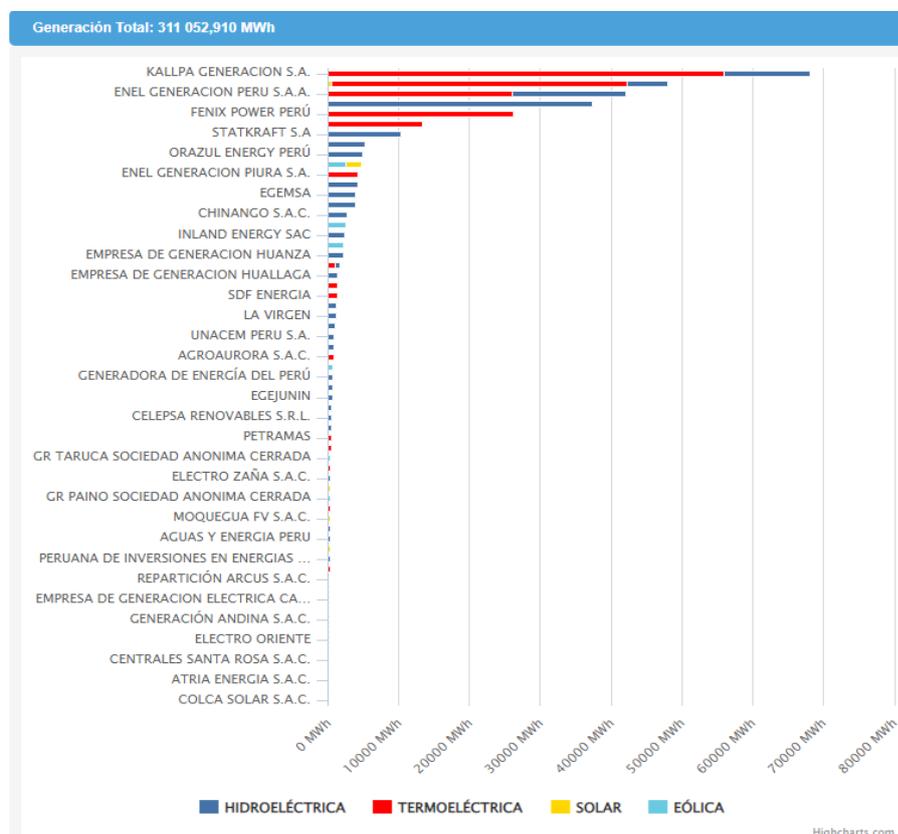
- Energía hidráulica: energía producida por la caída de agua por los desniveles encontrados de forma natural. Estos grandes volúmenes de agua pasan por turbinas que generan energía cinética, a través de un alternador, se transforma en energía eléctrica (Zou et. al, 2019).
- Biomasa: energía producida a partir de un proceso de combustión de la materia orgánica (Griffa et. al, 2017).
- Energía eólica: es la energía producida por el aire al mover unas turbinas eólicas, esta energía cinética pasa por un alternador para producir energía eléctrica útil (Eraso-Checa et. al, 2018).

- Energía geotérmica: energía producida por el calor emitido por las capas internas del planeta (Ramos Omido et. al, 2017).
- Energía solar: puede aprovecharse como energía fotovoltaica o energía térmica (Muñoz Maldonado et. al, 2019).
- Energía marina: producida por el movimiento del agua de mar en los océanos o mares (Vásquez González, 2021).

2.2.3. Producción energética en Perú

El siguiente gráfico muestra la producción de energía a lo largo del año 2021, demostrando que en Perú se utilizan energías renovables, siendo las principales fuentes de producción la energía hidroeléctrica y termoeléctrica, según el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES, 2021).

Figura 3: Generación energética 2021

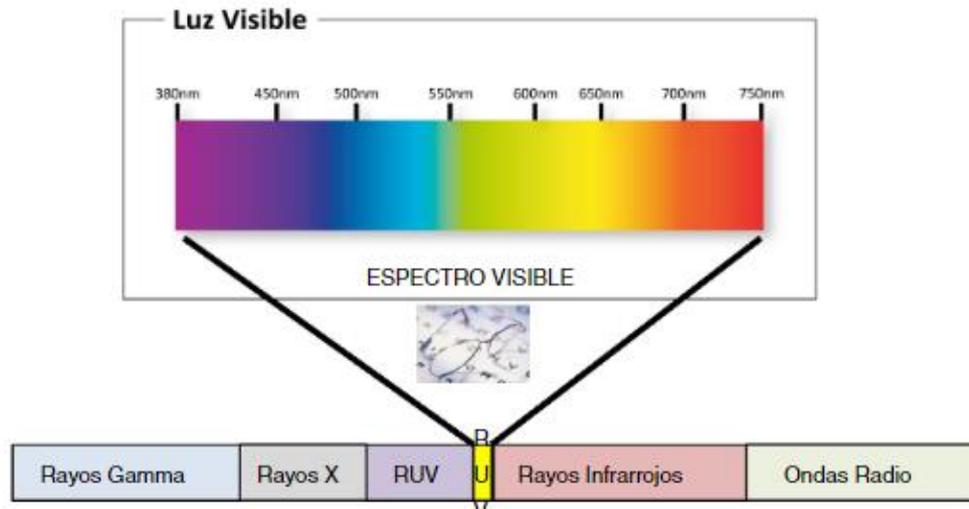


Fuente: COES (2021)

Radiación en Perú

La radiación solar es considerada una gran fuente de energía que posibilita la vida en el planeta, sin embargo, existen ciertos efectos adversos que los humanos perciben, dentro de los cuales se tiene las quemaduras solares, fotoenvejecimiento, inmunodepresión, fotodermatosis, fotocarcinogénesis y las quemaduras solares son un claro ejemplo de lo problemas que pueden causar una sobre exposición. Esto a pesar que la radiación que llega a la superficie es mínima, aproximadamente el 0.5% es radiación UVB y el 5% es UVA (Garnacho et. al, 2020).

Figura 4: Espectro electromagnético



Fuente: Garnacho et. al, (2020)

El siguiente gráfico muestra los niveles de radiación IUV mensual del año 2019, en comparación a los primeros meses del año 2020. Donde se aprecia que existe una pequeña variación y una decadencia en los meses de invierno (INEI, 2021).

Figura 5: Radiación IUV



Fuente: INEI (2021)

2.2.4. Sistema fotovoltaico

Es un grupo de equipos electrónicos y eléctricos capaces de producir energía eléctrica, tomando como “combustible” la radiación producida por el sol, eso es gracias al uso de paneles solares, estos realizan una conversión de energía luminosa a energía eléctrica con corriente continua. Existen tres grupos de tipos de generación de energía a través de sistemas fotovoltaicos, estos dependen del fin de la energía a suministrar, pueden ser conectados a redes, autónomos o de bombeo (Lamigueiro, 2020).

Figura 6: Sistema fotovoltaico



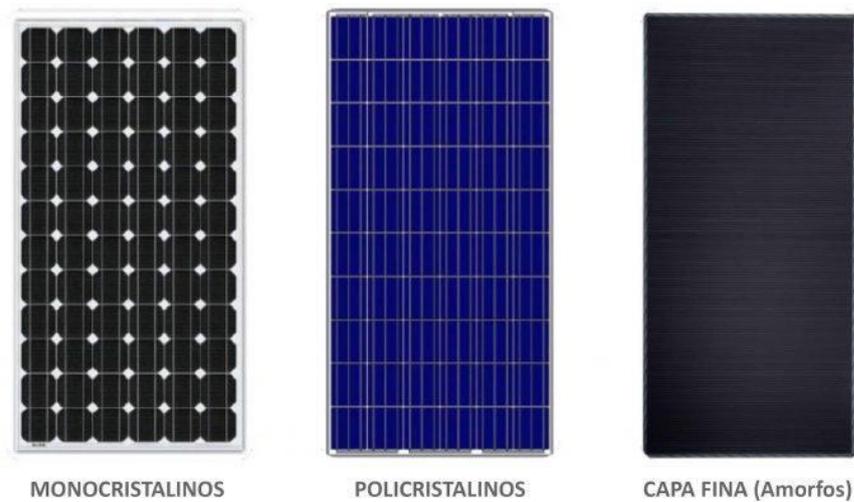
Fuente: Lamigueiro (2020)

Partes de un sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico está conformado por las siguientes partes (Ayllu Solar, 2018):

Paneles solares, estos son capaces de captar energía fotovoltaica transmitida por el sol para convertirla en corriente continua, estos pueden ser de diferentes materiales dependiendo de la eficiencia que se busca (monocristalinos con una eficiencia entre 22% a 18%, policristalinos con una eficiencia entre 17% y 14%, o de capa fina con una eficiencia entre 12% a 8%).

Figura 7: Tipos de paneles solares



Fuente: Ayllu Solar (2018)

Controlador, este tiene como función principal regular las cargas de voltaje y corriente que son transmitidos por los paneles solares.

Figura 8: Controlador solar



Fuente: Ayllu Solar (2018)

El lugar de almacenamiento de energía de un sistema solar son las baterías, estas son necesarias por la variación de energía que puede existir a lo largo de las horas. De igual forma, existen diferentes tipos de baterías, las cuales varían de acuerdo a los componentes de almacenamiento, pueden ser de plomo, AGM o gel.

Figura 9: Baterías de almacenamiento solar



Fuente: Ayllu Solar (2018)

Los inversores son necesarios, puesto que la energía almacenada y producida es corriente continua, los electrodomésticos y los diferentes equipos utilizan corriente

alterna. Es necesario que cumpla con la normativa, así como los requerimientos del sistema diseñado. Asimismo, por unas medidas de seguridad, siempre se da un 20% más al valor hallado para la selección del inversor.

Figura 10: Inversor solar



Fuente: Ayllu Solar (2018)

Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

Un concepto necesario dentro de la generación de energía fotovoltaica es la radiación solar, esta es la emitida por el sol y cuenta con cierta variación dependiendo de la superficie y la zona a la que llega, sin embargo, la OMM ha dado un valor constante de 1367 W/m^2 (Lamigueiro, 2020).

Otro concepto necesario para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico es la hora solar pico (HSP), este valor se puede hallar considerando cuánta energía solar llega en un metro cuadrado de una superficie determinada (Lamigueiro, 2020).

Para realizar el dimensionamiento del sistema es necesario considerar el número de paneles, este valor se halla considerando la potencia de los paneles



seleccionados, la eficiencia de los mismos, las horas solar pico y la potencia que se necesita abastecer. Se utiliza la siguiente ecuación (Vega et. al, 2019).

$$Np = \frac{E}{n \times Wp \times HSP}$$

Donde:

- E = potencia a abastecer
- Wp = potencia de los paneles seleccionados
- HSP =Hora solar pico

Seguido de esto, se considera la conexión de los paneles en paralelo y en serie, que se hallan utilizando las siguientes fórmulas (Vega et. al, 2019).

$$N_s = \frac{V_{BAT}}{V_{PANEL}}$$

Donde

- N_s : Número de módulos en serie
- V_{BAT} : Tensión nominal del sistema
- V_{PANEL} : Tensión nominal de los módulos (dependiendo del fabricante)

$$N_p = \frac{N_{mod}}{N_s}$$

Donde

- N_p : Número de módulos en paralelo
- N_{mod} : Número de paneles
- N_s : Número de módulos en serie

Para hallar la corriente de entrada y de salida del regulador es necesaria la siguiente fórmula (Vega et. al, 2019).

$$I_{entrada} = 1,25 \times I_{mod} \times N_{paneles}$$

Donde

- I_{mod} : corriente nominal de los paneles seleccionados

$$I_{salida} = \frac{1,25 \times \frac{P_{AC}}{n_{inv}}}{V_{BAT}}$$

Si es que la corriente de salida o entrada es muy elevada, se realiza una redistribución de los paneles, para poder mantener el voltaje con el cual se trabajará y reducir la corriente que llegará a los reguladores.

2.2.5. Sistema eólico

Un sistema eólico es aquel que utiliza un aerogenerador o un grupo de los mismos, para producir energía eléctrica a partir de energía cinética, produciendo corriente continua siendo necesario la utilización de un inversor para producir corriente alterna, la cual es la más utilizada. Los sistemas eólicos tienen la posibilidad de funcionar de forma independiente o interconectados a la red nacional (Eraso-Checa et. al, 2018).

Figura 11: Parque eólico



Fuente: Anuario Eólico (2021)

Viento

Se puede mencionar como el movimiento del aire en distintas direcciones que es originado por la variación de presión en puntos diferentes de la tierra, también producido por la rotación del planeta (Mendoza, 2018).

Aerogeneradores

Turbina impulsada por el viento que cuenta con un rotor principal y un generador eléctrico, ambos ubicados en un área superior de la denominada torre. La función que cumple el rotor es transformar la energía cinética producida por el viento, incrementando esta fuerza a través de un sistema de engranajes, de esta forma llegar al generador, el cual produce finalmente energía eléctrica.

Figura 12: Aerogenerador

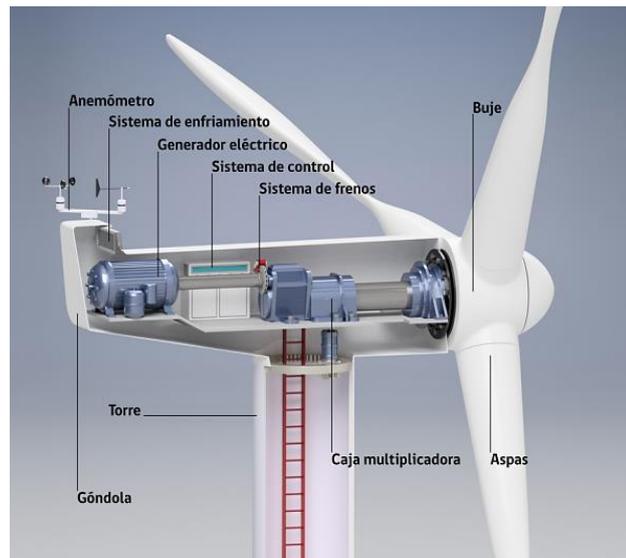


Fuente: Mendoza (2018)

Partes de un aerogenerador

La Figura 13 señala a detalle cuales son las partes principales del aerogenerador, para poder transformar la energía cinética producida por el viento en energía eléctrica utilizable, según el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2020).

Figura 13: Partes de un aerogenerador



Fuente: SEA (2020)

- Aspas: piezas encargadas de transmitir la fuerza de empuje del viento al eje principal.
- Buje: pieza encargada de mantener una conexión entre los álabes y el eje principal, este mismo se conecta al sistema de engranajes encargado de incrementar la velocidad.
- Góndola: carcasa externa, encargada de proteger los sistemas internos del aerogenerador, tanto mecánicos como eléctricos
- Rotor: es el grupo formado por el eje y las aspas o álabes del aerogenerador
- Sistema de engranajes: sistema encargado de incrementar la velocidad que se obtiene a través de las aspas.
- Torre: encargada de soportar la góndola, su construcción puede ser en celosía, acero u hormigón.



Potencia de un aerogenerador

La energía del viento se traduce en energía cinética, por lo que la ecuación necesaria para determinar dicha energía es la siguiente (Eraso-Checa et. al, 2018).

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Donde se tiene:

- m: masa (kg)
- v: velocidad del viento (m/s)

Asimismo, es necesario calcular la masa de aire, eso se realiza considerando la densidad del aire (ϕ). Por lo se tienen las siguientes ecuaciones

$$m = \phi V$$

$$V = AL$$

$$L = vt$$

Donde se tiene:

- V: volumen del cilindro barrido
- L: longitud del cilindro
- t: tiempo

Por lo que la ecuación encargada de hallar la potencia producida por el aerogenerador de forma teórica, es la siguiente

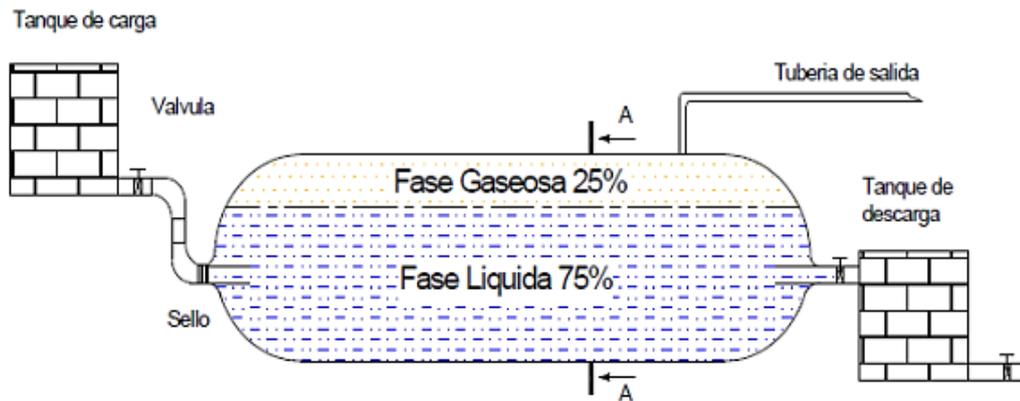
$$P = \frac{E_c}{t} = \frac{1}{2}\phi Av^3$$

2.2.6. Biodigestor

Contenedores herméticos, que en su interior se aloja los diferentes tipos de materia orgánica, se coloca con una solución de líquido dependiendo del tipo de

residuo que se utilice, de esta forma se puede producir un combustible conocido como biogás, el cual puede utilizarse para la producción de energía eléctrica (Carvalho et. al, 2022).

Figura 14: Biodigestor



Fuente: Carvalho et. al, (2022)

Biomasa

Se define como la materia orgánica la cual es obtenida de origen animal o vegetal, ésta puede utilizarse como fuente de energía. En la actualidad se ha aceptado el término biomasa para denominar al grupo de productos energéticos y materias primas de tipo renovable que se originan a partir de la materia orgánica formada por vía biológica. (Cortés, 2019)

Tipo de biomasa

Dentro de la clasificación de biomasa se separan en los tipos de residuos usuales existentes, son los siguientes (Trejo et. al, 2019)

- Residuos sólidos urbanos: producidos en las distintas casas habitadas.
- Residuos de manejo especial: producidos en diversos procesos de producción.



- Residuos peligrosos: tiene ciertas características que son peligrosas como toxicidad, reactividad, explosividad, corrosividad, entre otros factores contaminantes.

Beneficios de un biodigestor

Los biodigestores según Osejos et al. (2018) presenta como siguientes beneficios:

- Aprovecha residuos orgánicos que en muchas ocasiones son derivados a un sitio de disposición final.
- Generar biogás de manera natural y con poder calorífico elevado.
- El biogás generado se emplea como combustible.
- Disminuye la extracción de combustibles no renovables.
- Obtener fertilizante natural mediante su desecho sólido que puede ser empleado y comercializado.
- Promover un desarrollo sostenible evitando que los gases de efecto invernadero sean emitidos

Partes del biodigestor

Según Osejos Merino et al. (2018) existen muchas variaciones en el diseño del biodigestor, teniendo como elementos comunes a:

- Cámara de almacén de gas: Es el espacio en el cual el biogás es almacenado previo a ser extraído.
- Cámara de fermentación: Espacio en el que la biomasa es almacenada en el proceso de descomposición.
- Pilar de carga: Es la entrada en la cual la biomasa es colocada.



- Pilar de descarga: Es la salida, en la que se retira los residuos que están gastados, no son útiles para el biogás, pero pueden ser empleados como abono.
- Agitador: Tiene como función la de desplazar los residuos que están en el fondo hacia arriba del biodigestor para tener un aprovechamiento de toda la biomasa.
- Tuberías de gas: Se produce la salida del biogás en al que se conecta directamente a una estufa o se puede transportar a través de la misma tubería al lugar donde se va a aprovechar.

Proceso de digestión

Para la producción del biogás se utiliza la digestión de tipo anaeróbica, esta consiste en realizar una fermentación a través de microbios utilizando una baja concentración de oxígeno, esta mezcla está conformada por dióxido de carbono y metano básicamente, es conocido como biogás. Tiene una composición promedio de metano entre 70% a 50%, anhídrido carbónico entre 40% a 30%, también posee otros gases con una concentración menor al 5% (Mamani et. al, 2021).

Sin embargo, también existe otro proceso llamado digestión aeróbica, este se realiza de la misma forma, pero con concentraciones mayores de oxígeno, por lo que se obtienen anhídrido carbónico, agua, entre otros, en forma de sales de amonio, nitratos y nitritos (Mamani et. al, 2021).

El biogás es un tipo de gas combustible producido por digestión anaeróbica o digestión, que se compone principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otros gases. El porcentaje de metano en el biogás (por volumen) puede estar entre 55% al 60% en su rango inferior, y hasta el 80% para su rango más alto, por tanto, su menor poder calorífico depende



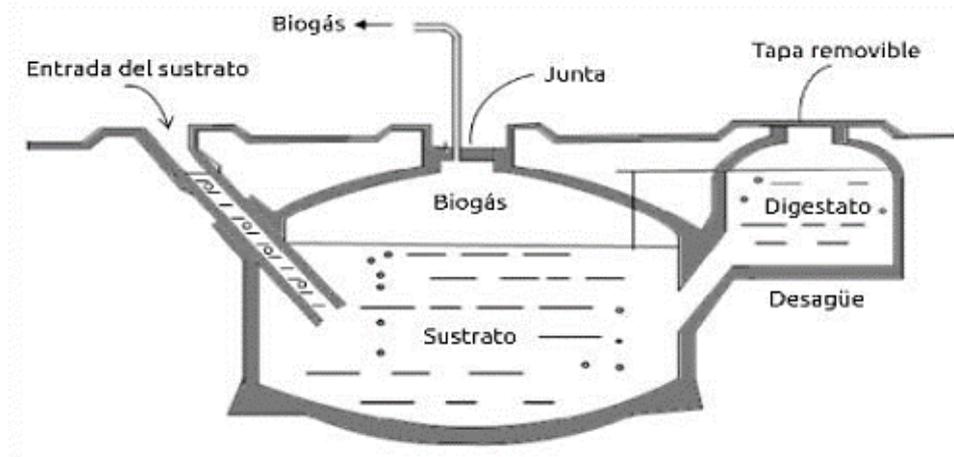
de la cantidad de metano, que puede ser de 4700 a 5500 kcal/m³ o -7 kWh /m³ (Amaya y Sanchez, 2022).

La composición química del biogás dependerá del tipo de sustrato y las condiciones de operación del biodigestor. Pero se puede estimar su contenido; en metano (50-70% CH_4), dióxido de carbono (30-50% CO_2) y otros gases como vapor de agua, sulfuro de hidrógeno (H_2S) y amoníaco (NH_3). De todos estos gases, solo el metano tiene la capacidad de suministrar energía, las demás composiciones tienen características corrosivas o contaminantes. Por otro lado, el digestado o biol derivados del proceso, son fertilizantes ricos en nitrógeno de amoníaco, fósforo, potasio; esta se valora dependiendo del contenido de nutrientes, pH, homogeneidad y contenido de materia seca y orgánica (Parra et. al, 2019).

Tipos de biodigestores

Biodigestor de domo fijo: su construcción es utilizando materiales como ladrillos, cemento, arena, entre otros, cuenta con un volumen constante, sin embargo, la presión de biogás producida varía de acuerdo a la producción o liberación del mismo (Parra et. al, 2019).

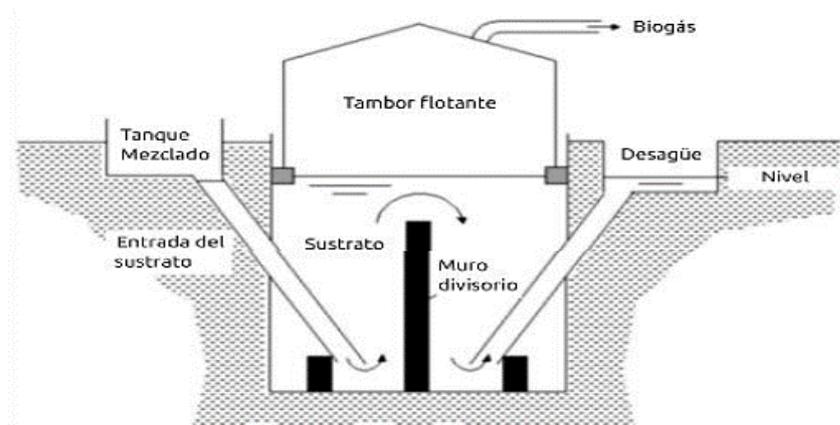
Figura 15: Biodigestor de domo fijo



Fuente: Parra et. al, (2019)

Biodigestor de tambor flotante: consta de una construcción similar al biodigestor de domo fijo, utilizando los mismos materiales. Sin embargo, la diferencia consta en el espacio para almacenar el biogás, este tiene un volumen variable, puesto que el domo o tambor está construido en metal, sube y baja dependiendo del volumen, esto ayuda a mantener una presión constante a pesar del volumen variable (Parra et. al, 2019).

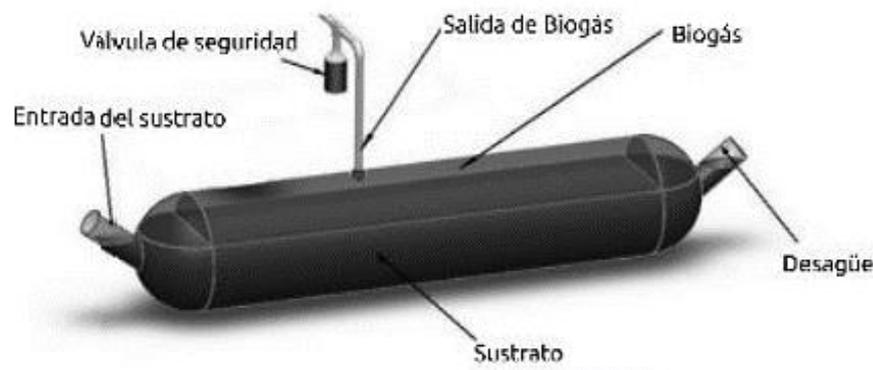
Figura 16: Biodigestor de domo flotante



Fuente: Parra et. al, (2019)

Biodigestor tubular: este consta de una manga de membrana o plástico, posee una entrada y una salida de tubos de PVC, dentro de la misma se almacena los residuos a procesar para la producción de biogás. Esta manga se coloca en una zanja, con el fin de mantener los residuos dentro de esta. Es de las más económicas en cuanto a construcción y mantenimiento se refiere, sin embargo, su tiempo de vida es menor (Parra et. al, 2019).

Figura 17: Biodigestor tubular



Fuente: Parra et. al, (2019)

Dimensionamiento de un biodigestor

Existen 3 maneras de determinar el volumen total de un biodigestor (V_d), éstas se señalan a continuación (Onuoha et. al, 2019):

- Cantidad de residuos: Este valor es el producto del tiempo en que se produce la degradación de materia por la sumatoria de la cantidad de residuos y la cantidad de agua. Para ello, se utiliza la siguiente ecuación

$$V_d = (kg_r + kg_a)T$$

Donde:

kg_r : cantidad de residuos o excretas (kg)

kg_a : cantidad de agua (kg)



T: tiempo en que se produce la degradación de materia

- Volumen líquido de biogás: Es el valor resultante del producto de la carga diaria y el tiempo de retención; para ello, se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_L = TR * CD$$

Donde:

CD : carga diaria ($m^3/día$)

TR : tiempo de retención (días)

Entonces, el volumen total será la suma del volumen líquido y biogás.

$$V_T = V_L + V_B (m^3)$$

- Número de pobladores a abastecer: Es el valor que resulta de la multiplicación del coeficiente 0.35 por la relación entre la cantidad de personas a abastecer y la eficiencia del biodigestor; para ello, se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_d = 0,35 \times \frac{C_p}{n}$$

Donde:

C_p : cantidad de personas a abastecer

n : eficiencia del biodigestor

Asimismo, se sabe que el volumen total del biodigestor se divide en dos partes, puesto que dentro del mismo existe una parte que está en estado líquido y otra que se encuentra en estado gaseoso (biogás), usualmente se encuentra entre un 75% a 80% de residuos en estado líquido y entre 20% a 25% de biogás dentro del biodigestor (Martí, 2019).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

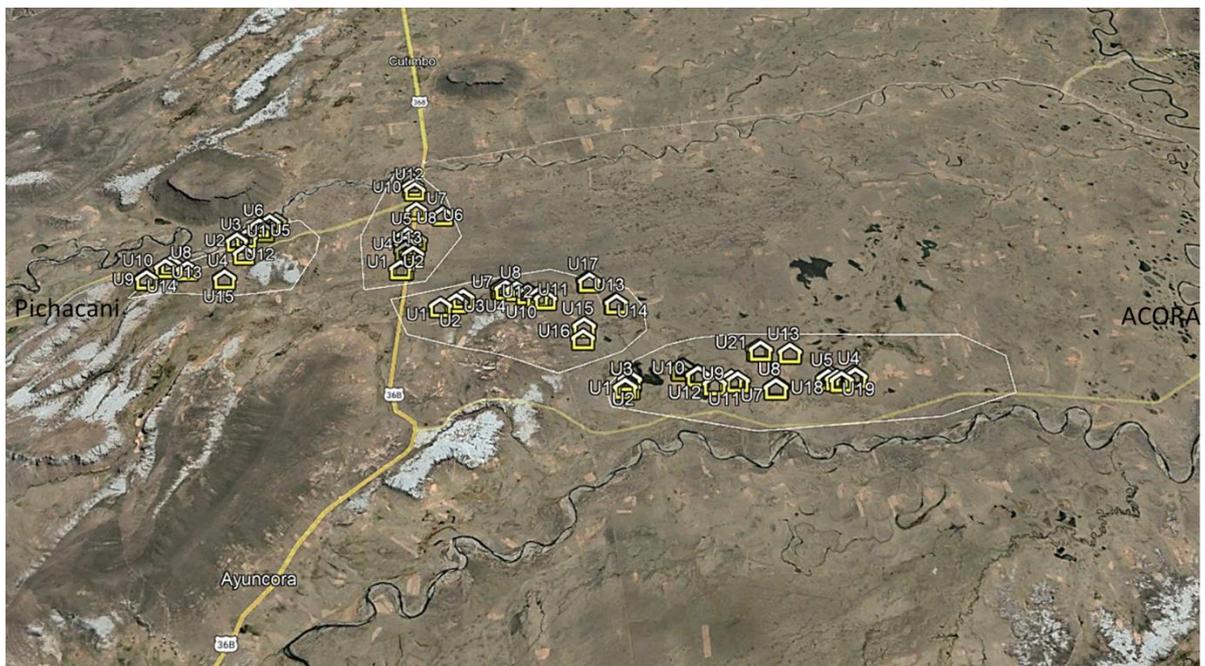
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

El centro poblado de Supucachi se ubica a una altitud de 3914 m.s.n.m.

3.1.1. Ubicación

El centro poblado de Supucachi pertenece a la Provincia de Puno, ubicada a aproximadamente 30 minutos del centro de Puno.

Figura 18: Ubicación geográfica de Supucachi



Elaborado por el equipo de trabajo.

3.1.2. Límites

El centro poblado de Supucachi limita con las siguientes:

- Por el sur con el centro poblado Ayuncora
- Por el norte con el centro poblado Cutimbo



- Por el oeste con el centro poblado Pichacani
- Por el este con el distrito de Acora

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.2.1. Población

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la población es un conjunto de elementos que sostienen similitudes entre sí; en ese sentido, el presente estudio tomó como población a las 92 viviendas conformadas por 198 habitantes del centro poblado de Supucachi.

3.2.2. Muestra

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la muestra es una parte significativa de la población que sirve como objeto de estudio; en ese sentido, el presente estudio tomó como muestra a la población, es decir a las 92 viviendas conformadas por 198 habitantes del centro poblado de Supucachi, esto debido a que la población no es tan grande y el objeto de estudio es accesible.

El tipo de muestreo utilizado para la selección de la muestra es no probabilístico por conveniencia, ya que la información es accesible y se encuentra disponible para el investigador, según lo mencionado por Ñaupas et. al, (2018).

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según Ñaupas et. al, (2018) la investigación del tipo básico utiliza los conocimientos ya existentes para la solución de problemas presentados, por lo que el presente estudio emplea los conocimientos acerca de las energías renovables para resolver la problemática presentada en el poblado.



La presente investigación es de enfoque cuantitativo; ya que, según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) se recopila la información para poder realizar mediciones a través de análisis matemáticos o numéricos.

En conclusión, la investigación que se aplicará en el centro poblado Supucachi, tiene afinidad con las características de un estudio aplicado; ya que, para lograr solucionar el problema específico se realizará una comparación de las energías que se puede aprovechar dentro del centro poblado y de esta manera, elegir la mejor opción.

Según Arias y Covinos (2021) indica que un estudio de diseño no experimental es no factible a la manipulación de las variables independientes, esto indica que no existe un control directo con la variable independiente; ya que, ya han sucedido los efectos y los impactos de ésta.

Es así que la investigación aplicada en el centro poblado Supucachi, está enmarcada por tener un diseño no experimental; ya que no se modificará de manera intencional las variables, realizándose el estudio después de las ocurrencias relacionadas a la difusión del uso de energías renovables como es la solar y su aprovechamiento para generar energía eléctrica y poder cubrir la demanda eléctrica de la localidad asignada, esto gracias a la aplicación de los instrumentos elaborados para dicha investigación.

3.4. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Los métodos utilizados son los siguientes:

A. Método descriptivo

Este método se utilizó para recopilar datos del objeto de estudio para diagnosticar la situación actual, datos reales que se describieron para tener un mejor entendimiento de



la realidad, por tanto, sirvió para evaluar el potencial energético del centro poblado Supucachi.

B. Método analítico

Este método fue utilizado para alcanzar el objetivo general en base a pasos que ayudaron a resolver el problema identificado a través de una propuesta de mejora, los diferentes componentes para la selección de fuentes de generación de energías no convencionales lograron determinar el más adaptable al centro poblado.

C. Método sintético

Este método fue utilizado para sintetizar la información variada acerca de las fuentes de generación de energías no renovables, cuyo razonamiento brindó la más adaptable para el centro poblado. Asimismo, se remarcó la problemática en un principio, lo que permitió analizar la posible solución.

D. Método deductivo

Este método sirvió para proyectar la validación de hipótesis en base a los resultados que generó el alcance del objetivo general, lo cual es importante para la investigación, además de deducir la opción más viable para el objeto de estudio.

3.5. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Encuesta

Esta técnica se aplica mediante un cuestionario a un determinado número de personas, en otras palabras, a la muestra de la investigación; en ese sentido, se aplicó una

encuesta para conocer la cantidad de ganado existente y encontrar un aproximado de cantidad excretas generados por los mismos.

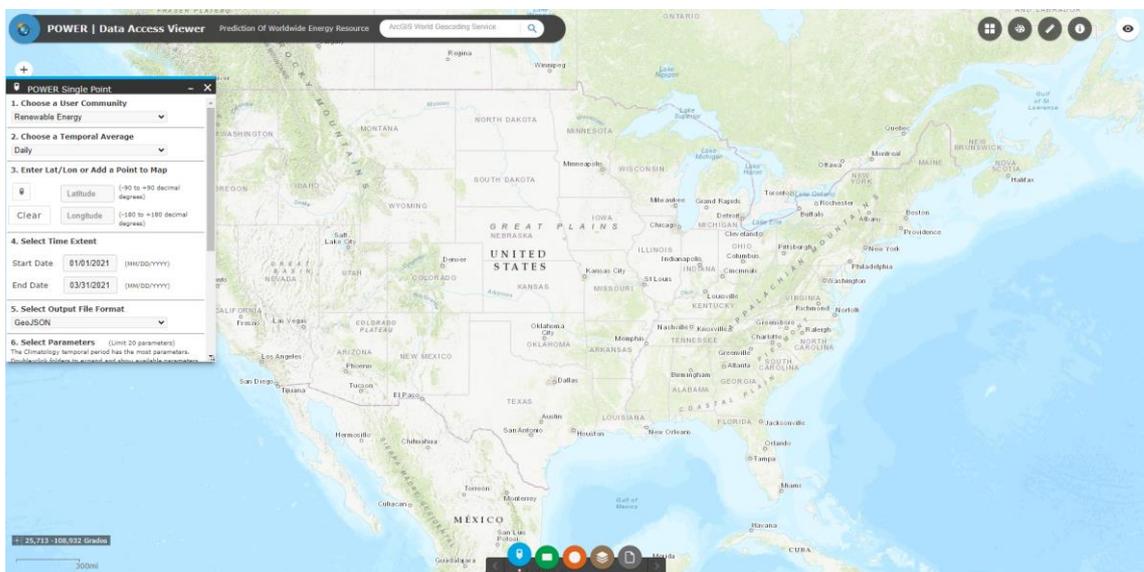
Cuestionario

El cuestionario estuvo estructurado por preguntas, las cuales se referían al tipo de animal que poseen, la cantidad de cada uno de ellos y la cantidad de excretas que generan.

3.5.2. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de los datos se utilizó Excel con la finalidad de elaborar tablas y figuras; por otro lado, se hizo uso del Software Nasa Power con el objetivo de conocer algunos datos de la investigación como temperatura promedio, la radiación y la velocidad del viento de la zona.

Figura 19: Power Data Access Viewer



Fuente: NASA POWER

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Evaluación del potencial energético del centro poblado

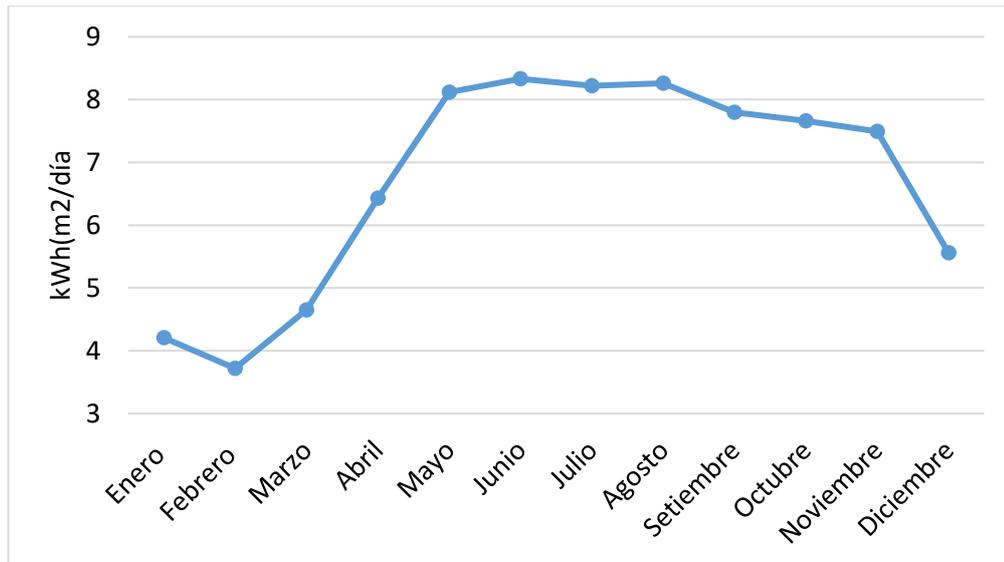
Para hallar la radiación incidente en la superficie horizontal se utilizó el software Power NASA, en donde se hallaron los siguientes resultados mostrados en la siguiente tabla, complementados por la Figura 20. Donde se puede apreciar que el valor máximo es en el mes de junio y el valor mínimo se da en el mes de febrero.

Tabla 1: Radiación solar en un año

Mes	kWh/m ² /día
Enero	4.21
Febrero	3.72
Marzo	4.65
Abril	6.43
Mayo	8.12
Junio	8.33
Julio	8.22
Agosto	8.26
Setiembre	7.8
Octubre	7.66
Noviembre	7.49
Diciembre	5.56

Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 20: Radiación solar a lo largo del año



Elaborado por el equipo de trabajo.

La temperatura se determinó de la misma forma, utilizando el software POWER, considerando que los valores mostrados por el programa son de la temperatura tomada a 2 metros sobre el nivel de suelo de la zona especificada. El valor máximo se da en el mes de diciembre, mientras que el mínimo se encuentra en el mes de julio.

Tabla 2: Temperatura en un año

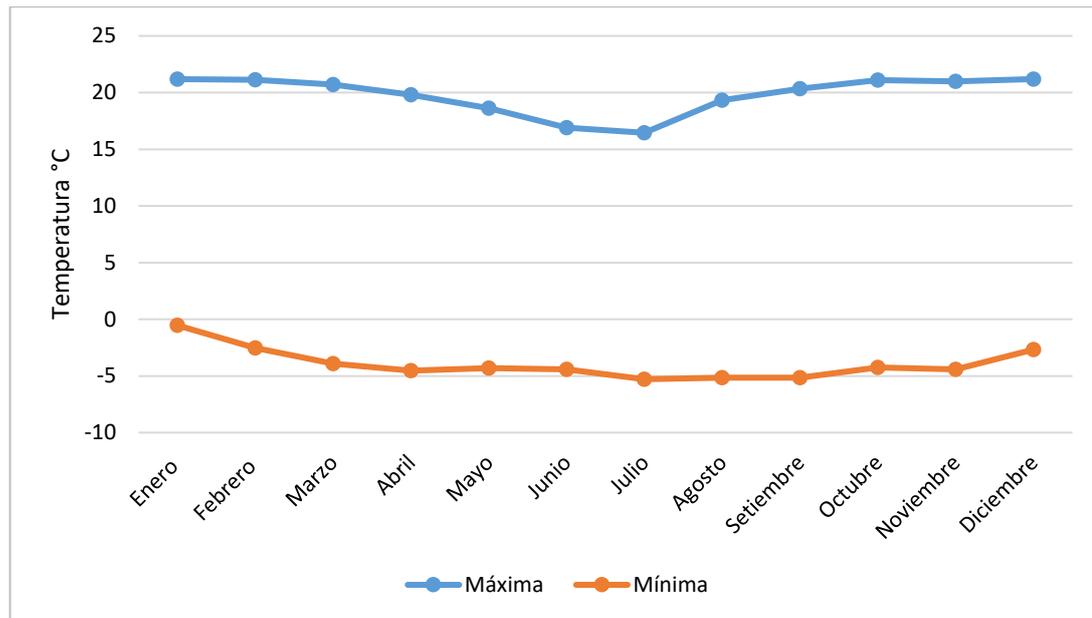
Mes	Temperatura °C	
	Máxima	Mínima
Enero	21.18	-0.54
Febrero	21.12	-2.52
Marzo	20.69	-3.92
Abril	19.8	-4.52
Mayo	18.63	-4.32
Junio	16.9	-4.43
Julio	16.45	-5.29
Agosto	19.32	-5.14

(Continuación...)

Setiembre	20.34	-5.16
Octubre	21.1	-4.24
Noviembre	20.99	-4.42
Diciembre	21.19	-2.68

Elaborado por el equipo de trabajo, según (NASA, 2022)

Figura 21: Temperatura a 2m del suelo



Elaborado por el equipo de trabajo.

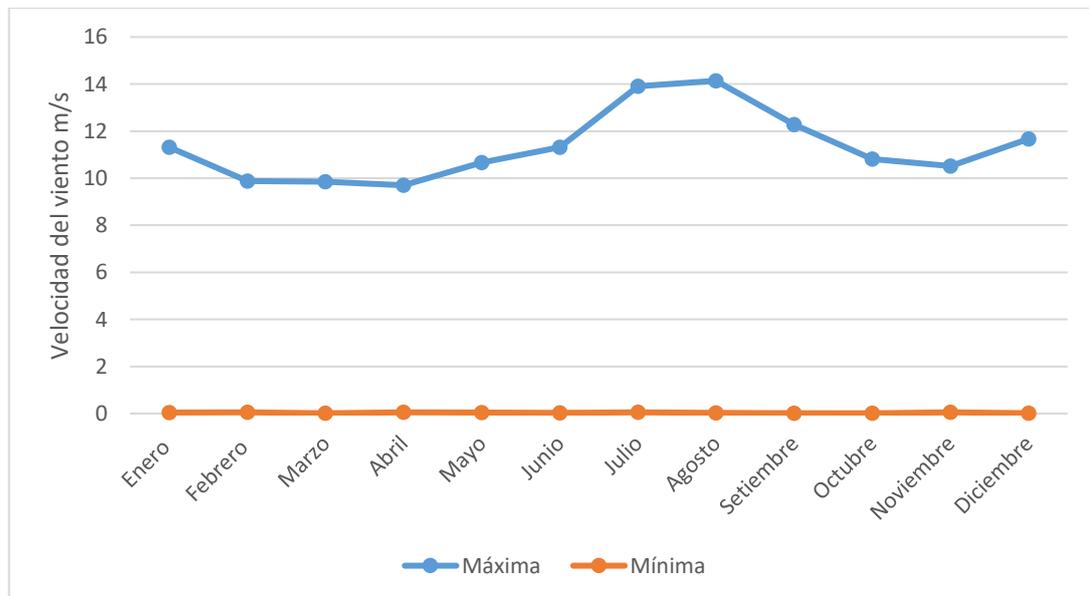
Del mismo modo se halló la velocidad del viento, considerando dos valores, la velocidad máxima y mínima a lo largo del año. Los valores que se tomaron fueron dados por Power NASA y son de medidas tomadas en la altura de 10 m sobre el nivel del suelo de la zona. El siguiente cuadro muestra cuáles son los valores. Y se utiliza la Figura 22 para complementar. La velocidad mayor del viento se encuentra en el mes de agosto, la menor está establecida en el mes de marzo y octubre.

Tabla 3: Velocidad del viento en un año

Mes	Velocidad del viento m/s	
	Máxima	Mínima
Enero	11.31	0.04
Febrero	9.88	0.05
Marzo	9.85	0.01
Abril	9.7	0.05
Mayo	10.66	0.04
Junio	11.32	0.03
Julio	13.91	0.05
Agosto	14.14	0.03
Setiembre	12.28	0.02
Octubre	10.82	0.01
Noviembre	10.52	0.05
Diciembre	11.67	0.02

Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 22: Velocidad del viento en un año



Elaborado por el equipo de trabajo.

También se obtuvo la cantidad de residuos que generan el ganado de los pobladores, se observa en la siguiente tabla. Se realizó una encuesta a los pobladores para hallar los datos correspondientes.

Tabla 4: Residuos generados por animales

Comunero/casa	# de vacas	# de ovejas	# de alpacas	VACA	OVEJA	ALPACA
				Kg/día	Kg/día	Kg/día
1	10	12	2	195	6.5	2.0
2	12	14	5	234	7.6	4.9
3	15	10	4	292.5	5.4	3.9
4	9	40	5	175.5	21.7	4.9
5	18	9	2	351	4.9	2.0
6	17	11	3	331.5	6.0	2.9
7	23	70	7	448.5	37.9	6.8
8	20	18	5	390	9.8	4.9
9	16	20	6	312	10.8	5.9
10	19	17	4	370.5	9.2	3.9
11	10	15	5	195	8.1	4.9
12	15	13	3	292.5	7.0	2.9
13	12	11	2	234	6.0	2.0
TOTAL				3822.0	140.8	51.7

Elaborado por el equipo de trabajo.

4.1.2. Cálculo del potencial energético del centro poblado

Es necesario partir con base a una demanda establecida para encontrar el dimensionamiento de cada uno de los sistemas de los cuales se realizará una comparación.

Para determinar la demanda máxima de centro poblado se consideró el número de habitantes, así como el factor de crecimiento poblacional. Estos son los siguientes datos:

Tabla 5: Población en la localidad de Supucachi

AÑO	Habitantes
2017	121
2022	198

Fuente: INEI (encuesta)

- Tasa de crecimiento poblacional: 9.356%

De esta forma se realizó una proyección de los habitantes y viviendas que existirán en un periodo de 10 años.

$$P_f = P_o(1 + r)^t$$

Donde:

P_f : Población final

P_o : Población inicial

r: Tasa de crecimiento.

t: tiempo transcurrido.

Obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 6: Crecimiento demográfico

AÑO	Habitantes	Viviendas
0	198	92
1	217	101
2	237	110
3	259	120
4	283	132
5	310	144

(Continuación...)

6	339	157
7	370	172
8	405	188
9	443	206
10	484	225

Elaborado por el equipo de trabajo.

Seguido de esto, se establecieron las cargas usuales que se tiene dentro de las viviendas, teniendo en cuenta el número de habitantes por casa y las actividades cotidianas que se realizan. Se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 7: Consumo de una vivienda

Consumo y demanda de una vivienda							
Artefactos	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)	Hora s (h)	Consumo		
					kWh- día	kWh- mes	kWh- año
Lámparas ahorradoras	4	20	80	5	0.4	12	144
TV	1	120	120	2	0.24	7.2	86.4
Radio	1	50	50	3	0.15	4.5	54
Celular	1	10	10	3	0.03	0.9	10.8
Extra	1	500	500	1.5	0.75	22.5	270
Total		700	760	14.5	1.57	47.1	565.2

Fuente: Osinergmin (Organismo supervisor de la Inversión en Energía y Minería).

También se consideraron ciertas cargas especiales, como lo son un centro de salud, una escuela y casa comunal, por lo que se obtuvieron las siguientes tablas de consumo y demanda.

Tabla 8: Consumo de la escuela

ESCUELA							
Artefacto	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)	Horas (h)	Consumo		
					kWh- -día	kWh- mes	kWh- año
Lámpara Fluorescente	7	20	140	2	0.28	8.4	100.8
Lámpara ahorradora	4	20	80	2	0.16	4.8	57.6
TV	2	120	200	1	0.2	6	72
DVD	2	25	50	1	0.05	1.5	18
Computadora	5	300	1500	1	1.5	45	648
Equipo de sonido	1	50	50	1	0.05	1.5	18
Total			2020		2.24	67.2	914.4

Fuente: Osinerming.

Tabla 9: Consumo del centro de salud

USO GENERAL (CENTRO DE SALUD)							
Artefacto	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total (W)	Hora s (h)	Consumo		
					kWh- día	kWh- mes	kWh- año
Lámpara ahorradora	3	20	60	5	0.3	9	108
TV	1	100	100	1	0.1	3	36
Laptop	2	180	360	1.5	0.54	16.2	194.4
Congelador	2	200	400	2	0.8	24	288
Radio	1	20	20	1	0.02	0.6	7.2
Total		520	940		1.76	52.8	633.6

Fuente: Osinergmin.

Tabla 10: Consumo de la casa comunal

CASA COMUNAL							
Artefacto	Unidad	Potencia	Potencia total	Horas	Consumo		
		W	W		kWh-día	kWh-mes	kWh-año
Luminaria exterior - ahorrador	3	25	75	3	0.225	6.75	81
Equipo de sonido	1	50	50	2	0.1	3	36
Fluorescente	5	20	100	4	0.4	12	144
Total		95	225	9	0.725	21.75	261

Fuente: Osinerming.

Asimismo, se consideraron ciertas cargas para las pequeñas tiendas o bodegas que existen dentro del centro poblado Supucachi. Los valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11: Consumo comercial

Artefacto	Cantidad (W)	Potencia (W)	Potencia total (W)	Horas (h)	Consumo		
					kWh-día	kWh-mes	kWh-año
Refrigeradora	1	260	260	3.5	0.91	27.3	327.6
TV	1	100	100	2	0.2	6	72
Lámpara ahorradora	2	20	40	6	0.24	7.2	86.4
Total		380	400	11.5	1.35	40.5	486

Fuente: Osinerming.

Por lo que se tiene finalmente la tabla 13, donde se ve a detalle el consumo total utilizando una proyección en un periodo de 10 años, considerando el crecimiento demográfico que se traduce en un crecimiento en el consumo energético de los



pobladores. Esto para determinar el dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico, eólico y biogás, así abastecer la demanda hallada.

Para ello presentamos algunos datos necesarios:

Tabla 12: Electrificación rural

Indicador	Valor	Fuente de Información
Personas por hogar promedio	2.15	Registro de INEI
Tasa de Crecimiento - Consumo por usuario	1.5%	MEF - SNIP
Factor de Carga	20.00%	MEF - SNIP (Electrificación Rural)
Sector Típico	5	MEF-Sistemas Eléctricos Rurales (SER)
KALP (Factor de Alumbrado Público en kWh/usuario-mes)	6.3	Normatividad de AP en sectores rurales-MEF
Potencia Nominal Promedio de lámpara de AP (W)	50	Normatividad de AP en sectores rurales-MEF

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas.

Tabla 13: Demanda proyectada

DESCRIPCIÓN	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Población Total	198	217	237	259	283	310	339	370	405	443	484
Población a Electrificar	198	217	237	259	283	310	339	370	405	443	484
Grado de Electrificación	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Abonado Totales	96	101	110	120	132	144	158	172	188	206	225
Número de abonados domésticos	92	97	106	114	126	138	152	164	180	198	215
Número de abonados comerciales	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5
Número de abonados de uso general	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5
Número de abonados de peq. Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo anual por abonado doméstico	51998	52778	53570	54374	55190	56018	56858	57711	58577	59456	60348
Consumo anual por abonado comercial	972	972	972	1458	1458	1458	1458	1944	1944	1944	2430
Consumo anual por abonado de usos generales	3402	3402	3402	5103	5103	5103	5103	6804	6804	6804	8505
Consumo anual de abonados peq. Industrias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo de energía (kW.h-año)	56372	57152	57944	60935	61751	62579	63419	66459	67325	68204	71283
Cálculo del consumo de Alumbrado Público											
Consumo mensual de AP - CMAP (KWh)	605	636	693	756	832	907	995	1084	1184	1298	1418
Puntos de Iluminación	28	29	32	35	38	42	46	50	54	60	65
Consumo anual de AP kW.h -año	7258	7517	8294	9072	9850	10886	11923	12960	13997	15552	16848
Consumo Total de energía (kW.h-año)	63630	64669	66238	70007	71601	73465	75342	79419	81322	83756	88131
Máxima demanda (kW)	36	37	38	40	41	42	43	45	46	48	50

Elaborado por el equipo de trabajo.



Por lo tanto, la demanda a abastecer por el sistema fotovoltaico, sistema eólico y sistema de biogás es de 50 kW, considerando un consumo total al año de 88 131 kWh.

Para determinar la cantidad de materiales utilizados se realizó el dimensionamiento.

Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

- Factor de inclinación

Para el factor de inclinación se consideró 1,07 por la latitud de la ubicación del proyecto y por inclinación estimada de 30°.

$$K_{inclinación} = 1,07$$

- Factor de irradiación

Para obtener el factor de irradiación se obtuvo con la siguiente fórmula.

$$K_{irradiación} = 1 - \left(1,2 \times 10^{-4} \times (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times \alpha^2 \right)$$

Considerando que:

- $\beta = 30^\circ$
- $\beta_{opt} = 3,7 + 0,69\vartheta = 15^\circ$
- $\alpha = 9^\circ$

$$K_{irradiación} = 1 - (1,2 \times 10^{-4} \times (20 - 15)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \times 9^2)$$

$$K_{irradiación} = 0,94465$$

De esta forma se obtuvo un valor de $K_{irradiación}$ de 0,94465.

- Factor de sombra

Para hallar el factor de sombra se considera un valor entre 1,20 y 0,75, para el desarrollo teórico de la investigación, se optó por tomar el valor de 1. Por lo que se tiene que:

$$K_{sombra} = 1$$

De esta forma se halló la irradiación global corregida (GHI'), puesto que la irradiación obtenida por el software Power NASA, es un dato ideal. Este se ve afectado por otros factores, asimismo, se toma como valor de la irradiación global (GHI) el menor de los meses, el cual sería 3,72 kWh/m²/día. De esta forma se desarrolla la siguiente fórmula.

$$GHI' = K_{inclinación} \times K_{irradiación} \times K_{sombra} \times GHI$$

$$GHI' = 1,07 \times 0,94465 \times 1 \times 3,71$$

$$GHI' = 3,75 \frac{kWh}{m^2}/día$$

- Hora solar pico

Para realizar el cálculo de la hora solar pico se toma el valor hallado de la irradiación global corregida y se divide entre un factor ya establecido de 1000 W/m². Por lo que se obtuvo el siguiente resultado.

$$HSP = \frac{3750Wh/m^2}{1000W/m^2}$$

$$HSP = 3,75 h$$

- Cálculo de paneles fotovoltaicos

Para el cálculo de paneles se utilizó la siguiente fórmula.

$$N_{mod} = \frac{C_{ed}}{P_{MP} \times HDP_{crit} \times P_r}$$



Donde:

- N_{mod} : número de módulos fotovoltaicos
- C_{ed} : consumo estimado diario en Wh-día
- HDP_{crit} : horas solar pico del mes con menor radiación
- P_r : eficiencia de la instalación
- P_{MP} : potencia nominal de los paneles

Considerando la utilización de paneles solares policristalinos del modelo EOS POLY con una potencia de 350W. Asimismo, se tomó el consumo promedio de energía al año de 88 131 kWh, realizando la conversión al consumo diario se obtuvo un valor de 241 454,79 Wh. A la vez, se consideró una eficiencia de la instalación del 90%, puesto que existe caída de tensión y ciertos factores ambientales que pueden influir.

$$N_{mod} = \frac{241\,454,79}{350 \times 3,75 \times 90\%}$$
$$N_{mod} = 204,41 \approx 205$$

Se obtuvo un valor de 205 paneles con una potencia de 350W cada panel, sin embargo, por un tema de arreglo de los controladores dentro del sistema, se consideraron 208 paneles.

Se realizó el cálculo de conexión en serie y paralelo de los paneles fotovoltaicos, por lo que se estima un valor del voltaje con el que se trabajó de 48V. De esta forma se tiene:

$$N_s = \frac{V_{BAT}}{V_{PANEL}}$$

Donde

- N_s : Número de módulos en serie
- V_{BAT} : Tensión nominal del sistema



- V_{PANEL} : Tensión nominal de los módulos (dependiendo del fabricante)

El voltaje nominal de los paneles es de 38.93V, por lo que se obtuvo el siguiente valor

$$N_s = \frac{V_{BAT}}{V_{PANEL}} = \frac{48V}{38,93V} = 1,23 \approx 2$$

El valor de conexiones en serie hallado es de 2, con este valor, se realizó el cálculo de la cantidad de conexiones en paralelo necesarias, considerando

$$N_p = \frac{N_{mod}}{N_s}$$

Donde

- N_p : Número de módulos en paralelo
- N_{mod} : Número de paneles
- N_s : Número de módulos en serie

Por lo que obtuvo el siguiente valor

$$N_p = \frac{208}{2} = 104$$

Se consideró un valor de 62 módulos conectados en serie.

Posteriormente se realizó el cálculo de la corriente de entrada al regulador, así como de la salida del mismo, se utilizó la siguiente fórmula.

$$I_{entrada} = 1,25 \times I_{mod} \times N_{paneles}$$

Donde:

- I_{mod} : es la corriente de corto circuito del módulo
- $N_{paneles}$: número de paneles

Por lo que se tomó que el valor de corto circuito es de 9,38A. Se obtuvo el siguiente valor de corriente de entrada al regulador

$$I_{entrada} = 1,25 \times 9,38 \times 208 = 2438,8 \text{ A}$$

Del mismo modo, se realizó el cálculo de la corriente esperada a la salida del regulador, con la siguiente fórmula.

$$I_{salida} = \frac{1,25 \times \frac{P_{MP}}{n_{inv}}}{V_{BAT}}$$
$$I_{salida} = \frac{1,25 \times \frac{350 \times 208}{0,9}}{48} = 2106,48 \text{ A}$$

Puesto que la corriente de entrada tiene valores muy elevados, se consideró realizar una reorganización de los módulos fotovoltaicos, agrupándolos de 4, de esta forma disminuir la corriente manteniendo el voltaje con el que se trabajó. Por lo que se tuvo el siguiente valor.

$$I_{entrada} = 1,25 \times 9,38 \times 4 = 46,9 \text{ A}$$
$$I_{salida} = \frac{1,25 \times \frac{350 \times 4}{0,9}}{48} = 40,51 \text{ A}$$

Considerando los valores encontrados, se seleccionó el controlador PWM LCD 50A 48V Must Solar, puesto que logra satisfacer las necesidades de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Para el dimensionamiento de las baterías, se consideraron los siguientes factores:

- Profundidad de descarga: está dado por el porcentaje de energía de batería que se quiere consumir, puesto que, si se consume el 100% de la misma, reduce el tiempo de vida útil de estas. Se consideró un valor de 0,8 para las baterías de gel que son las que se utilizaron.



- Autonomía: considerando la ubicación de la zona a electrificar, se estimó una autonomía de batería de 3 días.
- Capacidad: para determinar la capacidad de las baterías a utilizar, es necesario contar con el valor comercial de Amperios-horas, puesto que, usualmente el valor que se tiene es de Watts-hora, para esto se realizó el siguiente cálculo:
 - Cn: Capacidad nominal del banco de baterías (Ah)
 - Ced: Energía medio diario
 - N: Periodo de autonomía en días
 - Vbat: Voltaje de la batería
 - PDmax,e: Profundidad de descarga máxima estacional
 - PDmax,d: Profundidad de descarga máxima

De esta forma tenemos, la capacidad de función de descarga máxima

$$C_{nd} = \frac{Q_{Ah}}{PD_{MAX,d}}$$
$$C_{nd} = \frac{5027,40}{0,20}$$
$$C_{nd} = 25136,99Ah$$

De la misma forma, se calculó la descarga máxima estacional

$$C_{ne} = \frac{Q_{Ah} \times N}{PD_{MAX,e}}$$
$$C_{ne} = \frac{5027,40 \times 3}{0,80}$$
$$C_{ne} = 18852,74Ah$$

- Cantidad: para determinar la cantidad de grupos de baterías que utilizarán es necesario realizar la selección de las mismas. Se seleccionó una capacidad de baterías de 300Ah, con una tensión de trabajo de 48V, porque cada grupo tendrá 4 baterías, puesto que estas trabajan con una tensión de 12V.



$$\text{Cantidad de grupos de baterías} = \frac{Cne}{\text{Capacidad nominal}}$$

$$\text{Cantidad de grupos de baterías} = \frac{18852,74Ah}{300Ah} = 62,84 \approx 63$$

Por lo que se utilizaron 252 baterías para satisfacer la necesidad de energía eléctrica en el centro poblado.

Seguido se realizó la selección del inversor, puesto que la corriente que transmiten los paneles fotovoltaicos es continua y la corriente que utilizan los electrodomésticos es alterna. Para realizar el dimensionamiento se toma la potencia instalada y se le agrega un 35% más, esto como un factor de seguridad.

$$P_{inv} \geq P_{instalada} \times 1,35$$

$$P_{inv} \geq 50 \times 1,35 \approx 67,5 \text{ kW}$$

Se consideró utilizar 8 inversores, cada uno con una potencia de 10000VA, eso logra satisfacer la demanda de 67,5 kW de potencia instalada requerida.

Para el dimensionamiento de los conductores se consideró las condiciones técnicas de IDEA, puesto que, cuenta con la normativa de selección de conductor para corriente continua, considerando una caída de tensión máxima de 1,5%. Por esta razón se establece lo siguiente:

La longitud de los tramos:

- De las baterías a los inversores: 6m
- De los paneles a los reguladores: 9m
- De los reguladores a las baterías: 6m

Del mismo modo se tiene que:



- De las baterías a los inversores: $\Delta V\%$ es 1,5%
- De los paneles a los reguladores: $\Delta V\%$ es 1,5%
- De los reguladores a las baterías: $\Delta V\%$ es 1,5%

Para la selección de los conductores se consideró la corriente corto circuito, así como el número de paneles, con las siguientes fórmulas

$$I = N_{\text{paneles}} \times I_{sc}$$

$$\Delta V = \Delta V\% \times V_{MP}$$

$$S = 2 \times \frac{L \times I}{\Delta V}$$

Obteniendo de esta forma que el calibre de los conductores es el siguiente:

- De los paneles a los reguladores: 50mm²
- De los reguladores a las baterías: 35mm²
- De las baterías a los inversores: 35mm²

Dimensionamiento del sistema eólico

Para realizar el dimensionamiento de un sistema eólico se debe partir de la elección de un aerogenerador comercial, para la presente investigación, se optó por seleccionar el modelo ENERCON E33.

Dentro de las características del aerogenerador se tiene:

- Potencia nominal: 330 kW
- Diámetro del rotor: 33,4 m
- Altura del buje: 50m
- Número de álabes: 3
- Área barrida: 876 m²

- Coeficiente de potencia (C_p): 0,57
- Velocidad de arranque: 3 m/s
- Velocidad de corte 28 m/s

Figura 23: Aerogenerador ENERCON E33



Fuente: Manual ENERCON

Para determinar el potencial energético del sistema eólico fue necesario tomar los datos existentes a lo largo de un año, para tener medidas precisas de la velocidad del viento. Se detallan en la siguiente tabla.

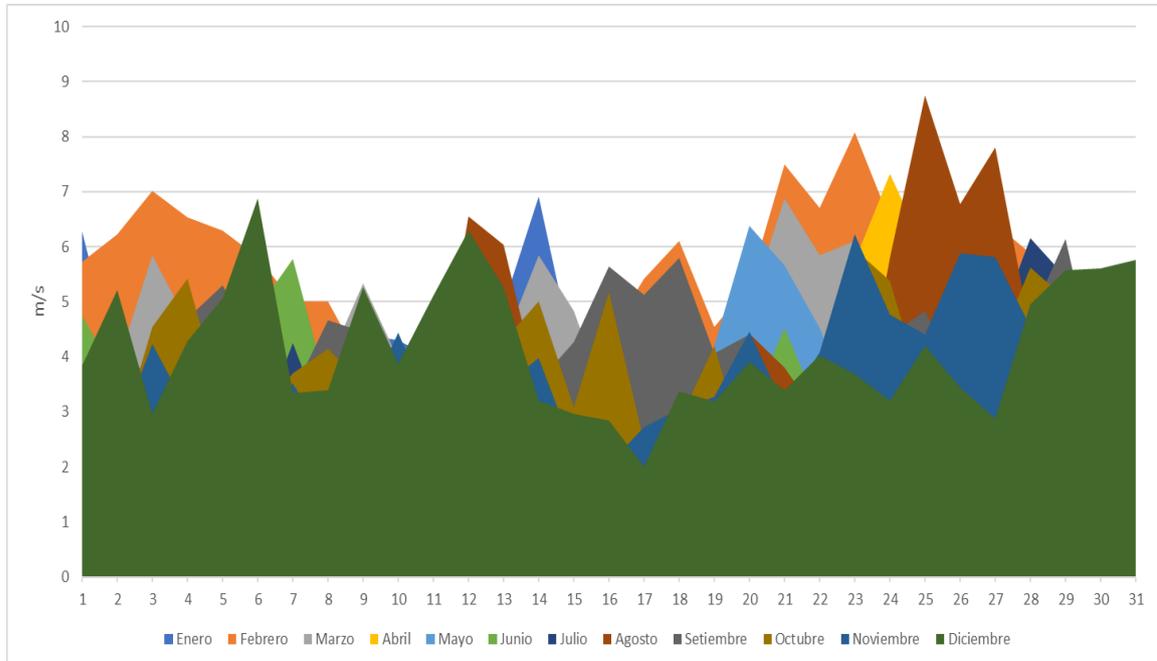
Tabla 14: Velocidad del viento

Día	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	6.27	5.73	3.64	2.07	3.38	4.74	3.28	3.46	3.88	3.51	3.64	3.84
2	3.74	6.23	3.86	3.98	3.88	3.64	4.05	2.89	3.92	2.38	2.55	5.21
3	3.73	7.02	5.84	2.98	2.77	3.19	2.91	3.99	3.71	4.55	4.23	2.97
4	2.55	6.54	4.62	2.86	3.95	1.8	2.7	4.17	4.7	5.41	3.03	4.28
5	2.84	6.3	3.92	4.03	2.7	3.74	3.23	3.19	5.3	3.12	2.75	5.06
6	5.22	5.81	5.66	4.09	2.9	4.87	2.58	3.13	4.21	2.96	3.15	6.88
7	2.59	5.01	4.59	3	2.11	5.78	4.25	2.59	3.36	3.70	3.52	3.34
8	3.14	5.01	3.88	3.1	3.65	3.37	2.57	2.73	4.67	4.15	2.44	3.39
9	4.41	3.84	5.34	5.24	2.99	5.01	2.07	3.42	4.45	3.49	3.05	5.26
10	4.3	3.57	3.95	3.69	2.27	3.81	3.47	3.3	2.97	3.42	4.44	3.88
11	3.95	1.92	4.75	4.84	1.97	3.12	3.2	2.84	3.77	4.28	2.97	5.11
12	4.89	2.88	5.30	6.17	2.38	3.19	2.43	6.55	2.51	2.91	3.38	6.29
13	4.94	3.33	4.24	4.3	4.65	3.86	3.41	6.04	3.56	4.28	3.47	5.27
14	6.91	3.91	5.85	2.75	1.6	3.35	2.59	3.4	3.55	5.01	3.97	3.21
15	3.98	4.21	4.84	3.7	3.19	2.04	3.1	4.13	4.26	3.09	2.30	2.96
16	3.42	4.38	3.06	2.18	2.58	3.46	5.12	3.25	5.64	5.18	2.05	2.84
17	4.11	5.41	3.95	2.7	3.78	2.43	3.37	3.48	5.13	2.45	2.72	2
18	3.24	6.11	3.36	2.3	2.3	5.12	3.55	3.48	5.8	2.84	3.04	3.37
19	3.54	4.55	2.88	3.59	4.2	3.17	2.45	2.29	4.06	4.20	3.27	3.19
20	4.58	5.31	4.92	4.73	6.38	3.01	2.63	4.42	4.41	1.98	4.46	3.91
21	5.13	7.5	6.88	2.66	5.65	4.53	2.62	3.81	2.7	3.38	3.08	3.4
22	5.7	6.71	5.84	3.45	4.53	3.02	3.82	2.88	2.76	3.64	4.08	4.03
23	6.38	8.08	6.11	5.74	2.8	6.12	1.98	2.29	6.21	5.95	6.23	3.68
24	5.1	6.48	4.62	7.32	2.24	3.35	2.8	5.8	4.38	5.39	4.76	3.2
25	3.61	5.62	3.71	5.95	1.88	3.05	3.09	8.75	4.84	3.23	4.41	4.2
26	5.22	3.52	3.84	5.33	2.41	4.77	5.7	6.78	3.48	2.66	5.88	3.45
27	3.12	6.41	5.28	2.79	4.12	4.86	4.45	7.8	3.98	4.07	5.81	2.88
28	4.87	5.89	4.80	2.8	5.59	5.57	6.15	4.48	4.71	5.63	4.55	4.95
29	3.99		2.88	1.69	3.71	2.57	5.46	2.99	6.14	5.05	3.13	5.58
30	4.17		4.65	4.51	3.72	2.45	4.11	4.03	3.34	3.38	2.86	5.61
31	3.02		2.91		2.41		5.47	4.25		3.74		5.76

Elaborado por el equipo de trabajo.

Se puede apreciar en la siguiente figura el cambio de la velocidad del viento a lo largo de los días en los diferentes meses del año.

Figura 24: Velocidad del viento



Elaborado por el equipo de trabajo.

Para realizar el cálculo de la potencia eléctrica que puede brindar el aerogenerador se consideró la siguiente ecuación

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

Donde:

v: velocidad del viento en m/s

ρ : densidad del aire en kg/m³

A: área de arrastre en m²

Por lo que la ecuación quedaría en:



$$P = \frac{1}{2}(0,776)(876)v^3$$

Los resultados se detallan en la siguiente tabla:

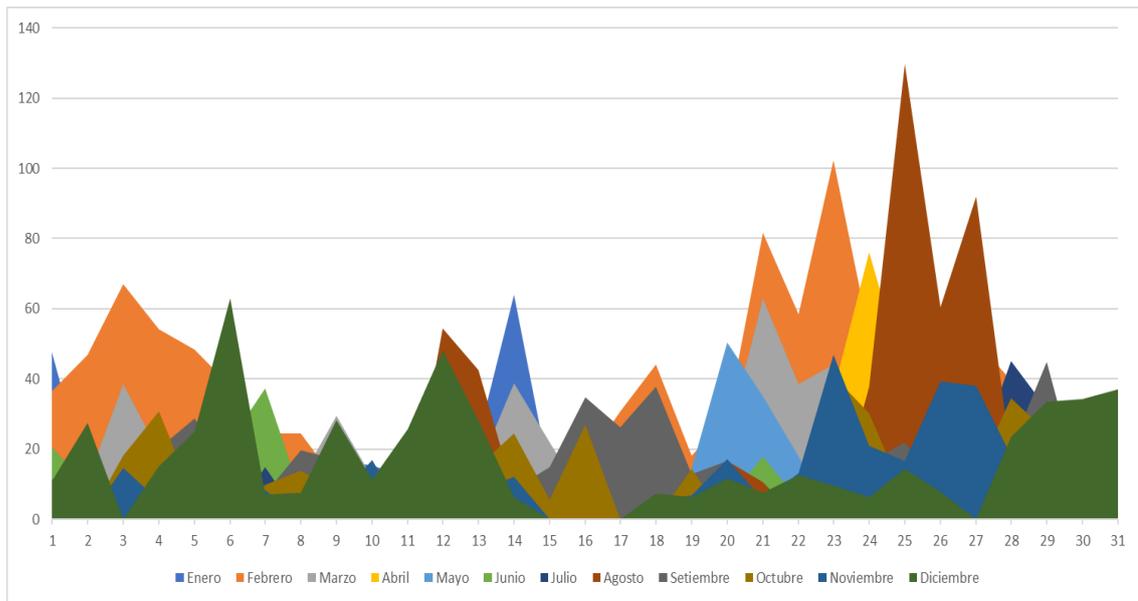
Tabla 15: Potencia generada

POTENCIA GENERADA (kW)												
Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	47.75	36.45	9.34	0.00	7.48	20.63	6.84	8.02	11.32	8.38	9.34	10.97
2	10.14	46.85	11.14	12.21	11.32	9.34	12.87	0.00	11.67	0.00	0.00	27.40
3	10.05	67.02	38.59	0.00	0.00	6.29	0.00	12.31	9.89	18.25	14.66	0.00
4	0.00	54.19	19.10	0.00	11.94	0.00	0.00	14.05	20.11	30.68	5.39	15.19
5	0.00	48.44	11.67	12.68	0.00	10.14	6.53	6.29	28.84	5.88	0.00	25.10
6	27.56	38.00	35.13	13.26	0.00	22.38	0.00	5.94	14.46	0.00	6.06	63.09
7	0.00	24.36	18.73	0.00	0.00	37.41	14.87	0.00	7.35	9.81	8.45	7.22
8	6.00	24.36	11.32	5.77	9.42	7.41	0.00	0.00	19.73	13.85	0.00	7.55
9	16.62	10.97	29.50	27.87	0.00	24.36	0.00	7.75	17.07	8.24	5.50	28.19
10	15.40	8.81	11.94	9.73	0.00	10.71	8.09	6.96	0.00	7.75	16.96	11.32
11	11.94	0.00	20.76	21.97	0.00	5.88	6.35	0.00	10.38	15.19	0.00	25.85
12	22.65	0.00	28.84	45.51	0.00	6.29	0.00	54.44	0.00	0.00	7.48	48.21
13	23.36	7.15	14.77	15.40	19.48	11.14	7.68	42.69	8.74	15.19	8.09	28.36
14	63.92	11.58	38.79	0.00	0.00	7.28	0.00	7.61	8.67	24.36	12.12	6.41
15	12.21	14.46	21.97	9.81	6.29	0.00	5.77	13.65	14.98	5.72	0.00	0.00
16	7.75	16.28	5.55	0.00	0.00	8.02	26.00	6.65	34.76	26.93	0.00	0.00
17	13.45	30.68	11.94	0.00	10.46	0.00	7.41	8.16	26.16	0.00	0.00	0.00
18	6.59	44.19	7.35	0.00	0.00	26.00	8.67	8.16	37.80	0.00	5.44	7.41
19	8.59	18.25	0.00	8.96	14.35	6.17	0.00	0.00	12.97	14.35	6.77	6.29
20	18.61	29.01	23.07	20.50	50.31	5.28	0.00	16.73	16.62	0.00	17.19	11.58
21	26.16	81.73	63.09	0.00	34.94	18.01	0.00	10.71	0.00	7.48	5.66	7.61
22	35.88	58.53	38.59	7.96	18.01	5.34	10.80	0.00	0.00	9.34	13.16	12.68
23	50.31	102.20	44.19	36.64	0.00	44.41	0.00	0.00	46.40	40.81	46.85	9.66
24	25.70	52.72	19.10	75.99	0.00	7.28	0.00	37.80	16.28	30.34	20.89	6.35
25	9.11	34.39	9.89	40.81	0.00	5.50	5.72	129.79	21.97	6.53	16.62	14.35
26	27.56	8.45	10.97	29.34	0.00	21.03	35.88	60.38	8.16	0.00	39.39	7.96
27	5.88	51.03	28.52	0.00	13.55	22.24	17.07	91.94	12.21	13.06	38.00	0.00
28	22.38	39.59	21.43	0.00	33.84	33.48	45.06	17.42	20.24	34.57	18.25	23.50
29	12.31		0.00	0.00	9.89	0.00	31.53	0.00	44.85	24.95	5.94	33.66
30	14.05		19.48	17.77	9.97	0.00	13.45	12.68	7.22	7.48	0.00	34.21
31	5.34		0.00		0.00		31.71	14.87		10.14		37.02

Elaborado por el equipo de trabajo.

La existencia de los valores de 0 dentro de la tabla es por lo mismo que para la generación de energía es necesario una velocidad mínima de 3 m/s, la tabla se puede ver reflejada en la siguiente figura.

Figura 25: Potencia producida por la velocidad del viento



Elaborado por el equipo de trabajo.

Para determinar el potencial de aerogenerador considerando la velocidad del aire es necesario realizar un diagrama de distribución de Weibull. Para esto se tomaron los datos de la velocidad del aire por mes, estos se ordenaron de tal forma que fue posible realizar gráficos de frecuencia.

Para realizar esto, se consideraron los siguientes datos mencionados en la tabla.

Tabla 16: Distribución de Weibull

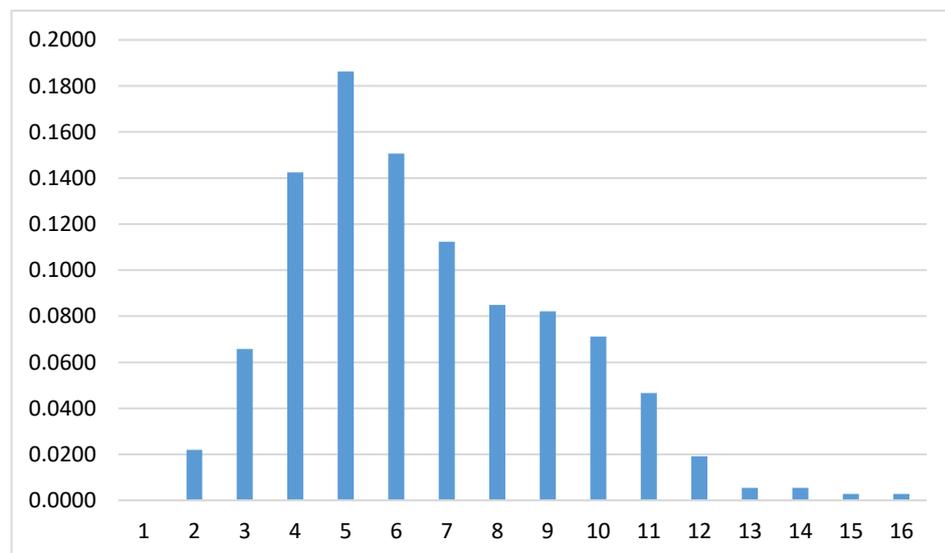
Rango menor	Rango mayor	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
1	1.5	0	0.0000	0.0000
1.5	2	8	0.0219	0.0219

(Continuación...)

2	2.5	24	0.0658	0.0877
2.5	3	52	0.1425	0.2301
3	3.5	68	0.1863	0.4164
3.5	4	55	0.1507	0.5671
4	4.5	41	0.1123	0.6795
4.5	5	31	0.0849	0.7644
5	5.5	30	0.0822	0.8466
5.5	6	26	0.0712	0.9178
6	6.5	17	0.0466	0.9644
6.5	7	7	0.0192	0.9836
7	7.5	2	0.0055	0.9890
7.5	8	2	0.0055	0.9945
8	8.5	1	0.0027	0.9973
8.5	9	1	0.0027	1.0000

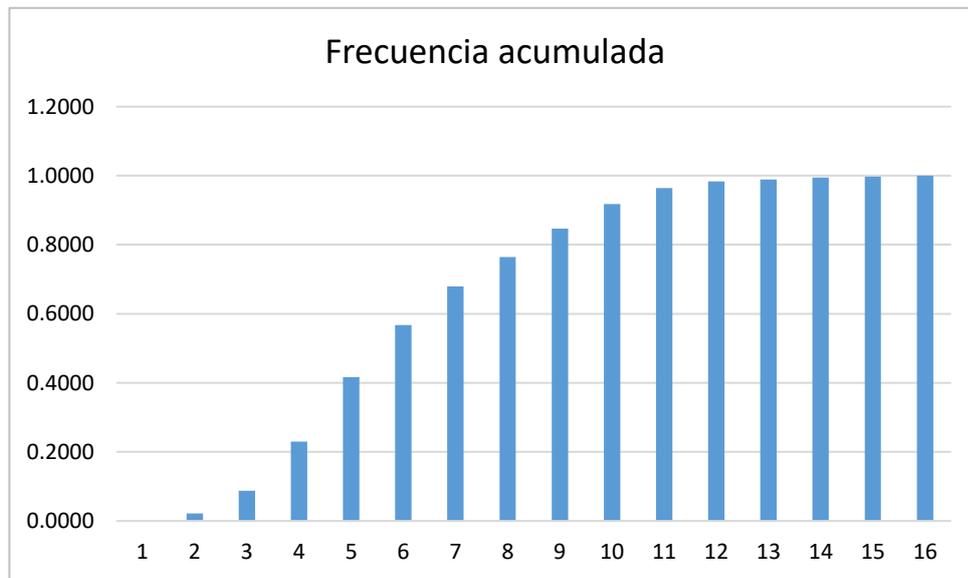
Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 26: Frecuencia relativa



Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 27: Frecuencia acumulada



Elaborado por el equipo de trabajo.

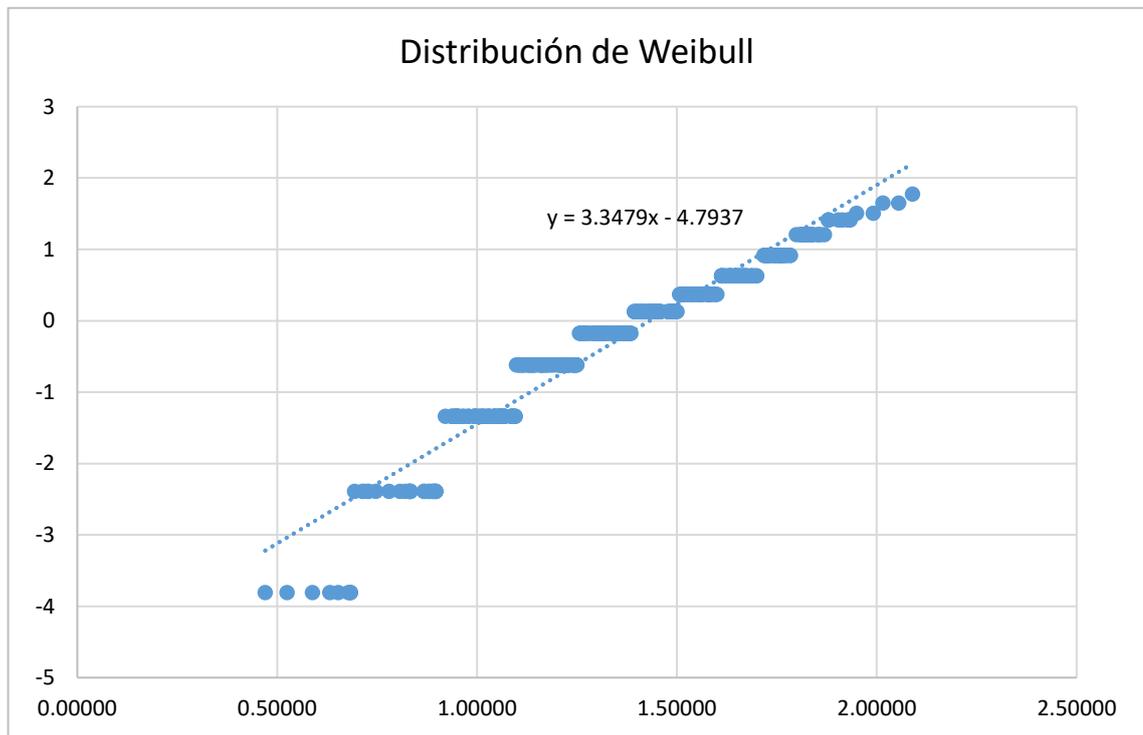
Posteriormente, se determinó la distribución Weibull para poder hallar el valor de los factores que faltaban hallar, de esta forma realizar un correcto dimensionamiento del sistema eólico. Considerando las siguientes ecuaciones.

$$P(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

$$P(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Para determinar los valores de c y k , es necesario realizar el gráfico de distribución de Weibull. Este es el siguiente.

Figura 28: Distribución de Weibull



Elaborado por el equipo de trabajo.

La ecuación de la recta hallada con la distribución Weibull sirve para determinar los valores mencionados anteriormente, puesto que:

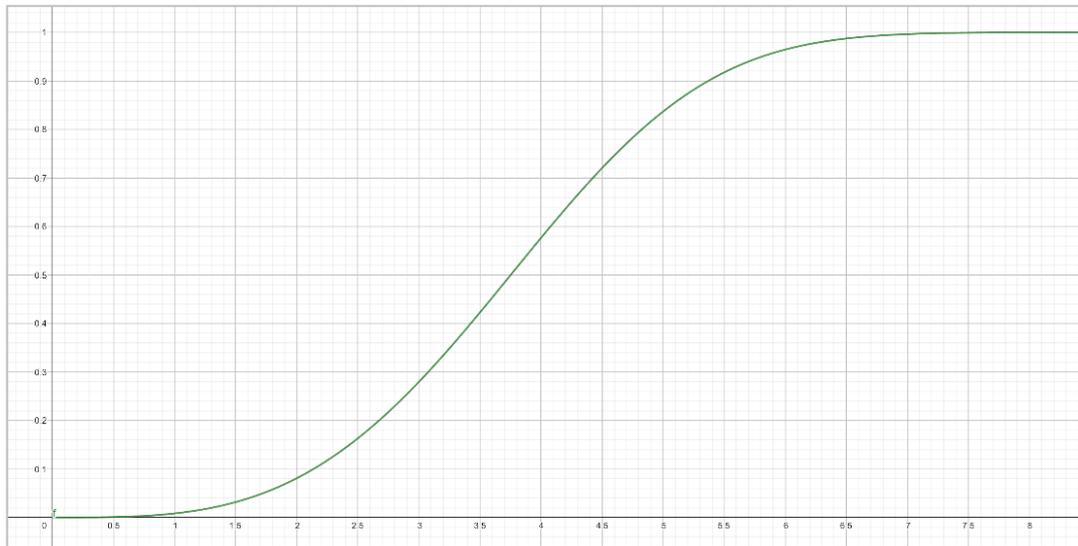
$$k = 3,3479$$

$$a = 4,7937$$

$$c = e^{\frac{a}{k}} = 4,18645$$

De esta forma se determinó la siguiente figura, donde el eje X es la velocidad del viento y el eje Y es el porcentaje de probabilidad.

Figura 29: Distribución de Weibull



Elaborado por el equipo de trabajo.

Asimismo, se determinó el gráfico de la probabilidad de Weibull, considerando la siguiente tabla.

Tabla 17: Probabilidad de Weibull

V (m/s)	Probabilidad
0	0%
0.5	1%
1	3%
1.5	7%
2	13%
2.5	20%
3	26%
3.5	30%
4	30%
4.5	27%
5	20%
5.5	13%

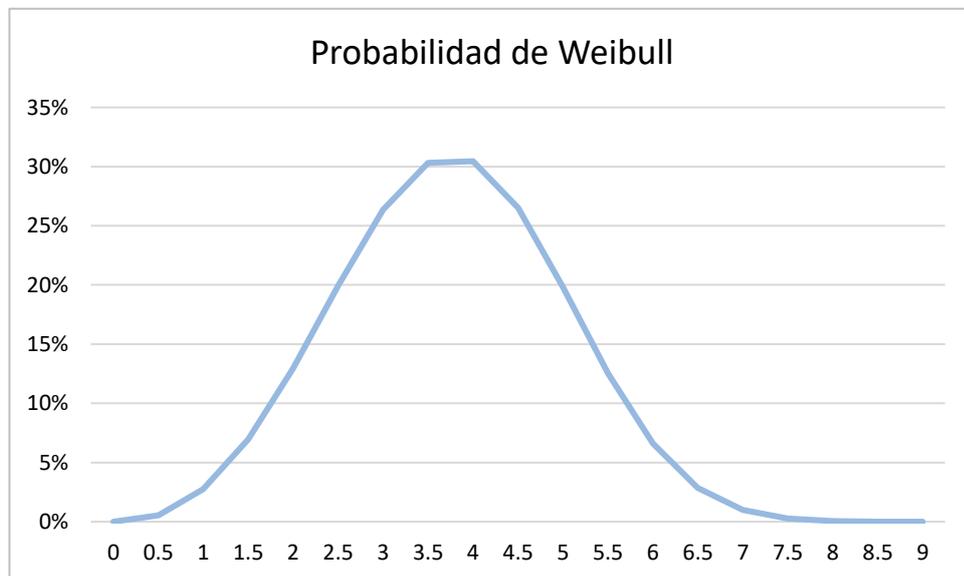
(Continuación...)

6	7%
6.5	3%
7	1%
7.5	0%
8	0%
8.5	0%
9	0%

Elaborado por el equipo de trabajo.

Lo que se puede ver en la figura 30 es que existe una más alta probabilidad de la existencia, donde se considera que existe una mayor probabilidad de mantener la velocidad de viento entre 3.5 a 4,5 m/s.

Figura 30: Probabilidad de Weibull



Elaborado por el equipo de trabajo.

Considerando la velocidad de 4 m/s se determinó la potencia teórica de un aerogenerador.



$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$$

$$P = \frac{1}{2} \times 0,776 \times 876 \times 4^3$$

$$P = 21752,832 \text{ W} = 21,75 \text{ kW}$$

Por lo que, para abastecer la potencia necesaria para el sistema, sería necesario un mínimo de 3 aerogeneradores del modelo seleccionado.

Dimensionamiento de biodigestor

Para realizar el diseño del biodigestor se consideró la energía que se debe suministrar a lo largo del año, considerando la proyección encontrada para los próximos 10 años.

Según (Martí, 2019), se realizó la conversión de energía eléctrica a biogás, de esta forma encontrar la necesidad diaria de gas para la comunidad, con 65% de Metano (CH_4) y 30% de rendimiento.

$$300 \text{ m}^3 \rightarrow 600 \text{ kWh}$$

$$\text{Biogás necesario} \rightarrow 88131 \text{ kWh}$$

Esto da un valor de 44065.5 m³ de biogás, este valor es a lo largo de un año, sin embargo, el valor necesario es el biogás por día. Por lo que se tiene:

$$C_g = 44065.5 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} = 120,727 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El biogás requerido por día es 120.727 m³/día, para ello utilizamos los siguientes datos para hallar el volumen líquido del biodigestor.

Sabiendo:

$$V_L = TR * CD$$

Según datos extraídos de Nasa Power, en comparación con SENAMHI, el centro poblado cuenta con una temperatura a nivel del suelo de 8 °C promedio.

Criterios para aumentar la temperatura:

- Geomembrana de polietileno de color oscuro y aislante en paredes y suelo de zanja (+ 4°C).
- Diseño de calefacción solar pasiva-invernadero (+ 6 °C).

Tabla 18: Datos mostrados según las condiciones del centro poblado

DATOS		
Temperatura ambiente	18	°C
Tiempo de retención	65	días
Producción de biogás	33	L/Kg
Kg de estiércol necesario	3658	Kg
Relación estiércol/agua	1:2	
Agua	7316	L
Carga diaria T	10974	L (agua- estiércol)
Volumen líquido del biodigestor	713310	L
	713	m3

Fuente: (Martí, 2019)

Para abastecer el volumen del biodigestor seleccionado, es necesario utilizar una tabla de mangas de geomembrana comercial, de esta forma se tiene.

Tabla 19: Dimensiones de geomembrana

Circunferencia (m)	Ancho de rollo (m)	Radio (m)	Diámetro (m)	Longitud biodigestor (m)		
				Óptima	Máxima	Mínima
14	7	2.23	4.46	33.4	44.6	22.3
10	5	1.59	3.18	23.9	31.8	15.9
9	4.5	1.43	2.86	21.5	28.6	14.3
8	4	1.27	2.54	19.1	25.5	12.7
7	3.5	1.11	2.22	16.7	22.3	11.1
6	3	0.95	1.9	14.3	19.1	9.5
5	2.5	0.8	1.6	11.9	15.9	8
4	2	0.64	1.28	9.5	12.7	6.4
3	1.5	0.48	0.96	7.2	9.5	4.8
2	1	0.32	0.64	4.8	6.4	3.2

Fuente. (Martí, 2019) “Tabla 11”.

Se considera el volumen de un cilindro.

$$V = L \times \pi \times r^2 = 21.5 \times \pi \times 1,43^2 = 138,12 \text{ m}^3$$

De esta forma se halló el volumen total del biodigestor con una longitud óptima de diseño.

$$V_T = V_L + V_B \text{ (m}^3\text{)}$$

Tabla 20: Volumen del líquido y del biogás de nuestro biodigestor

Vtotal (m3)	V_líquido(m3)	V_biogás(m3)
138.12	104.58	33.54

Elaborado por el equipo de trabajo.

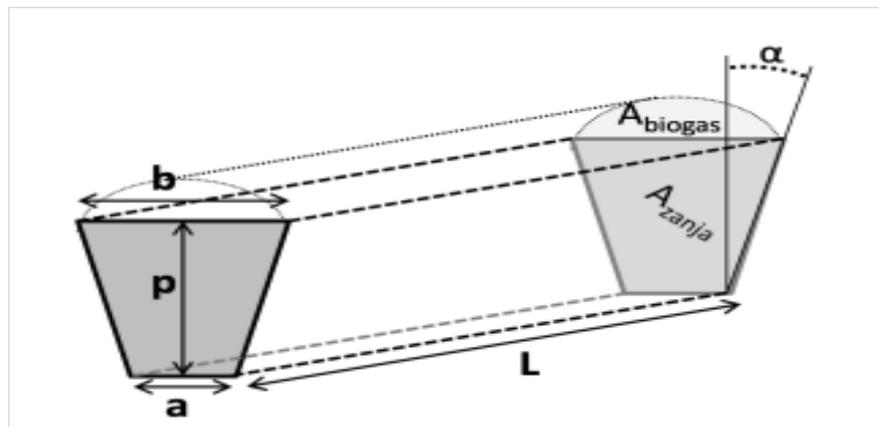
Para la selección del biodigestor, utilizamos los siguientes aspectos técnicos donde se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 21: Aspectos técnicos del biodigestor

MODELO	Biodigestor tubular prefabricado
Capacidad	138.12 m ³
Material	Geomembrana de polietileno
Espesor	600 micrones
Color	Negro/gris
Durabilidad	10 años
Accesorios para su funcionamiento	Tubo PVC 6" de 10 m (se empleará de acuerdo a la distancia)
	Codo PVC
	Llave de paso
	Pegamento

Fuente: según (Martí, 2019).

Figura 31: Dimensiones de la zanja trapezoidal



Fuente: Biodigestores tubulares: Guía de diseño y manual de instalación.

Seguido de esto, es necesario realizar el dimensionamiento de las zanjas donde serán ubicados cada uno de los biodigestores tubulares, esto se hace a través del tipo de suelo que tiene. Por lo que para la investigación se optó por utilizar un ángulo de 15°, puesto que el suelo es de tipo arcilloso (arcilla-limo).

Tabla 22: Dimensionamiento de la zanja

α (°)	a(m)	b(m)	p(m)	Área de zanja(m ²)	Área de biogás (m ²)	Área de total (m ²)	L/D
15	r X 1,02	r X 1,82	r X 1,49	r ² X 2,12	r ² X 0,69	r ² X 2,80	L1/D1

Fuente: (Martí, 2019) “Tabla 12”.

Por lo que se tiene las siguientes medidas obtenidas para la ejecución de la zanja, donde se ubican los biodigestores.

Tabla 23: Dimensiones de la zanja

α (°)	a(m)	b(m)	p(m)	Área de zanja(m ²)	Área de biogás (m ²)	Área de total (m ²)	L/D
15	1.46	2.60	2.13	4.34	1.41	5.73	7.52

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para una demanda de 120.727 m³ de biogás/día se calcula N° biodigestores = 7, con un volumen líquido de 104.58 m³ cada uno. Así generar una potencia de 51.3 kW. El cual es suficiente para abastecer al centro poblado de Supucachi.

4.1.3. Análisis de costo beneficio por cada fuente de energía identificada no convencional

4.1.3.1. Sistema fotovoltaico

Para obtener el costo total de la inversión se consideraron los equipos a instalar y el costo de instalación de los mismos, dentro de un costo fijo se consideró el costo de operación y mantenimiento de sistema fotovoltaico.

Por lo que se halló la siguiente tabla considerando los costos de los equipos a utilizar.

Tabla 24: Costo de equipos de sistema fotovoltaico

Equipos	Cantidad	Costo C/U	Costo total
Paneles	208	S/704.50	S/146 536.00
Baterías	63	S/1 922.72	S/121 131.36
Inversor	8	S/20 854.19	S/166 833.54
Reguladores	52	S/333.02	S/17 317.04
Total			S/451 817.94

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para la instalación se consideró un ingeniero supervisor, un de seguridad, un auxiliar y los operarios encargados de realizar la instalación. Por lo que se obtuvo la siguiente tabla

Tabla 25: Costo de instalación de sistema fotovoltaico

	Cantidad	Sueldo	Sueldo mensual subtotal
Ingeniero supervisor	1	S/ 4 500.00	S/ 4 500.00
Ingeniero de seguridad	1	S/ 3 800.00	S/ 3 800.00
Auxiliar mecánico eléctrico	2	S/ 2 800.00	S/ 5 600.00
Operarios	20	S/ 1 500.00	S/ 30 000.00
Total			S/ 43 900.00

Elaborado por el equipo de trabajo.

Por lo que el costo de la inversión inicial estaría resumido en la siguiente tabla.

Tabla 26: Inversión inicial de sistema fotovoltaico

Inversión inicial	
Costo de equipos	S/451 817.94
Costo de instalación	S/43 900.00
TOTAL	S/495 717.94

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para el costo de mantenimiento, se consideró un 15% de la inversión inicial, este costo está dado por año.

Tabla 27: Mantenimiento de sistema fotovoltaico

%	Inversión inicial	Mantenimiento
15%	S/495 717.94	S/74 357.69

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para hallar los beneficios del sistema solar, se consideró la venta de energía y el bono de carbono, el cual es un monto que el estado brinda a las empresas que realizan producción de energía eléctrica libre de emisiones de gases contaminantes.

Para la venta de energía se utilizó el LCOE, dando un valor por kWh de S/. 0.71.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^t \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^t \frac{E_t}{(1+r)^t}} = 0.71$$

Donde:

It: inversión inicial

Mt: costo de mantenimiento

Et: cantidad de energía consumida en el periodo de proyección



t: tiempo de proyección

r: tasa de TMAR

Por lo que, el flujo de caja se señala en la siguiente tabla:

Tabla 28: Flujo de caja de sistema fotovoltaico

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión											
Sist. fotovoltaico	S/495 717.94										
Total de inversión	S/495 717.94										
Egresos											
Mant.		S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69				
Total de egresos	S/495 717.94	S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69	S/74 357.69				
Beneficios											
Bono de carbono		S/78 334.14	S/79 619.02	S/81 193.45	S/82 782.79	S/84 389.15	S/86 010.43	S/87 924.44	S/89 853.36	S/91 800.38	S/93 763.36
Venta de energía		S/52 188.76	S/53 044.79	S/54 093.73	S/55 152.59	S/56 222.81	S/57 302.95	S/58 578.13	S/59 863.24	S/61 160.41	S/62 468.21
Total de beneficios	S/0.00	S/130 522.90	S/132 663.81	S/135 287.18	S/137 935.38	S/140 611.96	S/143 313.38	S/146 502.58	S/149 716.60	S/152 960.79	S/156 231.57
Flujo de caja	-S/495 717.94	S/56 165.21	S/58 306.12	S/60 929.49	S/63 577.69	S/66 254.27	S/68 955.69	S/72 144.89	S/75 358.91	S/78 603.10	S/81 873.88
Utilidad acumulada	-S/495 717.94	-S/439 552.73	-S/381 246.62	-S/320 317.13	-S/256 739.44	-S/190 485.16	-S/121 529.47	-S/49 384.59	S/25 974.33	S/104 577.42	S/186 451.31
VAN	-S/125 009.28										
TIR	5.9%										
TMAR	12%										
B/C	1.88										

Elaborado por el equipo de trabajo.

A pesar que el TIR sale positivo y existe costo beneficio, no supera al valor de TMAR y el VAN hallado tiene un valor negativo, por lo que el proyecto, utilizando únicamente energía solar no es rentable.

4.1.3.2. Sistema eólico

Para determinar los costos del sistema eólico se consideraron los equipos a instalar, el personal encargado de la instalación y el transporte de los equipos. Además de costo de operación y mantenimiento, como costo fijo.

Tabla 29: Equipos de sistema eólico

Equipos	Cantidad	Costo C/U	Costo total
Aerogenerador	3	S/6 336 000.00	S/19 008 000.00
Baterías	63	S/1 922.72	S/121 131.36
Inversor	9	S/18 537.06	S/166 833.54
Total			S/19 295 964.90

Fuente: ENERCON

También se tiene que considerar el costo de traslado de los equipos, así como los equipos auxiliares que serán necesarios para la instalación.

Tabla 30: Traslado de sistema eólico

Equipos auxiliares			
Transporte	Aerogeneradores y equipos	S/19 200.00	S/57 600.00
Instalación	Grúas	S/10 000.00	S/10 000.00
Total			S/67 600.00

Fuente: ENERCON

Se consideró también al personal competente encargado de la instalación de los aerogeneradores. Se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31: Instalación de sistema eólico

	Cantidad	Sueldo	Sueldo mensual subtotal
Ingeniero supervisor	1	S/5 000.00	S/5 000.00
Ingeniero de seguridad	2	S/4 000.00	S/8 000.00
Auxiliar mecánico eléctrico	3	S/3 000.00	S/9 000.00
Operarios	20	S/1 800.00	S/36 000.00
Total			S/58 000.00

Elaborado por el equipo de trabajo.

Por lo que se tiene como inversión inicial la siguiente tabla resumen.

Tabla 32: Inversión inicial de sistema eólico

Inversión inicial	
Costo de equipos	S/19 295 964.90
Costo de equipos auxiliares	S/67 600.00
Costo de instalación	S/58 000.00
TOTAL	S/19 421 564.90

Elaborado por el equipo de trabajo.

Dentro de los gastos realizados, se consideró el costo de mantenimiento, el cual tiene un valor del 15% de la inversión inicial.

Tabla 33: Mantenimiento del sistema eólico

%	Inversión inicial	Mantenimiento
15%	S/19 421 564.90	S/2 913 234.74

Elaborado por el equipo de trabajo.



Para las ganancias, se consideró también el bono de carbono y la venta de energía, en este caso, la venta de energía tendría un valor de S/ 24.05 por cada kWh, este valor tan elevado es por el costo de inversión inicial y de mantenimiento.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^t \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^t \frac{E_t}{(1+r)^t}} = S/ 24.05$$

Por lo que se tiene en la siguiente tabla el flujo de caja.

Tabla 34: Flujo de caja de sistema eólico

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversion											
Sist Eólico	S/19 421 564,90										
Total de inversion	S/19 421 564,90										
Egresos											
Manti		S/2 913 234,74									
Total de egresos	S/19 421 564,90	S/2 913 234,74									
Beneficios											
Venta de energia		S/1 770 044,45	S/1 799 077,74	S/1 834 653,75	S/1 870 566,51	S/1 906 864,13	S/1 943 498,51	S/1 986 747,77	S/2 030 333,79	S/2 074 328,72	S/2 118 684,47
Bono de carbono		S/78 334,14	S/79 619,02	S/81 193,45	S/82 782,79	S/84 389,15	S/86 010,43	S/87 924,44	S/89 833,36	S/91 800,38	S/93 763,36
Total de beneficios	S/0,00	S/1 848 378,59	S/1 878 696,76	S/1 915 847,20	S/1 953 349,29	S/1 991 253,29	S/2 029 508,94	S/2 074 672,22	S/2 120 187,15	S/2 166 129,10	S/2 212 447,83
Flujo de caja	S/19 421 564,90	S/1 064 856,14	S/1 034 537,97	S/997 387,54	S/959 885,44	S/921 981,45	S/883 725,79	S/838 562,52	S/793 047,58	S/747 105,63	S/700 786,90
Utilidad acumulada	S/19 421 564,90	S/20 486 421,04	S/21 520 959,02	S/22 518 346,56	S/23 478 232,00	S/24 400 213,45	S/25 283 939,24	S/26 122 501,76	S/26 915 549,34	S/27 662 654,98	S/28 363 441,88
VAN	S/24 374 531,47										
TIR	-										
TAMAR	12%										
B/C	0,68										

Elaborado por el equipo de trabajo.

El sistema eólico muestra que no es viable en ningún aspecto, no se logra obtener un TIR, el VAN tiene un valor negativo y el costo beneficio es demasiado bajo. Además, el precio de venta por kWh es muy elevado. El proyecto de electrificación con sistema eólico no es viable.

4.1.3.3. Sistema de biogás

Dentro del sistema de producción de biogás, se consideraron los siguientes elementos para la construcción.

Tabla 35. Costo de equipos de biodigestor

Equipos			
	Cantidad	Precio C/V	Subtotal
Abrazaderas	75	S/ 3.00	S/ 225.00
Codos	55	S/ 2.30	S/ 126.50
Correas de caucho	120	S/ 15.00	S/ 1,800.00
Esponjilla metálica	21	S/ 3.00	S/ 63.00
Frasco	14	S/ 10.90	S/ 152.60
Llaves de paso	20	S/ 75.00	S/ 1,500.00
Pegamento	25	S/ 36.00	S/ 900.00
Tuberías	110	S/ 15.90	S/ 1,749.00
Tubular	7	S/ 40,020.00	S/ 280,140.00
Generador	9	S/ 6,650.00	S/ 59,850.00
Extras			S/ 10,500.00
TOTAL			S/ 357,006.10

Fuente: Biodigestores de bajo costo para producir biogás (Botero, 2019)



Del mismo modo, se consideró al personal encargado de la instalación.

Tabla 36: Instalación de biodigestor

Instalación			
Personal	Cantidad	Precio C/U	Subtotal
Operarios	10	S/1,500.00	S/ 15,000.00
Ingeniero supervisor	1	S/2,500.00	S/ 2,500.00
Ingeniero de seguridad	1	S/2,200.00	S/ 2,200.00
Asistentes	4	S/1,100.00	S/ 4,400.00
Total			S/ 24,100.00

Elaborado por el equipo de trabajo.

Por lo que se tiene como inversión inicial la siguiente tabla.

Tabla 37: Inversión inicial de biodigestor

Equipos	S/ 357,006.10
Instalación	S/ 24,100.00
TOTAL	S/ 381,106.10

Elaborado por el equipo de trabajo.

Para el costo de mantenimiento también se consideró un 15% del valor de la inversión inicial, por lo que se tiene lo siguiente:

Tabla 38: Mantenimiento de biodigestor

%	Inversión inicial	Mantenimiento
15%	S/ 381,106.10	S/ 57,165.92

Elaborado por el equipo de trabajo.



En los ingresos se sigue considerando el bono de carbono, así como la venta de energía. Para el caso del sistema de generación de biogás, el costo obtenido fue de S/ 0.58 por cada kWh.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^t \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^t \frac{E_t}{(1+r)^t}} = S/ 0.58$$

LCOE: Costo Nivelado de la Energía.

Por lo que el flujo de caja se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 39: Flujo de caja de biodigestor

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión											
Plan de SST	S/381,106.10										
Total de inversión	S/381,106.10										
Egresos											
Mantenimiento		S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92
Depreciación		S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00	S/0.00
Total de egresos	S/381,106.10	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92	S/57,165.92
Beneficios											
Bono de carbono		S/81,755.02	S/83,738.56	S/88,503.36	S/90,518.50	S/92,874.98	S/95,247.90	S/100,402.07	S/102,807.86	S/105,884.94	S/111,415.85
Venta de energía		S/37,592.17	S/38,504.23	S/40,695.15	S/41,621.74	S/42,705.29	S/43,796.39	S/46,166.36	S/47,272.57	S/48,687.46	S/51,230.65
Total de beneficios	S/0.00	S/119,347.18	S/122,242.79	S/129,198.51	S/132,140.25	S/135,580.27	S/139,044.29	S/146,568.43	S/150,080.43	S/154,572.40	S/162,646.50
Flujo de caja	-S/381,106.10	S/62,181.27	S/65,076.87	S/72,032.59	S/74,974.33	S/78,414.36	S/81,878.38	S/89,402.52	S/92,914.52	S/97,406.49	S/105,480.59
Utilidad acumulada	-S/381,106.10	-S/318,924.83	-S/253,847.96	-S/181,815.37	-S/106,841.04	-S/28,426.68	S/53,451.70	S/142,854.22	S/235,768.73	S/333,175.22	S/438,655.81
Valor actual neto (VAN)	S/58,242.69										
TIR	15.3%										
TMAR	12.0%										
B/C	2.36										

Elaborado por el equipo de trabajo.

Dentro del flujo de caja se puede evidenciar que el VAN tiene un valor positivo, asimismo, el TIR llega a un 15.3 % con un costo beneficio de 2.36. Esto se traduce que el proyecto es viable.

4.1.4. Validación de la hipótesis

La validación de la hipótesis se realizó utilizando la prueba de hipótesis t de Student para los datos obtenidos durante el proyecto.

Contrastación de hipótesis

Hipótesis específica 01

La evaluación del potencial energético del centro poblado provee los datos esenciales para cubrir la demanda energética mediante sistemas de generación fotovoltaica, eólica y biogás.

Tabla 40: Comparación de oferta con demanda anual del sistema fotovoltaico

Sistema fotovoltaico			
Nro	Oferta anual kW	Demanda anual KW	Diferencia
0	67.5	41	26.5
1	67.5	42	25.5
2	67.5	43	24.5
3	67.5	44	23.5
4	67.5	44	23.5
5	67.5	45	22.5
6	67.5	46	21.5
7	67.5	47	20.5
8	67.5	48	19.5
9	67.5	49	18.5
10	67.5	50	17.5

Elaborado por el equipo de trabajo.



demanda anual.

i. Planteamiento de hipótesis

- H_0 : La oferta de la energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico es menor o igual a la demanda requerida.

$$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$$

- H_a : La oferta de la energía eléctrica mediante el sistema fotovoltaico es mayor a la demanda requerida.

$$H_a: \mu_1 > \mu_2$$

- μ_1 : Energía generada (oferta)
- μ_2 : Consumo de energía (demanda)

ii. Nivel de significancia

$$\alpha = 5\%$$

iii. Estadístico de prueba (t)

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d / \sqrt{n}}$$

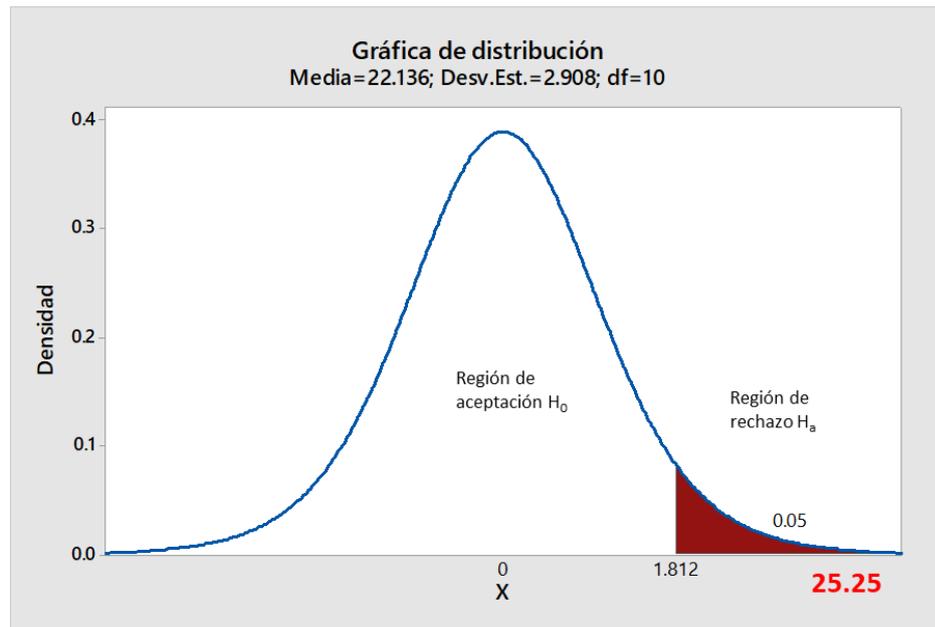
\bar{d} : promedio
 S_d : Desviación estándar

$$t = 25.25$$

iv. Valor crítico: $t(1 - \alpha). (n - 1)$

$$1.81$$

Figura 32: Prueba de Hipótesis al 5%



Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 41: Comparación de oferta con demanda anual del sistema eólico.

Sistema Eólico			
Nro	Oferta anual Kw	Demanda anual Kw	Diferencia
0	65.25	41	24.3
1	65.25	42	23.3
2	65.25	43	22.3
3	65.25	44	21.3
4	65.25	44	21.3
5	65.25	45	20.3
6	65.25	46	19.3
7	65.25	47	18.3
8	65.25	48	17.3
9	65.25	49	16.3
10	65.25	50	15.3

Elaborado por el equipo de trabajo.

i. Planteamiento de hipótesis

- H_0 : La oferta de la energía eléctrica mediante un sistema eólico es menor o igual a la demanda requerida.

$$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$$

- H_a : La oferta de la energía eléctrica mediante el sistema eólico es mayor a la demanda requerida.

$$H_a: \mu_1 > \mu_2$$

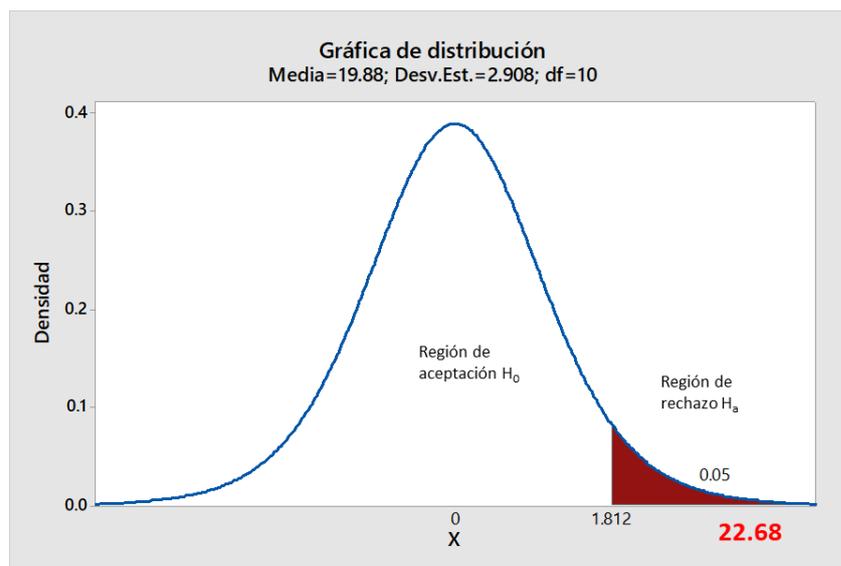
- μ_1 : Energía generada (oferta)
- μ_2 : Consumo de energía (demanda)

ii. Estadístico de prueba (t)

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}};$$

$$t = 22.68$$

Figura 33: Prueba de Hipótesis del sistema eólico al 5%



Elaborado por el equipo de trabajo.

Tabla 42: Comparación de oferta con demanda anual del sistema de biogás

Sistema de Biogás			
Nro	Oferta kW	Demanda kW	Diferencia
0	51.3	41	10.3
1	51.3	42	9.3
2	51.3	43	8.3
3	51.3	44	7.3
4	51.3	44	7.3
5	51.3	45	6.3
6	51.3	46	5.3
7	51.3	47	4.3
8	51.3	48	3.3
9	51.3	49	2.3
10	51.3	50	1.3

Elaborado por el equipo de trabajo.

i. Planteamiento de hipótesis

- H_0 : La oferta de la energía eléctrica mediante un sistema de biogás es menor o igual a la demanda requerida.

$$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$$

- H_a : La oferta de la energía eléctrica mediante el sistema de biogás es mayor a la demanda requerida.

$$H_a: \mu_1 > \mu_2$$

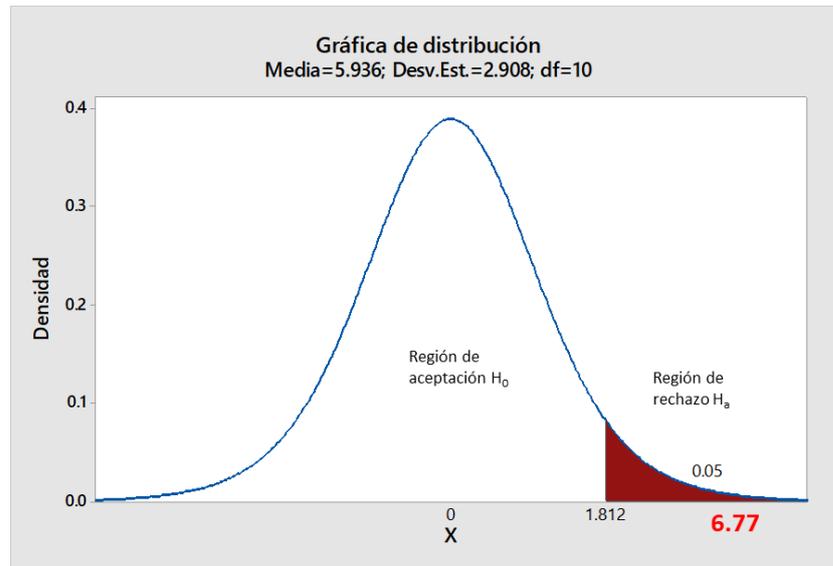
- μ_1 : Energía generada (oferta)
- μ_2 : Consumo de energía (demanda)

Estadístico de prueba (t)

$$t = \frac{\bar{a}}{s_a/\sqrt{n}};$$

$$t = 6.77$$

Figura 34: Prueba de Hipótesis del sistema de biogás al 5%



Elaborado por el equipo de trabajo.

- Interpretación de la prueba estadística

En base a los resultados obtenidos en esta investigación, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, puesto que en el sistema fotovoltaico el estadístico de prueba es $t=25.25$, en el sistema eólico es $t=22.68$ y en el sistema de biogás es $t=6.77$, las cuales se encuentran en la zona de rechazo, siendo mayor a 1.81, según los gráficos de distribución. Por lo tanto, se concluye que la oferta en cada uno de los sistemas es mayor a la demanda durante los 10 años de estudio.

Hipótesis específica 02

El cálculo del potencial energético total demuestra que las fuentes de energías no convencionales satisfacen la demanda en el centro poblado.

Tabla 43. Comparación de oferta total con la demanda anual

Nro	Sistema Fotovoltaico	Sistema Eólico	Sistema Biogás	Oferta Total Kw	Demanda Kw	Diferencia
0	67.5	65.25	51.3	184.05	41	143.1
1	67.5	65.25	51.3	184.05	42	142.1
2	67.5	65.25	51.3	184.05	43	141.1
3	67.5	65.25	51.3	184.05	44	140.1
4	67.5	65.25	51.3	184.05	44	140.1
5	67.5	65.25	51.3	184.05	45	139.1
6	67.5	65.25	51.3	184.05	46	138.1
7	67.5	65.25	51.3	184.05	47	137.1
8	67.5	65.25	51.3	184.05	48	136.1
9	67.5	65.25	51.3	184.05	49	135.1
10	67.5	65.25	51.3	184.05	50	134.1

Elaborado por el equipo de trabajo.

i. Planteamiento de hipótesis

- H_0 : La oferta de la energía eléctrica total es menor o igual a la demanda requerida.

$$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$$

- H_a : La oferta de la energía eléctrica total es mayor a la demanda necesaria.

$$H_a: \mu_1 > \mu_2$$

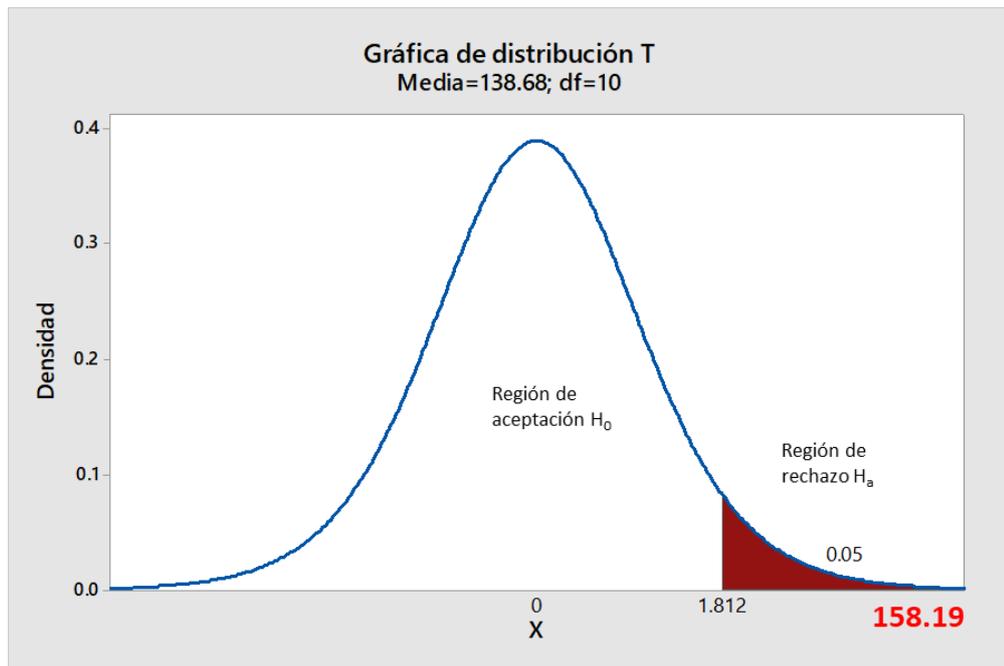
- μ_1 : Energía generada (oferta)
- μ_2 : Consumo de energía (demanda)

ii. Estadístico de prueba (t)

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}};$$

$$t = 158.19$$

Figura 35: Prueba de Hipótesis Total al 5%



Elaborado por el equipo de trabajo.

iii. Interpretación de la prueba estadística

Gracias al t de Student – muestras relacionadas, se comprueba que nuestra oferta total es mucho mayor a la demanda proyectada durante los 10 años de estudio. Puesto que se encuentra en la zona de rechazo, siendo mucho mayor a 1.81. Esto según los resultados obtenidos de la figura 35.

Hipótesis específica 03

El análisis de costo/beneficio por cada fuente de energía no convencional identifica la fuente de energía más viable económicamente.

Presentamos una comparación del costo/beneficio de los sistemas evaluados: el sistema fotovoltaico, el sistema eólico y el sistema de biodigestor.

- El sistema fotovoltaico tiene un índice de costo/beneficio (B/C) de 1.88, aunque este valor es positivo, sugiere que la rentabilidad económica sea moderada.



Razones:

- Los paneles solares tienen un costo inicial de instalación relativamente alto, así como los altos costos de mantenimiento, lo que afecta en la relación costo-beneficio.
- La disponibilidad de la radiación solar en el centro poblado es relativamente baja.
- El sistema eólico tiene un índice de costo/beneficio (B/C) de 0.68, un valor inferior a 1, sugiere que la rentabilidad económica del sistema eólico es más limitada en comparación con otras fuentes.

Razones:

- La instalación de turbinas eólicas conlleva un costo inicial significativo, lo que afecta a la relación costo/beneficio, así como el costo de mantenimiento.
- La baja velocidad y constancia del viento en Supucachi son factores clave que afectan a la generación de energía.
- El sistema de biodigestor tiene un índice de costo/beneficio (B/C) de 2.36. Este valor propone que el sistema de biodigestor presenta una mayor rentabilidad económica en comparación con las otras opciones evaluadas.

Razones:

- El costo inicial de instalación de un biodigestor es un poco bajo en comparación con los sistemas fotovoltaicos y eólicos.

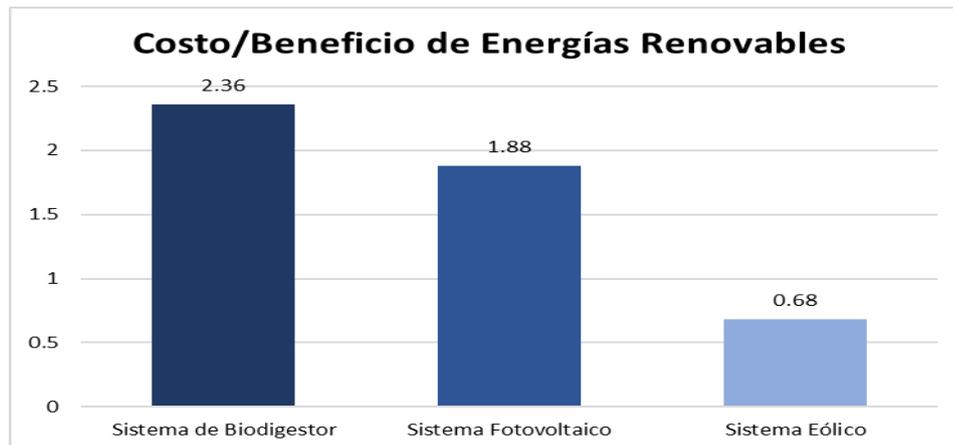
- La disponibilidad de materia orgánica, como el estiércol de animales, en el centro poblado de Supucachi es una ventaja para el funcionamiento del biodigestor y generar beneficios económicos adicionales como la producción del biofertilizante.
- Los costos de mantenimiento y operación de un biodigestor son asequibles, lo que mejora la viabilidad económica a largo plazo.

Tabla 44: Comparación del costo/beneficio de los sistemas

	Sistema Fotovoltaico	Sistema Eólico	Sistema de Biodigestor
B/C	1.88	0.68	2.36
VAN	-S/125,009.28	-S/24,374 531.47	S/58,242.69
TIR	5.9%	-	15.3%

Elaborado por el equipo de trabajo.

Figura 36: Costo/Beneficio



Elaborado por el equipo de trabajo.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Evaluación del potencial energético del centro poblado

Para realizar el primer objetivo se tomó la ubicación de la zona y se colocó en el software POWER by NASA, para tener los datos promedios de radiación, temperatura y velocidad del viento. Donde se obtuvo que la radiación más alta encontrada fue en el mes de junio, llegando a un valor de 6.33 kWh/m²/día, por otro lado, el valor más bajo se obtuvo del mes de febrero, con un valor de 3.72 kWh/m²/día. Este valor mínimo se asemeja al obtenido por los autores Ventura & Delgado (2020), con un valor promedio de radiación de 3.88 kWh/m²/día. Este fue el mismo valor mínimo obtenido por el autor Mejía (2019), cuyo valor máximo llegó a 5.12 kWh/m²/día de radiación solar. Por otro lado, la temperatura mínima del centro poblado de Supucachi -5.29°C, la cual se registró en el mes de julio, la temperatura más alta registrada fue en el mes de diciembre, con un valor de 21.19°C. La velocidad del viento llega hasta un máximo de 14.14 m/s en el mes de agosto y a la vez, existen dos picos mínimos registrados, en el mes de marzo y en el mes de octubre, con tan solo 0.01 m/s. También se realizó una encuesta a los pobladores, esto se hizo con el fin de encontrar la cantidad de residuos que genera el ganado de ellos, llegando cantidades muy significativas, aproximadamente 3822 kg/día por parte de las vacas, 140.8 kg/día por las ovejas y 51.7 kg/día por las alpacas, en una muestra de 13 usuarios.

4.2.2. Cálculo del potencial energético del centro poblado

Para el desarrollo del segundo objetivo se debe partir de una demanda a satisfacer, en este caso se consideró también una proyección, puesto que, los centros poblados tienden a crecer con el paso de los años. Con las consideraciones mencionadas, se llegó a determinar una demanda anual de 88 131 kWh en el año 10 de la proyección, esto daría



un valor de 241.45 kWh-día, este valor excede por mucho el que se quiere alimentar por la investigación de Rincón y Rodríguez (2021), ellos mencionan que se brindará un total de 41.5 kWh de energía al día. Este valor menor coincide un poco con el encontrado por los autores Potes y Proaño (2020), puesto que el valor anual de energía a satisfacer es 30 336 kWh. Si el valor es convertido a potencia, para la presente investigación se necesita un total de 50 kW para satisfacer la necesidad de potencia del centro poblado, este es 10 veces más al que los autores Ventura & Delgado (2020), ellos generan un total de 5,94 kW, teniendo valores considerablemente similares con el autor Mesones (2019), con un valor 9.88 kW, sin embargo, el autor Huamán (2020), si tiene un valor similar de potencia a suministrar, llegado hasta un valor de 51,88 kW. Para satisfacer esta demanda fue necesario utilizar un total de 208 paneles con una potencia de 350 W cada uno, también se puede satisfacer con un total de 3 aerogeneradores con una altura de 50m y 3 álabes con un área de barrido de 876m², por otro lado, también se puede usar un total de 7 biodigestores, cada uno con un volumen de 138,12 m³.

4.2.3. Análisis de costo beneficio por cada fuente de energía identificada no convencional

Para el tercer objetivo se evaluó el beneficio económico, así como sus contras, de cada uno de los sistemas propuestos, por lo que para el sistema solar nos da unos valores de los indicadores económicos de TIR de 5.9% y un VAN de -S/ 125 009.28, esto indica que el proyecto no es rentable, sin embargo, los autores Rincón y Rodríguez (2021) consideran que su proyecto si es rentable, puesto que el VAN da un valor positivo y la TIR llega hasta un 20%, esta investigación tiene valores similares a los proporcionados por los autores Potes y Proaño (2020), que llegan a un TIR de 24.07%. Por otro lado, la presente investigación también propuso la utilización de energía eólica, sin embargo, el valor de la TIR está muy por debajo de 0 y los valores de VAN son negativos. Como



tercera propuesta se planteó utilizar energía generada por biogás, teniendo como resultado que este tipo de energía si es viable en la zona, por la gran presencia de ganado de los pobladores, este sistema nos da un TIR de 15.3% y un VAN positivo de S/ 58 242.69, este valor está muy por encima del señalado por la investigación de la autora Jaro (2020), cuyo proyecto tiene un TIR de 3.65% con un periodo de recuperación de 22 años.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA. En la evaluación realizada se obtuvo que la radiación en el centro poblado de Supucachi llega hasta 8.33 kWh/m²/día en el mes de junio y el valor menor se muestra en el mes de febrero, con un valor de 3.72 kWh/m²/día, por otro lado, la temperatura más elevada se registra en el mes de diciembre, llegando a 21.99°C y la más baja en el mes de julio, con un valor de -5.29°C, dentro de la velocidad del viento, se tiene que la más elevada se presenta en el mes de agosto, llegando a 14.14 m/s, en este caso se registran 2 meses con la menor velocidad con 0.01 m/s, también se llevó un registro de la cantidad de excretas que existe en el centro poblado, dando un total de 3822 kg/día en vacas, 140.8 kg/día en ovejas y 51.7 kg/día en alpacas, por otro lado se obtuvieron resultados estadísticos que respaldan la implementación de sistemas de generación de energía renovable. A continuación, se presentan los valores estadísticos para cada sistema: para el sistema fotovoltaico, el valor de *t*-student obtenido es de 25.25, lo que indica una opción confiable en la generación de energía; así mismo, en el sistema eólico se obtuvo un valor de *t*-student de 22.68, confirmando su alto nivel de confianza y en el sistema de biogás, el valor de *t*-student calculado es de 6.67, reafirmando la validez estadística de este sistema. Estos resultados, obtenidos con un nivel de significancia del 5% y un punto crítico de 1.812, respaldan la implementación de estos sistemas de generación de energía renovable en el centro poblado de Supucachi.

SEGUNDA. Para realizar el cálculo del potencial energético total se realizó por medio de una demanda, la cual fue proyectada, puesto que, los centros poblados tienden a expandirse, es por esta razón que se determinó que la potencia instalada necesaria para abastecer la demanda del centro poblado es de 50 kW. A partir de eso se realizó un dimensionamiento de los sistemas de generación energética, en la cual se determinó que



el conjunto de sistemas, incluyendo el sistema solar fotovoltaico, el sistema eólico y el sistema de biodigestor, generará un total de 184.5 kW. Esta capacidad de generación supera la demanda proyectada de 50 kW, lo que indica que se cuenta con suficiente potencial energético para abastecer las necesidades del centro poblado de Supucachi en crecimiento. De tal forma, el análisis estadístico realizado, utilizando una significancia del 5% y valores críticos de *t*-Student, respalda esta conclusión al mostrar que el valor calculado (158.19) es mayor que el valor crítico (1.812), lo que proporciona una alta confianza en la capacidad de los sistemas de generación energética para satisfacer la demanda energética de manera adecuada.

TERCERA. El análisis económico muestra que el sistema de generación de biogás destaca como la opción más rentable para la zona. El sistema solar presenta un VAN de -S/125,009.28, una TIR de 5.9% y un costo/beneficio de 1.88. Por su parte, el sistema eólico tiene un VAN de -S/23,374,531.47 y un costo/beneficio de 0.68. En contraste, el sistema de biodigestor exhibe un VAN de S/58,242.69, una TIR de 15.3% y un costo/beneficio de 2.36. En virtud de estos resultados, se concluye que el sistema de biogás es la opción más rentable en términos económicos.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA. Se recomienda evaluar la posibilidad de convertirse en un micro generador de energía renovable para abastecer de electricidad a las zonas aledañas. Con el objetivo de garantizar la viabilidad del proyecto, se sugiere considerar la implementación gradual de un modelo Smart Grid adaptado a las características de las fuentes de energía renovable involucradas. Así mismo la gestión y control de la generación distribuida, asegurando una mejor coordinación entre la oferta y la demanda de energía.

SEGUNDA. Se sugiere una amplia difusión de información técnica sobre la tecnología de tratamiento de residuos animales mediante biodigestores, así como los sistemas de generación de energía fotovoltaica y eólica. Esto contribuirá a promover la autogeneración de energía eléctrica en comunidades rurales aisladas que carecen de conexión a la red eléctrica convencional.

TERCERA. Tras comparar el sistema solar fotovoltaico, el sistema eólico y el sistema de generación de biogás, se determinó que el biodigestor presenta una mejor relación costo-beneficio. Sin embargo, se recomienda que investigaciones futuras evalúen el compromiso social en términos de reciclaje de materia orgánica y los medios de transporte del biogás. Por lo tanto, es esencial examinar la eficiencia del proceso de reciclaje y separación de la materia orgánica en el lugar de generación de residuos, así como el transporte efectivo del biogás hacia los beneficiarios. Esto implica analizar cómo se aborda el impacto de la distancia entre el biodigestor y los beneficiarios, asegurando una distribución y aprovechamiento adecuados del biogás generado.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y Metodología de la Investigación*. Enfoques Consulting EIRL.
- Ayllu Solar. (2018). *Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas*. SERC Chile.
- Barón, D., & Amaya, C. (2020). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico para suplir la iluminación en vallas publicitarias de la empresa efectimedios S.A.*
- Carvalho, A. M., Eduardo, L., & Cirión, C. (2022). Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 990–1013.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2641
- COES. (2021). *Generación energética 2021*. COES.
- Cortés Vásquez, M. (2019). La Biomasa Una Solución Para Mitigar La Contaminación Atmosférica. *Universita Ciencia*, 92–120.
- Eraso-Checa, F., Escobar-Rosero, E., Paz, D. F., & Morales, C. (2018). Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres-Nariño. *Revista Científica*, 31(1), 19–31.
<https://doi.org/10.14483/23448350.12304>
- Garnacho, G., Salido, R., & Moreno, J. (2020). Efectos de la radiación solar y actualización en fotoprotección. *Anales de Pediatría*.
- Griffa, B., Marcó, L., & Goldstein, E. (2017). Producir electricidad con biomasa: beneficios, experiencias y actualidad en Argentina. *Revista de La Facultad de*



Ciencias Económicas, 0(19), 67–79. <https://doi.org/10.30972/RFCE.0192858>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología De La Investigación: Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa Y Mixta*. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.

Huamán, G. (2020). *Diseño de un sistema fotovoltaico ON GRID de autoconsumo e inyección 0 conectado a la red eléctrica del centro de salud Haquira, Apurimac 2020*.

INEI. (2021). *Estadísticas Ambientales*.

IRENA. (2018). *Transformación energética mundial*.

Jaro, A. (2020). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico en una industria que procesa 1700 l/día de leche para la elaboración de queso en Talavera de la Reina (Toledo)*.

Lamigueiro, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. CreativeCommons.

Mamani, J., Llumipanta, F., Ramos, S., Rea, J., Alucho, J., Saltos, D., Llanos, F., & Jácome, C. (2021). Biogas production systems: rationale, improvement techniques, advantages and disadvantages. *Agroindustrial Science*, 11(2), 239–247. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.14>

Martí, J. H. (2019). *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*.

Mejía V, E. J. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica. *Revista Científica Pakamuros*, 7(2), 73–88. <https://doi.org/10.37787/PAKAMUROS-UNJ.V7I2.95>



- Mendoza, I. (2018). Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero. *Revista Académica Ingeniería*, 30-46.
<https://www.redalyc.org/journal/467/46759491003/46759491003.pdf>
- Mesones, P. (2019). *Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de coenxión a red para el restaurante “El zarco” ubicado en la ciudad de Cajamarca. Lambayeque. Cajamarca. Lambayeque.*
- MINEM. (2020). *Anuario ejecutivo de electricidad 2019.*
- MINEM. (2022). *Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios del sector energúa y minas PMI 2023-2025.*
- Montalvo, H. (2019). *Diseño de la instalación del sistema eléctrico solar fotovoltaica para incrementar la potencia eléctrica en el Local Comunal de Alto Anapati – Pangoa- Junín.*
- Muñoz Maldonado, Y. A., Acebedo Roncancio, G. D., & Santamaría Saavedra, J. D. (2019). Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia. *Prospectiva*, 17(2). <https://doi.org/10.15665/rp.v17i2.1645>
- Ñaupas Paitán, H., Dueñas Valdivia, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la investigación: Cuantitativa–Cualitativa y Redacción de la Tesis.* Ediciones de la U.
- Onuoha, S. N., Unuigbe, O. M., Suleiman, I. A., Chukuwendu, U. M., & Ogie-Aitsabokhai, L. Y. (2019). Design, fabrication and evaluation of bio-digester for generating bio-gas and bio-fertiliser for Auchi polytechnic demonstration farm. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 11(4),



66–75. <https://doi.org/10.5897/ijwree2018.0834>

Osejos Merino, M. A., Jaramillo Véliz, J. J., Merino Conforme, M. V., Quimis Gómez, A. J., & Alcívar Cobeña, J. L. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador. *Dominio de Las Ciencias*, 4(1), 709–733. <https://doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2018.vol.4.n.1.709-733>

Parra, D., Botero, M., & Botero, J. (2019). Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 139–146. <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019013>

Plá, J., Bolzi, C., & Durán, J. C. (2018). Energía solar fotovoltaica. Generación distribuida conectada a red. *Ciencia e Investigación*, 51–68.

Potes, P., & Proaño, X. (2020). Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi. *Energía*, 148–157.

Ramos Omido, A., Souza Barboza, C., & Moreira Júnior, O. (2017). *Energía Geotérmica: Uma Aliada Na Busca Da Eficiência Energética*.

Rincón, M., & Rodríguez, A. (2021). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico de tipo inyección a la red para aportar el 41,5 kWh/día del consumo de energía eléctrica requerido por el colegio IETD en Monterrey, Casanare*.

Rojas, M., & Velazco, D. (2021). *Diseño de sistema fotovoltaico para la alimentación de la instalación eléctrica y el sistema de bombeo de agua de una vivienda en zona rural*.



- SEA. (2020). *Guía para la descripción de centrales eólicas de generación de energía eléctrica en el SEIA*. Gobierno de Chile.
https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2020/03/13/guia_dp_centrales_eolicas_version_2.pdf
- Trejo Zamudio, D., García Trejo, F., & Gutiérrez Antonio, C. (2019). Conversión de residuos a biocombustibles. *Ciencia*, 64–71.
https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/70_1/PDF/ResiduosBiocombustibles.pdf
- Vásquez González, A. (2021). Energías renovables: Energía mareomotriz como fuente potencial de generación en México. *Innovación de Energía y Soluciones Medioambientales*, 54.
- Vega, K., Piedra, J., & Richmond, G. (2019). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos medianet una interfaz gráfica. *Tecnología En Marcha*, 32(3), 66–78.
- Ventura, E., & Delgado, L. (2020). *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la demanda eléctrica de la posta médica, centro poblado Urakusa provincia Condorcanqui, Amazonas Perú*.
- Vivanco, E. (2020). Energías renovables y no renovables Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía. *AsesoríaTécnica Parlamentaria*.
- Zou, J., Guo, X., Abdelkareem, M. A. A., Xu, L., & Zhang, J. (2019). Modelling and ride analysis of a hydraulic interconnected suspension based on the hydraulic energy regenerative shock absorbers. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 127, 345–369. <https://doi.org/10.1016/J.YMSSP.2019.02.047>



- Alva, A. A., & Leiva, D. A. (2020). Implementación de un sistema de producción de biogás Para uso doméstico, como propuesta al manejo Adecuado del estiércol de ganado vacuno de la Población ganadera del caserío Carrerapampa; San Pablo, Cajamarca – 2019. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4324>
- Amaya, S. A. A., & Sanchez, D. A. N. (2022). Implementación de un biodigestor alimentado por excretas porcinas con co-sustrato de caña de azúcar en la finca agropecuaria fundo bonito en Puerto Gaitán – Meta. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/44115>
- Barrena Gurbillón, M. A., Cubas Alarcón, F., Gosgot Angeles, W., Ordinola Ramírez, C. M., Rascón Barrios, J., & Huanes Mariños, M. (2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 725-734. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26214>
- Colmenares, J. C. A., & Arcila, M. D. (2022). Diseño y simulación de un sistema eólico para una red de alumbrado público en el municipio de Sibaté-Cundinamarca. [BachelorThesis]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/30413>
- Implementación de un biodigestor alimentado por excretas porcinas con co-sustrato de caña de azúcar en la finca agropecuaria fundo bonito en Puerto Gaitán – Meta. (2022). <https://repositorio.usta.edu.co/handle/11634/44115>
- Jaro, A. M. (2020). Diseño de un sistema solar fotovoltaico en una industria que procesa 1.700 l/día de leche para la elaboración de queso en Talavera de la Reina (Toledo) (east=-4.8299462; north=39.9682303; name=Avenida de Francisco Aguirre, Ruiz de Luna, Talavera de la Reina, Toledo, Castilla-La Mancha, España) [Masters, E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM)]. <https://oa.upm.es/65617/>



- Martí, J. H. (2019). Biodigestores Tubulares: Guía de diseño y manual de instalación (2019) J. Martí Herrero.
- Mejía, E. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica. *Revista Científica Pakamuros*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v7i2.95>
- Mendoza, I. U. (2018). Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero.
- Moreto, N. G. (2020). Estimación del potencial eólico para la producción de energía eléctrica en la Meseta Andina distrito de Frías—Ayabaca. *Repositorio Institucional - UCSS*. <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/799>
- Osejos Merino, M. A., Jaramillo Véliz, J. J., Merino Conforme, M. V., Quimis Gómez, A. J., & Alcívar Cobeña, J. L. (2018). Producción de biogás con estiércol de cerdo a partir de un biodigestor en la Granja EMAVIMA Jipijapa – Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 4(1), 709-733.
- Ventura, E. A., & Delgado, L. B. (2020). Diseño de un Sistema Fotovoltaico Aislado para la Demanda Eléctrica de la Posta Medica, Centro Poblado Urakusa Provincia Condorcanqui, Amazonas-Perú. *Universidad Nacional de Jaén*. <http://localhost/jspui/handle/UNJ/215>
- NASA. (2022). the POWER project. <https://power.larc.nasa.gov/>

ANEXOS

Anexo A. Toma de datos





Anexo B. Ganado del Centro Poblado



Anexo C. Encuesta de la cantidad de ganado y conocimiento del Sistema de Biogás

ENCUESTA SOBRE BIOGÁS (COMBUSTIBLE GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS)

Nombre: Alan Gomez Quispe

- 1) ¿Es usted dueño(a) de algún centro de producción agropecuaria?
 - a) Sí No
- 2) ¿Qué hace usted con los residuos orgánicos que produce en su centro de producción?
 - Lo desecho Lo reciclo
- 3) ¿Considera que estos residuos son un problema para usted y su centro de producción?
 - Sí No
- 4) ¿Conoce usted el biogás?
 - a) Sí No
- 5) ¿Usted tiene conocimiento de los beneficios de generación de biogás?
 - a) Sí No
- 6) ¿Usted que utiliza para producir fuego en la cocina?
 - a) Leña
 - Bosta
 - c) Carbón
 - Gas propano
- 7) ¿Le interesaría un sistema de producción de biogás?
 - Sí No Tal vez
- 8) ¿Qué residuo orgánico produce más? Tabla
 - Animal Vegetal

9) ¿Cuántos kilogramos de residuos orgánicos produce por unidad?

ANIMAL	Kg/animal	Nº total
Per cada Vaca	20	20
Per cada oveja	0.6	18
Per cada Cerdo		

VEGETAL	Kg

10) ¿Qué tipo de depósito utiliza para almacenar el residuo orgánico?

- a) Bolsas de plástico
- b) Cajas
- Suelo
- d) otras

11) ¿Cuántas personas viven en su domicilio?

12) ¿Con que tipo de artefactos electrodomésticos cuenta?

ARTEFACTO	Sí	No
Televisión		<input checked="" type="checkbox"/>
Celular	<input checked="" type="checkbox"/>	
Equipo de sonido	<input checked="" type="checkbox"/>	
Licudera		<input checked="" type="checkbox"/>
Plancha		<input checked="" type="checkbox"/>
Lámparas		<input checked="" type="checkbox"/>

**ENCUESTA SOBRE BIOGÁS
(COMBUSTIBLE GENERADO A
PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS)**

Nombre: JUAN APAZA QUMAR ZAF

- 1) ¿Es usted dueño(a) de algún centro de producción agropecuaria?
- a) Sí No
- 2) ¿Qué hace usted con los residuos orgánicos que produce su centro de producción?
- Lo desecho b) Lo reciclo
- 3) ¿Considera que estos residuos son un problema para usted y su centro de producción?
- Sí b) No
- 4) ¿Conoce usted el biogás?
- a) Sí No
- 5) ¿Usted tiene conocimiento de los beneficios de generación de biogás?
- a) Sí No
- 6) ¿Usted que utiliza para producir fuego en la cocina?
- Leña
b) Bosta
c) Carbón
 Gas propano
- 7) ¿Le interesaría un sistema de producción de biogás?
- a) Sí b) No Tal vez
- 8) ¿Qué residuo orgánico produce más? Tabla
- Animal b) Vegetal

9) ¿Cuántos kilogramos de residuos orgánicos produce por unidad?

ANIMAL	Kg/animal	Nº total
Por cada Vaca	20	10
Por cada oveja	0.5	12
Por cada Cerdo	-	-

VEGETAL	Kg
Vegetales	1

10) ¿Qué tipo de depósito utiliza para almacenar el residuo orgánico?

- Bolsas de plástico
b) Cajas
c) Suelo
d) otros

11) ¿Cuántas personas viven en su domicilio? 4

12) ¿Con que tipo de artefactos electrodomésticos cuenta?

ARTEFACTO	Sí	No
Televisión		<input checked="" type="checkbox"/>
Celular	<input checked="" type="checkbox"/>	
Equipo de sonido	<input checked="" type="checkbox"/>	
Licudora		<input checked="" type="checkbox"/>
Plancha		<input checked="" type="checkbox"/>
Lámparas		<input checked="" type="checkbox"/>

**ENCUESTA SOBRE BIOGÁS
(COMBUSTIBLE GENERADO A
PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS)**

Nombre: Martín Gendron Infante

- 1) ¿Es usted dueño(a) de algún centro de producción agropecuaria?
a) Sí b) No
- 2) ¿Qué hace usted con los residuos orgánicos que produce su centro de producción?
a) Lo desecho b) Lo reciclo
- 3) ¿Considera que estos residuos son un problema para usted y su centro de producción?
a) Sí b) No
- 4) ¿Conoce usted el biogás?
a) Sí b) No
- 5) ¿Usted tiene conocimiento de los beneficios de generación de biogás?
a) Sí b) No
- 6) ¿Usted que utiliza para producir fuego en la cocina?
a) Leña
b) Bosta
c) Carbón
d) Gas propano
- 7) ¿Le interesaría un sistema de producción de biogás?
a) Sí b) No c) Tal vez
- 8) ¿Qué residuo orgánico produce más? Tabla
a) Animal b) Vegetal

9) ¿Cuántos kilogramos de residuos orgánicos produce por unidad?

ANIMAL	Kg/animal	Nº total
Por cada Vaca	25	12
Por cada oveja	0.5	5
Por cada Cerdo	-	-

VEGETAL	Kg
Verduras	1

10) ¿Qué tipo de depósito utiliza para almacenar el residuo orgánico?

- a) Bolsas de plástico
b) Cajas
c) Suelo
d) otros

11) ¿Cuántas personas viven en su domicilio? 2

12) ¿Con que tipo de artefactos electrodomésticos cuenta?

ARTEFACTO	Si	No
Televisión		<input checked="" type="checkbox"/>
Celular	<input checked="" type="checkbox"/>	
Equipo de sonido	<input checked="" type="checkbox"/>	
Licudora		<input checked="" type="checkbox"/>
Plancha		<input checked="" type="checkbox"/>
Lámparas		<input checked="" type="checkbox"/>



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, nosotros Saúl Percy Roque Yana, identificado con DNI 70425415 y Jesús Fernando Lopez Rimache, identificado con DNI 76691743, en nuestra condición de egresados de la:

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

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ANÁLISIS DE FUENTES DE GENERACIÓN DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES ADAPTABLES AL CENTRO POBLADO DE SUPUCACHI, PROVINCIA DE PUNO, DEPARTAMENTO DE PUNO”.

Es un tema original.

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

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

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

En caso de incumplimiento de esta declaración, nos sometemos a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que nos alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso.

Puno 31 de mayo del 2023

Saúl Percy Roque Yana



Huella

Jesús Fernando Lopez Rimache



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, nosotros Saúl Percy Roque Yana, identificado con DNI 70425415 y Jesús Fernando Lopez Rimache, identificado con DNI 76691743 en nuestra condición de egresado de la:

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

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Informamos que hemos elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ANÁLISIS DE FUENTES DE GENERACIÓN DE ENERGÍAS NO CONVENCIONALES ADAPTABLES AL CENTRO POBLADO DE SUPUCACHI, PROVINCIA DE PUNO, DEPARTAMENTO DE PUNO”.

Para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmamos y garantizamos ser legítimos, únicos y exclusivos titulares de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, damos seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizamos a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor nuestro; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizamos que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribimos el presente documento.

Puno 31 de mayo del 2023

Saúl Percy Roque Yana



Huella

Jesús Fernando Lopez Rimache



Huella